



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безо-
пасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему Оценка загрязнения акватории Баренцева моря микропластиком

Исполнитель _____
Панасенко Владислав Андреевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____
доктор биологических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)
Витковская Светлана Евгеньевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

_____ кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

_____ Дроздов Владимир Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 2024 г.

Санкт-Петербург

2024

Содержание	
Введение	3
Глава 1. Общемировая проблема загрязнения мирового океана микропластиком	5
1.1. Масштабы и источники микропластикового загрязнения мирового океана	5
1.2 Влияние микропластикового загрязнения на живые организмы и здоровье человека	13
1.3 Методы мониторинга микропластика в морской среде.....	16
Глава 2. Объекты и методы исследования.....	18
2.1 Физико-географическая характеристика акватории Баренцева моря	18
2.2.1 Экологический мониторинг Баренцева моря.....	21
2.2.2 Методы отбора проб и аналитических испытаний.....	24
Глава 3. Микропластиковое загрязнение морской среды Баренцева моря (результаты исследования).....	28
3.1 Антропогенные источники загрязнения акватории Баренцева моря	28
3.2 Содержание микропластика в акватории Баренцева моря в 2023г.	29
3.3 Сравнение результатов экспериментального и теоретического исследования.	34
Глава 4. Возможные мероприятия по снижению уровня микропластикового загрязнения акватории Баренцева моря.....	37
Выводы	38
Список использованных источников	39

Введение

Мировое производство и масштабы применения продукции из различных полимеров ежегодно растут. За период с 1950 по 2020 г. в мире было изготовлено около 9 млрд. тонн пластика, значительная часть которого вошла в состав твердых коммунальных отходов. По некоторым оценкам, только 9% этого объема подверглось вторичной переработке, 12% было сожжено, а 79% поступили на свалки и полигоны ТКО, а также бесконтрольно мигрировали в компонентах природной среды (Синицына и др., 2023).

В настоящее время микропластик можно рассматривать как одно из основных загрязняющих водную среду веществ, представляющих глобальную угрозу для биосферы в целом. На сегодняшний день отмечено повсеместное распространение микропластика в Мировом океане – в поверхностном и подповерхностном слое, в водной толще, а также в прибрежной (пляжной) зоне и донных отложениях (Хатмуллина, 2019). Более 80 % источников загрязнения вод Мирового океана являются сухопутными (береговыми). Доля пластика составляет более 60% от общего количества загрязняющих морскую среду веществ, из них как минимум 18% пластика поступает вследствие рыболовства, где используют снасти из полиолефинов (PE и PP) и нейлона (Козловский, Блиновская, 2015).

Микрочастицы пластика попадают в организм морской биоты, что приводит к негативным для них последствиям. Микропластик повреждает внутренние органы и приводит к образованию воспалений и язв. Последствия физического характера нередко приводят к физиологическим последствиям. Установлено, что пластик выделяет опасные токсические химические соединения, а также накапливает и переносит стойкие органические загрязнители (СОЗ). Таким образом, он влияет на репродуктивную систему морских организмов, их иммунитет и динамику популяции (Суворова, 2021).

Цель работы – оценить масштабы и уровень загрязнения акватории Баренцева моря микропластиком.

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- 1) Обобщить имеющуюся информацию по проблеме загрязнения Мирового океана микропластиком.
- 2) Представить физико-географическую характеристику Баренцева моря.
- 3) Представить результаты исследования микропластикового загрязнения морской среды Баренцева моря.
- 4) Сравнить результаты экспериментального и теоретического исследований.
- 5) Предложить возможные мероприятия по снижению уровня микропластикового загрязнения акватории Баренцева моря.

Работа изложена на 44 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 4 глав и выводов. Содержит 13 рисунков, 3 таблицы, список литературы включает 45 наименований.

Глава 1. Общемировая проблема загрязнения мирового океана микропластиком

1.1. Масштабы и источники микропластикового загрязнения мирового океана

Полимеры – это высокомолекулярные соединения, состоящие из повторяющихся структурных звеньев, которые связаны друг с другом химической связью. *Пластик (пластмассы)* - это органическое вещество, которое состоит из полимеров и мономеров с дополнительными добавками и наполнителями (Ершова, 2022).

Пластик, который встречается в мировом океане, имеет различные размеры: макропластик (более 200 мм вдоль наибольшей оси), мезопластик (от 5 до 200 мм), крупный (от 1 до 5 мм) и мелкий (от 0.3 до 1 мм) МП, нанопластик (менее 0.3 мм). Анализ находящегося на поверхности океана пластика по данным 24 экспедиций с 2007 по 2013 гг. указывает на то, что около 75% массы пластика – макрообъекты, 11% – мезопластик, 11% – крупный МП и 3% – мелкий МП (Чубаренко и др., 2021).

В мировой практике используется следующее определение *микропластика (МП)*: гетерогенная совокупность пластиковых частиц различных размеров в диапазоне от нескольких микрон до нескольких миллиметров (менее 5 мм), различной плотности (от 0.05 г/см³ (пенополистирол) до 2.1–2.3 г/см³ (политетрафторэтилен)), химического состава и формы (Хатмуллина, 2019).

Частицы МП, находящиеся в окружающей среде, подразделяются на два типа: “первичные” – изначально небольших размеров, и “вторичные” – образовавшиеся в результате фрагментации более крупного пластика. На данный момент около 80% частиц МП в водах мирового океана – вторичного типа (Чубаренко, 2021). *Первичный микропластик* производится целенаправленно для потребительских или производственных нужд. Например, пластиковые пеллеты, гранулы и микрогранулы. *Гранулы (гранулят) или пеллеты* – это пластиковое сырье (гранулы размером от 2 до 5 мм), которое изготавли-

вается для разных сфер полимерного производства. Гранулят в т.ч. используют в строительной сфере и промышленности - абразивные частицы применяются в пескоструйной очистке поверхностей. При перевозке пеллет возможны потери, которые приводят к тому, что он оказывается в окружающей среде, в т.ч. в реках, морях и океанах. *Микрогранулы* – это частицы размером как правило менее 1-0.5 мм – являются важной составляющей средств личной гигиены и косметики, которые придают средствам скрабирующие и другие очищающие свойства (по некоторым данным, в результате использования скрабов для лица в США в окружающую среду выбрасывается около 263 тонн полиэтилена в год). *Вторичный микропластик* образуется в результате разрушения более крупных пластиковых объектов и при процессах выветривания в результате дефрагментации более крупных объектов (Ершова, 2022; Хатмуллина, 2019; Чубаренко и др., 2021).

На рисунке 1.1 представлены примеры частиц первичного МП и вторичного МП.

Разрушение крупного пластика происходит как при прямом его использовании, так и в результате “естественного” процесса в окружающей среде (Чубаренко и др., 2021; Andrady, 2015; Казмирук, 2022).

Немаловажным источником МП являются пластиковые отходы, которые встречаются на территории пляжей, в поверхностных водах и толще океанов, но скорости их деградации заметно различаются. На побережье основной процесс – воздействие температуры. Деградация полимеров подразделяется в соответствии с агентами, которые ее запускают (Козловский, Блиновская, 2015):

- Биodeградация;
- термоокисление;
- фотodeградация;
- гидролиз.

