МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(магистерская диссертация)

На тему Методические основы экологического мониторинга микропластикового загрязнения водных объектов Российской Федерации

Исполнитель Суйунбекова Канykей Суйунбековна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Ершова Александра Александровна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

зав. кафердрой ГПЭБ, кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

«___»_____2022 г.

Санкт–Петербург 2022

Оглавление

Введение 4

Глава 1. Обзор микропластикового загрязнения окружающей среды 6

1.1Общие сведения о пластике. 6

1.1.1Виды и размерные классы микропластика 8

1.2 Общая картина загрязнения Мирового океана пластиком 10

1.3 Пути попадания пластика в водные объекты 13

1.4. Потенциальные угрозы окружающей среде и человеку 15

1.4.1Загрязнение морских и пресноводных экосистем 21

1.4.2 Оценка микропластикового загрязнения на территории Российской Федерации 23

Глава 2. Методы мониторинга микропластикового загрязнения природной среды 26

2.1 Методы исследования 26

2.2. Выбор методики отбора проб 28

2.2.1 Вода 28

2.2.2 Донные отложения 29

2.2.3 Береговые отложения 30

2.3 Методика обработки проб 31

2.3.1 Консервация и хранение проб воды 31

2.3.2 Контроль качества 31

2.3.3 Удаление органических материалов 32

2.3.4 Плотностное разделение 34

2.4 Проведение лабораторного анализа 38

2.4.1 Вода 38

2.4.2Донные отложения 39

2.4.3 Береговые отложения 40

2.5 Определение химического состава микропластика и типа полимера 41

2.6 Отличие методик анализа проведенного для морских и пресноводных экосистем 46

Глава 3. Общая характеристика района исследования 47
3.1 Физико-географическая характеристика Балтийского моря 47
3.1.1 Общая характеристика 47
3.1.2 Строение берегов 49
3.1.3Климат 51
3.1.4 Геологическое строение и твердые породы дна 54
3.1.5 Гидрологический режим 56
3.2 Физико – географическая характеристика Финского залива 59
3.2.1 Общая характеристика 59
3.2.3 Климатические условии 63
3.2.4План действий по Балтийскому морю 65
Глава 4. Анализ результатов исследования. 68
4.1 Натурные наблюдения в Финском заливе 68
4.1.1 Выбор исследуемых объектов и отбора проб 68
4.2 Анализ полученных результатов 71
4.3 Сравнение с результатами других исследований 77
Заключение 81
Список использованных литератур 84
Приложение А. 94
Приложение Б. 96

Введение

Полимеры производимые искусственным путем, вошли в нашу ежедневную жизнь всего пол века назад – часто используемые и легко производимые материалы, а также с низкой себестоимостью. Однако их прочность, инертность и устойчивость к внешним факторам создали такую глобальную экологическую проблему, как пластиковое пятно в Мировом океане и накопливаются во всех частичках планеты.

Как известно помимо этих необыкновенных качеств и свойств появились негативные влиянии на окружающую среду и здоровье человека. Поэтому изучение данной проблемы является актуальным.

На сегодняшний день объем потребления и производства данного материала растет с очень высокой скоростью, в то время как масштабы утилизации и переработки намного раз ниже. В итоге при неправильном обращении с пластиковыми отходами, они конечно же попадают и в абиотическую и биотическую среду (в воду, в донные и береговые отложения,в почву, в организм животных и людей).

В данное время исследователи с разных частей мира озабочены апробацией оптимального метода и проводятся много исследований, но нет всемирной и утвержденной методики. Также и в России количество проведенных исследований по загрязнению микропластика не так много, соответственно нет стандартных методик по отбору и идентификации микропластика.

Целью данной работы является изучение методических основ применяемых при экологическом мониторинге микропластикового загрязнения водных объектов Российской Федерации

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Изучить существующие методики исследования микропластика в морских и пресноводных экосистемах.
2. Выявить оптимальный метод из существующих методиков;
3. Получить натурные данные водной толщи Невской губы Финского залива;
4. На основе полученных данных сделать количественный и качественный анализ данных.

Глава 1. Обзор микропластикового загрязнения окружающей среды

1.1Общие сведения о пластике.

Пластики представляют собой гетеротрофную группу синтетических полимеров, которые отличаются своей долговечностью, низкой плотностью и имеют барьерные свойства при этом у них значительно низкая стоимость. [1].

Пластиковые предметы отличаются прочностью, легкостью и доступной ценой, однако эти отличительные свойства пластиков, создают проблему для для окружающей среды, появляющееся при неправильном обращении с пластиковыми отходами. Однако устойчивость материала к внешним факторам приводит к тому, что пластиковый мусор длительное время может оставаться в окружающей среде не теряя первичную форму, практически не подвергаясь разрушению [2], но под воздействием ультрафиолетовых лучей и солености воды пластиковые отходы могут только распадатся на мелкие частички, так называемые микропластики[3]. Большинство из них имеют низкую плотность, в результате легко переносятся по поверхности водных объектов течениями и на значительные расстояния, являясь добычей для морских животных[4,5].

Многочисленные исследования проб окружающей среды направлены на измерение количества пластикового мусора в поверхностном слое воды, толще воды, а также в донных и пляжных отложениях. Такие образцы могут содержать кусочки синтетических полимеров разной формы и размеров. Недавно введенный термин «микропластик» (МП) относится к крошечным фрагментам пластика размером от 1 мкм до 5 мм [6,7]. В зависимости от возможностей, целей и доступного инструмента исследователя этот диапазон может варьироваться (таб. 1.1.1).

Итак на данный момент пластиковые отходы представляют собой значительно распространенное загрязнение во всем мире [8,9], во-первых, морские и пресноводные экосистемы подвержены влиянию микропластика [10] в итоге получает эффект здоровье человек [11]; следующее, на сегодняшний день

выявлено глобальное распространение частиц МП во всех системах и районах Мирового океана – на его поверхности[12] в водной толще[13], в пляжных и донных отложениях [5] вплоть до глубоководных впадин [14].

Мировое производство, спрос и выбросы пластика стремительно растут: к 2050 году ожидается 4 миллиона тонн плавающего пластикового мусора в поверхностном слое Мирового океана . Исследователи выявили что от 19 до 20 млн тонн (т.е. 11% пластиковых отходов, образовавшихся во всем мире в 2016 году) попало в водные экосистемы. Пластиковый мусор разного размера становится всепроникающей и постоянной угрозой для морских экосистем.

По данным 2018-года производство пластика (рис.1.1.1) составлял 360 млн. тонн и продолжает увеличиваться на 4% в год [15]. На сегодняшний день мировое сообщество предприняло огромные усилия по сокращению выбросов, однако прогнозируется, что к 2030 году в водные экосистемы попадет от 20 до 53 Мт пластиковых выбросов в год [18].

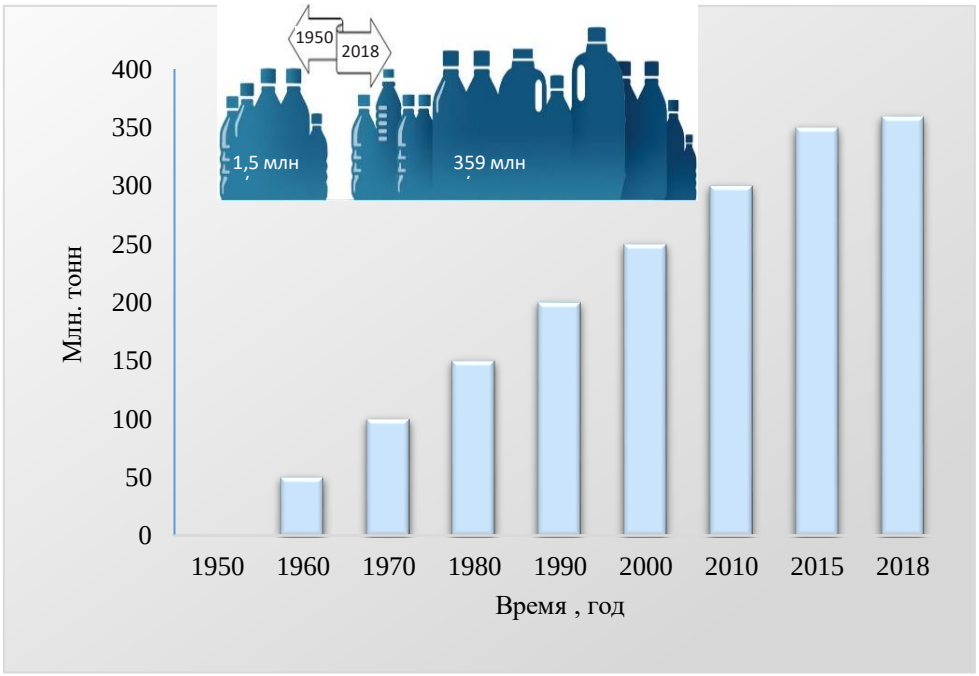


Рисунок 1.1.1 Мировое производство пластиков [15,16]

Рисунок 1.1.2. Общее количество производимого пластика в мире, его переработа, сжигание и утилизация: 1950 –2017 г.г.[15,16].

1.1.1Виды и размерные классы микропластика

Отличающие свойства пластиков, базу которых составляют синтетические и исскуственные полимеры. Они включают термопластов и реактопластов. К термопластам относятся такие полимеры, как полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид, полиэтилентерефталат и др. И еще их можно переформовать и плавить т.е при повторном нагревании перходят вязкую и пластичную смесь и их возможно переработать. А реактопластов нельзя повторно формовать , сюда входят синтетические каучук, эпоксидная смола а также краски. При нагревании реактопластов разрушаются и обратно не получится обратить их в пластичное состояние.

Ниже приведена часто использующие виды пластиковых материалов (табл. 1.1.1.);

Таблица 1.1.1. Объём мирового производства самых распространённых видов полимеров за 2012 г. [32];

Типы пластика	$\times 10^6$ т	%
Полиэтилен	85	30
Полиэтилен высокой плотности	35	12
Полиэтилен низкой плотности	50	18
Полипропилен	54	19
Поливинилхлорид	31	11
Полистирол, вспененный пенополистирол	21	7
Полиуретаны	21	7
Полиэтилентерефталат (термопластичный полиэстер)	19	7

Учитывая размер пластиков можно отнести к таким классам как показано (таб.1.1.2.). Хотя по сей день существует несколько классификаций размерной группы микропластиков.

Таблица 1.1.2. Размерная группа микропластиков[17].

Категория	Размер
Макропластик	≥25 мм
мезопластик	25 мм -5 мм
микропластик	5 мм-1 мм
Мини микропластик	1 мм- 1мкм
Нанопластик	<1 мкм

Найденные микропластики имеют разную форму и размер как на нижнем рисунке 1.1.2 [19].

Рисунок 1.1.2. Морфология микропластиков, где 1–пленка, 2 – франмент, 3-волокна, 4 – микрогранулы;.

1.2 Общая картина загрязнения Мирового океана пластиком

Попав в океаны, микропластик может либо всплыть, либо утонуть. Микропластик, более легкий, чем морская вода, такой вид пластика как полипропилен, будет всплывать и широко рассеиваться по океанам. В конечном итоге они накапливаются в круговоротах, образующихся в результате океанических течений. По данным 2013, в настоящее время в океанах плавает от 93 до 268 тыс. тонн частицы микропласта. Другие микропластики, такие как акрил, плотнее морской воды и, скорее всего, накапливаются на дне океана, что означает, количество микропластика может в конечном итоге накапливаться в донных осадках и, и в конечном счете, попадет в пищевую цепь.

В Мировом океане в основном преобладают производные бутылок, полистирола, полиэтиленовых пакетов, синтетические волокна, а также фрагменты и обломки пластиковых предметов. На сегодняшний день, по

утверждении исследователей в Мировой океан содержит в себе более 300 млн тонн пластикового мусора, за счет них образованы 5 мусорных пятен. В результате схождения в точках океанических течений и ветра, отходы превращаеются в вихрь и притягиваются в ядро водного объекта. Как известно существующие круговороты это Северное и Южное Тихокеанское, Атлантическое Северное и Южное , также Индийское пятно. (рис. 1.2.1) [20]. Из них самым известным считается Северное Тихокеанское пятно, так называемым »Большое Тихоокеанское пятно». В составе данного пятна содержатся мусоры попавшие из запада, т.е главный источник западного мусора Япония и из Гавайи, Колифорния [14].

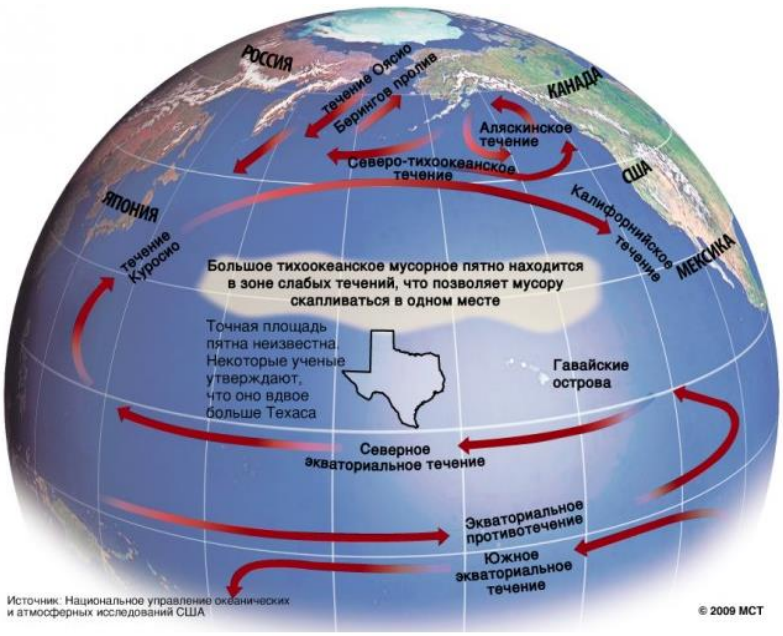


Рисунок 1.2.1 Основные круговороты пластикового мусора в океане

В донных и пляжных осадках наблюдается максимальное концентрация пластика [32]. Живые организмы больше страдают от загрязнения микропластиком, чем абиотические системы. Ниже приведены данные (табл. 1.2.1) обнаруженные в различных средах Мирового океана.

Таблица 1.2.1. Минимальные и максимальные значения концентраций частиц микропластика, обнаруженных в различных средах Мирового океана [54,32]

Среда Мирового океана	Минимальная концентрация, шт./кг	Максимальная концентрация, шт/кг	Диапазон порядков величины
Поверхностные воды	$8.5 \cdot 10^{-7}$	16	~7
Толща вод	$1.7 \cdot 10^{-5}$	0.28	~4
Пляжи и побережья	$1.5 \cdot 10^{-2}$	4340	~5
Осадки прирежных зон	3.91	3320	~3
Осадки глубоководный зон	0.4	268	~3
Полярные льды	$2 \cdot 10^{-9}$	0.136	~8
Полярные воды	$1.45 \cdot 10^{-5}$	22	~6
Полярные донные осадки	3.91	33.19	~1
Рыба	$3 \cdot 10^{-2}$	7.2	~2
Пелагиальные виды (кроме рыб)	$2.5 \cdot 10^{-3}$	0.44	~2
Бентосные виды (кроме рыб)	12	10600	~3

В результате рассмотренных сред океана, авторы [54] выявили, что на сегодняшний день более 90% частиц микропластика сосредоточено в донных осадках, около 8% – в толще вод, остальные плавают на поверхности или содержится в живых организмах. Оценки основаны на множество допущений связанных как с переводом реально измерявшихся величин в единую систему, так и с очевидной недостаточностью имеющихся данных для описания глобальных распределений, Однако эти оценки уже позволяют увидеть некоторые общие, глобальные закономерности. Итак, особенно важными являются попытки анализа глобальных черт картины загрязнения, с учитыванием несовпадении применяемых схем, методик, инструментов, методов обработки проб, используемых единиц измерений и многих других

нюансов получения конкретных количественных результатов. Например, ученые попытались оценить относительное распределение микропластика в различных средах Мирового океана основываясь на анализы минимальных и максимальных концентраций частиц микропластика. Выполнен анализ опубликованных данных за 2000– 2017 гг., расширили анализ, ранее проведённых обзорных работах. В приведеных результатах (табл. 1.2.1) анализа – диапазоны концентраций частиц микропластика (шт./кг) в поверхностных водах и водной толще, осадках пляжей, прибрежных и глубоководных зон, полярных регионах, в различных биологических видах. Хотя из полученных данных нельзя выявить обшие картины загрязнения микропластиком.

1.3 Пути попадания пластика в водные объекты

Кроме различных размеров и видов пластика, несомненно, важно то, каким образом и из каких источников он попадает в окружающую среду. Окружающая среда загрязняется двумя типами микропластика: первичным и вторичным микропластиком. (Таблица 1.3.1) [22,23,9].:

Таблица 1.3.1 Категория микропластиков

Первичный микропластик	Вторичный микропластик
• Пластик произведенный в маленьком размере и которых специально добавляют в средства личной гигиены и косметические средства для получения дополнительного эффекта. (отшелушиваюший или очищающий эффект)	• Обломки, кусочки которые в результате внешних факторов преобразованы в микропластика • Процентное соотношение микропластика в мировом океане составляет 69 - 31%

• Процентное соотношение микропластика в мировом океане составляет 15-31% • Основные источники: стирка синтетической одежды (35 %); истирание шин при движении (28%); намеренно добавленный микропластик в средства личной гигиены (2%)	

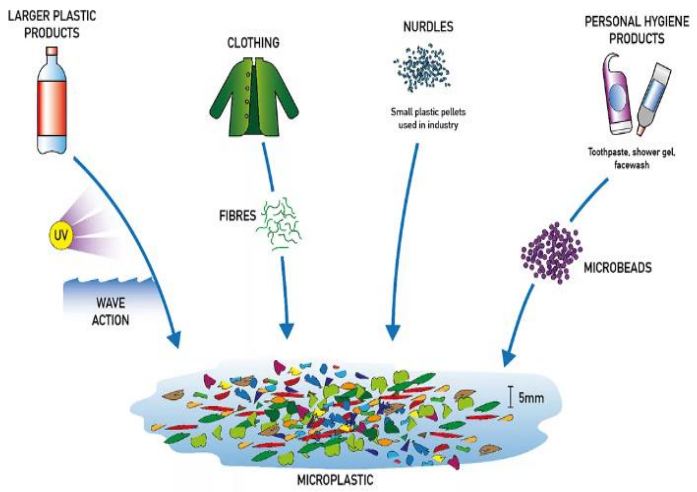


Рисунок 1.3.1 Виды и источники микропластиков поступающие в водную среду, где Lager plastic products : wave action - крупные пластмассовые изделия – УФ излучение, clothing-fibres: одежда - волокна , nurdles-small plastic pellets used in industry :гранулы – небольшие пластиковые шарики используемые в промышленности, personal hygiene products – mikrobeads: средства личной гигиены – микрогранулы [24];

Первый вид микропластика - это пластмассы, непосредственно выбрасываемые в окружающую среду в виде мелких частиц. Они могут быть

специально добавлены к таким продуктам, как чистящие средства в бытовой химии, принадлежностях и косметике (например, гели для душа).

Второй вид микропластика - это микропластик, превращающиеся в результате разрушения более крупных пластиковых изделий на более мелкие пластиковые фрагменты за счет воздействия морской среды. Данный вид микропластика разнообразен: могут быть обломки пластиковых изделий, пленки, синтетические волокна т.е частицы сделанные из пластика но крошечного размера.

Измельчаются крупные предметы от повседневного использования или естественного разрушения в природной среде. Они включают в себя таких источников, как выбросы твердых частиц, механического износа при обычном использовании, выделение синтетических частиц во время стирки и т.д. Например, синтетические волокна, резины в маленьких размерах получающееся в результате использования автомобильных шин.

Кроме этого вторичному микропластику, можно привести пример обычное использование пластиковых предметов человеком и оставленный природной среде. Они за счет воздействия таких физических факторов, как УФ-излучение, замерзания, таяния пластиковый мусор теряет свою изначальную форму и качество, после чего разрушаются на мелкие частицы.

1.4. Потенциальные угрозы окружающей среде и человеку

Крупные предметы попавшие в природную среду, очень долго остаются в окружающей среде не подвергаясь к разложению, тем самым негативно влиют на окружающую среду. Под воздействием внешних факторов пластиковые предметы преобразуются на мелкие частицы, так называемые как микропластик.

Присутствие в океане нового, рукотворного компонента окружающей среды вызывает беспокойство из-за потенциальной угрозы человеку, морской и пресноводной экосистем, а также живым сеществам обитающим в них.

Наблюдения дали множество примеров, когда крупные морские существа – млекопитающие, птицы, рыба – запутываются в морском мусоре или глотают его, что наносит им очевидный вред [52].

Нас самые мелкие организмы, живущие на морском дне и в толще воды, получают негативное влияние от частиц МП, причём их потенциальную угрозу оценить значительно труднее. Особенно привело в недоумение после обнаружения «биоаккумуляции» микропластика [53]: выяснилось, что живые организмы загрязнены на порядки значительнее их сред обитания (см. табл. .2.1). Насколько вероятны влияние этих угроз и есть ли доказательства их реальности? Существуют ли данные, что угроза биоте правдоподобна?

Анализ научных исследований позволяет выделить ряд процессов, связанных с присутствием пластикового мусора/микропластика в окружающей среде, которые могут нести угрозу живым организмам.

В первую очередь было обращено внимание на поедание живыми организмами несъедобного вещества – синтетического полимера, пластика. Наличие пластикового морского мусора в пищеварительной системе птиц, черепах и млекопитающих к настоящему времени хорошо задокументировано: морской мусор выявлен у 100% особей морских черепах, 59% китов, 36% тюленей и 40% морских птиц (обзор см. [55]. Однако мелкие частицы поедаются чаще чем крупные: потому что у них обширная размерная группа и им характерна низкая плотность, в результате чего легко удерживаются и распределяются в толще воды, в конечном итоге биотические системы вопринимают их за добычу [56,57,58]. Выянилось, что МП присутствует в пищеварительной цепочке в 227 видов различных морских организмов [59]: начиная от веслоногих , ракообразных доходит сальпообразных[60,61]; также у тунцов и китов [62]. Многочисленные полевые исследования документально подтвердили попадание МП в организмы значительного числа видов из разных трофических уровней и географических регионов (см. табл. 1.3.2 и, например,

обзоры [63,64]. Так как невозможно разлагаение пластика естественной путем живых организмов, итак уже после поедания пластика начинается проблемы в организме у живых организмов и приводит к ухудшению сотояния [65, 45].