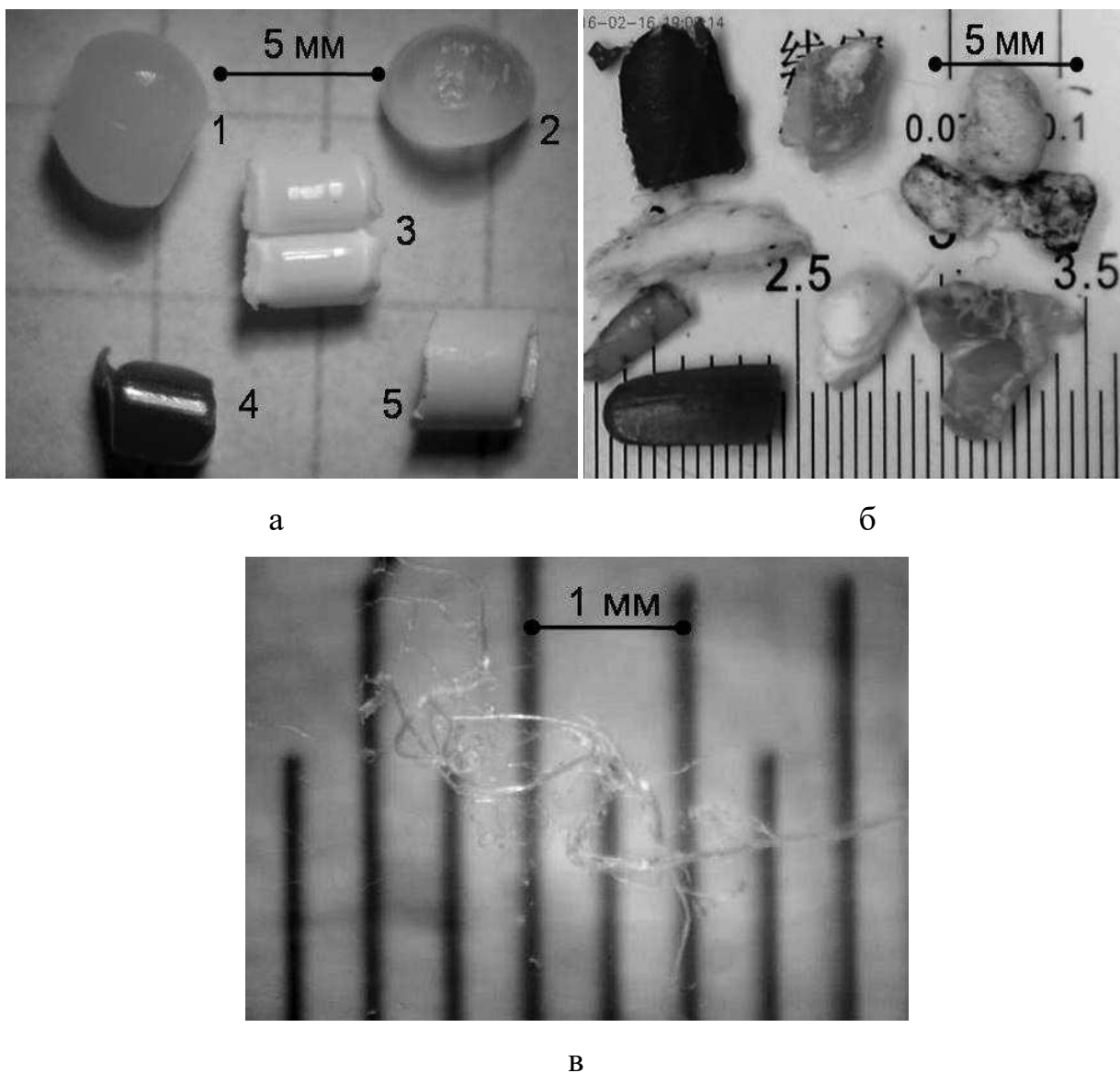


Рисунок 1.1 – Примеры частиц первичного и вторичного МП:
 а – промышленные гранулы (пеллеты) LDPE (1) и PP (2), гранулы PP (3) и PE (4, 5) после вторичной переработки; б, в – вторичный МП, собранный в морской среде – пленки, фрагменты, частицы пенополистирола, волокна (Чубаренко и др., 2021)

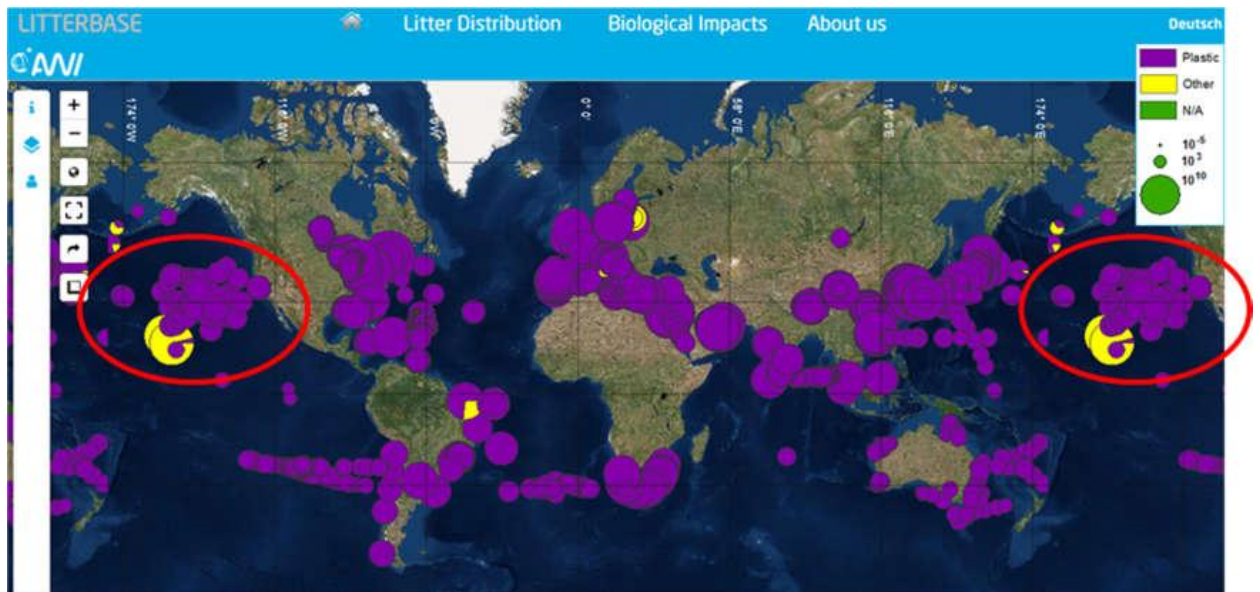
Учитывая тот факт, что основные разрушающие факторы в толще вод почти отсутствуют, очевидно, что вторичный МП поступает в мировой океан с суши, либо образуется на его границах. Микропластик, по всей видимости, попадает в океаны с речным стоком (Чубаренко и др., 2021).

В настоящее время не в полной мере установлены причины, которые бы объясняли повсеместное распространения микропластика, его гидродинамические особенности, пути переноса, области возможного накопления, балансы источников и стоков загрязнения. Следует отметить несоответствие оценок объемов пластика, поступающего в морские воды ежегодно (в 2010 г. – 4.8–12.7 млн тонн), и модельных оценок объемов пластика на поверхности океана (например, 268.94 тыс. тонн). И несмотря на ежегодное увеличение объемов поступления пластика в океан, увеличения концентрации пластика на поверхности океана не выявлено. Вероятно, главной причиной отсутствия аккумуляции пластика и микропластика на поверхности могут являться эффективные механизмы перемещения объектов с поверхности до дна. Впрочем, данных о концентрациях микропластика в водной толще и исследованиях процесса оседания микропластика в настоящее время очень мало (Хатмуллина, 2019).

К 2010 г. в 192-х прибрежных странах было произведено 275 миллионов тонн отходов пластика, а в мировом океане оказалось от 4,8 до 12,7 миллиона тонн. Уже тогда пластик составлял 60-80% загрязняющих водную среду веществ. Если текущий рост производства и обращения с отходами сохранятся, то к 2050 г. около 12 млрд т. пластика окажутся на свалках и в природной среде (Суворова, 2021; Barboza et al., 2019; Чубаренко и др., 2021).

Глобальная карта микропластикового загрязнения водной среды представлена на рисунке 1.2. Накопление пластика происходит в зонах сближения глобальных океанических круговых течений, которые располагаются в южных и северных субтропических частях Тихого и Атлантического океанов, а также в Индийском океане. Однако наиболее крупное скопление пластика (“большой тихоокеанский мусорный остров”) находится в северной части Тихого океана (рис. 1.2а). Концентрации микропластика в поверхностных водах в различных регионах Мирового океана представлены в таблице 1.1 (Хатмуллина, 2019).

а)



б)

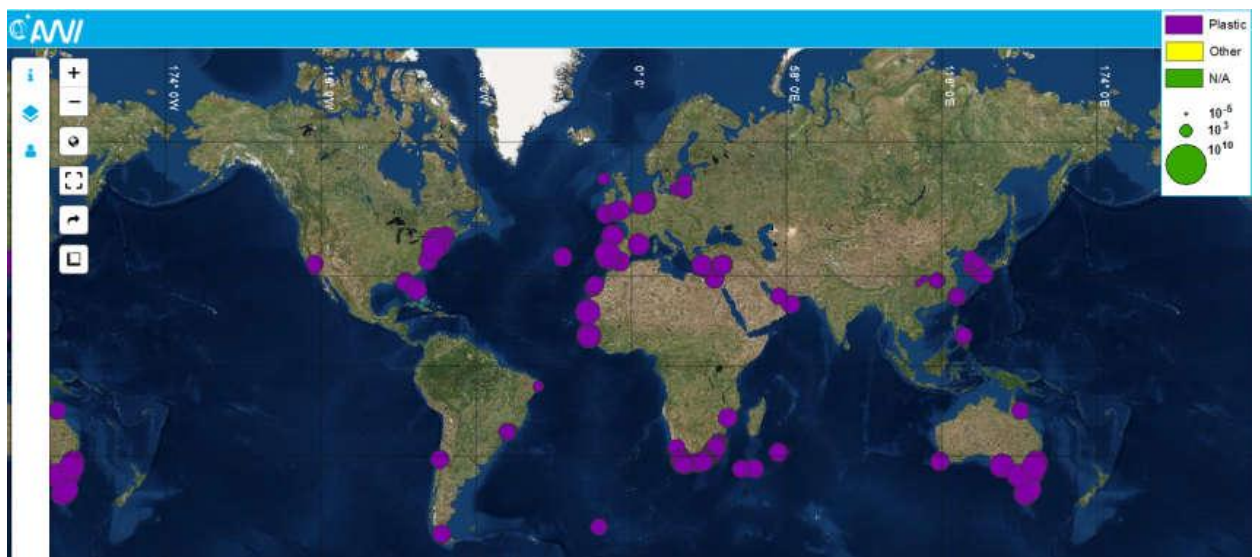


Рисунок 1.2 – Глобальная карта МП загрязнения а) поверхностных вод, красным цветом обведена область большого тихоокеанского мусорного острова;
б) донных отложений на основе опубликованных натурных данных [URL: <https://litterbase.awi.de/litter>, дата обращения: 15.04.2019] (Хатмуллина, 2019)

Таблица 1.1 – Средние концентрации микропластика в основных регионах Мирового океана (Хатмуллина, 2019)

Регион Мирового океана	Поверхность/толща вод/отложения/морской лед	Концентрации ($\times 10^3$)	Размер ячейки используемой септи/фильтра, мкм
Северная часть Тихого океана	поверхность	334,2 ед./км ²	335
	водная толща (глубина до 10 м.)	8-9,2 ед./м ³	62,5
Южная часть Тихого океана	поверхность	26,9 ед./км ²	335
Северная часть Атлантического океана	поверхность	0,5-25,0 ед./км ²	335
	дно	800,0 ед./м ³	32
Южная часть Атлантического океана	поверхность	70 ед./км ²	335
Индийский океан	поверхность	31,7 ед./км ²	335
	дно	28 ед./м ³	32
Южный океан, Антарктика	поверхность	100 ед./км ²	350
Северный Ледовитый океан	морской лед	0,04-0,23 ед./м ³	0,22
	поверхность	6 ед./км ²	500

Концентрации частиц МП на дне различных акваторий заметно выше, чем их содержание на поверхности или в водной толще (см. таблицу 1.1) (Хатмуллина, 2019). Это связано с плотностью пластика, которая определяется химическим типом полимера и обуславливает его поведение в морской воде. Полиамид (РА), поливинилхлорид (PVC), полистирол (PS), полиэтилен (PE), полипропилен (PP), полиэтилентерефталат (PET) и поливиниловый спирт (PVA) являются самыми распространенными в водах мирового океана. Плавучесть частиц микропластика, расположение в водной толще и особенности взаимодействия с биотой зависит от плотности полимера. На плавучесть

честь частиц влияют биологические процессы, такие как, биообрастание, неполная фрагментация, деградация и вымывание примесей. По данным некоторых исследований, около 50% пластика, находящегося в коммунально-бытовых отходах, обладает большей плотностью, чем морская вода, и при поступлении в океан постепенно опускаются на морское дно. Но менее плотный пластик (например: PE), может также обнаружиться в донных осадках. Это обуславливается тем, что биообрастание и колонизация организмами частицы микропластика делает их более тяжелыми, в результате чего они у них появляется отрицательная плавучесть и они опускаются на дно (Березина, 2023).

Предполагается, что в ближайшем будущем возможно возникновение шестого “мусорного острова” в мировом океане – Арктического (рис. 1.3). Пластик в Западную часть Арктики поступает с течениями из юго-востока Баренцева моря, где наблюдается интенсивный рыболовный промысел некоторыми странами Европы, а также проходят много судоходных трасс. В том числе пластик поступает сюда и с более южных широт, где находятся густонаселенные территории. В Западной Арктике пластик, в отличие от других зон Мирового океана, не попадает в круговорот океанических течений: здесь он оказывается в своеобразном “тупике” из полярного ледникового покрова и участка суши (арх. Новая Земля) и как следствие – накапливается на побережье островов Западной Арктики (рис. 1.3) (Ершова, 2022; Чубаренко и др., 2021).

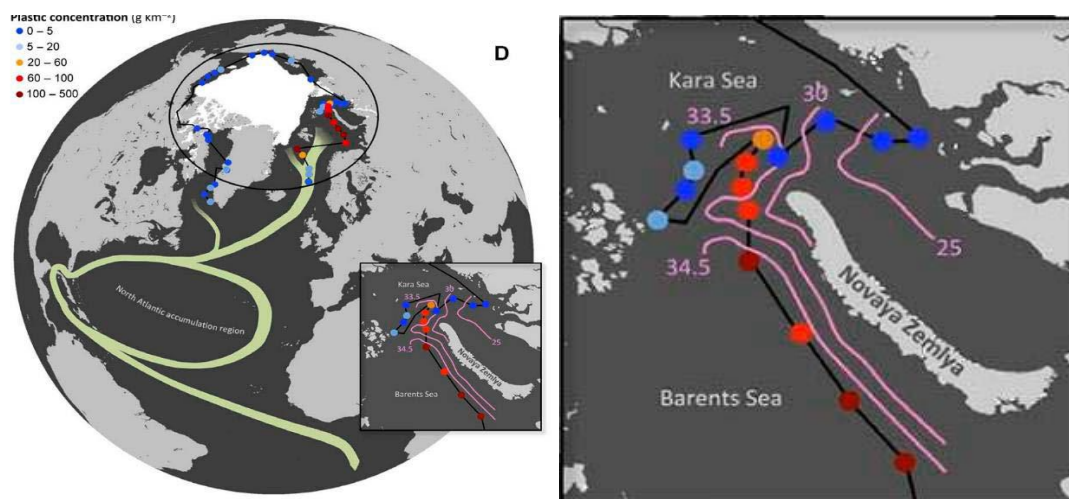


Рисунок 1.3 – Образование потенциального шестого “мусорного пятна” в Западной Арктике по результатам исследований Cozar et al., 2019: концентрации МП в поверхностном слое воды в г/м³ (Ершова, 2022)

Что касается оценки загрязнения микропластиком морей Российской Арктики, здесь наблюдаются определенные сложности. Источником поступления внушительного количества пластика в арктические моря являются атлантические течения из густонаселенных европейских и американских территорий. Микропластик, вероятно, оказывается в российских морях и благодаря тихоокеанским течениям. Доказательством этого факта является повышенное содержание МП в Чукотском (до 26 шт./м³), Беринговом (до 81 шт./м³) и Охотском морях (до 357 шт./м³).

По данным (Колончин и др., 2023) максимальные концентрации МП в Арктических морях в 2019–2022 гг. не превышали 0,15 ед./м³ (восточная часть Баренцева моря – 0,06 ед./м³; Чукотское море – 0,02 ед./м³; море Лаптевых – 0,02 ед./м³; Восточно-Сибирское море – 0,05 ед./м³; Карское море – 0,15 ед./м³). По данным (Yakushev et al., 2021) среднее содержание частиц МП на м³ составляло в Восточно-Сибирском, Лаптевых, Карском и Баренцевом морях 0,01, 0,002, 0,003 и 0,005 ед./м³, соответственно, что свидетельствует о низкой загрязнённости МП поверхностных вод морей российской Арктики, в сравнении с оценками в Финском заливе Балтийского моря (0,3–

2,1 ед./м³). То есть, оценки загрязнённости МП поверхностных вод морей российской Арктики существенно варьируются.