Пластик имеет более длительный период разложения, чем большинство естественных плавучих морских субстратов, и имеет гидрофобную поверхность, которая способствует к микробной колонизации и образованию биоплёнок, в отличие от автохтонных субстратов в верхних слоях океана, т.е вскоре после того, как пластмассы попадают в морскую среду, они покрываются биопленкой на основе бактерий, будут основой для заселения более крупных организмов: водорослей, грибов, моллюсков и т.д. [30], тем самым создавая подходящую среду для колонизации микроорганизмов (рис. 1.4.1).

Образование биопленки может ускорить осаждение микрочастиц на морское дно и повлиять на поток органических веществ и связанные с ним экологические процессы [34]. Присутствие патогенных микроорганизмов на биопленке также неблагоприятно влияет на живые организмы, если его поедают морские животные. Экспериментальные исследования показали, что слой биопленки делает микропластик легко добываемым и увеличивает его потребление морскими существами [34], потому что после вышеуказанные процессы и взаимодействии приводят к биобрастанию и агрегацию частиц с органическими и неорганическими веществами.

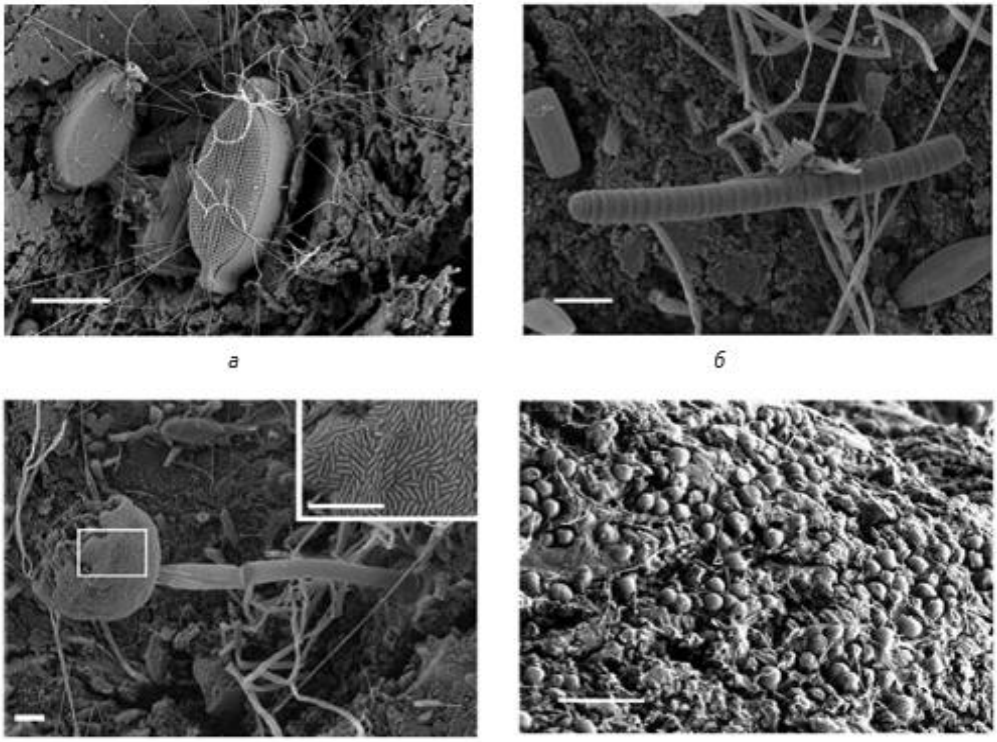


Рисунок 1.4.1. Примеры богатого микробного сообщества, развившегося на пластиковом морском мусоре [32]: а – пеннатная диатомовая водоросль с возможными протекатными филаментами, продуцируемыми Hyphomonas - подобными бактериями; б – нитчатые цианобактерии; в – сосущие инфузории из класса Suctoria на переднем плане, покрытые эктосимбиотическими бактериями (вставка) вместе с диатомовыми водорослями, бактериями и нитчатыми клетками; г – микробные клетки, сделавшие углубления в поверхности пластика. Все масштабные линейки 10 мкм.

Характеристики и факторы процесса биообрастания могут определять состояние пластикового мусора в океане. На сегодняшний день примерно известно стадии биобрастания на твердом материале [32]:

(1) абсолютно свободная присутствия органических молекул и живых организмов на поверхности воды;

(2) формирование макромолекулярного слоя за счёт присутствия в воде молекул белков, жиров, полисахаридов ; образование

(3) бактериальной и бактериально-водорослевой плёнки;

(4) колонизация поверхности, покрытой биоплёнкой, макроорганизмами, беспозвоночными (дни и недели) и (5) колонизация макроводорослями (месяцы и годы).

Как известно, на поверхности пластика были исследованы и найдены такие организмы, как диатомовые водоросли, кокколитофориды, мшанки, усоногие, динофлагелляты, изоподы, а также цианобактерии, гетеротрофные бактерии и грибы [36,37]. Первые же 4 стадии в и вправду наблюдаются при обрастании частиц МП и активно анализируются в настоящий момент. Большое количество работ посвящено исследованию формирования начальных соединений бактерий на поверхности пластика [31, 38,39,40]. Как и выше утверждалось что, в результате биобрастания и агрегации частицы попадают водный столб и донные отложения морской среды.

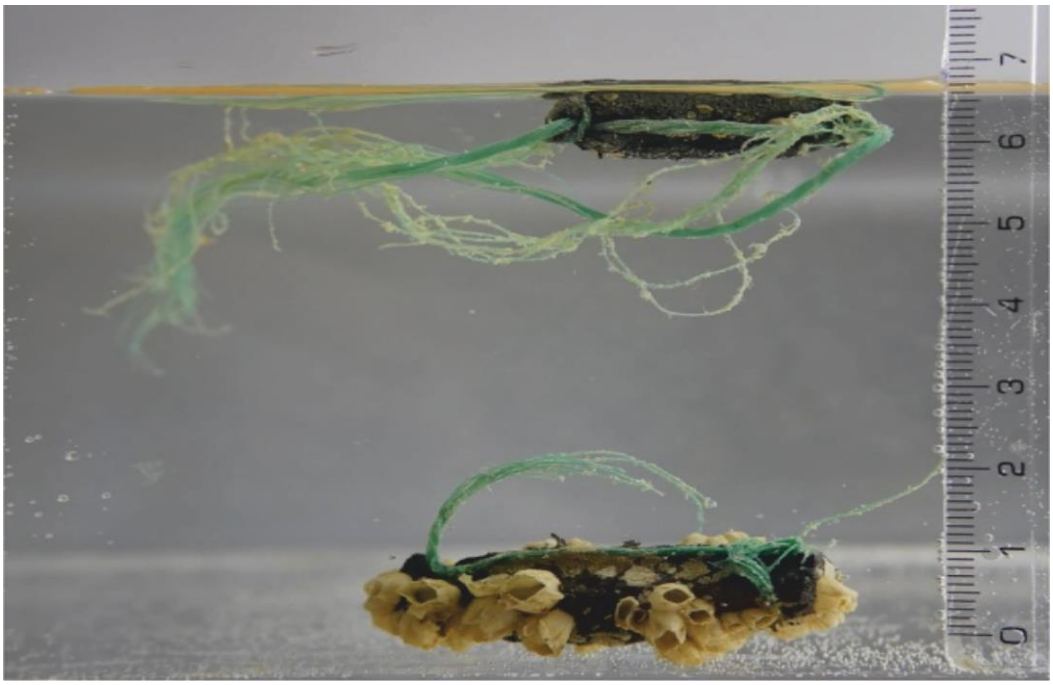


Рисунок 1.4.2 Пенопластовые поплавки рыболовной сети, обнаруженной в море: поплавок на дне колонизирован рачками рода Balanus (фото А.В. Багаева), Источние рисунка [33,32];

Биообрастание дает эффект на время пребывания частиц микропластика в поверхности воды и их вертикальное распределение в результате изменения

плавучести. На рисунке 1.4.1. показаны результаты обрастания, где две одиннаковых поплавка из вспененного пластика, вырезанных из найденной в море рыболовной сети: один плавает, а другой, на котором развилась колония усоногих раков рода Balanus, тонет. Исследователи детально изучили данный вопрос и рассматривается уравнение модели биобрастания и изменения плавучести частиц [32].

Помимо вышеуказанных эффектов микропластик может вызывать токсичный эффект. Токсичность может возникать непосредственно из-за полимерных материалов, используемых при производстве пластмассовых изделий, а также за счет добавки, добавляемые в пластмассы для улучшения свойств пластмасс. Маленькие размеры и острые концы микропластиков могут вызвать воспаление [41].

Исследование проведенное над устрицами показало, что полиэстер приводит к нарушению репродуктивной системы у животных [42]. У мелких рыб могут вызвать воспаление в кишечнике [43] .

Средства для чистки лица могут быть основным источником загрязнения водной среды микропластиком и оказывает неблагоприятное воздействие на планктон и организмы-фильтраторы [44]

Поскольку микропластик настолько мал, он представляет угрозу для всех трофических уровней и др.[45] В ходе одной исследовании подвергали мидий полистиролу, а затем кормили крабов этими мидиями. Вскоре потвердилось, независимо от количество микропластика, перенесенного от мидии к крабу, которое невелико, было показано, что частицы переносились по пищевой цепи и могут двигатся в организме краба.

Проглатывание пластика морскими птицами является серьезной проблемой [46]. В одном исследовании они обнаружили, что пластиковые частицы были обнаружены в желудках 8 из 11 морских птиц. [47] Мэллори и др. проводили исследование над фулмерами (видами птиц) на Северном полюсе. В

результате в желудках птиц были найдены в большем количестве белые частицы пластика, а также наблюдались микропластики разного размера и цвета.

Часть пластиковых частиц съела E. subaspera, ночная пелагическая рыба, а часть — тюлени обитающие в островах Маккуори. [47], [48] проведено исследование над мидиями, чтобы исследовать влияние микропластика на живые существа. Было замечено, что частицы пластика накапливаются в кишечнике мидии после проглатывания микропластика. Позднее в кровеносной системе мидии наблюдали микропластик. Количество микропластика достигло максимального уровня на 12-й день, а затем начала снижаться. Итак есть большая вероятность того что, мелкие частицы пластмасс могут долго накапливаться в тканях у животных.

Микропластики могут абсорбировать опасные вещества и быть переносчиками, тяжелых металлов, полихлорированных бифенилов и других нерастворимых органических загрязнителей [50]. Микрочастицы с негладкой поверхностью больше абсорбируют вредных веществ из морской воды, чем частицы с гладкой поверхностью [51].

Из проведенных исследований в России была обнаружена только одна статья, в которой сообщается о концентрации микропластиков в морском организме [66]. В этом исследовании исследуется содержимое желудка мелкого песчаного угря Ammodytes tobianus. Частицы полипропилена были обнаружены в 21% рыб, выловленных на литорали Балтийского моря.

1.4.1Загрязнение морских и пресноводных экосистем

Пластиковый мусор является одним из самых часто встречаемых экологических плоблем как в морской, так и в пресноводной среде, чем многие сейчас озабочены и сконцентрированы.

Итак загрязнение морских экосистем аналогичны с загрязнением пресноводных экосистем. А также загрязнение пресноводных и морских

экосистем тесно связаны между собой. Объсняется это тем, что после загрязнения пресноводных экосистем (озера, реки, водоемы) вскоре загрязняются и морские экоситемы. Затем загрязнение пресноводных водоемов вскоре повлияют на загязнение морских экосистем.

Ссравнительно пресноводные экосистемы имеют замкнутую систему, поэтому исследователи утверждают что они больше получают вреда чем морские экосистемы. В последнее время много усилий было направлено на изучение загрязнения микропластиком водных сред. Несмотря на то, что существует множество исследований, описывающих возникновение и накопление микропластика в морской среде, для пресноводных систем он все еще ограничен. С момента появления систематических исследований загрязнение микропластиком было выявлено в озерах разного размера в Северной Америке [13,14], Южной Америке [15], Европе [9,16].], Азия [17–19] и Африка [20]. Несмотря на растущее количество данных, недостаточно исследований источников и информации о количественной идентификации микропластикового загрязнения [21,22].

Сток великих сибирских рек вносит значительный вклад в загрязнение арктических морей микропластиком [34]. Это исследование также показало, что переносимые морским путем микропластики (микропластики, принесенные из Северной Атлантики) и речные микропластики имеют совершенно разные физические (размер, морфология, вес) и химические (тип полимера) характеристики. Однако только одно исследование морфологии, состава и концентрации микропластика в сибирских реках [35] не позволяет проследить потоки загрязнения. Поэтому, несмотря на растущее количество исследований, во многих регионах Северной Евразии отсутствуют предварительные фоновые данные.

1.4.2 Оценка микропластикового загрязнения на территории Российской Федерации

Российские моря относятся к бассейнам Атлантического, Северного Ледовитого и Тихого океанов и простираются на несколько климатических зон. В результате, любой локальный или глобальный загрязнитель, попадая в окружающую среду, рано или поздно начинает влиять на здоровье людей, качество жизни и безопасность пищевых продуктов над российскими морями. [67].

В настоящее время загрязнение морской среды пластиком подтверждено полевыми исследованиями в 7 из 12 российских морей. Уровни загрязнения варьируются в широких пределах: для микропластика в воде от 0,6 до 336 000 ед./м^3 и от 1,3 до 10 179 ед./кг (сухая масса) — в донных отложениях, тогда как средняя содержания макропластика в береговых отложениях составляет около 1,0 ед./м^2.

Одно мониторинговое исследование Баренцева моря показало, что средняя концентрация макропластика в подповерхности морской среды (60 м) составляет 0,011 мг/м^3 и 2,9 кг/км^2 на морском дне. Идентификация типов полимеров спектроскопическими методами проведена только в 9 исследованиях (28%); у большинства исследователей методы исследований по микропластикового загрязнения неаналогичны что приводит к затруднению в сравнении результатов.

Наиболее изученными районами являются пляжи Балтийского моря, а наименее изученными — Арктический регион.

Согласно исследованию некоторых ученых [68], мировая история исследований морского пластикового мусора подходит к 1960-м годам, тогда как публикации на русском языке по морям России доступны только с 2000-х годов. Фактически, первое рецензируемое исследование на английском языке о

пластиковом загрязнении, обнаруженном в донных отложениях Охотского моря, было опубликовано только в 2015 году . И только в 2017 г. была опубликована серия статей российской группы ученых [69,33], впервые оценивающих загрязнение микропластиком различных экосистем Российской части Балтийского моря.

Выполнено 9 исследований, посвященных к проблеме идентификации пластиковых частиц в донных отложениях, собранных на разных глубинах морского дна. В одной из исследований [70] пробы донных отложений собирали с помощью ковшового пробоотборниква 2500 (USNEL SPADE corer) на площади

Рисунок.1.4.3. Синими маркерами отмечены места отбора проб, указанные в рецензируемых документах. Цифры обозначают количество исследовательских статей, в которых сообщается о месте отбора проб воды/песка/отложений в соответствующем районе [67].

Исследование такой важной темы, как загрязнение морской среды пластиком, развивается очень быстро, и мы уже знаем о новейших находках российских ученых по накоплению микропластиков макрофитами в Балтийском море, о концентрации микропластика в водной среде, в снегу, в атмосферном воздухе Арктики, в морском льду Амурского залива (Японское море) и т.д. Здесь

отмечено только статьи, опубликованные до августа 2020 г., и вскором времени количество публикаций и круг затрагиваемых вопросов расширится.

В морской среде России в 2015–августе 2020 г. проводились многочисленные исследования, посвященные проблеме пластикового загрязнения. Они включают оценку уровня загрязнения водной толщи, донных отложений и прибрежних наносов. Более половины публикаций посвящено акватории Балтийского моря, около 10 % — Черному и Азовскому морям, а для других морей России известно лишь несколько экспериментальных исследований. Принимая во внимание огромную протяженность российского побережья, такой недостаток исследовательских данных подчеркивает острую необходимость как национальных, так и международных полевых программ, рассчитанных на гораздо более широкий географический охват. Это особенно важно для арктических морей России, так как они имеют уязвимые экосистемы, но получают воды из нескольких крупных сибирских рек. Все эти исследования были проанализированы в отношении географического положения и типа морской среды, методов отбора проб, извлечения и методов обнаружения.

Глава 2. Методы мониторинга микропластикового загрязнения природной среды

2.1 Методы исследования

В последнее время исследований связанные с микропластиком сравнительно становится больше (рис. 2.1.1) , при этом пока нет конкретных утвержденных методик. Многие исследователи озаботились данным вопросом и начали разрабатывать и пробовать различные методы. При подготовке и анализе проб воды использовалась модифицированная стандартная методика, рекомендованная Национальным управлением океанических и атмосферных исследований США (NOAA) [70,71]. Из методических документов , данная методика одна из первых , пошагово описывающих методику анализа микропластика в морской среде. Главным преимуществом данной методики считается ее простая и однообразная процедура проведения анализа как проб воды, так и для донных и прибрежных осадков, что дает такую возможность как сопастовление результатов между собой, делать выводы о миграции вещества между различными морскими зонами. У методики 3 раздела, в которых описывается порядок этап действий при анализе пробы подходящего состава (проба воды, песка или донных отложений), требуемые для этого инструменты и реактивы. Однако данная методика презназначена только для анализа пластиковых частиц плотность которых не превышает 1.2 г/см^3. Для получения точной и сопаставимой оценки концентраций этих видов пластика рекомендована доработка методики [32].

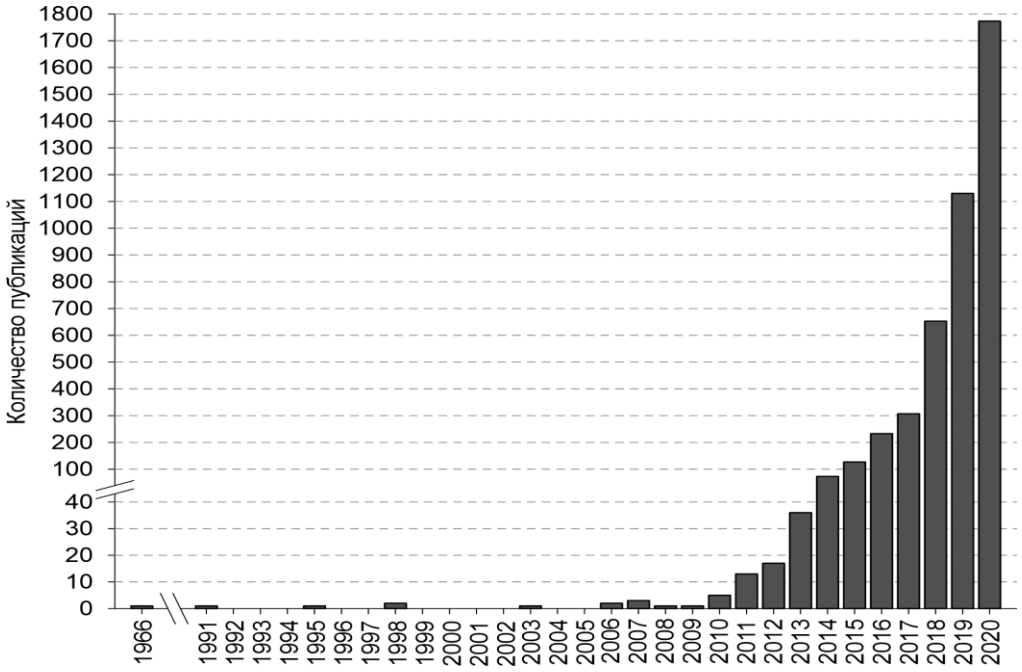


Рисунок 2.1.1. Ежегодное количество публикаций (статьи и обзоры), посвящённых изучению микропластика. По результатам поиска в базе данных Scopus в разделе «Науки об окружающей среде» по ключевому слову микропластик (до 1 января 2021 г.); [32]

Методику отбора и обработки проб выбираем в зависимости от системы, на которую нацелено исследование. Существует разные методики для анализа микропластика в абиотических системах и у каждой методики есть свои особенности и преимущества.

Несмотря на то что проводится анализ в разных средах (в воде, в донных отложениях, в песке) основные этапы обработки проб во всех системах аналогичны: проводится просеивание, сушка, жидкое окисление, фильтрация, плотностное разделение (флотация), а также визуальная идентификация частиц с помощью микроскопа (рис. 2.1.1). В определенных системах существуют некоторые различия. Ниже приведен детальный обзор методик по всем системам:

2.2. Выбор методики отбора проб

2.2.1 Вода

Из всех методов отбора проб, самым распространенным методом является использование манта – трала (рис. 2.2.1) который состоит из сети прикрепленный к корпусу с металлическими крыльями, что дает возможность отбирать пробы с поверхностного слоя воды [71,70], некоторые исследователи использовали 10-30-л батометры Нискина [69, насосно-фильтрующее устройство для прокачки необходимого количества (2–3 $м^3$) воды через фильтр из нейстонной сетки с размером ячеек 174 мкм [70], и стеклянные банки [73] и др. Из-за некоторых ограничений не всегда получается использовать манта-трал, так как его рекомендуется использовать на малом ходу судна и в хороших пагодных условиях.Пробы воды отбираются из поверхностного слоя с глубины до 4-5 м и тут же фильтруются на фильтровальной установке, измеряется объем профильтрованной воды. Нужно следить чтобы не было пластиковых материалов в контактирующих частях пробоотборника.

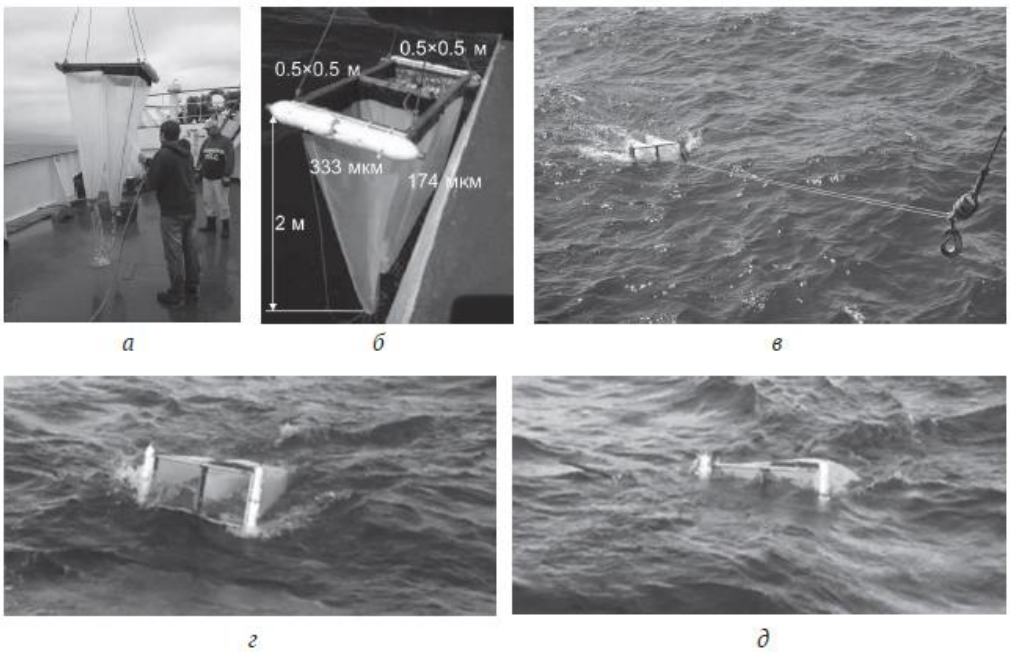


Рисунок 2.2.1. Пробоотбор с использованием манта-трала, где,

а – подготовка манта – трала к работе на борту судна; б – опускание манта – трала (с указанными характеристиками) центральным краном носовой палубы; в – траление по поверхности воды; г,д – изменение глубины погружения прибора при небольшом волнении [32].

Затем в стеклянную колбу осажденное на фильтр твердое вещество смывается дистиллированной водой под давлением, для стабилизации органических веществ фиксируется заранее приготовленным раствором формалина и сливается в мерную емкость , далее пробы отправляются в лабораторию для следующих этапов обработки. Далее нужно оставить на время, пока органика осаждается.

2.2.2 Донные отложения

Донные отложения считаются самой оптимальной и стабильной средой при определении микропластиков, так как микропластики в донных отложениях корсервативны сравнительно с другими системами.

Пробы донных отложений отбираются с помощью дночерпателей(рис. 2.2.1) или как в некоторых исследованиях [73,67,32] донные отложения в отбирались с помощью грейферного пробоотборника Ван Вина (или аналогичного устройства, как ручная тяга).

Отобранные пробы собираются в специально подготовленных емкостях и доставляются в лабораторию для дальнейшей обработки и анализа.

а *б* *в* *г*

Рисунок 2.2.2 Приборы для отбора донных отложений, где а) – бокс-корер; б) мультикорер Мини Мак; в) дночерпатель «океан – 0,1» , г) дночерпатель Ван Вина [32];

2.2.3 Береговые отложения

Отбор проб из пляжных отложений относительно прост и является самым легким способом оценки загрязнения пластика. Поэтому многие исследовательские группы начали собирать образцы с береговой линии рядом с их местом жительства. Типовой набор оборудования – деревянно-металлическая рама, стальная ложка/лопата и сито 5 мм для отделения МП от песка на площадке. Типичная процедура сбора выглядит следующим образом:

(a) поместить раму в песок ;

(b) зачерпнуть верхние 1–5 см песка в металлическую или стеклянную емкость;

(c) сделать разрез вдоль и поперек пляжа, если это необходимо;

(d) транспортировать образцы в лабораторию.

В одном исследовании использовалась металлическая трубка, которую опускали в песок вертикально на определенную глубину, затем тубу плотно закрывали, а песок перемещали в пластиковый пакет. Если исследование было направлено только на макропластики, предметы собирали вручную или пинцетом с поверхности пляжа.

Рисунок. 2.2.3 Схема и применения метода рамок (frame –метод) на пляжах: схема отбора проб, а) схема отбора проб; б, в –применение метода согласно [32].

2.3 Методика обработки проб

2.3.1 Консервация и хранение проб воды

При исследовании МП, хранение и консервация проб также является важнейшим этапом при проведении исследования. При ошибочном хранении проб можно получить такие негативные эффекты, как изменение структур МП , в итоге это приведет к затруднению при идентификации частиц пластика подходящими методами. Поэтому при фиксации и доставке проб в лабораторию необходимо применять методики, чтобы в результате сохранилась структура и состав МП в таком положении, в каком отобрали из природной среды.

Ниже приведены оптимальные методы хранения и фиксации проб :

а) Образцы хранятся в темноте ;

б) заморозить пробы донных осадков (Т=до -20 ^{o} С), фильтры концентрированных проб воды или образцов льда [64];

в) использование таких фикцирующих растворов, как 4-5%-ный формалин ,5-10%-ный раствор HCl и др.;

г) Просушка при конатной температуре и хранение в темноте;

В нашем случае применяли способ фиксации с %5-ный раствор формалина.

2.3.2 Контроль качества

Чтобы минимализировать внешнее загрязнение проб синтетическими волокнами во время пробоотбора и анализа рекомендуется использовать хлопковую и одежду яркого цвета. [32].

Из-за особенных свойств пластиковых материалов (долговечность,

легкость, низкая себестоимость и т.д) их применение в качестве лабораторной посуды и приборов при отборе и обработке проб стала обыденной привычкой;

Однако, будет правильнее если уменшить контакт с пластиковыми предметами, т.е чтобы уменшить такие внешние источники загрязнения, как использование пластиковой посуды, сита и другие приборы т.е заменить их на предметы сделанные из металла или стекла. Хотя не всегда получается выполнить это. А также если для отбора и хранения проб использовали посуду сделанную из синтетических полимеров, в объязательном порядке проводить контроль загрязнение холостыми пробами [17]. Загрязнение образцов может возникнуть в результате не дастоточного очистки воздуха помещении где проводился анализ, синтетическими волокнами рабочей одежды, неправильной подготовки инструмента и растворов, попадания деталей борта судна и других несвоевременно и плохо выполненных требований.

Кроме этого нельзя забывать то, что во время проведения анализа и обработки проб , всегда нужно укрывать пробы фольгой или чашкой Петри.

2.3.3 Удаление органических материалов

Результаты ранее проведенных исследований доказывают, что высокое содержание органичиского вещества в осадке лишь усложняют разделение МП, поэтому в некоторых пробах переваривание органического вещества проводится в два этапа.

При плотностном разделении не всегда органические соединения полностью разделяются , т.е существует ряд органических соединений с удельной плотностью как у существующих пластиков 1,0 -1,4 г/см^3 ,что создает затруднений в плотностном разделении МП.

Итак, есть потребность дополнительного удаления органических материалов. При извлечении МП от органических веществ в воде, донных осадках используются разновидности таких химических растворов, как

кислоты, щелочи и окилители, а также ферменты. Существуют такие исследовании, в которых использовали ультразвуковую промывку МП в дистиллированной воде, но данный метод предназначен только для избавления от поверхностных загрязнений (песок, пыль).

Проводили сравнение при использовании в качестве растворяющего раствора 10М гидроксида натрия (NaOH), 30%-ный H_2O_2 и реактив Фентона.

Выянилось, что применение 1М раствора NaOH при низкой температуре растворяет 90% биологического материала в морских пробах. А при увеличении концентрации и температуры эффективность очистки повышается. Раствор 10М NaOH при 60°С используется для растворения планктона, при этом вызывает мельчайшие изменении структуры пластика.

Ряд исследований подтвердили, что некоторые реагенты, применяемые для разложения органических веществ, могут повреждать или разлагать некоторые виды полимеров в определенных условиях , что приводит к недооценке содержания МП. Разложение органического вещества с использованием реактива Фентона, применяемого в этом методе, представляет собой экзотермическую реакцию с температурой до 89 °С, которые могут оказывать влияние на различные типы полимерных материалов. Было указано, что частицы полиамида (ПА), полипропилена (ПП) и поликарбоната (ПК) имеют некоторые видимые изменения (обесцвечивание, усадку, частичное расщепление) в 30% H_2O_2 при 70 °С [10].

Кроме того, было обнаружено, что почти многие виды пластика полиэтилен, полипропилен, полиэтилентерефталат, поливинилхлорид и полистирол (PE, PP, PET, PVC и полистирол) устойчивы к влиянию 5% раствора HCl, за исключением полиамида (PA), который разрушается даже в разбавленной соляной кислоте [6]. В результате содержание ПА (полиамид) может быть занижено при использовании предлагаемого метода.

Другое исследование показало, что большая часть органических веществ была удалена за короткое время после переваривания раствором

азотной кислоты HNO_3, однако морфология некоторых микрочастиц, таких как АБС (акрилонитрил бутадиен стирол), PA и PET, была изменена под действием HNO_3. Кислоты при использовании в низких концентрациях и без нагревания дают неудовлитворительный результат т.е в итоге в пробе остались органические материалы нерастворенном виде.

А также существует ряд исследований, как выгодная альтернатива применяется 30%-ный H_2O_2 в сочетании с реактивом Фентона ($FeSO_4$ в + H_2O_2) и дает хороший эффект, также переокись водорода при использовании большом количестве используется вместе с реактивом Фентона (для экономии).

В настоящее время использование 30 % - ной перекиси водорода (H_2O_2) и реактива Фентона является самым оптимальным методов для удаления органических веществ из матриц окружающей среды.

2.3.4 Плотностное разделение

Результаты исследований доказывают о важности этапа извлечения микропластика из образца. Путем флотации (разделения по плотности) можно отделить МП от неорганических и органических веществ.

Данный этап выглядит таким образом, когда в образцы воды, донных и береговых отложений заливают растворы с высокой плотностью, частицы пластика плавают на поверхности раствора, но более плотные материалы остаются на дне градиента раствора. В основном данный этап предназначен для донных и прибрежных отложений.

У большинства пластиков значение плотности колеблется в диапазоне 0,8 – 1,70 г/см^3, политетрафторэтилен имеет максимальную удельную плотность (2,1-2,3 г/см^3). Как известно, плотность песка равна к 2,65 г/см^3.

За счет того что, у донных и прибрежных осадков плотность выше чем у пластика, образцы остаются на дне когда частицы и другие материалы

вплывают на поверхность раствора. Таким образов собираются частицы на поверхности раствора и продолжают анализировать.

В едких случаях для плотностного разделения применяются такие различные растворы, как пресная, морская и водопроводная вода.

Раннее, насыщенные растворы NaCl (плотность, 1,18 г $см^{-3}$) были применены для извлечения МП в осадках, однако были утверждении, что данным раствором нет возможности разделять пластмассы с высокой плотностью, такие виды пластиков как ПЭТ (полиэтилентерефталат) или ПВХ (поливинилхлорид), политетрафторэтилен. Часто применяются такие химические соединения, как хлорид натрия (NaCl), хлорид цинка ($ZnCl_2$) , иодид натрия (NaI), поливольфрамат натрия $Na_6(H_2W_{12}O_{40})$, поливольфрамат калия лития и др. приведены в таблице (табл. 2.3.1).

По результатам проведенных анализов, выснилось что самым эффективным раствором считается хлорид цинка ($ZnCl_2$) , иодид натрия (NaI), его дороговизна и токсичный эффект является недостатком.

Таблица 2.3.1 Растворы применяющеся для отделения МП от твердых матриц

Наименование раствора	Плотность раствора [г/см]	Типы полимеров	Преимущества и недостатки
NaCl	1.2	ПЭ, ПП, ПС, ПА, ПК, ПММА, АБС	-Нет возможности для разделения полимеров высокой плотности -Доступная цена
NaBr	1,4–1,6	ПЭ, ПП, ПС, ПЭТ, ПВХ, ПА, ПММА	-
$CaCl_2$	1,3–1,5	ПЭ, ПП, ПС, ПЭТ, ПВХ, ПК, ПА, ПУ, АБС	-
Формиат калия	1,5–1,6	ПЭ, ПП, ПС, ПЭТ	

Иодид натрия NaI	1,6–1,8	ПЭ, ПП, ПС, ПЭТ, ПВХ, ПА, ПУ	Дорого, вредно для окружающей среды
$ZnCl_2$	1,5–1,7	PS	Дорого стоит, токсичный и вредный для окружающей среды
Пресная вода	1,0	Для определенных веществ (песок,пыль и т.д)	
Морская вода	1.15-1,23		

Для пластиков с низкой плотностью ρ <1 г/см^3 примененяется пресная вода и можно осуществить разделение. Как выше указывалась некоторые МП разделяются в морской водой к ним относятся: PP (полипропилен), LDPE полиэтилен с низкой плотностью, полиэтилен с высокой плоностью HDPE, полиэтилен (PE), кроме этого полистирол (PS) в твёрдой форме всплывает только в плотном солевом растворе NaCl. В растворе метавольфрамата натрия всплывают эластичный и жёсткий поливинилхлорид (PVC), полиэтилентерефталат (PET), полиамид (PA).

За счет того что, плотность некоторых пластиков равна к 1.7 г/см^3, применение некоторых растворов, например как хлорид натрия и метавольфрамат калия и пресная вода можно получить неправильную количественную оценку общего содержания МП. Поэтому рекомендуется, для обеспечения качественного разделения всех МП от осадка лучше будет использование растворы с плотностью >1.45 г/см^3.

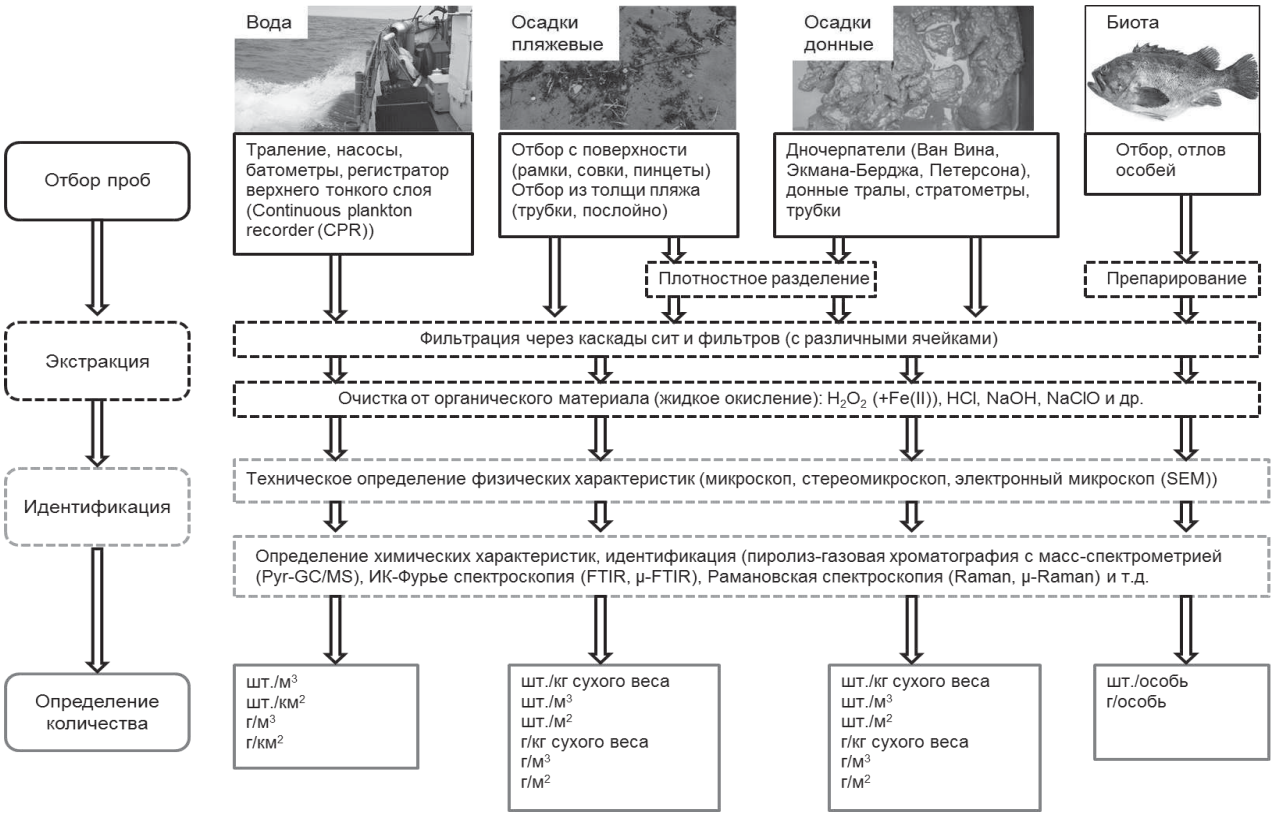


Рисунок 2.3.1 Схематическая иструкция аналитических процессов извлечения МП и идентификации микропластиков из абиотических систем (в воде, в донных и береговых отложениях) [32]

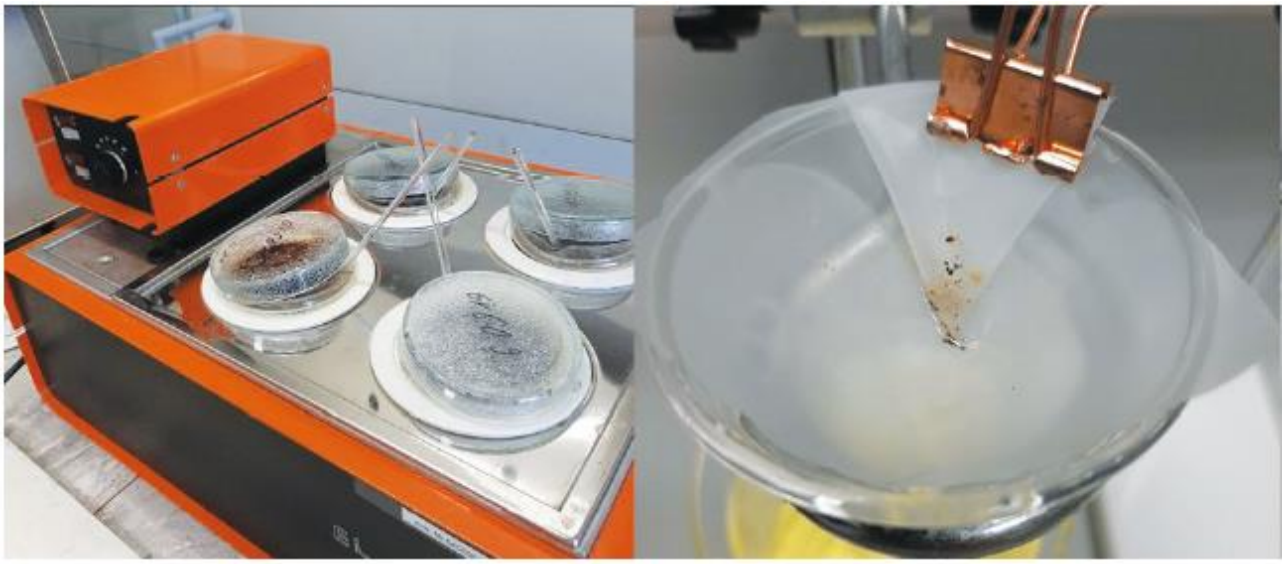


Рисунок 2.4.2 Термохимическая обработка проб в лаборатории РГГМУ

2.4 Проведение лабораторного анализа

2.4.1 Вода

Как показано выше (рис.2.3.1) фиксированные пробы воды фильтруются через фильтр с размером ячеи 80 мкм сделанный из нейлона. Фильтр с твердыми веществами помещяется в химический стакан и подвергаются окилению с использованием 20 мл 30%-ной перекиси водорода H_2O_2 и 20 мл катализатора Fe (II), а также для растворения хитина и других трудноразлагаемых органических соединений добавляется 4,5%-ная соляная кислоты HCl. Затем в водяной бане нагреваются до 75 ^{o} C до кипения (Рисунок 2.3.1). Далее через сутки проводится фильтрация и окончательная просушка в чашке Петри, после чего можно будет с помощью светового микроскопа визуально идентифицировать, проверка с горячей иглой и определение концентрации микрочастиц.

После визуальной сортировки, для дальнейшего определения химического состава и типа полимера пробы отправляются в другую оснащенную лабораторию. Где при помощи фотометрического метода (рамановская спектроскопия, ИК-спректроскопия, рентгеновская спектроскопия и т.д) можно

будет определить дополнительные параметры. В разделе 2.5 детально описано определение типа полимера.

.

Рисунок 2.4.3. В процессе проведения анализа в лаборатории РГГМУ,

2.4.2Донные отложения

Данный метод предназначен для пресноводных экосистем, поэтому обработку проб нужно проводить в два этапа. Чтобы заранее предотвратить сложности разделения микропластика, проводится фильтрация через каскад состоящий из трех фильтровальных воронок. На первом этапе при отделении МП от частиц минерального осадка и частичного переваривания органического вещества проводится предварительное влажное окисление с использованием 30%-ной перекиси водорода H_2O_2. Однако из использованных реактивов перекись водорода понадобится в большем объеме поэтому его используют вместе с так называемым реактивом Фентона. Данный реактив быстро действующий и для проб больших объемов очень эффективен.

Затем разделение по плотности.(флотация). В качестве разделительного раствора вместо хлористого цинка ($ZnCl_2$) используется формиат калия (HCOOK) плотностью 1,5 г/мл [21] который сравнительно дешевле и не токсичный [22,23]. Плотности раствора формиата калия достаточно для извлечения высокоплотных пластиков, таких как поливинилхлорид (ПВХ, ρ = 1,14–1,56 г/см3) и полиэтилентерефталат (ПЭТФ, ρ = 1,32–1,41 г/см3).

В некоторых исследованиях в качестве разделительного раствора использовались NaCl, потому что данный реактив намного дешевле и не токсичен [19]. При этом для пластиков как полиэстер , т.е для материалов с высокой плотностью лучше будет если применять другие соединении которым характерна высокая плотность, например NaI, $ZnCl_2$.

На втором этапе, после разделения по плотности для разложения оставшегося органического вещества проводится мокрое окисление с реактивом Фентона; Fe (II) + 30%-ной перекиси водорода H_2O_2 [20], а также с помощью 4,5-ной соляной кислотой HCl разложение хитина и других трудноразлогаемых органических веществ. Затем в водяной бане нагреваются до 75 ^{o}C до кипения (Рисунок 2.3.2). Далее фильтрация и сушка образца, после чего визуальная идентификация, проверка с горячей иглой и определение концентрации микрочастиц. Далее ределяется тип полимера и исследуется его структура . В разделе 2.5 детально описано определение типа полимера.