Исходя из результатов, полученных в работе группы исследователей из Thayer School of Engineering at Dartmouth College и Marine Biology and Ecology Research Centre (Obbard et al., 2014), концентрация частиц пластика в кернах льда центральной части Северного Ледовитого океана составила от 38 до 234 частиц на м³, что намного выше концентраций, установленных в сильно-загрязнённых океанических течениях.

1.2 Влияние микропластикового загрязнения на живые организмы и здоровье человека

Вопросы влияния микропластика на окружающую среду и здоровье человека на данный момент слабо изучены (Ластовина и др., 2020).

Можно выделить несколько процессов, связанных с наличием частиц микропластика в окружающей среде, которые могут вызвать негативные последствия у живых организмов. Прежде всего, это – употребление живыми организмами синтетических полимеров. Наличие пластика в пищеварительной системе млекопитающих, птиц и черепах к настоящему времени уже доказано: пластик зафиксирован у 100% особей морских черепах, 36% тюленей, 40% морских птиц и 59% китов. Т.к. пластик не разлагается ферментативной системой живых организмов, проглатывание пластика несет определенные риски, в т.ч. возможен летальный исход. В таблице 1.2 представлены среднее содержание и тип частиц микропластика в рыбах, птицах и беспозвоночных по опубликованным полевым исследованиям (Чубаренко и др., 2021; UNEP, 2021; Сапрыкин, Самойлов, 2021).

Таблица 1.2 – Среднее содержание и тип частиц микропластика в рыбах, птицах и беспозвоночных по опубликованным полевым исследованиям (Чубаренко и др., 2021)

Трофическая группа	Диапазон концентраций (среднее значение)	Состав загрязнения: виды частиц МП, среднее значение (диапазон)	
Рыбы	0-19 (1,4) шт./особь	Волокна	38% (0-100)
		Фрагменты	27% (0-94)
		Пеллеты	2% (0-24)
Беспозвоночные	0,47-11 (2,8) шт./особь	Волокна	91% (65-100)
	0,36-11 (3,05) шт./г	Фрагменты	13% (0-13)
		Пеллеты	5,3%
	1,7-47,0 шт./г	Волокна	
Птицы		Волокна	74% (55-100)
	14,2 шт./особь	Фрагменты	7,7% (0-7,7)
		Пеллеты	0%

Стойкие органические загрязнители (СОЗ) (такие как полихлорбифенилы, полициклические ароматические углеводороды и другие токсичные соединения), которые повсюду содержатся в водах океана в достаточно низких концентрациях, поглощаются микрочастицами пластика в результате взаимозамещения. Биодоступность накопленных в пластике СОЗ повышает опасность загрязнения. Следует также отметить, что на планктон высокие концентрации СОЗ оказывают токсикологический эффект (Козловский, Блиновская, 2015; Чубаренко и др., 2021; Хатмуллина, 2019; UNEP, 2021; Сапрыкин, Самойлов, 2021).

Свойства токсичности пластика определяются следующими факторами (Козловский, Блиновская, 2015; Хатмуллина, 2019; UNEP, 2021; Сапрыкин, Самойлов, 2021):

- Остаточные мономеры в составе пластика, или токсичные вещества, добавляемые при его производстве, выщелачиваются из-за потребления частиц пластика морскими организмами.
- Токсичное воздействие промежуточных продуктов частичного разрушения пластика.
- Стойкие органические загрязнители со временем поглощаются из морской воды и накапливаются в пластике и микропластике. Частички микропластика становятся биодоступными и появляются определенные риски для морской биоты при поступлении в их организм.

Известно, что полимеры могут накапливать и тяжелые металлы (Ashton et al., 2010).

Понятие “пластисфера” было предложено для характеристики экосистем, которые изменились для того, чтобы функционировать в новой искусственной полимерной среде. В пластисфере, вероятно, могут находиться патогенные микроорганизмы. Так как пластик не разрушается в океане очень долгое время, микроорганизмы на его поверхности могут мигрировать значительно далеко. Также существуют предположения, что обитатели пластисферы способны изменить пластик, увеличивая или снижая его негативное влияние на морские экосистемы (Чубаренко и др., 2021; UNEP, 2021; Кизеев, Сюрин, 2022).

Наличие микропластика в морепродуктах может нести существенную угрозу для человеческого здоровья. Установлено, что при систематическом употреблении морепродуктов в человеческий организм может поступать до 11 тысяч частиц микропластика в год (Чубаренко и др., 2021; Сеницына и др., 2023).

Некоторые исследования свидетельствуют, что определенные загрязнители, адсорбированные из морских вод пластиком, могут негативно влиять на эндокринную систему человека (Talsness et al., 2009). Наиболее опасные загрязнители – фталаты и бисфенол А (BPA), которые способны нарушать репродуктивную функцию и иметь канцерогенное воздействие даже в очень

малых дозах. Самые большие риски для здоровья человека могут нести такие полимеры, как: полиуретаны (имеются как в твёрдых пластмассах, так и в синтетических волокнах), поливинилхлорид (применяется в бутылках, трубах и упаковке непищевого назначения), эпоксидные смолы (адгезивы и металлические покрытия), а также стирольные полимеры (изоляция из пенополистирола). Зафиксировано также присутствие микропластика в крови человека (Чубаренко и др., 2021; Сеницына и др., 2023).

1.3 Методы мониторинга микропластика в морской среде

Вести наблюдения за микропластиковым загрязнением морской среды значительно сложнее, чем за крупными пластиковыми объектами. В настоящее время отсутствуют стандартизированные методики мониторинга частиц микропластика в морской среде. Та или иная страна использует руководящие документы, которые существуют на данной территории. В США действует протокол по исследованию МП, который был разработан Национальным агентством по океану и атмосфере (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA). В Европе используют рекомендации Морской рамочной директивы. Страны Северо-Атлантического региона используют протоколы сбора крупного морского мусора конвенции ОСПАР, а также рекомендации консультативной научной группы экспертов ООН. В Балтийском регионе действуют рекомендации ХЕЛКОМ по мониторингу МП в воде и донных отложениях. Однако методик мониторинга микропластикового загрязнения морской среды, закреплённых в системе Гидрометеорологической службы Российской Федерации, на данный момент не существует (Ершова, 2022).

Пробы МП в морской среде могут отбираться: путем сбора донных отложений и береговых наносов, из поверхностного слоя, а также водного столба (Зобков, 2018).

Пробы с поверхностного слоя воды отбираются нейстонными сетями. Они осуществляют отбор проб с большой площади поверхности воды, а также параллельно отбирают МП и зоопланктон для количественного их сравнения. Также существует метод отбора проб воды пробоотборной системой со съемными фильтрами, которая встроена непосредственно в проточную систему судна. Пробы из водного столба отбираются с помощью сетей для зоопланктона, лучевого трала для сбора бентоса, погружных помп, и очень редко – с помощью системы забора воды из забортного пространства судна. Для отбора полнообъемных проб используют батометры. Пробы береговых наносов отбирают в различных местах пляжа. Отбор проб донных отложений проводится дночерпателями (Петерсона, Экмана-Берджа, Ван Вина), донного трала или стратометра (Зобков, 2018; Казмирук, 2018; Ершова, 2022).

Для анализа тех или иных размерных групп пластика необходимо использовать соответствующие им методики идентификации. Распространенным методом обнаружения является визуальный, а также пиролизная газовая хроматография с масс-спектрометрией. Однако наиболее качественную идентификацию получают с помощью применения спектрометрических методик. Для идентификации МП пользуются такими аналитическими методиками, как пиролизная ГХ–МС, Рамановская спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия, а также ИК-Фурье спектрометрия (Зобков, 2018; Казмирук, 2018; Ершова, 2022).

Глава 2. Объекты и методы исследования

2.1 Физико-географическая характеристика акватории Баренцева моря

Географическое положение и рельеф дна. Баренцево море расположено на шельфе СЛО между северным побережьем Европы и тремя архипелагами – Шпицберген, Новая Земля и Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) (рис. 2.1). Границы акватории простираются от 8.0° в. д. на западе до 68.5° в. д. на востоке и от 66.7° с. ш. на юге до 82.5° с. ш. на севере. Площадь поверхности моря – 1,4 тыс. км², объем воды 316 тыс. км³ (Зонн, 2015 ; Система Баренцева моря..., 2021).