2.4.3 Береговые отложения

Во всех рассмотренных работах сообщается о визуальном осмотре/сортировке невооруженным глазом (для крупных пластиковых частиц) и с использованием оптического микроскопа с 10-40-кратным увеличением для МП—это самые оптимальные и доступные методы идентификации пластиковых частиц. После такой идентификации частицы описывались по их цвету, форме и

клеточной структуре, а в некоторых случаях применяется тест с горячей иглой (частицы, которые плавятся при прикосновении к горячей игле — считаются пластмассами) [31], как в некоторых исследованиях [27,28] упоминалось, что они использовали ультрафиолетовое излучение для посвечивания частиц. [32,71,72]. Далее ределяется тип полимера и исследуется его структура. В разделе 2.5 детально описано определение типа полимера. **(** таблица 2.3.1**)**

2.5 Определение химического состава микропластика и типа полимера

Визуально идентифицированного микропластика, применяя аналитические методики, как рамановская спектроскопия, ИК-Фурье спектроскопия, пиролиз - газовая хроматография с масс-спектрометрией (табл. 2.3.2). после чего анализируются и определяются химический состав и тип полимера.

Принцип работы пиролиз - газовой хромотографии с масс-спектрометрией заключается в том, что изучение химической структуры МП определяется за счет анализа газообразных продуктов из термического разрушения. С данным методом получаем пирограммы исследуемого образца, далее за счет сранения полученных данных с пирограммами заранее внесенных стандартных полимеров. Преимуществом данной методики является получение намного точных результатов, при этом частицы размещяются вручную в пиролизную трубку а это приводит ограничениям для мелких частиц. Вручную получится разместить только частицы большого размера, кроме этого для использовании больших количествах проб понадобится много времени.

На сегодняшний день намного часто используется ИК-Фурье спектроскопические методы. Данный метод по принципу аналогичен с пиролиз – газовой хроматографией, только отличаются тем что тут сравнивается инфракрасный спектр поглащения и пропускания пробы со спектрами также

полимеров с определенными спектрами. Существуют несколько спектроскопических инструментов таких, как Инфракрасный - спектрометр, Инфракрасный – Фурье и спектрометр с ближней области спектра и т.д. С использованием этих приборов можно получить хорошие результаты. Но существуют технические трудности при использовании инфракрасной-Фурье спектрафотометра, т.е трудности связаны с мелким размером частиц [6]. Хотя с помощью спектроскопии микро-инфракрасной-Фурье или Инфракрасная спектроскопия с Фурье-преоброзованием ослабленного полного отражения (ATR) можно избежать от трудностей. Так как с использованием инфракрасный-Фурье спектроскопии с дополнительными оборудованиями можно проводить одновременно визуальную идентификацию, картирование проб, и вид полимера определяется автоматически. Вместе с такими возможностями для данного прибора понадобится большие деньги, много времени и не все специалисты смогут провести данный анализ. Поэтому не получится исследовать весь материал, изъятый из пробы, только определенная его часть. (переделала!)

Существует еще такой вид методов спектрокопии так называемый, как рамановская спектроскопия (Raman). Считается сранительно эффективным методом спектроскопии – комбинационного рассеяния. [32]. Главным преимуществом данного метода то, что в данном методе можно проводить измерения в воде и использовать стеклянные и кварцевые кювет, без пробоподготовки. А также соединение функций данного метода и микроскопического анализа дает возможность получать значении о кристаллической структуре полимера и даже проанализировать частиц крошечного размера. Объединение двух методов можно назвать микрорамановской спектроскопией (μ-Raman).

Существуют разные некоторые различия между микро ИК – Фурье (μ-FTIR) и микрорамановской (μ-Raman) спектроскопией. При применении рамановской спектроскопии сигнал органических веществ может частично ухудшаться из-за сильно влияющего флуоресцентного фона; хотя он может превышать величину

полимерного сигнала. При этом ИК – Фурье (μ-FTIR) и микрорамановская (μ-Raman) могут осуществить получение надежной и правдоподобной информацию для МП, для потребуется много времени.

Таблица 2.5.1 Краткое обзор часто используемых аналитических методов при идентификации и изучении МП.

Метод	Размерная группа частиц	Принцип проведения анализа	Преимущества	Недостатки
Световой микроскоп	До микрона (μм)	Визуальная сортировка МП по цвету,размеру и форме	Позволяет быструю и первичную идентификацию МП, что дает информацию дальнейшего исследования	• Отсуствие возможности определения типа пластика
FTIR	• Частиц размером > 500 мм можно проанализировать с использованием ATR-FTIR, • Частиц < 20 мм можно проанализировать с помощью микроскопии с дополнительными утройствами FTIR.		• Возможность обнаружение МП размером до 5–10 мкм; • FPA- FTIR спектрофотометра автоматическое сканирование образа фильтра и быстрое получение спектральной информации	• Мокрые образцы не анализируется; • Частиц в неправильной форме трудно получить правильный результат

Сканирующая электронная микроскопия, SEM	Не зависит от размера частиц	После проведения борбардирования пробы электронами ,выполняется повторное излучение	Требует дополнительных покрытий при создании вакуума	• Получение кдры хорошего качества • Потребуется дополнительные зарядовые эффекты и нанесение покрытий
Пиролиз – газовая хроматография с масс-спектрометрией	Не зависит от размера частиц	Масс -спектрометрия микропластика анализирование продуктов его разрушения	Дает возможность определить тип пластика и нерастворенные добавки без пробоподготовки, что предотвращает фоновые загрязнения;	Требование много времени, частицы загружаются по одному
Рамановская спектроскопия	Анализирование частиц > 1 μм	Под влиянием света возбуждается молекулярные колебания.Вычисляются спектры неупругого рассеяния света	μ-Raman спектрофотометр является бесконтактным и неразрушающим методом; Возможность применение для большого спектра материалов	Иногда сигнал органических веществ может частично ухудшаться из-за сильно флуоресцентного фона

2.6 Отличие методик анализа проведенного для морских и пресноводных экосистем .

В последнее время много усилий было направлено на изучение загрязнения микропластиком водных объектов. Рассматриваемые как полузамкнутые системы с различными гидрографическими условиями, пресноводные озера могут страдать от присутствия микропластика даже больше, чем океан и прибрежные районы . В целом проведение исследования в морских и пресноводных экосистемах аналогичны, но есть некоторые отличия методик при отбор проб, обработке и идентификации микропластиков. Итак ниже приведены детальный обзор по схожести и отличия методик:

При отборе проб в морских экосистемах используются инструменты (судна, пробоотборник, работники и т.д) в большого объема; В то время для пресноводных экоссистем намного легче отбирать пробы; При этом в пресноводных экосистемах обработку проб воды и донных отложений нужно проводить в два этапа, потому что пресноводные экосистемы являются полузамкнутыми, соответственно они обычно имеют более высокое содержание органического вещества, чем в морских отложениях. Поэтому переваривание органического вещества проводится в два этапа по модифицированному методу NOAA [71]. Т.е первая этап начинается с влажного окисления, но только с 30%-ной H_2O_2, затем делают плотностное разделение после чего повторно проводится влажное окисление с реактивом Фентона: 30%-ной H_2O_2 + Fe (II) и дополнительного разложение нерастворенных веществ используется HCl ;

Даже если нет количественных данных про влияние соленности воды на пластиковые предметы, я думаю в морских экосистемах пластики быстро распадаются на мелкие частицы в морской среде и в итоге их сложнее будет идентифицировать (размер ячеи сеток и визуальная сортирока и т.д) ;

Глава 3. Общая характеристика района исследования

3.1 Физико-географическая характеристика Балтийского моря

3.1.1 Общая характеристика

Балтийское море — замкнутое море в Северной Европе, в которое впадают воды из рек 9 промышленно развитых стран, а с Атлантическим океаном оно связано лишь очень узкими проливами. Самым северным краем моря являеяется Аландские острова, Ботнический залив и с севера соединяются с Финским заливов, а также Рижский залив находится в восточной части.

Он очень чувствителен к антропогенному загрязнению. В настоящее время Балтийское море является наиболее изученным морским районом Российской Федерации, где российские и европейские ученые приложили много усилий для измерения и мониторинга пластикового загрязнения как воды, так и донных отложений. Российской частью моря являются территориальные воды вблизи в юго-восточной части моря Калининградской области (Самбийский полуостров) и в северо-восточной части узкий и мелководный Финский залив.

Рисунок 3.1.1. Картаграфическое изображение Балтийского моря

Северное море является соединительной точкой между Балтийским морем (БМ) и Атлантическим океаном. Как и все другие европейские моря, побережье Балтийского моря густонаселено, и в его водосборный бассейн попадают речные стоки из высокоразвитых стран. Проливы БМ сравнительно мелководны, это может спровоцировать плохой водообмен, что немало важно для формировании свойств Балтийского моря. Кильский канал является связью между Балтийским море и с Северным морем.

Средняя глубина моря составляет около 48 м и в самых губоких частях глубина доходит до 459 м, имеет длину на 1500 км. Общая площадь БМ составляет около 423 000 км^2, имеет 20080 км^3 объем. У водосборного бассейна площадь равна 1,7 млн км^2.

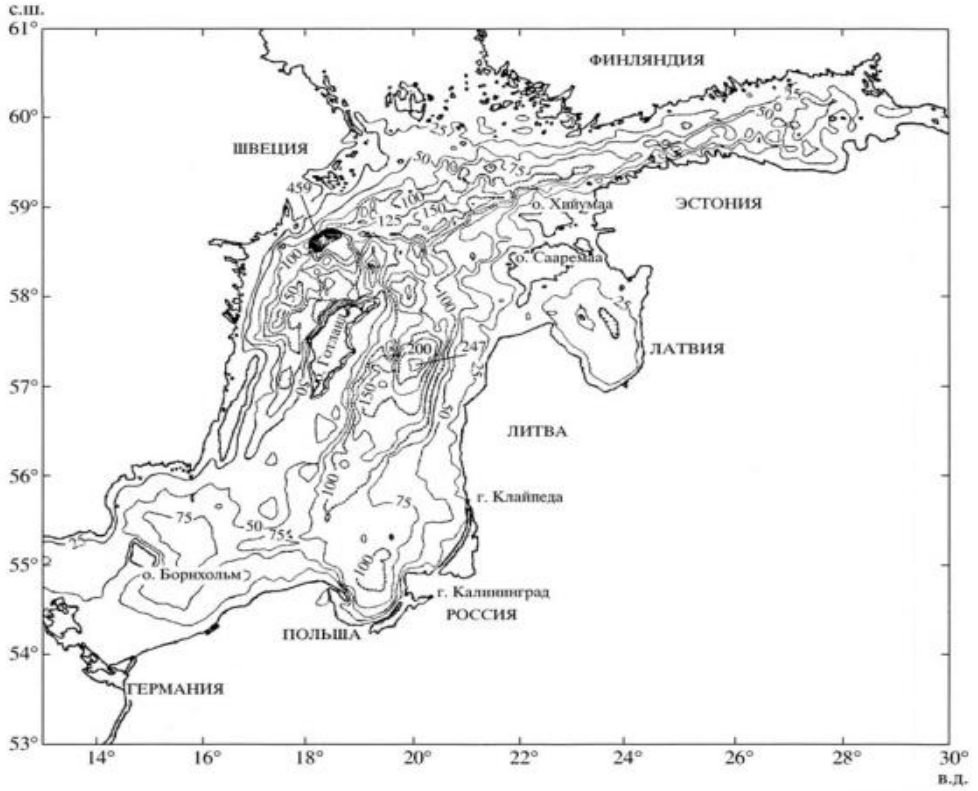


Рисунок 3.1.2. Уменшенная копия батиметрической карты [76].

Балтийское море можно разделить на 3 части:

1. Северная часть – начиная с Ирбеиского пролива в сторону севера;
2. Центральная часть - от Ирбеиского пролива до Клайпеды
3. Южная часть - от Клайпеды до Датских проливов

Соединительная часть остров Форе и Готланд разделяет Балтийское море на 2 части: восточные и западные части (рис. 3.1.2).

3.1.2 Строение берегов

Длина береговой линии Балтийского моря составляет 22 000 км. Полусотров Ютландия, Финский и Ботнический залив имеют неравномерный берег. За счет взвихривание БМ, некоторые берега перемещены в сторону моря. В Северной части моря скорость годового передвижения суш достигает от +1 до + 9 мм/год. Однако полуостров Ютландия в процессе погружения от 0,5 – 2 мм/год.

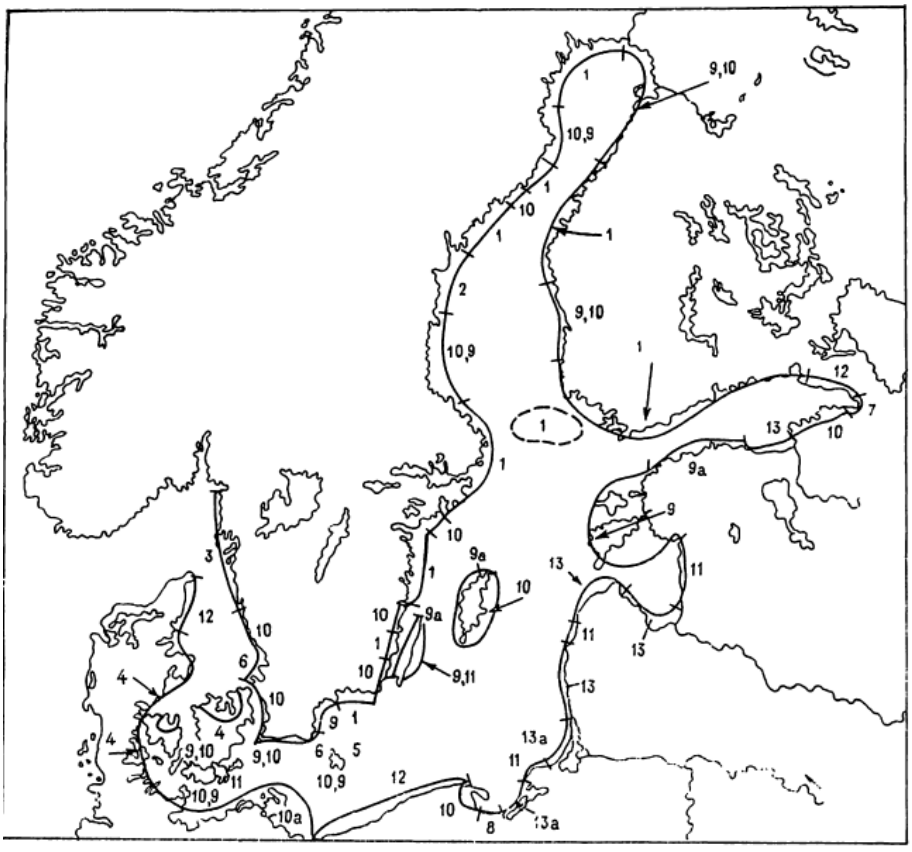


Рисунок 3.1.3. Распределение основных видов современных берегов Балтийского моря , где 1 – Шхерные, 2 – фиордовые, 3 – фиордово-шхердовые, 4 –фиардовые, 5 – первично бухтовые, 6 – сбросовые берега , 7 – дельтовые, 8 – берега аллювиально – морской аккумуляции; 9 – абразивно бухтовые, 9а – глинтовый подтип берега, 10 – абразивно – аккумулятивные бухтовые, 10а – юолденовый подтип берега, 11 – абразионно выровненные, 12 – абразивно – акумулятивно воровненные, 13 – выровненные, 13а – лагунный подтип берега.

На свойства развития берегов повлияли литолический состав и свойства пород и отложений, а также есть вклад со стороны тектоник и условий залегания пород. Большинство берегов находятся на территории прежней Скандинавии.

По характеру рельефа дна Центрального бассейна БМ подразделяются на три района: южный, средний и северный. Для южного района характерна выровненный рельеф, средний район имеет ступенчатое строение рельефа дня, северная часть имеет холмисто – грядовый рельеф дна.

Как известно БМ расположено между переходной зоной и заливами (Ботнический, Финский, Рижский и Калининградский. Балтийское моря имеет впадину под названием Арконская. В Арконскую впадину попадают воды северо – морских заливов. Глубина впадины более 40 м и достигает до 55 м. Форма впадины круглая. Равнины с слабохолмистыми наклонами. Рельеф дна впадины покрыт рыхлыми осадками поздне и послеледникового возраста и представляет собой плоскую равнину.С востока ограничена порогом Сконе-Ордер.

Абразионно – аккумулятивные берега расположены в районе Гёвле, в Северном кваркане, и Ханёбуктен. Песчано – гравийные и песчаные называются аккумулятивными берегами. Такие берега преобладают на юго – востоке о.Эланд и в бух. Ханёбуктен. В Швеции существуют абразионные участки. Длина которых достигает до 700 км. Ежегодно в море с абразионных участков попадают обломочные материалы, годовой объем данных материалов достигает от 615 до 1080 тыс. $м^3$.

На полуострове Ютландия широко распространена тип берега представляющий собою чередование относительно возвышенных участков с

долинообразными узкими понижениями, далеко уходящими в глубь материка. Переименован как фьордовый берег. Данный берег результат затопленных долин морем. Ветровые осушки преобладают в районах датского берега.

Для Рижского залива характерна простое строение подводного рельефа. Впадина данного района имеет чаше-образную впадину. Максимальная глубина составляет около 56 м, минимальная глубина 40 м.

3.1.3Климат

Балтийское море расположено между морской умеренной и континентальной субарктической климатическими зонами. Влажная и относительно мягкая морская воздушная масса из Северной Атлантики и континентальная воздушная масса России взаимодействуют друг с другом и создают сильно изменчивый климат в Балтийском регионе. Из частей моря замерзают южная и центральные части. Крупные морские льды сковываяют только Ботнический, Финский и Рижский заливы. Максимально замерзающие порты это Клайпеда и Неман.

Есть те части бассейна, которые отличаются климатами. Ниже приведена схема областей и климатические особенности. В южной и западной частях моря проявляется сильное влияние Атлантического океана.

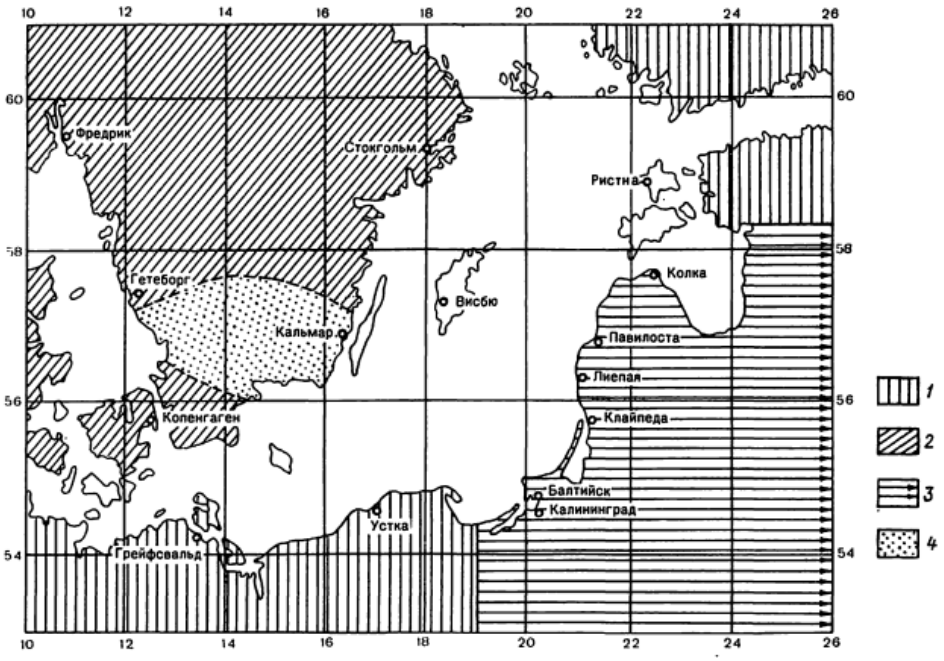


Рисунок 3.1.3. Граница климатических зон. по П.Хупферу. [77]

1- Преимущественно морской климат, 2 - морской климат, 3 – все более (в направлении стрелок) континентальный климат, 4- климат, обусловленный высотным положением района.

Моря высоких широт демонстрируют сильные тепловые потоки в атмосферу. С другой стороны, в результате интенсивной активности циклонов происходит перенос теплого воздуха из более низких широт. Этот перенос особенно силен в центральной и северной Европе, потому что Гольфстрим и его расширение приносят тепло в эти районы. В результате средняя температура атмосферы в районе Балтийского моря намного выше, чем где-либо еще в соответствующих широтах.

Изменение температуры воздуха в среднем меняется от 8 - 15 ^{o}C. Климат определяется силой западных ветров и расположением полярного фронта. Вместе они выражают значительные сезонные и межгодовые колебания климата. Южная и западная части БМ относятся к центральноевропейской зоне мягкого климата с западной циркуляцией. Северная часть обычно располагается на пути полярного фронта, который отделяет холодную арктическую воздушную массу от более теплых и влажных воздушных масс на юге. Полярный фронт колеблется над областью БМ в течение зимы; центральная часть БМ, включая Финский

залив, может находиться либо на мягкой, либо на холодной стороне фронта в зависимости от время года. Летом фронт располагается дальше на севере. Во время теплого лета и холодной зимы давление воздуха является стабильным, а ветры слабыми, и блокирование ситуаций с высоким давлением является общей чертой. В такие периоды погода может быть очень стабильной в течение нескольких недель.

При климатооразования данного региона влияют такие факторы, как факторы возникающие от географических особенностей Земли, факторы возникающие от локальных особенностей территории. Климат БМ аналогичен с остальными территориями где умеренная зона , т.е по объему солнечной радиации, стабильности смен времен года и изменчивости погоды за счет циркуляции.

Еще одним влияющим фактором на климат БМ является раположение моря. БМ находится между Атлатическим океаном и крупным материком земного шара – Евразией.

В БМ наблюдается нестабильное изменение радиационного баланса. К примеру возьмем месяц июнь, в это время года радиационный баланс намного больше чем в месяце декабрь. По утверженим ученных, во время зимы получаемая радиация оценивается не более 30 %. В другие месяцы данное соотношение повышается до 40-50%.

Ниже приведена график (рис. 3.1.3) показывающий годовое состояние радиационного баланса для поверхности Балтийского моря. В течение года большинство времени значение радиационный баланса положителен, а также намного выше чем в других ближних территориях.