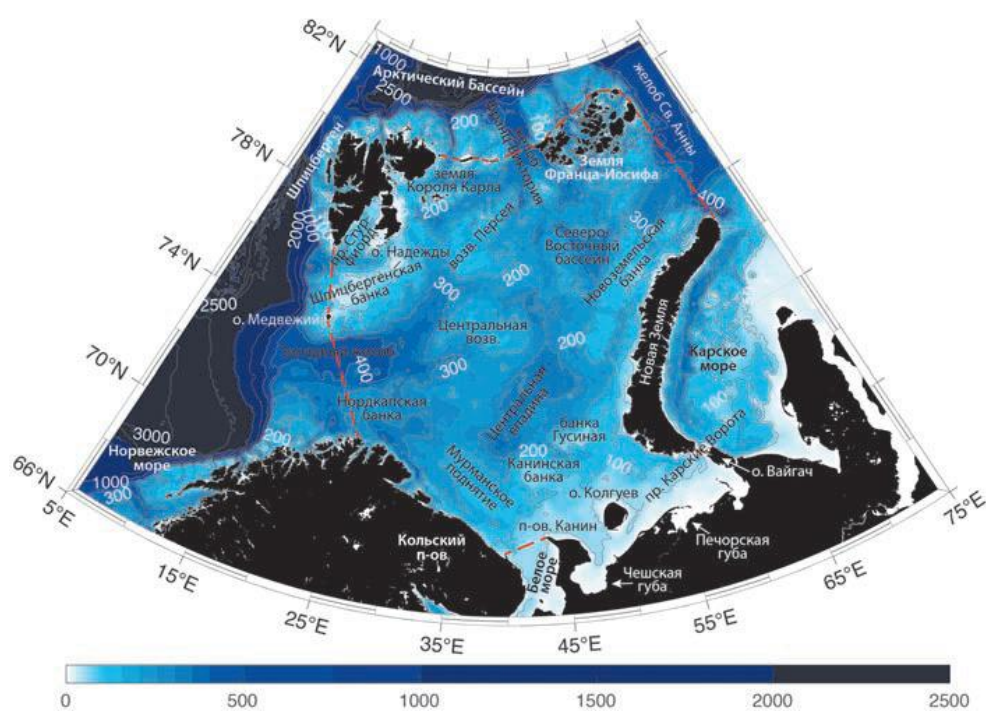


Рисунок 2.1 – Рельеф дна и официальные границы Баренцева моря (красный пунктир). (Система Баренцева моря..., 2021)

Из всех шельфовых морей, охватывающих СЛО, Баренцево море отличается максимальной глубиной. В западной части акватории находятся самые глубокие районы моря. Средняя глубина дна моря варьируется от 190 до 230 м. Наибольшая глубина составляет 600 м. (Система Баренцева моря..., 2021).

Климатические условия. Климат Баренцева моря характеризуется как арктический и субарктический. Годовое количество осадков в северном районе акватории – 300 мм., в западном районе – 500 мм. Поверхностные течения в акватории характеризуются циклоническим круговоротом. Севернее 74°с. ш. и в юго-восточной части Баренцева моря температура поверхностного слоя воды в зимний период варьируется от –1 °С и ниже. В летний период температура в северной части акватории варьируется от 0 до +4 °С, в южно-восточной части – от +4 до +7 °С. В марте на юго-западе акватории температура поверхностного слоя воды варьируется от +3 до +5 °С, в августе от +7 до +9 °С. Для климата акватории характерен низкий радиационный баланс и чередование полярного дня и ночи,. (Экологический Атлас..., 2020).

С юга на север и с запада на восток по всей водной толще происходит понижение температуры поверхностных вод. В юго-западном и центральном районе моря наблюдается положительная температура в течении всего года (Система Баренцева моря..., 2021). Температуры придонного слоя идентичны минимальным температурам поверхностного слоя в зимний период (Экологический Атлас..., 2020).

Соленость в Баренцевом море зависит от перемешивания арктических, прибрежных и атлантических водных масс, осадков и испарения, образования и таяния льда, а также речным стоком (Система Баренцева моря..., 2021).

Соленость Баренцева моря варьируется от 33,0 до 35,2 psu (кроме юго-восточной части моря). В поверхностном слое соленость распределена менее равномерно, чем в придонном слое. Наибольшая соленость отмечена в западном районе моря, подверженным влиянию вод Атлантического океана. Юго-восточная часть моря характеризуется наиболее пресными водами. Это связано с поступлением в данную часть моря пресных материковых вод. (Экологический Атлас..., 2020).

Гидрологический режим. Определяющее влияние на гидрологический режим моря оказывает интенсивность его водообмена с соседними морями

(Норвежским, Гренландским и Белым) и с Северным Ледовитым океаном (Экологический Атлас..., 2020).

На рисунке 2.2 показана схема течений в Баренцевом море.

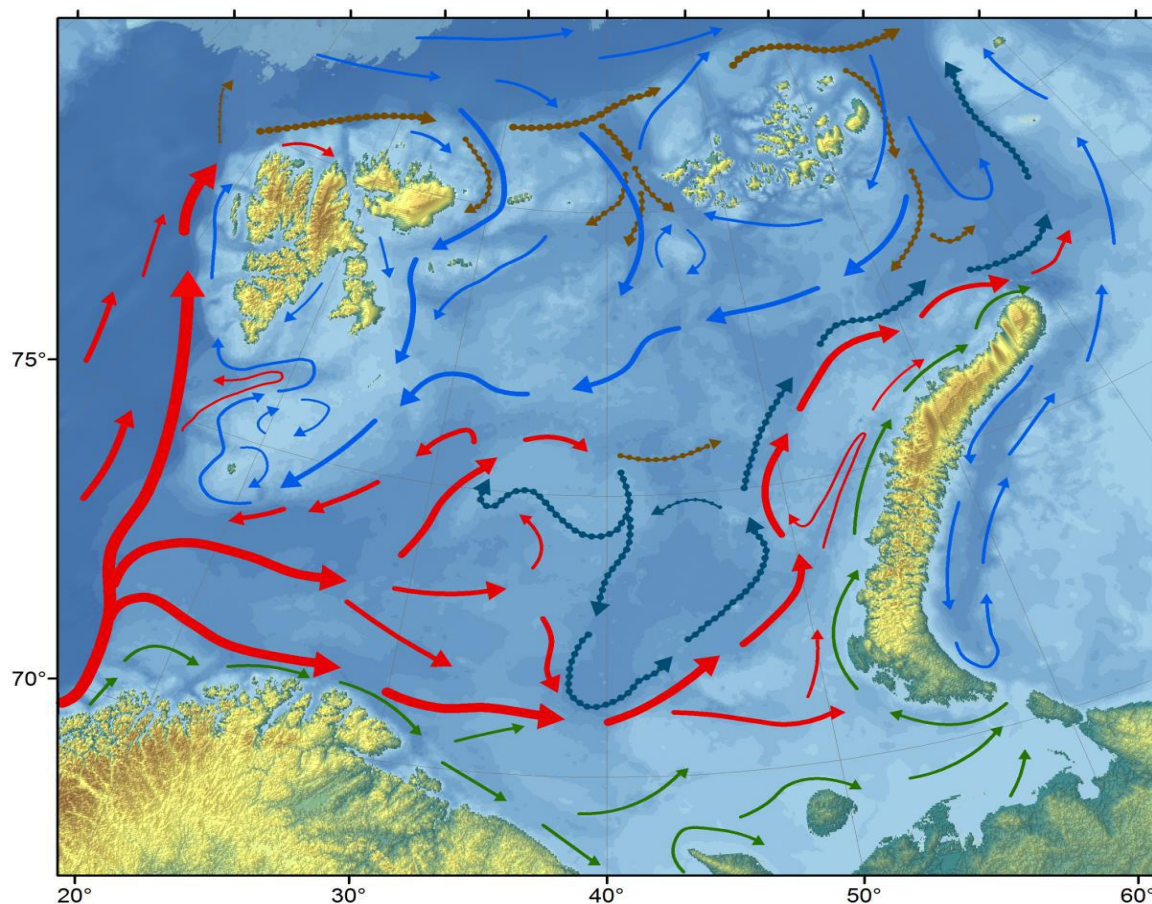


Рисунок 2.2 – Схема течений в Баренцевом море (Ожигин и др., 2016)

На представленной схеме стрелками красного цвета отмечен перенос атлантических вод, зеленого цвета – прибрежных вод, синего цвета – арктических вод, пунктиром темно-синего цвета – холодных донных вод, пунктиром темно-коричневого цвета – трансформированных атлантических вод (Ожигин и др., 2016).

Ледовые условия. Ледовые условия Баренцева моря сильно меняются в зависимости от сезона и определенного года. Ледовый режим акватории определяется влиянием атмосферы, а также взаимодействием холодных водных масс СЛО и теплых атлантических водных масс. Образование льда обычно

начинается в сентябре, а таяние и разрушение начинается в мае и продолжается до октября (Экологический Атлас..., 2020).

Северная часть акватории характеризуется наличием айсбергов, образующихся от ледников Новой Земли, Земли Франца-Иосифа и Шпицбергена. Часть льда поступает в акваторию из Арктического бассейна (около 40 км³ в год) (Система Баренцева моря..., 2021).

2.2 Методы исследования

Для оценки уровней загрязнения вод Баренцева моря использовали данные государственного экологического мониторинга и данные, полученные в ходе проведения научных экспедиций. С целью оценки содержания микропластика в морской воде в лабораторных условиях были проведены также аналитические испытания проб, отобранных в акватории Баренцева моря в рамках экспедиции “Арктический плавучий университет – 2023. Рейс № 1” на научно-исследовательском судне “Профессор Молчанов”, с 23 июня по 14 июля 2023 года. Отбор проб проводила канд. геогр. наук, доцент кафедры геоэкологии, природопользования и экологической безопасности, заведующая Лабораторией исследования пластикового загрязнения природной среды (PlasticLab) РГГМУ, Ершова А.А.

2.2.1 Экологический мониторинг Баренцева моря

Государственный экологический мониторинг акватории Баренцева моря осуществляется Северным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Северное УГМС...).

ФГБУ “Северное УГМС” имеет в распоряжении 3 морских судна: научно-экспедиционное “Михаил Сомов”, научно-исследовательское “Профессор Молчанов”, научно-исследовательское “Иван Петров”. Научный флот Северного УГМС проводит исследования в восточной и западной части Арктического региона – в Восточно-Сибирском море, в море Лаптевых, а также в Карском, Баренцевом и Белом морях (Северное УГМС...).

Государственный экологический мониторинг акватории Баренцева моря, в том числе Кольского залива Баренцева моря, также осуществляется Мурманским УГМС. С января по ноябрь 2020 г., один раз в два месяца, Мурманским УГМС был проведен отбор 6 проб воды из поверхностного слоя на гидрологическом посту в торговом порту г. Мурманск (рис. 2.3, ВПМ) (Качество морских вод..., 2021).

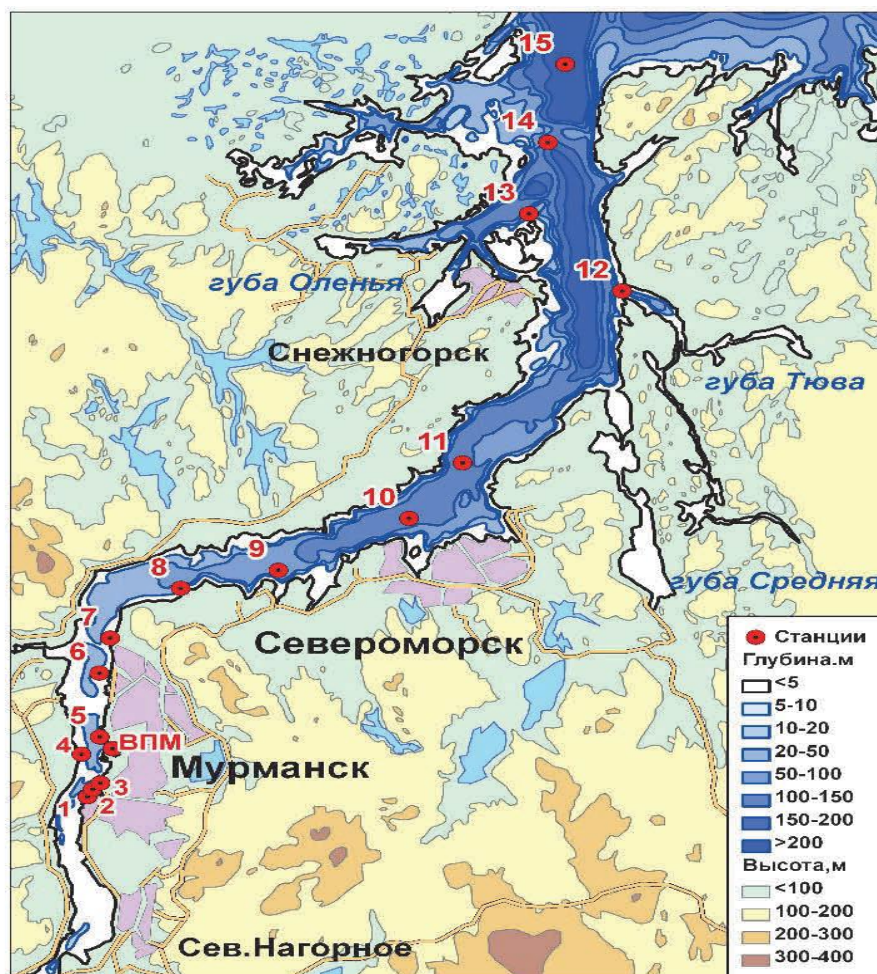


Рисунок 2.3 – Станции гидрохимического мониторинга в Кольском заливе Баренцева моря (Качество морских вод..., 2021).

В пробах определялись такие показатели и вещества, как температура, соленость, рН, металлы, нефтяные углеводороды, соединения азота, силикаты, концентрации взвешенных веществ и фосфатов, а также хлорорганиче-

ские пестициды. Концентрации микропластика в данных пробах не определялись (Качество морских вод..., 2021).

Следует также отметить, что в системе государственного экологического мониторинга отсутствуют наблюдения за микропластиковым загрязнением окружающей среды, так как в Российской Федерации нет соответствующих стандартов.

Экологический мониторинг, проводимый в рамках научных экспедиций. Мониторинг, проводимый в рамках проекта «Трансарктика-2019». Благодаря проекту “Трансарктика-2019” получили развитие различные программы научных исследований арктических регионов. Одной из задач проекта было возродить комплексные научные исследования морей Арктического региона (Арктический...<https://www.aari.ru>).

Экспедиции состояли из нескольких этапов. В рамках экспедиций проводилось температурно-ветровое зондирование атмосферы, мониторинг морских млекопитающих и птиц, а также отбор проб морской воды на содержание МП (Материалы инф. письма..., 2019 г.).

Мониторинг, проводимый в рамках проекта “Арктический плавучий университет”. В 2021 г. проводились наблюдения в рамках проекта “Плавучий Университет – 2021” на научно-исследовательском судне “Академик Мстислав Келдыш”. Маршрут экспедиции представлен на рисунке 2.4 (Материалы инф. письма..., 2022 г.).