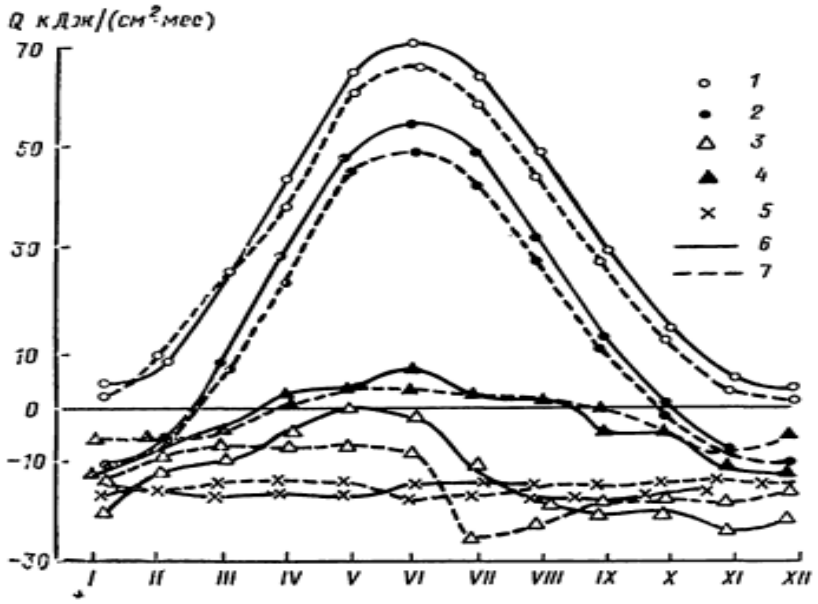


Рисунок 3.1.4. Состояние теплового баланса Балтийского моря (Дж/(см ^{2}*мес) за один год для открытой (6) и закрытой (7) частей Балтийского моря 1 - поглощенная суммарная радиация, 2- радиационый баланс, 3- затраты тепла, 4 – турбуленттый теплообмен с атмосферной, 5- эффективное излучение [75].

Осенью и зимой надцентральной частью распологаются антициклоны, когда в Северной атлантике распологается циклон. В итоге действие этих явлений создают горизонтальные градиенты даяления, что справоцируует увеление скорости ветра. Максимальные значения скорости ветра наблюдаются в территории Финского залива и центральных районах Балтийского моря. В среднем скорости ветра имеют значении от 7-8 м/с.

Как обычно влажность воздуха высокая, т.е достигают от 70-95%. Начиная с весны до осени запданая м южная часть БМ имеют высокие значении влажности, это обусловлен влиянием морского воздуха. В центральной и восточной части моря такие высокие влажности не наблюдаются.

3.1.4 Геологическое строение и твердые породы дна

В юго-западной части докембрийской Восточно-Европейской платформы располагается Балтийское море. История геологического изучения дна разделяется на 3 этапа. До 1960 г. Геологические исследования носили

случайный характер и единственное изучались донные осадки. Во втором этапе проводились геолого-геофизических исследований и выяснялись глубинные строения дна моря, проводились картирование геологических и тектонических. Третий этап продолжаю прежние работы еще начались работы по поисково-разведочное бурение на газ и нефть на дне моря. Также начали работы по оценке некоторых минеральных ресурсов.

В территории моря выделяются три крупные геологические структуры: Балтийская синеклиза, Балтийский щит и Краевая синклиналь (рис. 3.1.5).

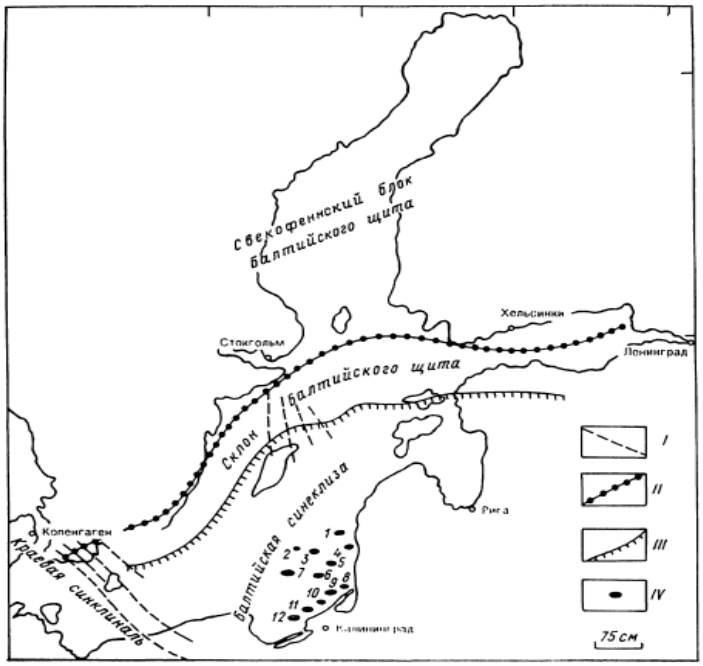


Рисунок 3.1.5 Схема тектонического районирования дня Балтийского моря [том 3] , где 1 - глубинные разломы, 2 – южная граница Балтийского шита, 3 – северная граница Балтийской синеклизы, 4 – локальные поднятия (структуры): 1 - Лиепое море, 2 – Западно Балтийское, 3 – Балтийское, 4 – Папес море, 5 – Западно Клайпедские, 7 - Южно Балтийское, 8-Клайпедское, 9 - Западно Нидское, 10- Светлогорское, 11-Таран море, 12 – Морское.

В Центральной части моря располагается Балтийская синеклиза — прогиб, которого образовался в докебрийском кристаллическом фундаменте. Этот прогиб заполнился осадками палеозоя, нижние горизонты которых являются нефтеносными. Финский залив расположен на склоне Балтийского щита, а на

самом щите – Ботнический залив. Краевая синклиналь сложена осадочными породами, которые испытали сильное сжатие. Они смяты в мелкие складки в основном северо-западного простирания и разорваны многочисленными надвигами, сбросами, сдвигами и трещинами. Верхняя часть осадочного чехла этой синклинали представлена меловыми и юрскими породами, мощность которых намного больше, чем в Балтийской синеклизе. Здесь есть сравнительно молодые (пермские) вулканические породы (базальты), отсутствующие в Балтийской синеклизе. Дно Ботнического залива представлено метаморфизованными осадочными породами, метаморфическими и магматическими породами протерозоя и археозоя. В юго - западной части залива шведские геологи закартировали прогиб кристаллического фундамента, который заполнен осадочными породами кембрия и ордовика. [75]

3.1.5 Гидрологический режим

За счет географического расположения Балтийского моря, гидрологический режим моря многообразна и изменчива. Гидрологический режим БМ оценивается климатом, атмосферной циркуляцией и количеством поступления пресных вод , т.е водообменом с другими водныеми объектами.

В море по данным различных факторов в среднем за год поступает от 440-490 км^3 пресной воды. Главным компонентом водного режима БМ является речной сток. Потому что соотношение речных вод составляет 1/3 моря. Кроме этого речной сток влияет на :

а) режим мелководных заливов

б) верхний квазиоднородного слоя

в) циркуляцию и водообмен с Северным морем

Балтийское море как крупный бесприливной эстуарий длиной более 1500 км и широтой около 650 км. Ниже приведена площадь водосборного бассейна (рис. 3.1.6)

Рисунок. 3.1.6. Районы водосборного бассейна рек, впадающих в Балтийское море ; где, 1-Средняя Швеция, 2 – Северо-Запад, 3 – Северо – Восток, 4 - Прибалтика, 4а – Финское побережье Ботнического залива, 5 – Центральная Европа, 6 – Дания и юг Швеции.

В море впадает 240 рек. Значение стока воды около 472 км^3/год. Из впадающих рек самым крупным считается Нева, ее средний годовой объем стока около 85 км^3 и площадь водосбора 281000 км^2, второй по величине – Висла, средний годовой объем стока достигает 32 км^3, площадь водосбора 193866 км^2. Также река Западная Двина и Неман считаются достаточно крупной рекой, Объем годового речного стока составляет около 20 -21 км^3. Годовой водообмен Северного моря с Балтийским морем достигает до 1660 км^3 /год.

В зависимости от времени года температурный режим БМ изменяется. В Балтийском море режим температуры регулируется за счет таких гидрометеорологических эффектов, как соленость, слой воды, водообмен и т.д.

По требованиям регулирования температурного режима, существует такие типы слоев: первый слой – где происходит теплообмен между водой и воздухом средний слой – являющейся результатом вертикального теплообмена, последний слой – подвергающейся периодически к теплым эффектам.

Соленость – намного важный параметр состояния морской воды, ниже приведены основные определяющие о факторы при возникновении гидролого-гидрохимического климата БМ.

1) За счет водообмена с Северным морем
2) Соли за счет речных стоков;
3) В процессе вертикальных обменов (вихри)

Соленость поверхностных вод изменяется неравномерно. После проведенных наблюдений, выяснили что межгодовые колебания солености в Арконском бассейне достигает максимального значения в придонном слое, в Борнхольмском бассейне на 60 -70 м, а в центральных и северных частях Балтики на глубине 70-90 м имеют максимальное значение солености.

Кроме этого происходят такие процесы, как испарение,осадки и ледотаяние. Однако данные процессы не столь важны для открытого моря.

От температуры и солености воды меняется плотности воды, значит вышеуказанные закономерности изменений относятся и для значений плотности. Максимальная изменчивость плотности наблюдается в южных частях БМ, также при увеличении глубин и изменчивости напрвления приводит к уменьшению значения плотности.

После изложенных факторов приходим к выводу, что описыващей особенностью открытой части БМ считается переслоенность с ярковыраженными поверхностями раздела слоев разной плотности. Итак это важная причина в структуре временной изменчивости гидрологических процессов, происходящих в поверхностных и глубинных слоях водной среды.

3.2 Физико – географическая характеристика Финского залива

3.2.1 Общая характеристика

Финский залив (ФЗ) – достаточно вытянутый, узкий и значительно мелководный бассейн Балтийского моря (БМ), распалагается в восточной части моря и окружен такими странами, как Эстония, Финляндия и Россия.

Ранее его западной границей считалась линия между Пыысаспеа – Осмуссаар – Город Ханко (1910 год). Он расположен в географическое местоположение расположен координатах 59°11 северной широты / от 22°50'E и 60°46'N / 30°20'E до.

Даже в масштабе Балтийкого моря Финский залив представляет собой относительно небольшой бассейн. Его длина составляет около 400 км , а ширина варьируется в западной и средней части начиная с Таллина 48 км и средне – западной части меняется, начиная (полуострова Порккала) от залива Нарва до Котки расстояние достигает 135 км. Его объем 1 103 км^3 и площадь поверхности 29 948 км^2, а это составляют около 5 % от объема и около 7,5 % от поверхностной площади Балтийского моря. Тем не менее, он оказывает относительно большое влияние на Балтийское море благодаря своей площади водосборной площадью – 420 990 км^2, то есть примерно это одна четвертой части от общей площади водосбора Балтийского моря и в добавок этому объемный речной сток.

В Восточной части Финского залива расположена Невская губа. На территории Финского залива построен “дамба”. Называется Комплексом защитных сооружений (КЗС), с целью защитить город от наводнения был построен данный комплекс. В итоге после строительства данного сооружения Невская губа превратилась в изолированный водоем с мелководием.

Невская губа имеет площадь равную к 320 км^2, длина и ширина достигают 25 км и 15 км; Средняя глубина водоема составляет 3-4 м. Максимальная глубина достигает 115 м, в западной части залива средняя глубина равна 48 м. [78].

Рисунок 3.2.5 Финский залив на карте

3.2.2 Гидрологический режим

Среднегодовой речной сток в Финский залив составляет 114 км^3/год, что составляет примерно одну десятую часть объема залива. В более ранних исследованиях (данные 1950-х и 1960-х годов) это значение оценивалось в 110-115 км^3/год. Как известно, основные впадающие реки Финского залива, как Нева, Нарва, Кюми-Йоки, Луга.

Восточный Финский залив получает самый большой приток пресной воды от реки Нева. Объем среднемесячного стока р. Невы составляет 2432 м^3/с, минимальный объем речного стока 861 м^3/с до 3650 м^3/с, с легкостью перекрывает следующие по величине реки, впадающие в ФЗ; Вторая по величине река Нарва 398 м^3/с , минимальный объем речного стока от 131 достигает до 949 м^3/с, р. Кюми-Йоки, 304 м^3/с минимальный объем речного стока 87-743 м^3/с и река Луга 104 м^3/с минимальный объем речного стока 14-634

м^3/с. Среднегодовой расход всех четырех рек составляет около 100 км^3/год, что составляет 89 % от общего речного стока в Финский залив (рис. 3.2.6).

Только на долю реки Нева приходится 67% речного стока, поступающего в Финский залив. В целом, в течение исследуемого периода наблюдалась тенденция к увеличению речного стока, но эта тенденция носит нелинейный характер (рис. 6). В 2003 году сток был аномально низким. Временные колебания стока велики, что способствует кратковременным колебаниям солености в Финский залив.

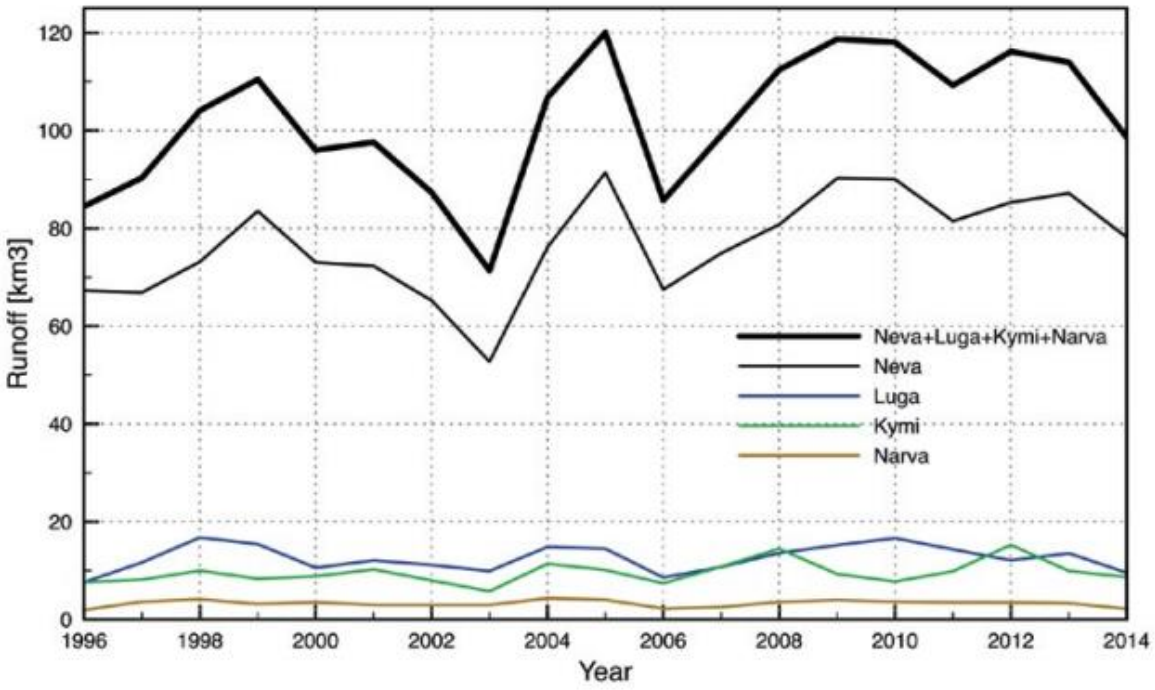


Рисунок 3.2.6. Стоки рек Невы, Нарвы, Кимийоки и Луги

в ФЗ в зависимости от времени. Источник: Финский метеорологический институт.

Динамика эстуарийа ФЗ в основном определяется балансом между притоком пресной воды и адвекцией из бассейна Северного Готланда (рис. 3.2.7.). Сильно анизотропное воздействие ветра иногда может играть важную роль в водообмене. Сильные юго-западные ветры действуют против стандартной циркуляции в устье реки, выталкивая большое количество более свежей поверхностной воды обратно в ФЗ. Избыточный объем воды увеличивает гидростатическое давление в ФЗ и может привести к постепенному вывозу

соляного клина в нижнем слое ФЗ. Основным следствием такого изменения эстуарного переноса является ослабление стратификации на входе в ФЗ, сопровождающееся усилением вертикального перемешивания его практические последствия для функционирования глубоководной экосистемы еще не до конца поняты. ФЗ имеет положительный баланс пресной воды.

Чистый отток 130 км^3/год уже сообщалось Виттингом (1910). Приняли во внимание относительно постоянные мезомасштабные особенности (локальные струи, синоптические вихри, инерционные колебания), которые вызывают сравнительно кратковременный перенос воды через линию входа в ФЗ, и получил чистый отток в размере 119 км^3 /год в 1987-1992 годах.

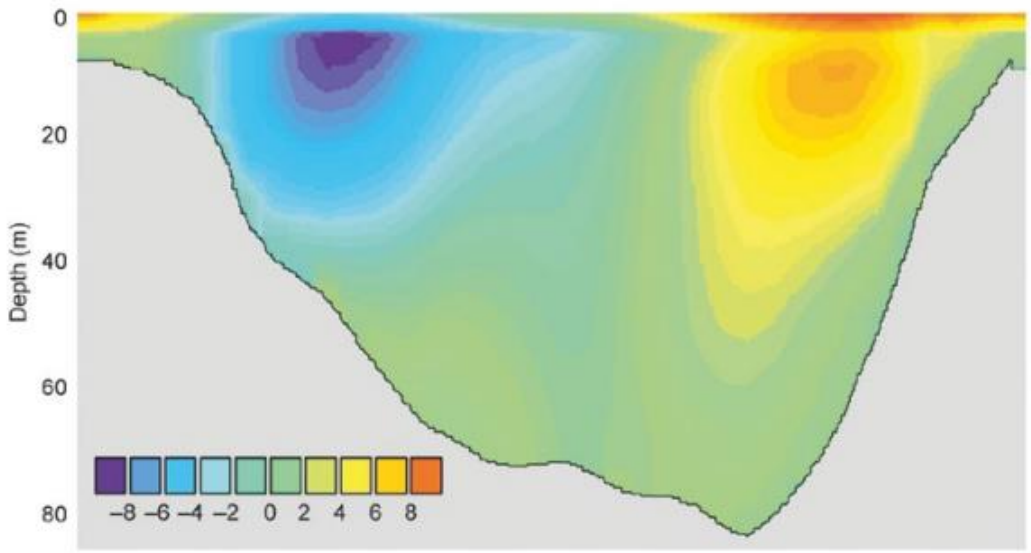


Рисунок 3.2.7. Смоделированное пятилетнее среднее значение притока (положительное) и оттока (отрицательное) текущая скорость (см/с) на входе в Финский залив (линия Ханко–Осмуссаар).

Это близко к общему речному стоку в ФЗ. Если мы определим возраст частицы воды как время, прошедшее с момента появления частицы покидает морскую поверхность , самая старая вода (около 8,3 лет), очевидно, находится на дне ФЗ. Однако возраст воды в срок годности в отношении водообмена с бассейном Северного Готланда составляет не более двух лет, что подчеркивает

интенсивное взаимодействие между этими двумя суббассейнами Балтийского моря.

ФЗ обладает особенностями, характерными для крупных эстуариев. Его можно рассматривать как переходную зону от практически пресных вод Невской губы к солоноватым водам бассейна Готланда. Поскольку между ФЗ и бассейном Готланда нет порога, в более глубокой части ФЗ не существует особых водных масс, изолированных топографией. Непрерывному притоку пресной воды со стороны суши противостоит клин более соленой воды, поступающей в глубины ФЗ из моря. Поверх этой схемы существует сильная вертикальная перемешивание, хотя оно уменьшается за счет галоклина в более глубоких частях ФЗ и сезонного термоклина по всему ФЗ. Соленость увеличивается в западном и южном направлениях в ФЗ. Соленость поверхности колеблется от пресной воды в устье реки Невы до 6-6,5 г/кг на западе. В нижнем слое соленость обычно выше. В западном ФЗ, где существует галоклин, он колеблется от 7 до 9 г/кг, а иногда достигает > 10 г/кг. На среднем востоке этот диапазон составляет от 5 до 8 г/кг, а на востоке - от 0 до 5 г/кг .

3.2.3 Климатические условии

Финскому заливу характерна умеренный континентальный климат. Независимо от эффекта льдов, зимой бывает влажная и в то же время мягкая пагода, летом преобладает средние температура воздуха.

После результатов наблюдений, выянилось температура атмосферного воздуха в Финского залива неравномерно колеблется. Например, в 1996 году был прохладнее чем обычно до начала августа, в то время как весна 2014 года была теплой, но летом было переменчивым.

Условия ветра в районе БМ определяются общей циркуляцией атмосферы над Северной Европой. Этот район относится к зоне западных ветров. Как правило, в этом районе существует сильный зональный тип циркуляции,

приводящий к перемещению циклонов на восток. На эту настройку накладываются межгодовые атмосферные колебания. Широты, где расположен ФЗ, испытывают большая сезонная изменчивость инсоляции, которая, в свою очередь, влияет на характер ветра. Ветровой режим открытого моря определяется юго-западными ветрами, которые преобладают во всей зоне БМ(рис. 4). На местном уровне западные и восточные ветры, дующие вдоль ФЗ, также относительно часты. Значение змеренного ветра начиная от 6 доходит 10 м/с, также значении сильного ветра не менее 10 м/с. Дует в основном с юга / юго-запада на северном побережье, но на южном побережье чаще с юго-запада / запада. Юго-восточные ветры нечасты относительно слабы и значении частот не превышают парогвого значения . Как показывают измерения на борту судов и на маяках показывают, что средняя скорость ветра значительно выше в открытом море, чем на побережье. Если посравнить, средняя скорость ветра во время самых сильных штормов в ФЗ бывает 2-3 м/с ниже , чем в бассейне Готланда. Самые сильные ветры дуют с юга или юго-запада; средняя скорость ветра за три часа может достигать 25 м/с раз в столетие. Восточные ветры ограничены узким диапазоном направлений и могут достигать 23 м/с.

Местные ветры играют относительно большую роль в летнее время, когда крупномасштабные ветровые циклоны относительно слабы. Частые и относительно сильные дневные ветры, наблюдаемые вдоль северного побережья в типичных летних условиях, отражают взаимодействие основного потока, морского бриза и геометрии ФЗ. Извилины морского бриза, усиливаемые однонаправленным основным потоком, могут стать очевидными на южном побережье, поскольку на северном побережье дуют относительно сильные юго-западные ветры.