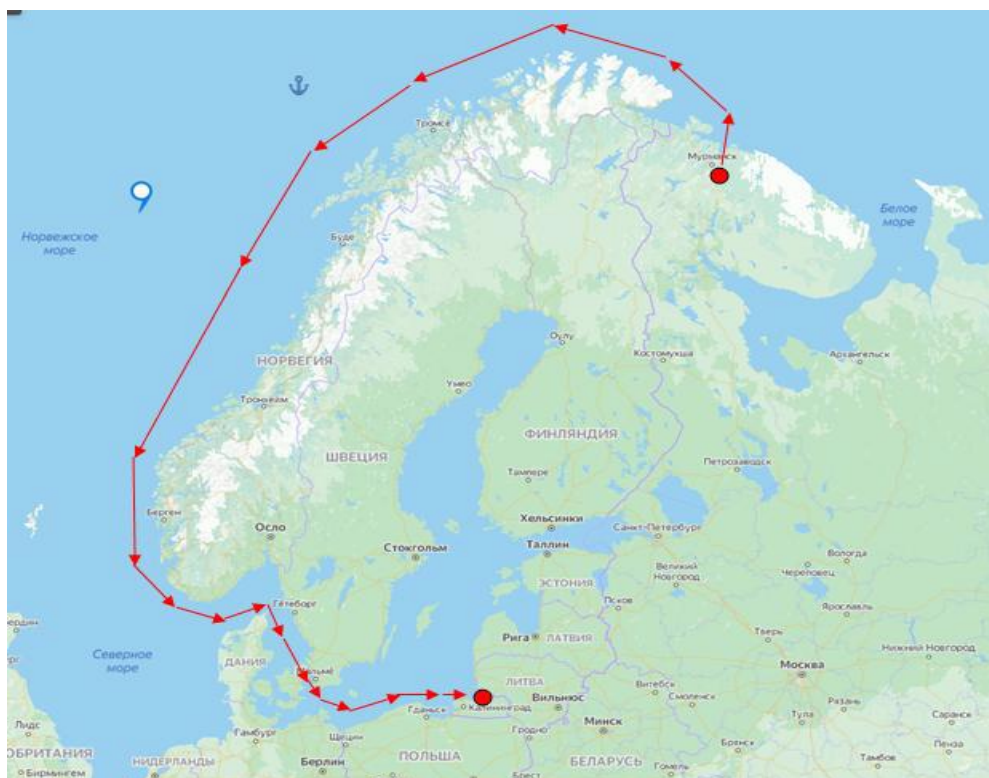


Рисунок 2.4 – Маршрут экспедиции (Материалы инф. письма..., 2022 г.).

В ходе экспедиции были использованы различные методики, в т.ч. методика мониторинга загрязнения пластиком водной поверхности (Материалы инф. письма..., 2022 г.).

В рамках экспедиции “*Арктический плавучий университет-2022: Меняющаяся Арктика*” проведены исследования по микропластиковому загрязнению морей российской Арктики. Также было проведено исследование загрязненности морским мусором побережий островов Баренцева моря по методике OSPAR (Материалы инф. письма..., 2022 г.).

2.2.2 Методы отбора проб и аналитических испытаний

Пробы воды, отобранные из акватории Баренцева, были предоставлены нам для анализа кандидатом геогр. наук, доцентом кафедры геоэкологии, природопользования и экологической безопасности Ершовой А.А.

Отбор проб морской воды на исследование содержания в ней частиц микропластика проводился в рамках экспедиции “Арктический плавучий

университет – 2023. Рейс № 1” на научно-исследовательском судне “Профессор Молчанов”. Рейс № 1 экспедиции проходил по маршруту: Архангельск – о. Колгуев – о. Вайгач – Русская Гавань (Новая Земля) – Оранские острова – мыс Желания (Новая Земля) – Ледяная Гавань (Новая Земля) – о. Сосновец – Архангельск, с 23 июня по 14 июля 2023 года (САФУ). Пробы морской воды отбирались методом использования пробоотборной фильтровальной системы HydroPuMP, со съемными фильтрами, которая встроена непосредственно в проточную систему судна. Пример данной системы представлен на рисунке 2.5. В рамках данного метода используется погружной насос, который закачивает воду с подповерхностного слоя. В конструкцию монтируется фильтровальная установка, в которой находятся металлические фильтры разного размера ячейки для улавливания тех или иных частиц МП (50, 100, 200 мкм) (Ершова, 2022).



Рисунок 2.5 – Пример пробоотборной системы, встроенной в проточную систему судна (Ершова, 2022).

Для получения более широкой выборки частиц МП объем профильтрованной воды должен составлять от одной тысячи литров. Используются ячейки фильтра определенных размеров в зависимости от исследования. Причина заключается в высокой продуктивности некоторых морей и повышенным количеством фитопланктона и зоопланктона, засоряющего фильтр. Фильтры являются съемными. Проточная система отбирает забортную воду по мере движения судна с глубины 3-5 м. (подповерхностный горизонт) (Ершова, 2022).

В рамках данного исследования было обработано 12 проб морской воды, а именно пробы № 5-10 и № 12-17. Лабораторная обработка проб воды проводилась *по методике NOAA* (Masura et al., 2015).

Глава 3. Микропластиковое загрязнение морской среды Баренцева моря (результаты исследования)

3.1 Антропогенные источники загрязнения акватории Баренцева моря

3.2 Содержание микропластика в акватории Баренцева моря в 2023г.

3.3 Сравнение результатов экспериментального и теоретического исследования.

Глава 4. Возможные мероприятия по снижению уровня микропластикового загрязнения акватории Баренцева моря

Выводы

1. В настоящее время микропластик составляет более 60% загрязняющих морскую среду веществ, представляющих глобальную угрозу для биосферы в целом. Микропластик в Мировом океане обнаружен в поверхностном и подповерхностном слоях, в водной толще, в зоне пляжей и донных отложениях.
2. Более 80% загрязняющих Мировой океан веществ поступает с континентов. Микрочастицы пластика оказывают комплексное негативное влияние на морскую биоту, в том числе, на репродуктивную систему гидробионтов, их иммунитет и динамику популяций.
3. Гидрологический режим Баренцева моря определяется интенсивностью его водообмена с соседними морями (Норвежским, Гренландским и Белым) и с Северным Ледовитым океаном и оказывает влияние на распределение и накопление микропластика в его акватории.
4. Результаты анализа проб воды показали, что содержание частиц микропластика в подповерхностном слое (4-5 м.) Баренцева моря в 2023 году составило от 0 до 4,16 шт./м³ (среднее содержание – 2,08 шт./м³). На станциях 5, 15, 16 и 17 были отмечены наибольшие концентрации микрочастиц пластика. В целом, загрязнение морской среды Баренцева моря микропластиком, на основе полученных данных, можно охарактеризовать как незначительное.
5. Данные о микропластиковом загрязнении вод северных морей, представленные рядом авторов, в период 2021-2023 гг. существенно варьируются: от 0,005 до 8 шт./м³. Различия в концентрациях могут быть связаны с тем, что пробы морской воды отбирались в разных частях акватории и разными методами.
6. Выявлено, что в морфологическом составе микропластика, загрязняющего Баренцево море, преобладают нитевидные микроволокна (91%). Считаем целесообразным рекомендовать совершенствование системы очистки сточных вод с целью предотвращения поступления микропластика в водные объекты, ужесточение требований для очистных сооружений, водоканалов и промышленных предприятий.

Список использованных источников

1. Арктический и антарктический научно исследовательский институт [Электронный ресурс] – URL: <https://www.aari.ru/projects/transarktika-2019> (дата обращения: 22.05.2024).
2. Березина А.В. Моделирование влияния биогеохимических процессов на перенос микропластика в северном ледовитом океане: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 1.6.17 / А.В. Березина. – Москва, 2023. – 114 с.
3. Ершова А. А. Пластиковое загрязнение Мирового океана: учебное пособие / А. А. Ершова, Т. Р. Ерёмина. – СПб: РГГМУ, 2022. – 172 с.
4. Ершова А. А., Еремина Т. Р., Макеева И. Н. [и др.]. Микропластиковое загрязнение морской среды Баренцева и Карского морей в 2019 г // Гидрометеорология и экология. – 2022. – № 69. – С. 691-711. – EDN HLRAAO
5. Зобков М. Б. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов / М. Б. Зобков, Е. Е. Есюкова // Океанология. – 2018. – Т. 58, № 1. – С. 149-157. – DOI 10.7868/S0030157418010148. – EDN YPKSDV.
6. Зонн И. С. Баренцево море. Энциклопедия : энциклопедия / И. С. Зонн, А. Г. Костяной ; под редакцией Г. Г. Матишова. — Москва : Международные отношения, 2015. — 272 с.
7. Иванова Л.В., Соколов К.М., Харитонов Г.Н. Тенденции загрязнения пластиком акваторий и побережья Баренцева моря и сопредельных вод в условиях изменения климата // Арктика и Север. 2018. № 32. С. 121–145. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2018.32.121
8. Казмирук В.Д. Микропластик в водных объектах: источники и некоторые особенности поведения частиц // Материалы I Всероссийской конференции с международным участием по загрязнению окружающей среды микропластиком «MicroPlasticsEnvironment-2022» (MPE-2022), 02–06 августа 2022 г., п. Ши́ра, Хакасия / общ. ред. Ю.А. Франк. – Томск : Издательство Томского государственного университета, 2022. – 132 с.

9. Казмирук, В. Д. Оценка и мониторинг загрязнения водных объектов микропластиком / В. Д. Казмирук, Т. Н. Казмирук // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири : Монография. В 5 томах / Под редакцией В.Г. Сычева, Л. Мюллера. Том II. – Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2018. – С. 373-377. – DOI 10.25680/5741.2018.49.57.177. – EDN YPQLZJ
10. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2020. – Под ред. Коршенко А.Н., Москва, «Наука», 2021, 230с.
11. Кизеев А.Н., С.А. Сюрин. Микропластик как фактор риска для функционирования арктических водных экосистем и для здоровья человека// Материалы I Всероссийской конференции с международным участием по загрязнению окружающей среды микропластиком «MicroPlasticsEnvironment-2022» (MPE-2022), 02–06 августа 2022 г., п. Шира, Хакасия / общ. ред. Ю.А. Франк. – Томск : Издательство Томского государственного университета, 2022. – 132 с.
12. Козловский Н.В., Блиновская Я.Ю. Микропластик – макропроблема Мирового океана // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 10-1. – С. 159-162
13. Колончин К.В., Педченко А.П., Беляев В.А. Исследования содержания микропластика в воде и промысловых рыбах: от научного поиска к масштабному мониторингу. Труды ВНИРО. 2023;193:162-173.
14. Ластовина Т.А., Галушка С.С., Бескопыльный Е.Р., Клещенков А.В., Филатова Т.Б., Пляка П.С., Будник А.П. Загрязнение микропластиком природных водоемов: концентрации, риски и методы исследований // Труды южного научного центра российской академии наук, 2020 г. 237-255 с.
15. Материалы Информационного письма № 201 за 2019 год [Электронный ресурс] – URL: <http://www.sevmeteo.ru/company/i/letter-201.pdf> (дата обращения: 23.05.2024)

16. Материалы Информационного письма № 204 за 2022 год [Электронный ресурс] – URL: <http://www.sevmeteo.ru/company/i/letter-204.pdf> (дата обращения: 23.05.2024)
17. Малинин В. Н, Вайновский П. А. Когда наступит безледный режим регионов Арктики? // Ученые записки РГГМУ. 2019. № 56. С. 98—109
18. Ожигин В.К., Ившин В.А., Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Анциферов М.Ю. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО, 2016. – 260 с.
19. Погожева М. П., Якушев Е. В., Терский П. Н. [и др.]. Оценка загрязнения Баренцева моря плавающим морским мусором по данным судовых наблюдений в 2019 г. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 2. – С. 87-96. – DOI 10.18799/24131830/2021/2/3045. – EDN SIAACU.
20. Сапрыкин А. И., Самойлов П. П. Микро- и нанопластики в окружающей среде (Аналитика, источники, распределение и проблемы экологии): аналит. обзор / Федер. гос. бюджет. учреждение науки Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отд-ния Рос. акад. наук. – Новосибирск : ГПНТБ СО РАН, 2021. – 115 с. – (Сер. Экология. Вып. 110)
21. Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс] – URL: <http://www.sevmeteo.ru/monitoring/> (дата обращения: 21.05.2024)
22. Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс] – URL: <http://www.sevmeteo.ru/press/base/> (дата обращения: 21.05.2024)
23. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. [Электронный ресурс] – URL: https://narfu.ru/science/expeditions/floating_university/2023/1-reys/ (Дата обращения: 28.05.2024)
24. Система Баренцева моря / под ред. академика А. П. Лисицына. – М.: ГЕОС, 2021. 672 с.

25. Синицына О.О., Еремин Г.Б., Турбинский В.В., Пушкарева М.В., Ширяева М.А., Маркова О.Л., Борисова Д.С. Загрязнение микропластиком воды – угроза здоровью человека и окружающей среде (обзор литературы) // Анализ риска здоровью - 2023 № 3. С. 172-179
26. Суворова А.А. Микропластик в океане: обзор проблемы и актуальные направления исследований // Экология гидросферы. 2021. №1 (6). С. 1–7.
27. Хатмуллина Л.И. Свойства частиц морского микропластика и его вертикальное распределение в водной толще Балтийского моря: автореф. ... канд. физ.-мат. наук: 25.00.28 / Л.И. Хатмуллина. – Калининград, 2019. – 134 с.
28. Хатмуллина Л.И. Свойства частиц морского микропластика и его вертикальное распределение в водной толще Балтийского моря: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 25.00.28 / Л.И. Хатмуллина. – Калининград, 2019. – 134 с.
29. Чубаренко, И.П. Микропластик в морской среде : монография / И.П.Чубаренко, Е.Е. Есюкова, Л.И. Хатмуллина, О.И. Лобчук, И.А. Исаченко, Т.В. Буканова. Москва : Научный мир, 2021. – 520 с.
30. Экологический Атлас. Баренцево море / ПАО «НК «Роснефть», ООО «Арктический Научный Центр», Фонд «НИР». — Москва: Фонд «НИР», 2020. — 447, [1] с. : ил. — (Экологические атласы морей России)
31. AMAP, 2021. AMAP Litter and Microplastics Monitoring Guidelines. Version 1.0. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Tromsø, Norway, 257 pp.
32. Andrady A.L. (2015) *Plastics and Environmental Sustainability*. Wiley. ISBN: 978-1-118-31260-5. P. 352.
33. Ashton K., Holmes L., Turner A., 2010. Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 60 (11), 2050–2055.
34. Barboza L., Cozar A., Gimenez B., Barros T., Kershaw P., Guilhermino L. Macroplastics pollution in the marine environment // *World Sea: An environmental*. 2019. P. 305–328.

35. Berezina, Anfisa & Pakhomova, S.V. & Zhdanov, Igor & Mekhova, Olga & Polivanova, Tatiana & Novikov, Matvei & Pogojeva, Maria & Osadchiev, Alexander & Stepanova, Natalia & Yakushev, Evgeniy. (2023). Surface microplastics in the Kara Sea: from the Kara Gate to the 83°N. *Frontiers in Marine Science*. 10. 10.3389/fmars.2023.1268879.
36. Ershova A., Vorotnichenko E., Kotelnikov V., Krutikov I. Marine litter accumulation patterns in the Russian part of the Barents Sea // MICRO 2022 conference (14—18 November 2022): [Электронный ресурс]. Режим доступа: sciencesconf.org/micro2022:427312 (дата обращения: 30.05.2024)
37. Masura J., Baker J., Foster G., Courtney A. (2015) Laboratory methods for the analysis of MPs in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48. 31 p.
38. MSFD Technical Subgroup on Marine Litter. Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas. 2013. 128 pp. doi:10.2788/99475
39. Mukhanov V. S., Litvinyuk D. A., Sakhon E. G. [et al.]. A new method for analyzing microplastic particle size distribution in marine environmental samples // *Ecologica Montenegrina*. – 2019. – Vol. 23. – P. 77-86. – EDN COCATH
40. Obbard R.W., Sadri S., Wong Y.Q., Khitun A.A., Baker I., Thompson R.C. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice // *Earth's Future*. 2014. No. 2 (6). Pp. 315–320. DOI: 10.1002/2014EF000240
41. OSPAR Commission, 2007: Monitoring of marine litter on beaches in the OSPAR region. OSPAR Pilot Project on Monitoring Marine Beach Litter Report. N. 306/2007.75 p.
42. Talsness, C.E., Andrade, A.J.M., Kuriyama, S.N., Taylor, J.A. and Saal, F.S.V. (2009) Components of Plastic: Experimental Studies in Animals and Relevance for Human Health. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 364, 2079.
43. United Nations Environment Programme (2021). From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi, 148 p.

44. Yakushev E., Gebruk A., Osadchiev A. Pakhomova S., Lusher A., Berezina A., Bavel B., Vorozheikina E., Chernykh D., Kolbasova G., Razgon I., Semiletov I. 2021. Microplastics distribution in the Eurasian Arctic is affected by Atlantic waters and Siberian rivers // Commun Earth Environ 2, 23 (2021). DOI: 10.1038/s43247-021-00091-0
45. Zhdanov I., Lokhov A., Belesov A., Kozhevnikov A., Pakhomova S., Berezina A., Frolova N., Kotova E., Leshchev A., Wang X., Zavialov P., Yakushev E. Assessment of seasonal variability of input of microplastics from the Northern Dvina River to the Arctic Ocean // Marine Pollution Bulletin. 2022. Vol. 175: 113370. doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.113370