3.2.4План действий по Балтийскому морю

Путь к международному сотрудничеству по защите морской среды Финского залива (ФЗ) берет свое начало в 1955 году, когда Финляндия и Советский Союз установили взаимные условия сотрудничества в области науки и техники. Одним из результатов стало начало экологического сотрудничества ФЗ в 1968 году, основанное на предложении ученых Ленинграда и Таллина. В результате была создана совместная рабочая группа, занимающаяся изучением загрязнения ФЗ и функционирования экосистемы ФЗ. Таким образом, основа для экологического сотрудничество в рамках ФЗ было налажено почти полвека назад. Группа работала до распада Советского Союза в 1991 году.

Эстония, Финляндия и Россия вновь инициировали сотрудничество в 1992 году, логически следуя работе бывшей совместной рабочей группы. К этому времени стало ясно, что наука свернула со своего собственного пути и несколько отделилась от работы по управлению окружающей средой, проводимой ХЕЛКОМ и министерствами окружающей среды. Необходимо было помочь науке и менеджменту работать более тесно вместе и дополнять друг друга; трехстороннее сотрудничество в 1990-х годах привлекло внимание к поиску практических решений экологических проблем, преследуя более конкретные цели, чем раньше.

До нынешнего времени существует комиссия по защите морской среды Балтийского моря – под названием Хельсинкская комиссия (ХЕЛКОМ).
Данная комиссия представляет собой межправительственную организацию, включающую в себя десять, сотрудничают между собой такие стороны для стран: Дания, Эстония, Финляндия, Германия, Латвия, Литва, Польша, Швеция, Россия и Европейский союз (рисунок 3.3.1). Она создана четырех десятилетий назад, для защиты морской среды Балтийского моря от внешних и внутренних источников загрязнения как антропогенного и природного характера, за счет межправительственного сотрудничества.

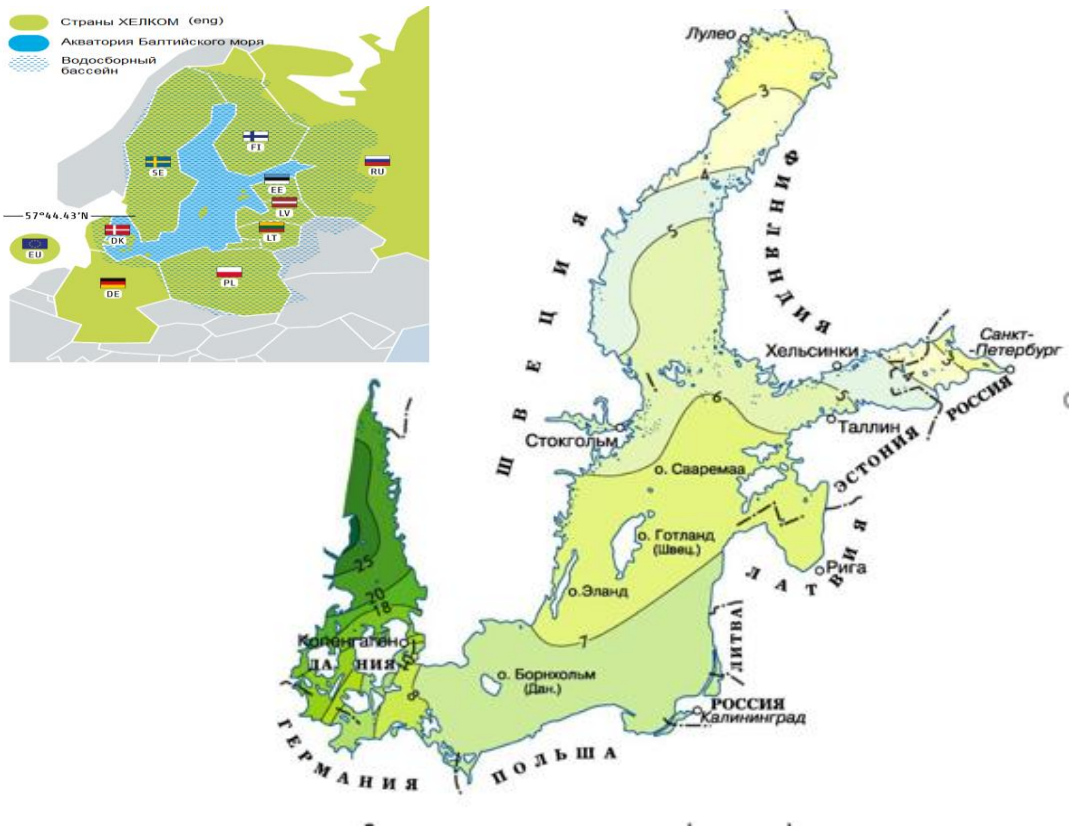


Рисунок 3.3.1. Территория, охватываемая деятельностью ХЕЛКОМ [22].

План действий по Балтийскому морю (ПДБМ), принятый Договаривающимися сторонами ХЕЛКОМ в 2007 году и обновленный в 2021 году, представляет собой стратегическую программу мер и действий ХЕЛКОМ по достижению хорошего экологического состояния моря, что в конечном итоге приведет к здоровому состоянию Балтийского моря. С момента своего принятия ПДБМ привел к ряду экологических улучшений, таких как сокращение поступлений питательных веществ в море, улучшение состояния биоразнообразия и уменьшение количества морских происшествий и разливов.

ПДБМ обеспечивает конкретную основу для работы ХЕЛКОМ. Он включает в себя новейшие научные знания и инновационные подходы к управлению для реализации стратегической политики и стимулирует целенаправленное многостороннее сотрудничество в регионе Балтийского моря.

Руководствуясь концепцией ХЕЛКОМ о «здоровой окружающей среде Балтийского моря с сбалансированным функционированием различных

биологических компонентов, что приводит к хорошему экологическому состоянию и поддерживает широкий спектр устойчивой экономической и социальной деятельности», обновленный ПДБМ разделен на четыре сегмента с конкретными целями.

- Биоразнообразие с его целью «Здоровая и устойчивая экосистема Балтийского моря»,
- Эвтрофикация с целью «не затронуть Балтийское море эвтрофикацией».
- Опасные вещества и мусор, с целью «освободить Балтийское море от опасных веществ и мусора», и
- Деятельность на море с целью «Экологически устойчивая деятельность на море».

Каждый из четырех сегментов построен вокруг обновленных экологических и управленческих целей ХЕЛКОМ и содержит конкретные меры и действия, которые должны быть реализованы не позднее 2030 года.

Разделение на сегменты направлено на то, чтобы отразить нагрузки, связанные с сушей («Эвтрофикация» и «Опасные вещества и мусор») и деятельностью на море («Морская деятельность»), а также с состоянием окружающей среды («Биоразнообразие»). Эти сегменты взаимосвязаны: достижение цели в рамках сегмента биоразнообразия также зависит от успешной реализации действий, включенных в другие три сегмента.

Реализация действий в обновленном ПДБМ будет отслеживается с помощью онлайн-инструмента HELCOM Explorer. Первый отчет о реализации мероприятий состоится в 2025 году и второй отчет в 2029 году. HELCOM Explorer также включает информацию о том, какие действия способствуют достижению каких цель управления. Для наблюдения за изменением состояния морской среды и для измерения прогресса в достижении целей, задач и задач в рамках ПДБМ ХЕЛКОМ будет продолжать проводить регулярный мониторинг и оценку.

Глава 4. Анализ результатов исследования.

4.1 Натурные наблюдения в Финском заливе

4.1.1 Выбор исследуемых объектов и отбора проб

Выбрали для данного исследования водную среду Невской губы Финского залива, которая является полузамкнутым водоемом и одновременно используется в качестве рекреационных целях , являясь достопримичательностью для жителей города Санкт-Петербург. Территория выбранного района служит в качестве конечного водоема, куда пути р.Нева приводят таких грязных загрязнителей как сточные воды , как известно в составе сточных вод содержатся пластиковые фрагменты и волокна синтетических тканей.

При исследовании в выбранном районе и проведении анализа микропластика была выбрана методика идентификации микропластика, описанная в главе 2, в разделе 2.4. По требованиям данной методики, был произведен отбор проб воды для дальнейшего анализа на наличие микропластика в период с 14.08.2021 по 15.08.2021 г. в прибрежной зоне восточной части Финского залива в черте города Санкт-Петербург. В качестве точек отбора были выбраны 6 пляжей (табл. 4.1.1.) на побережье Финского залива с различной антропогенной нагрузкой, а именно: Северный пляж в городе Кронштадт, парк Александрия, Ораниенбаум, Приморская, парк Трехсотлетия, Лисий нос .

Таблица 4.1.1. Место отбора проб с координатами

1. Приморская	59.953586 N	30.204094 E
2. Парк 300-летия	59.980921 N	30.199844 E
3. Лисий нос	60.00232 N	30.004017 E
4. Крондштадт Северный пляж	60.028518 N	29.667297 E
5. Ораниенбаум	59.919495 N	29.779019 E

6. Александрия	59.884970 N	29.940474 E

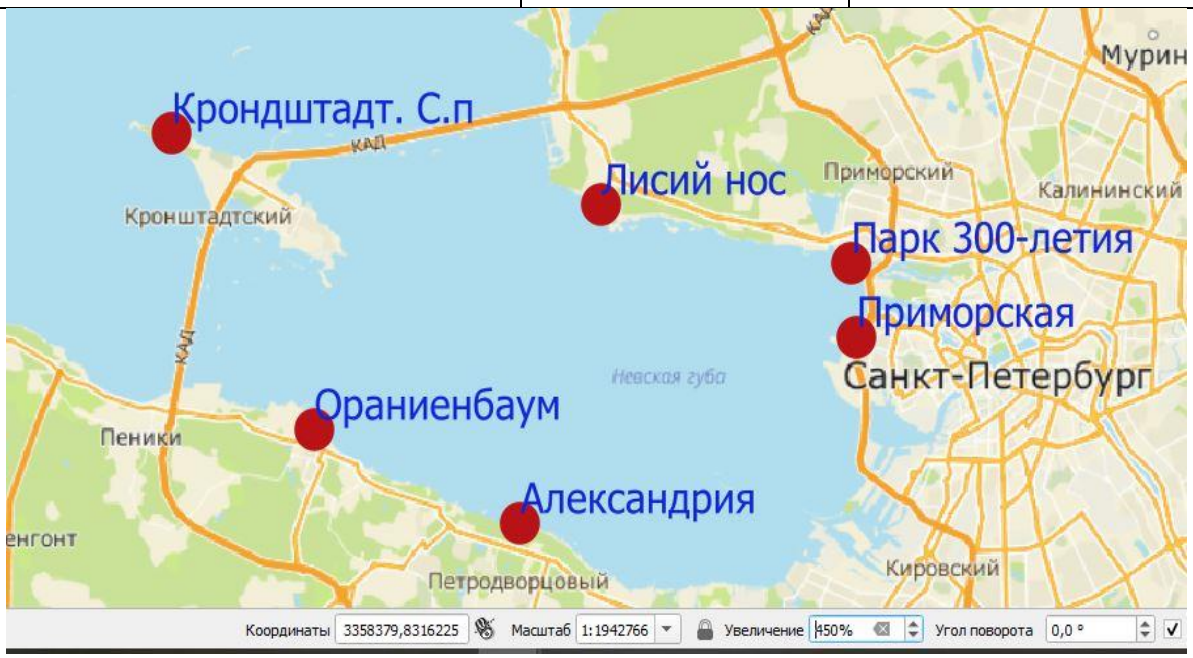


Рисунок 4.1.2 На карте указана место отбора проб и координаты

Отбор проб провели в прибрежной зоне в летнем сезоне и при солнечной погоде, как известно во время штормов и плохих погодных условиях недопустимо проводить отбор, это повлияет на высокое содержания взвешенных веществ (песок и органика) в пробе и других примесей. А также могут возникнуть трудности при чистки с филтровальной установки.

Отбор проб воды в поверхностном слое проводился с помощью специальной фильтровальной установки, сделанной в РГГМУ, детали которого: аккумулятор, погружной насос, шланг, счетчик воды и металлический фильтровальная сетка (размер ячейки 100 мкм). Пробы отбирались на глубине не меньше 0,5 м. Обычно пропускают воду через фильтровальную установку, в одинаковых объемах. Объем фильтрованной воды составляется 100 л. Загрязнение контролируется на протяжении всего отбора проб: проводился отбор холостых проб – дистиллированной воды, используемой для промывки металлической сетки, и посуды для обработки пробы, реактива фиксатора а также отбор и обработку проб выполняет один и тот же работник, в одежде сделанный из хлобчатобумажных тканей, чтобы минимизировать попадания в

пробы синтетических волокон. С помощью микроскопа произвели предварительную проверку над фильтром на наличие посторонних волокон.

Затем следует лабораторный анализ проб, который включает в себя такие этапы как: просеивание взвешенных веществ, термохимическую обработку, фильтрование, просушку и визуальную сортировку с использованием светового микроскопа и проверка микрочастиц с помощью «горячей иглы» на принадлежность к полимерным материалам. Частицы разделены на размерную группу, а также классифицированы по цвету и форме. (рис.4.1.3)

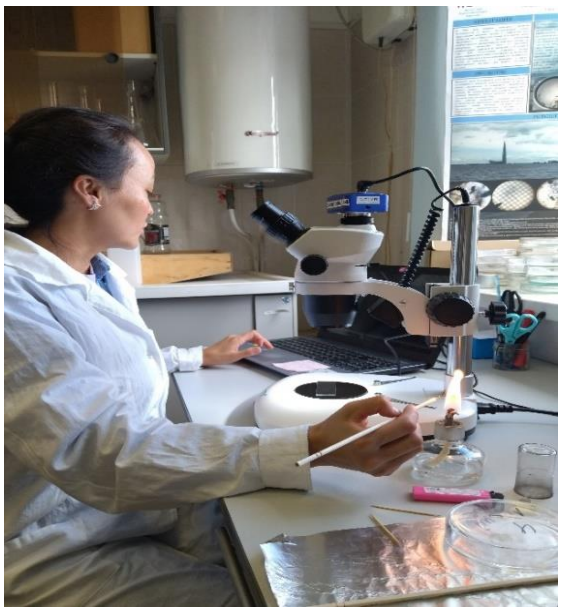


Рисунок 4.1.3 Проведение лабораторных анализов и идентификации микропластика в лаборатории РГГМУ;

4.2 Анализ полученных результатов

В процессе исследования водной среды Невской губы Финского залива, с помощью оптического микроскопа определили количестов частиц микропластика, и по форме разделили на 3 класса: фрагменты, нити (волокна) и пленки.

В пробах воды преобладают пленки (рис. 4.2.1) в размерной диапозоне от 0,2 мм – 1,97 мм (145 – 1965 мкм), а также размерный диапозон нитевидных частиц микропластика начиная с 0,1 мм достигает 2,4 мм (106 – 2400 мкм); длина фрагментов начиная с 0,1 мм до 1,0 мм (105 – 1030 мкм);

По цвету преобладают микроволокна прозрачного цвета, кроме этого наблюдались волокна темно-синего, красного и бежевого цвета; Пленки в основоном прозначные и блестящие. Ниже приведена (рис.4.2.1) процентное соотношение частиц по 3 классам.

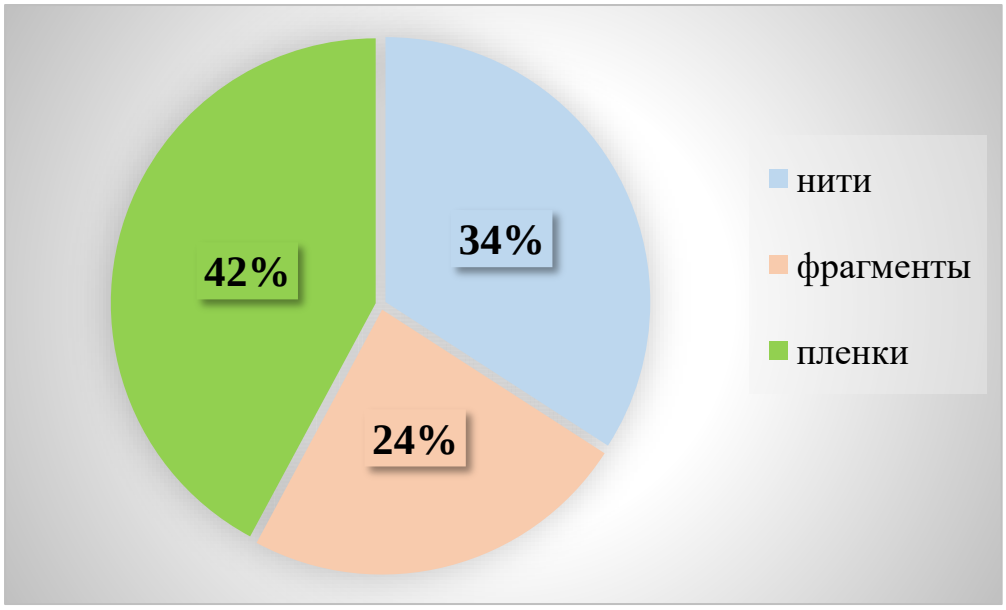


Рисунок 4.2.1 Доли (%) частиц микропластика различной формы в пробы воды Невской губы Финского залива.

Как упоминалось выше, нитевидные пластиковые волокна образуются за счет отслоения синтетических волокон при стирке одежды и могут попадать в

водную среду с обработанными городскими сточными водами, также источником загрязнения нитевидными волокнами являются рыболовные лески и сети.

Как показано (рис. 4.2.2) самое высокое содержание микропластика зафиксировано в точке отбора «Ораниенбаум» расположенный на юге Невской губы и составила 2,55 частиц на литр воды, причиной такого высокого содержания частиц является антропогенная и рекреационная нагрузка. Данная станция отбора находится на территории города Ломоносов. Как нам известно, рядом с местом отбора расположен пляжь “Янтарь”, за счет чего присутствует высокая рекреационная наргузка. А также большое влияние получает от р. Карастра куда попадают сточные и ливневые воды города. Данная река проходит через город, достопримечательности, пруды и впадает в Ломоносовкую гавань и через него попадает в Невскую губу.

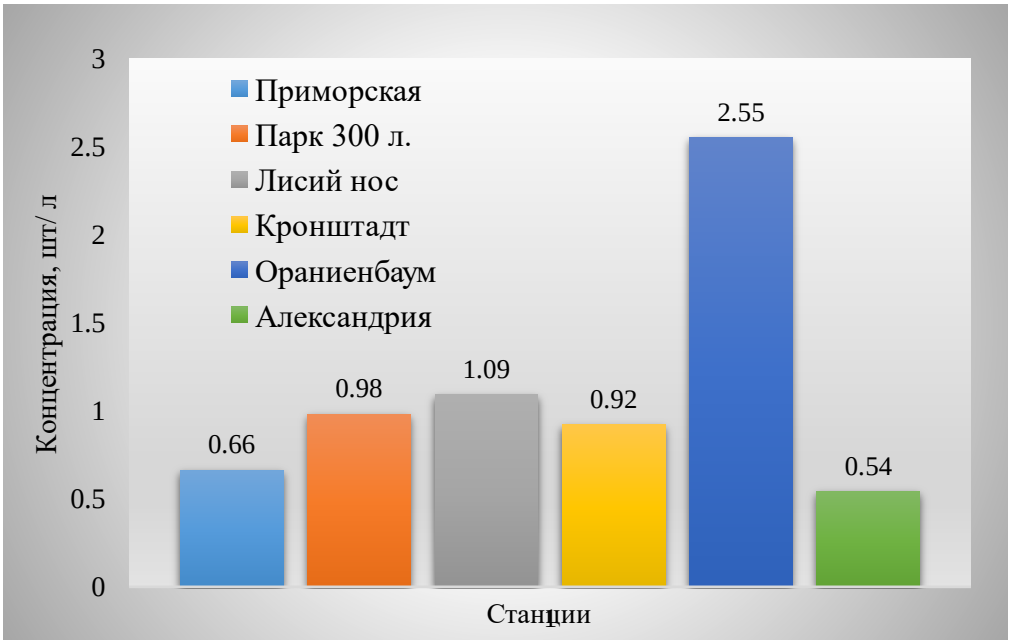


Рисунок 4.2.2. График содержание микрочастиц в поверхностном слое в водной среде Финского залива , шт/ л;

А также высокие концентрации в точках отбора «Лисий нос» (1,05 частиц на 1 л воды) и «Парк 300 летия» (0,98 частиц на 1 л воды), Приморская (0,62

частиц на 1 л воды), «Кронштадте на Северном пляже» (0,91 частиц на 1 л воды) (таблица 4.2.1).

Такая высокая концентрация частиц связана со значительным влиянием антропогенных и природных факторов. Поскольку станции расположены неподалеку от пляжей, например в точке отбора « Лисий нос », «Парк 300 летия» рядом расположены пляж « Морские Дубки » и Парк 300 летия. В результате таких антропогенных и рекреационных нагрузок уровень загрязненности микропластиком повышается. Кроме этого в точках «Парк 300 летия» и «Приморская» присутстует влияние стока р. Невы. Потому что, один из главных источников загрязнения вод Невской губы происходит при впадении р. Невы в Финский залив, т.е попадают неочищенные сточные воды в р.Нева и дальше транпортируются, распределяются в соответствии гидродинамическими характеристиками.

А также точки « Кронштадт Северный пляж » и « Лисий нос » находятся в открытой части Финского залива, за счет этого их территория сильно подвержены такой природной нагрузке, как ветер. В точке отбора «Кронштадт Северный пляж» аккумуляция морского мусора тесно связано влияниями юго-восточного ветра. В результате ветровых эффектов природы, значительная часть пластиковых отходов попадает в морскую среду.

Итоги проведенного исследования приводят к тому, что на состояние водной среды Невской губы Финского залива влияют такие факторы, как антропогенные и природные. В результаты анализа потверждают то, что речные стоки города Санкт-Петербург играют немало важную роль на состояние Невской губы. Как известно, р.Нева имеет большой объема речного стока что дает значительный эффект. Кроме этого, существуют такие источники загрязнения, как Северная станция аэрации «ГУП водоканал», рекреационные зоны, причалы.

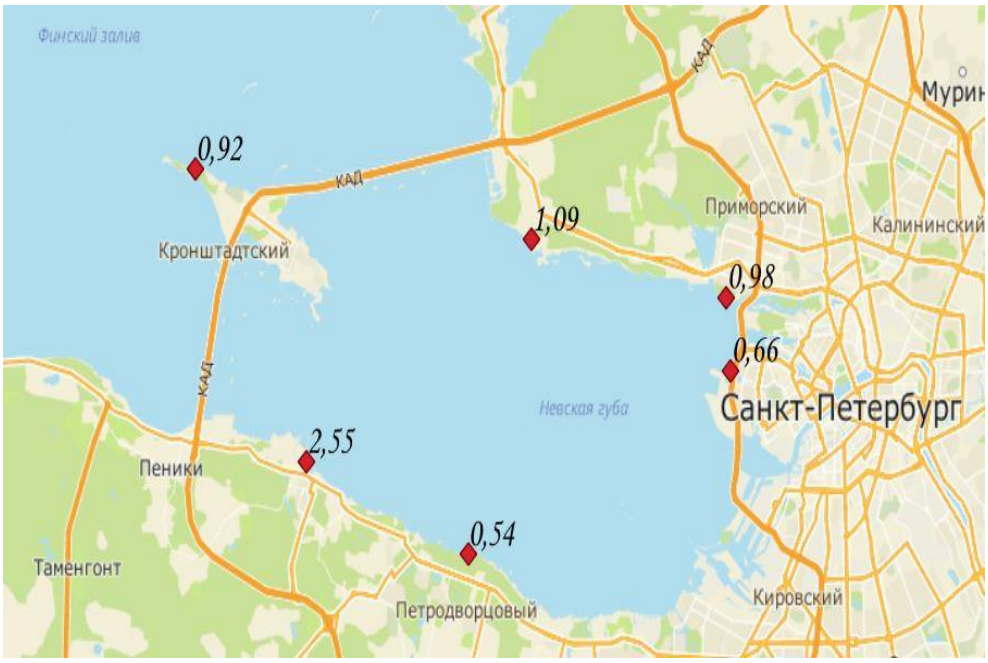


Рисунок 4.2.3 Концентрации микрочастиц на станциях, шт/л;

Наименьшие концентрации микропластика отмечаются в станции «Александрия» (0,54 частиц на 1 л воды). Данная точка отбора далеко расположен от точек сброса сточных вод и является охраняемым территорием, за счет этого пляж и вся территория сранительно чище чем другие точки исследования.

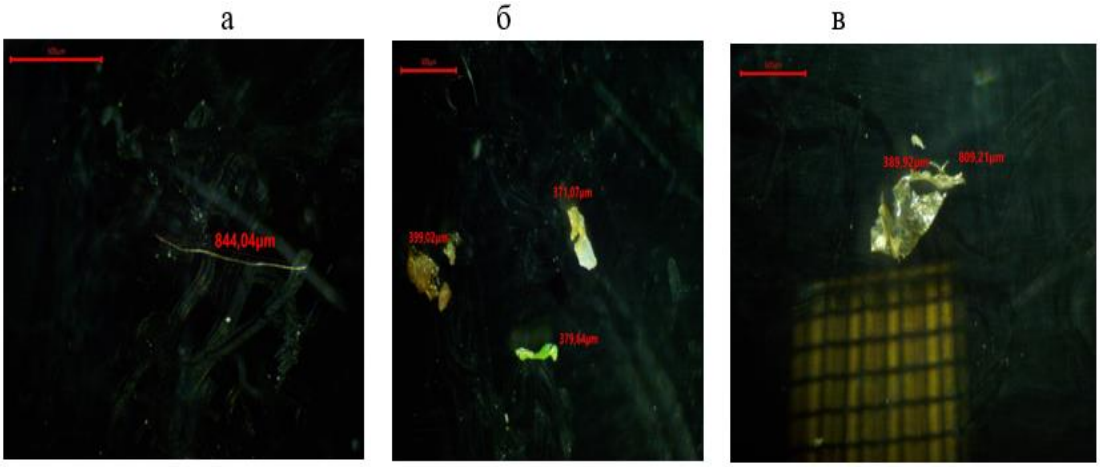
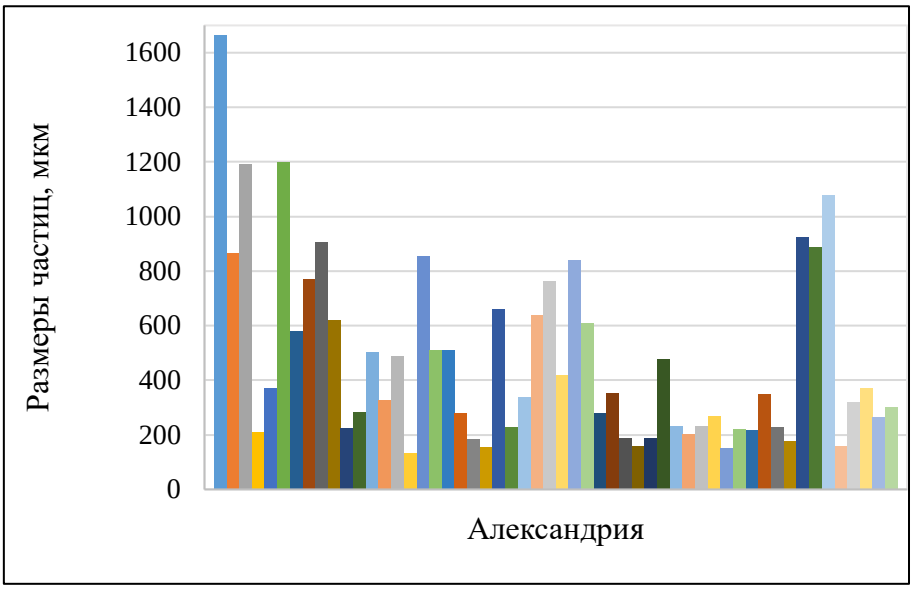
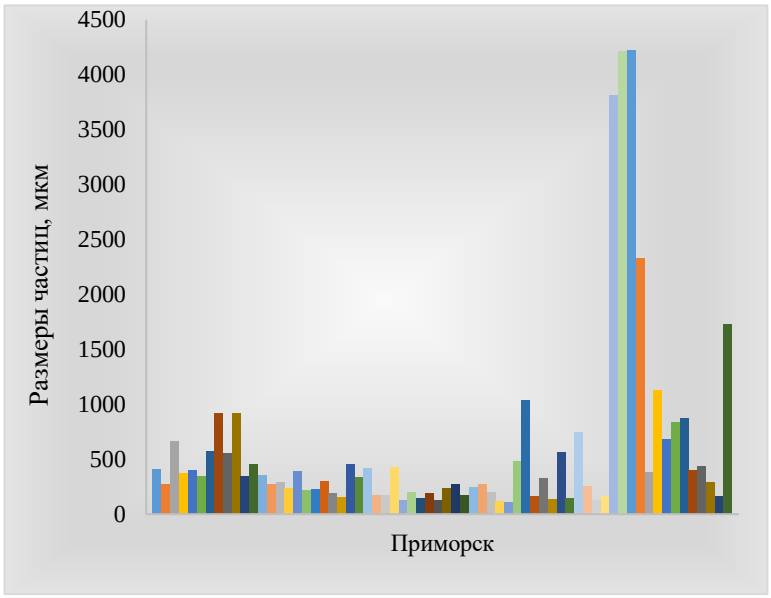


Рисунок 4.2.4. Примеры идентифицированных микрочастиц в пробах воды Финского залива, где а - волокно, б – фрагмент, в - пленка ;





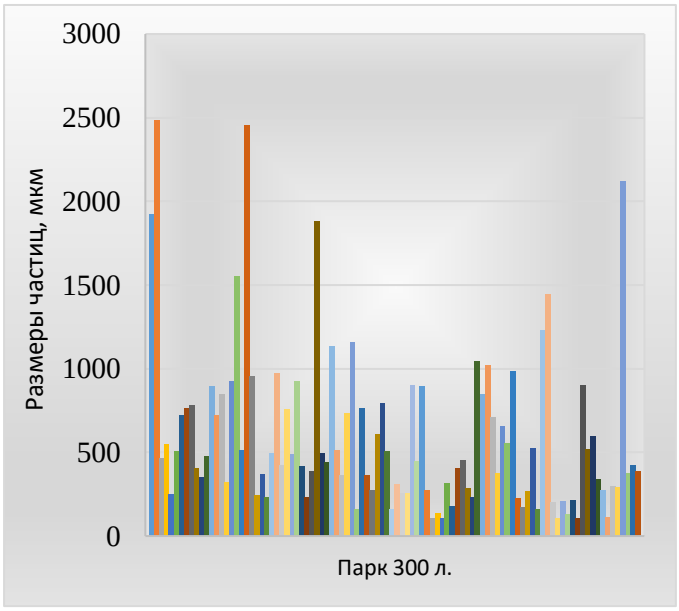


Рисунок 4.2.4. Графический вид размеров найденых микрочастиц в некоторых станциях, где а- Приморская, б – Парк 300 летия, в- Александрия ;

Таблица 4.2.1 Содержание и характеристика микрочастиц в поверхностном слое в водной среде Финского залива

Место отбора	Количество найденных частиц, шт	Размерная группа, мкм		Классификация по форме			Цвет
		От	До	Волокна, шт в 100 л	Фрагменты, шт в 100 л	Пленки, шт в 100 л	
Приморская	66	110	4225	11	52	3	Серый, синий, желтый,бежевый
Парк 300-летия	98	105,29	2482,23	80	13	5	Серый, коричневый, желтый,черный, синий
Лисий нос	109	100,52	2416,14	45	30	34	Серый, черный, желтый, синий
Кронштадт, Северный пляж	92	115,74	1300,74	19	30	43	Серый, бежевый, желтый, синий
Ораниенбаум	255	124,15	1965,42	67	31	157	Зеленый, серый, желтый,синий, красный
Александрия	54	133,27	1663,22	8	4	42	серый Черный, синий, желтый

4.3 Сравнение с результатами других исследований

Даны (табл.4.2.1, табл.4.3.1) результаты ранее проведенных и нынешних оценок микропластикового загрязнения в водной среде Невской губы Финского залива. По полученным данным можно отметить, что в водной среде Финского залива 2020 году минимальное количество микропластика в точке Кронштадт Северный пляж равна к 0,2 частиц/литр. В 2021 году в этой же точке концентрация микропластика равна к 0,92 частиц/л. Это доказывает то, что с каждым годом увеличивается содержания микропластика в водной среде Финского залива.

По данным 2021 года, после количественной и качественной оценки содержания микропластика в поверхностном слое воды Невской губы Финского залива выявлено, что минимальная концентрация составляло 0,54 частиц/литр, среднее концентрация составляло 1,12 частиц/литр, также максимальное значение концентрации микропластика достигла 2,55 частиц/л; Итак, при сравнении с результатами (табл. 4.3.1.) ранее выполненных исследований, пришли к выводу что содержание микропластика в водной среде Невской губы Финского залива с каждым годом увеличивается , при исключении некоторых точек. К примеру, диапозон концентрации в точке отбора Кронштад Северный пляж начиная 0,2-0,92 частиц/л; когда в точке диапозон концентрации Приморская начиная 1,3 – 0,66 частиц/л. Однако на результат анализа могут повлиять разные факторы и погрешности. Так как , в 2016 году исследование проведено в СПбГУ, в 2020-2021 году исследование проведено в РГГМУ и другими исследователями, при выполнении анализа могут использовать разные инструменты, реактивы и время пробоотбора, также влияют человеческие факторы (например, при визуальной сортировки, пробоподготовка и т.д).

В целом на основе полученных данных можно выявить, что концентрация микропластика сравнительно высока. По результатам проведенных исследований (Приложении 1.) на других территориях Российской Федерации,

содержание микропластика в поверхностном слое воды намного ниже чем содержания микропластика в воде Невской губы Финского залива.

Таблица 4.3.1. Результаты данных ранее проведенных исследований;

Регион и станции	Концентрации частиц, шт/л			Провели исследования
	2016 – 2019 гг.	2020 г.	2021 г.	
Приморская	1,1	1,3	0,66	[80], [79]
Парк 300 л.	3	0,81	0,98	
Лисий нос	1,3	0,82	1,09	
Кронштад Северный пляж	0,2	0,38	0,92	
Ораниенбаум	2,8	0,54	2,55	
Александрия	4,7	0,38	0,54	
Пос. Комарова	1,5			[77]
Г.Зеленогорск	2,6			
Моря российской Арктики	0,011 – 0,357			[81]

В ранее отмеченное исследование [79], методика исследования и этапы проведения анализа аналогичны с методикой которую использовали в нашей исследовании. Однако они выявили, что в точке Александрия максимальная концентрация микропластика (4,7 частиц/л), когда в нашем исследовании концентрация частиц равна к (0,38-0,54 частиц/л). Как известно, территория данной точки находится под наблюдением и нет влияния речного стока (большинство частиц в форме пленок). Как отмечено в процентной соотношении частиц различными формами, указано что преобладают нитевидные частицы, хотя в Александрию нет впдающей реки (нет источника для сточных вод). Ниже приведена сравнение с результатами ранее проведенного анализа.Указано (рис. 4.3.1) процентного соотношения частиц микропластика различной формы.

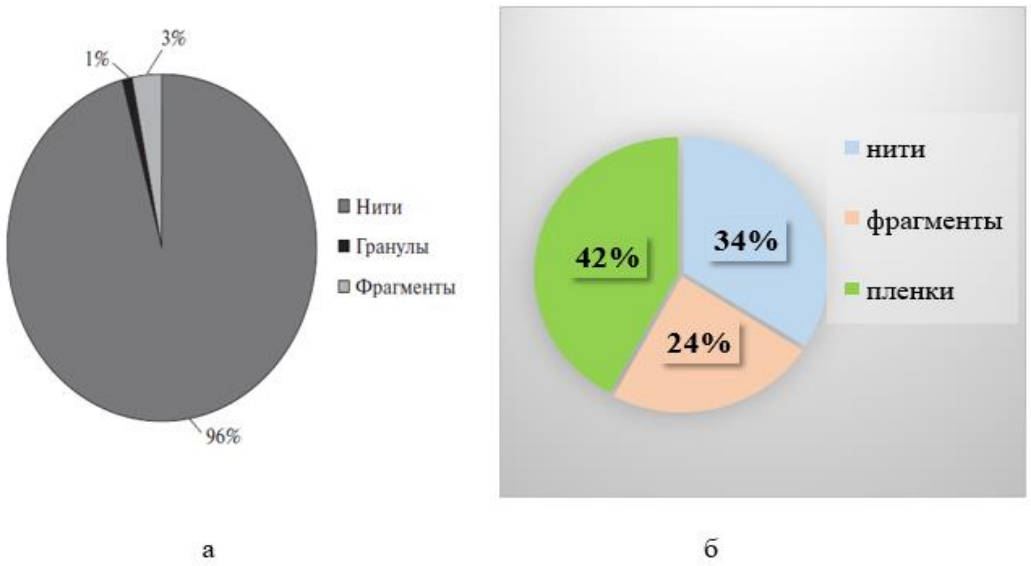


Рисунок 4.3.1. Доля (%) частиц микропластика различной формы в воде по результатам исследования проб Неской губы Финского залива , где а – результат исследования 2016 г., б – результат исследования 2021г. [79].

На основе, полученных данных 2 исследований можно выявить то, что за последние годы в водной среде Финского залива увеличилась концентрация пленкообразного микропластика. Источником данного эффекта является попадания отходов в водные объекты с суши и из сточных вод.

Заключение

В процессе исследования изучили территорию выбраного района и выяснилось что Невская губа Финского залива и вправду явялется замкнутой системой, в то же время выявили влиянии таких антропогенных и природных факторов, как р.Нева и другие впадающие в Невскую губу реки, рекреационные зоны и достопримечательности (пляжи,морской флот, парки) географическое расположение выбранного района (мелководье, юго-восточный ветер, КЗС), о недоочищенных сточных водах (ГУП “Водоканал”) которые значительно влияют на состояние водной среды Невской губы Финского залива.

Изучили существующие методики как пресноводных, так и для морских экосистем. В процессе изучении методик выянилось, что для пресноводных экосистем методиков недостаточно и проведено мало исследований. Однако, полагаясь на выполненных исследований сравнили результаты и пришли к такому выводу, что в целом этапы проведения анализов как пресноводных и морских экосистем аналогичны, но есть некоторые отличающие этапы. Существуют такие различия, как использование разных инструментов (судна, пробоотборники, сетки, растворы и т.д), при обработки проб и проведении анализа есть различия. Кроме этого, ощутили ограничении в используемой методике для поведения анализа микропластикового загрязнения. Так как, существующие методики не имеют утверждения и сопастовимости между проведенными анализами, в результате нет возможности сравнить и быть полностью уверенными в проведенной исследовании и полученными данными. При выполнении анализа больше всего, на этапе визуальной идентификации были зарудненния. Так как, при визуальной сортировке трудно различить исскуственный полимер от синтетического полимера, а также у некоторых полимеров температура плавления высокая в этом случае тоже могут возникнуть затруднении. В результате чего может привести недооценке содержания микропластика.

На основе ранее проведенных исследований выявили что, самым оптимальным методом считается метод разработанный в Национальном управлениии океанических и атмосферных исслдований (NOAA) и дополненный другими исследователями, но при проведении анализа выявили и поняли правильные подходы к данной методике. При выполнении анализа, в особенности при разделении по плотности узнали что, данный насыщенный раствор не всегда может давать возможности при получении правильных результатов. Так как данный раствор презназначен только для пластика с низкой плотностью, при использовании для пластика с высокой плотностью может привести к недооценке результатов.

С использованием выбранной методики выполнили отбор проб в 6 станциях прибрежной зоне Невской губы, после чего провели лабораторный анализ; В результате проведенного анализа выяснилось, что в воде во всех исследованных районах содержится микропластик. Максимальная концентрация микропластика (2,55 частиц в литре воды) выявилось в точке отбора «Ораниенбаум». Это связано с тем, что станция находится в городе Ломоносов где преобладают рекреационные зоны и существует речной сток от р.Караста, который проходит через город после чего впадает в Невскую губу. Кроме этого рядом с точкой отбора расположен пляж «Янтарь» и причал для теплоходов. Что объсняет преобладания пленкообразных и нитевидных частиц в образцах данного района, как известно источником пленки могут быть краски от бортов теплохода и обычные полиэтиленовые пакеты.

А также высокие концентрации в точках отбора «Лисий нос» (1,05 частиц на 1 л воды) и «Парк 300 летия» (0,98 частиц на 1 л воды), Приморская (0,66 частиц на 1 л воды), «Кронштадте на Северном пляже» (0,91 частиц на 1 л воды). Наименшее концентрация микропластика в точке “Александрия” (0,54).

Из полученных данных выявили максимальные и минимальные значения, однако при сравнении нами полученных данных с результатами других

исследовований проведенных на территории Российской Федерации, выяснилось что полученные нами значении намного превышают среднии значении концентрация микропластика в других водных объектов. Причиной этому служит высокая антропогеннная и природная нагрузка Невской губы.

Во первых, расположение Невской губы делает ее замкнутой, также она служит в качестве рекреационной зоной. В результате чего пляжная зона и водная среда сильно подвергаются к загрязнению. Во-вторых, в восточной части объекта расположен г.Санкт-Петербург, от чего сильно страдает природная среда залива. А также в городе функционируют канализационные сооружения и в черте горда впадает р.Нева. Сточные воды города через р.Неву впадают в водную среду Финского залива за счет чего сильно загрязняют водную среду выбранного района. Потому что, в р.Нева попадают вся сточная вода которая выходит с города Санкт-Петербург.

Полученные образцы содержат в себе частиц пленок и нитевидных волокон. Как известно, пленки это производные полиэтиленов, полипропилена, а нитевидные волокна выделяются при истирании синтетических тканей . Значит главным источником является р.Нева, Станция аэрации “ГУП Водоканал”, и рекрецонные зоны как пляжи и парки. Так как, синтетические волокна попадают только через сточные воды или в виде пыли от шин автомобилей.

А также отбор проб проводился неподалеку от рекреационных частей района , за счет чего забытые или неправильно утилизированные отходы на пляже, в парке напрямую может попасть в водную среду.Также обнаружили частицы в форме фрагментов. Как известно, фрагменты – это частицы переобразованного пластика, т.е источником данного вида микропластика является пластик крупного размера. Значит, с суши тоже попадают пластики после чего разрушаются на такие фрагменты. Потому что, на территории Финского залива преобладает юго-восточный ветер, который может служить в качестве еще одного источника загрязнения.

Список использованных литератур

1. Andrady A.L. Applications and societal benefits of plastic / A.L. Andrady, M.A. Neal // Phil.Trans. R. Soc. B. - 2009. - Vol. 364. - P. 1977-1984.
2. Andrady A.L. Microplastics in the marine environment / A. L. Andrady // Marine Pollution Bulletin. - 2011. - Vol. 62. - № 8. - P. 1596-1605.
3. Arthur C. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris (9-11 September 2008) / C. Arthur, J. Baker, H. Bamford. - NOAA Technical, Memorandum N0S-0R&R30, 2009. - 49 p.
4. Ryan P.G. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment / P.G. Ryan, C.J. Moore, J.A. van Franeker, C.L. Moloney // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. - 2009. - Vol. 364. - № 1526. - P. 1999-2012.
5. Cole M., Lindeque P., Halsband C., Galloway TS. (2011). “Microplastics as contaminants in the marine environment: a review”. Mar Pollut Bull.; 62(12):2588-97. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.09.025. Epub 2011 Oct 14. PMID: 22001295..
6. Bergmann M, Gutow L, Klages M (Eds.) (2015) Marine anthropogenic litter, 1st ed. 2015. ed. Springer Int Publ : Imprint: Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3
7. Conley, K., Clum, A., Deepe, J., Lane, H., & Beckingham, B. (2019). Wastewater treatment plants as a source of microplastics to an urban estuary: Removal efficiencies and loading per capita over one year. Water Research X, 100030. doi:10.1016/j.wroa.2019.100030
8. Barnes D.K. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments / D.K. Barnes, F. Galgani, R.C. Thompson, M. Barlaz // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. - 2009. - Vol. 364. - № 1526. - P. 1985-1998.

9. Ivar do Sul J.A. The present and future of microplastic pollution in the marine environment / J.A. Ivar do Sul, M.F. Costa // Environmental Pollution. - 2014. - Vol. 185.- P. 352-364.

10. Wright S.L. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review / S.L. Wright, R.C. Thompson, T.S. Galloway // Environmental Pollution. - 2013. - Vol. 178. -P. 483-492.

11. Galloway T.S. Micro- and nano-plastics and human health / T.S. Galloway // Marine Anthropogenic Litter. - Springer, Cham, 2015. - P. 343-366.

12. Law K.L. Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre / K.L. Law, S. Moret-Ferguson, N. Maximenko, G. Proskurowski, E. Peacock, J. Hafner, C.M. Reddy // Science. - 2010. - Vol. 329. - № 5996. - P. 1185-1188.

13. Song Y.K. Horizontal and vertical distribution of microplastics in Korean coastal waters / Y.K. Song, S.H. Hong, S. Eo, M. Jang, G.M. Han, A. Isobe, W.J. Shim // Environmental Science and Technology. - 2018. - Vol. 52. - № 21. - P. 12188-12197.

14. Peng X. Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean / X. Pen, M. Chen, S. Chen, S. Dasgupta, H. Xu, K. Ta, S. Bai // Geochemical Perspectives Letters. -2018. - Vol. 9. - P. 1- 5.

15. Plastics Europe. Plastics - the Facts 2018. An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data / Plastics Europe: Association of Plastic Manufacturers. -Brussels, 2018. - 60 p.

16. Jambeck J.R. Plastic waste inputs from land into the ocean / J.R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T.R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, K.L. Law // Science. - 2015.- Vol. 347. - P. 768-771.

17. Song Y.K. A comparison of microscopic and spectroscopic identification methods for analysis of microplastics in environmental samples / Y.K. Song,

S.H. Hong, M. Jang, G.M. Han, M. Rani, J. Lee, W.J. Shim // Marine Pollution Bulletin. - 2015. - Vol. 93. - № 1-2. - P. 202-209.

18. Borrelle, S.B., Ringma, J., Law, K.L., Monnahan, C.C., Lebreton, L., McGiverb,A. et al. (2020). Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. Science 369(6510), 1515-1518. https://doi.org/10.1126/ science.aba3656. Accessed 11 January 2021

19. Bakkaloğlu E. Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastiklerin akıbet ve taşınımı.: yüksek lisans tezi: сентябрь 2019: защищен 16.09.2019: утв. 15.12.2019 / Bakkaloğlu Ezgi. – Bursa.,2019.-43 с.

20. Образовательный портал EcoBeing - [Электронный ресурс]. - Океанические мусорные острова — новое достояние цивилизации - Электрон. текст. дан. - URL: http://ecobeing.ru/articles/ocean -garbage-patches/ . Дата обращения 20.03.19;

21. Образовательный журнал GEO - [Электронный ресурс]. – 20 стран, загрязняющих океан пластиком - Электрон. текст. дан. - URL: http://www.geo.ru/ekologia/231211 -20-stran-bolse-vsego-zagraznausih-okean-plastikom . Дата обращения 3.04.19;

22. MGESAMP. Sources, fate and effects of microplas- tics in the marine environment: a global assessment / Ed. Kershaw P.J. (IMO/FAO/UNESCO-IOC/ UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP. 2015. No. 90. 96 p.

23. Kershaw P.J., Leslie H. (eds.). GESAMP Working group 40 – Sources, fate & effects of micro-plastics in the marine environment – a global assessment: Report of the Inception Meeting, 13–15th March 2012, UNESCO-IOC. 2012. Paris. 45 p.

24. Электронный ресурс - https://eurobion.info/микропластик в воде , Чем опасен микропластик для организма человека, вред для рыб и других животных.
25. CBRC. Notice of the CBRC on Issuing the Green Credit Guidelines. China Banking Regulatory Commission. – Beijing, 2012.
26. UNEP Frontiers 2016 Report: Emerging Issues of Environmental Concern. United Nations Environment Programme. – Nairobi, 2016.
27. UNEP. The Financial Stability Board. Proposal for a disclosure task force on climate- related risks, 2016.
28. Prata J.C. et al. Microplastics in wastewater: State of the knowledge on sources, fate and solutions // Aquatic Toxicology 197, 2018. – 143-152 pp.
29. Roth, F., Zinsstag, J., Orkhon, D., Chimed-Ochir, G., Hutton, G., Cosivi, O., Carrin, G. and Otte, J. Human health benefits from livestock vaccination for brucellosis: case study. Bulletinof the World Health Organization, 2003. – 867-876 pp
30. Zardus J.D., Nedved B.T., Huang Y., Tran C., Hadfield M.G. (2008) Microbial biofilms fa- cilitate adhesion in biofouling invertebrates. Biological Bulletin 214, 91–98. DOI: 10.2307/25066663.
31. Zettler E.R., Mincer T.J., Amaral-Zettler L.A. (2013) Life in the “Plastispher”: Microbi-al Communities on Plastic Marine Debris. Environmental Science and Technology 47, 7137−7146. DOI: 10.1021/es401288x.
32. 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. – 81-82 с. : 20 с. цв. ил.
33. Chubarenko I., Esiukova E., Bagaev A., Isachenko I., Demchenko N., Zobkov M., Efimova I., Bagaeva M., Khatmullina L. (2018b) Behavior of Microplastics in Coastal Zones, In: Microplastic Contamination in Aquatic Environments. (Eds.) Eddy Y. Zeng. Elsevier. P. 175–223, ISBN 9780128137475, DOI: 10.1016/B978-0-12-813747-5.00006-0.

34. Esensoy, F. B., Şentürk, Y., Aytan, Ü. (2020). Microbial biofilm on plastics in the southeastern Black Sea. Marine Litter in the Black Sea, 56, 268–286.

35. Shah Khalid, Ujala Ibrahim, Sadaf Riaz, Maryam Naseem, Marya Sajjad, Wisal Muhammad Khan, Rukhsana Kausar and Syed Inzimam Ul Haq. A comparative study of the allelopathic effects of Albizia lebbeck L. and Ficus virens on growth and germination of Brassica campestris L. Pure and Applied Biology. Vol. 10, Issue 2, pp 368 – 377.http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2021.100040

36. Carpenter E.J., Smith K.L. (1972) Plastics on the Sargasso Sea Surface. Science 175, 1240– 1241. DOI: 10.1126/science.175.4027.1240.

37. Reisser J., Shaw J., Hallegraeff G., Proietti M., Barnes D.K., Thums M., Wilcox C., Hardesty B.D., Pattiaratchi C. (2014) Millimeter-sized marine plastics: a new pelagic habitat for microorganisms and invertebrates. PLoS One, 9 (6), e100289.

38. Oberbeckmann S., Loeder M.G., Gerdts G., Osborn A.M. (2014) Spatial and seasonal vari- ation in diversity and structure of microbial biofilms on marine plastics in Northern European waters. FEMS Microbiol. Ecol. 2, 478–92. DOI: 10.1111/1574-6941.12409.

39. Oberbeckmann S., Labrenz M. (2020) Marine Microbial Assemblages on Microplastics: Diversity, Adaptation, and Role in Degradation. Annual review of marine science 12, 209–232. DOI: 10.1146/annurevmarine-010419-010633.

40. Rogers K.L., Carreres-Calabuig J.A., Gorokhova E., Posth N.R. (2020) Micro-by-micro in- teractions: How microorganisms influence the fate of marine microplastics. Limnol. Oceanogr. Lett. 5, 18–36. DOI:10.1002/lol2.10136.

41. Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C. M., & Ni, B.-J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. Water Research.152, 21-37. doi:10.1016/j.watres.2018.12.050.

42. Sussarellu, R., Suquet, M., Thomas, Y., Lambert, C., Fabioux, C., Pernet, M. E.

J., Goïc, N. L., Quillien, V., Mingant, C., Epelpoin, Y., Corporeau, C., Guyomarch, J., Robbens J., Paul-Pont I., Soudant P., & Huvet, A. (2016). Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. Proceedings of the National Academy of Sciences, 113(9), 2430–2435. doi:10.1073/pnas.1519019113.

43. Zitko, V., & Hanlon, M. (1991). Another source of pollution by plastics: Skin cleaners with plastic scrubbers. Marine Pollution Bulletin, 22(1), 41–42. doi:10.1016/0025-326x(91)90444-w.
44. Fendall, L. S., & Sewell, M. A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. Marine Pollution Bulletin, 58(8), 1225– 1228. doi:10.1016/j.marpolbul.2009.04.025.
45. Farrell, P., & Nelson, K. (2013). Trophic level transfer of microplastic: Mytilus edulis (L.) to Carcinus maenas (L.). Environmental Pollution, 177, 1–3. doi:10.1016/j.envpol.2013.01.046.
46. Vethaak, A. D., & Leslie, H. A. (2016). Plastic debris is a human health ıssue. Environmental Science & Technology, 50 (13), 6825–6826. doi:10.1021/acs.est.6b02569.
47. Mallory, M. L. (2008). Marine plastic debris in northern fulmars from the Canadian high Arctic. Marine Pollution Bulletin, 56(8), 1501–1504. doi:10.1016/j.marpolbul.2008.04.017.
48. Eriksson, C., & Burton, H. (2003). Origins and Biological Accumulation of Small Plastic Particles in Fur Seals from Macquarie Island. AMBIO: A Journal of the Human Environment, 32(6), 380–384. doi:10.1579/0044-7447-32.6.380.
49. Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R.C. (2008). Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel,Mytilus edulis(L.). Environmental Science & Technology, 42(13), 5026– 5031. doi:10.1021/es800249a.
50. Bayo, J., Olmas, S., Lopez-Castellonos, J., & Alcolea, A. (2016). Microplastics and microfibers in the sludge of a municipal wastewater treatment plant.

Technical University Of Cartegane, 11(5), 812-821. doi:10.2495/SDP-V11-N5-812-821.

51. Napper, I. E., Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2015). Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. Marine Pollution Bulletin, 99(1-2), 178–185. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.07.029.
52. Bergmann M., Gutow L., Klages M. (Eds.) (2015) Marine Anthropogenic Litter. Spring- er Open. Springer, Cham Heidelberg New York Dordrecht, London. ISBN 978-3-319- 16509-7. DOI: 10.1007/978-3-319-16510-3.
53. Wright S.L., Thompson R.C., Galloway T.S. (2013) The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. Environmental Pollution 178, 483–492.
54. Booth A. M., Kubowicz S., Beegle-Krause C.J., Skancke J., Nordam T., Landsem E., Throne- Holst M., Jahren S. (2017) Microplastic in global and Norwegian marine environments: Distributions, degradation mechanisms and transport (SINTEF project No 302003604 No. M-918|2017-Unrestricted Report). SINTEF. 149 p.
55. Burns E., Boxall A. (2018) Microplastics in the aquatic environment: Evidence for or against adverse impacts and major knowledge gaps. Environmental Toxicol Chemistry 37, 2776–2796. DOI: 10.1002/etc.4268.
56. Graham E.R., Thompson, J.T. (2009) Deposit- and suspension-feeding sea cucumbers (Echi- nodermata) ingest plastic fragments. Journal of Experimental Marine Biology and Ecol- ogy 368, 22–29.
57. Aloy A.B., Vallejo Jr.B.M., Juinio-Meñez M.A. (2011) Increased plastic litter cover affects the foraging activity of the sandy intertidal gastropod Nassarius pullus. Marine Pollution Bulletin 62 (8), 1772–1779 DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.021.
58. Boerger C.M., Lattin G.L., Moore S.L., Moore C.J. (2010) Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. Marine Pollution Bulletin

60 (12), 2275–2278. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.08.007.

59. Lusher A.L., Welden N.A., Sobral P., Cole M. (2017) Sampling, isolating and identifying mi- croplastics ingested by fish and invertebrates. Analytical Methods 9, 1346–1360. DOI: 10.1039/c6ay02415g.
60. Cole M., Lindeque P., Fileman E., Halsband C., Galloway T.S. (2015) The impact of polysty- rene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod Calanus helgolandicus. Environmental Science and Technology 49 (2), 1130–1137. DOI: 10.1021/ es504525u.
61. Moore C.J., Moore S.L., Leecaster M.K., Weisberg S.B. (2001) A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre. Marine Pollution Bulletin 42, 1297–1300.
62. Besseling E., Foekema E.M., Van Franeker J.A., Leopold M.F., Kühn S., Bravo Rebolledo E.L., Heße E., et al. (2015) "Microplastic in a Macro Filter Feeder: Humpback Whale Megaptera Novaeangliae". Marine Pollution Bulletin 95 (1), 248–252. DOI: 10.1016/j. marpolbul.2015.04.007.
63. Burns E., Boxall A. (2018) Microplastics in the aquatic environment: Evidence for or against adverse impacts and major knowledge gaps. Environmental Toxicol Chemistry 37, 2776–2796. DOI: 10.1002/etc.4268.
64. Lusher A.L., Tirelli V., O'Connor I., Officer R. (2015) Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. Scientific Re- ports 5: 14947. DOI: 10.1038/srep14947.
65. Azzarello M., Vleet E.V. (1987) Marine birds and plastic pollution. Marine Ecology Progress Series 37, 295–303.
66. Gushchin AV, Veremeichik YV (2019) Microplastic in the food of small Sandeel Ammodytes tobianus from the littoral of the Curonian Spit of the Baltic Sea. J Ichthyol 59:628–632. https://doi.org/10.1134/ S0032945219040064
67. Bagaev A., Khatmullina L., Chubarenko I. (2021) Investigations of plastic contamination of seawater, marine and coastal sediments in the Russian seas: a review/ Environmental Science and Pollution Research

https://doi.org/10.1007/s11356-021-14183-

68. Ryan PG (2015) A brief history of marine litter research. In: Bergmann M, Gutow L, Klages M (eds) Marine anthropogenic litter. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_1

69. Bagaev A, Khatmullina L, Chubarenko I (2018) Anthropogenic microlitter in the Baltic Sea water column. Mar Pollut Bull 129(2): 918–923. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.049

70. Fischer V, Elsner NO, Brenke N, Schwabe E, Brandt A (2015) Plastic pollution of the Kuril–Kamchatka Trench area (NW Pacific). Deep- Sea Res II Top Stud Oceanogr 111:399–405. https://doi.org/10. 1016/j.dsr2.2014.08.012

71. Masura J., Baker J., Foster G., Courtney A. (2015) Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48. 39 p.

72. Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R.C., Thiel M. (2012) Microplastics in the marine en- vironment: a review of the methods used for identification and quantification. Environ- mental Science and Technology 46, 3060–3075. DOI: 10.1021/es2031505.

73. Малыгина Н.; Митрофанова, Е.; Курятникова Н.; Бирюков Р.; Золотов Д.; Першин Д.; Черных Д. Загрязнение микропластиком поверхностных вод равнинных и горных озер Сибири, Россия. Вода 2021, 13, 2287. https://doi.org/10.3390/w13162287).

74. HELCOM (2018): State of the Baltic Sea – Second HELCOM holistic assessment 2011-2016. Baltic Sea Environment. Proceedings 155.

75. В.А. Рожкова, А.И. Смирнова. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 3. Балтийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. / Под ред. Ф. С. Терзиева – СПб, гидрометеоиздат. 1992, 451 с

76. О НОВОЙ БАТИМЕТРИЧЕСКОЙ КАРТЕ ДНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ © 2004 г. М.В. Руденко, Т.И. Ражева Атлантическое отделение Института

океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва Поступила в редакцию 09.04.2003г

77. К л е й м е и о в а Г. И., Вишневска я Е. М.. Латышева Н. М. История развития Арконской котловины Балтийского моря в послеледниковое время (по палинологическим и диатомовым данным)//Вестннк ЛГУ. Геология. География.— 1984.— ЛЬ 18—Вып. 3.—С. 45—56.
78. М. Г.Деев. Большая Российская энциклопедия //Россия. - 2004г.
79. Ш .Р Поздняков , Е. В. Иванова, А. В. Гузева, Е.П.Шалунова, Исследование содержания частиц микропластика в воде, донных отложениях и грунтах прибрежной территории Невской губы Финского Залива.DOI: 10.31857/S0321059620040148
80. Логинова Н.В., Макеева И.Н., Ершова А.А. (2021) Исследование загрязненности микропластиком водной среды Невской губы Финского залива.// Понт Эвксинский
81. А.А.Ершова, Т.Р.Еремина, А.Л.Дунаев, И.Н.Макеева., Ю.А.Татаренко (2021) Исследование загрязнения микропластиком морей Российской Арктики и дальнего востока. // Арктика. Экология и экономика, т. 11, 2, 2021. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-2-164-177

Приложение А.

Таблица А1. Проведенны исследовании на загрязнение микропластика на территории Финского залива.

Локация	Вид пробы	Методика отбора	Методика определения, размера	Форма, состояние	Концентрация	Ссылки
Финский залив станция Невская губа	Поверхностный слой воды		Стереомикр. (40*), 0,1-5мм	фрагменты пленки, волокна	0,54 до 2,55 шт./л;	Нынешнее исследование
Моря российской Арктики	Подповерхностный слой		Стереомикр. (40*), 0,1-5мм	волокна,фрагмент	0,011 до 0,357 шт/л	[81]
Балтийское море (Борнхольмский, Готландские бассейны)	Поверхностная вода, придонная вода) до 217,5 м.	Манта-тралы, батометры (бутылки Нискина 10 и 30 л)	Стереомикроскоп (40×), 0,5–5 мм	волокна, чешуйки краски, фрагменты	0,40 ± 0,58 шт./л; от 0,07 до 2,6 ед/л	Багаев и др. 2017; Багаев и др. 2018
Финский залив Невская губа	Поверхностный слой воды	Погружной насос, фильтровальная установка	Стереомикр. (40*), 0,1-5мм	Фрагменты,нити,гранулы		[79]

Продолжение таблицы А1.

Локация	Вид пробы	Методика отбора	Методика определения, размера	Форма, состояние	Концентрация	Ссылки
Финский залив станция Невская губа	Поверхностный слой воды		Стереомикр. (40*), 0,1-5мм	фрагменты волокна	0,38 до 1,3 шт./л;	[80]
Черное море г.Севастополь	Поверхностные воды	Манта-травл , 333 мкм	Стереомикр. (40*), 0,3-5мм	Фрагменты, Пленки, волокна	0,6 – 7 шт/ $м^3$ 6 -750 мг/$м^3$	Мукханов, 2019
Азовское море	Поверхностные воды	Сита фильтровальные	стереомикроскоп	Фрагменты, волокна,пленки	1-6/$м^2$; 5-54 шт./м2; 2-14 шт./$м^2$; пенопласт (полистирол): 0-4 шт./$м^2$	Блиновская 2020г.

Приложение Б.

Кадры микропластика в пробах

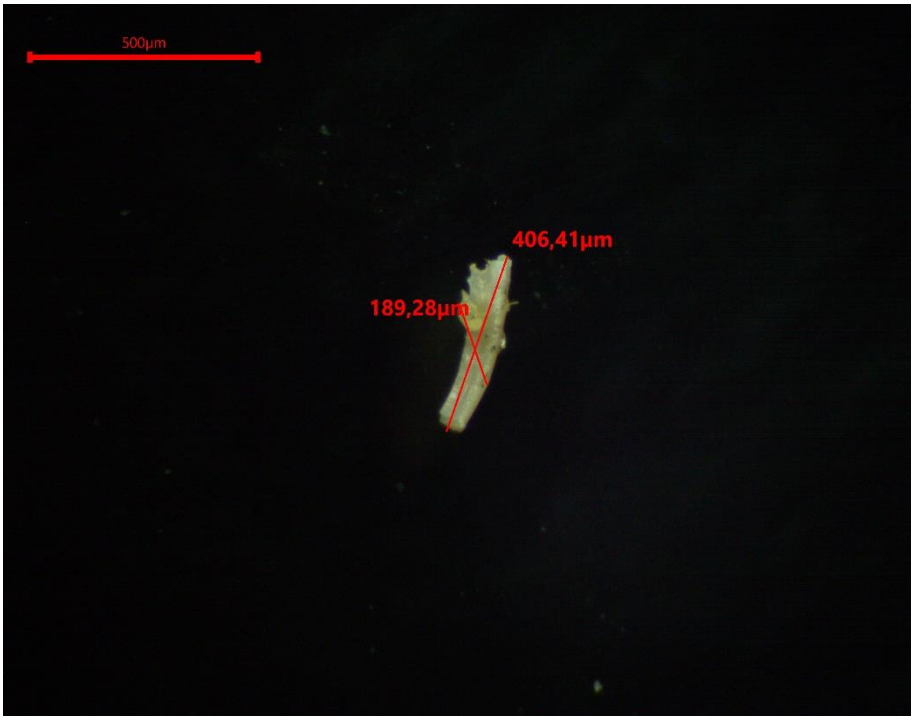


Рисунок Б.1 – Микропластик (фрагмент) в пробе точке отбора Парк 300 л (длина фрагмента равна = 406,41 мкм = 0,41 мм);

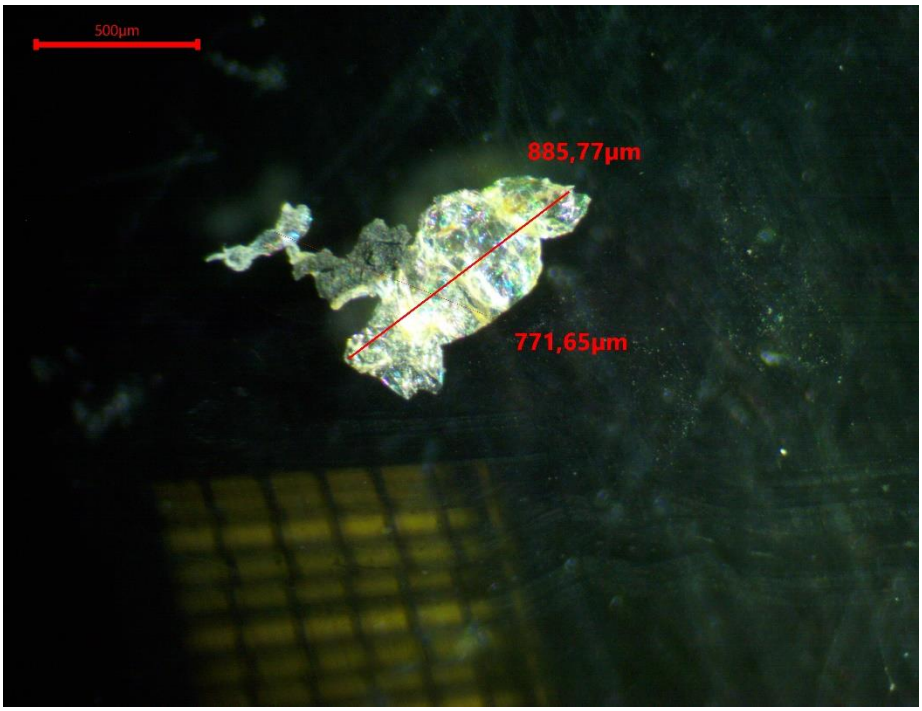


Рисунок Б2. Пленка в пробе точки отбора Лисий нос;(длина частицы (пленки) равна 885,77 мкм=0,885 мм)