



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

Магистерская диссертация

На тему « Анализ пространственного распределения микропластика в водной среде реки
Невы и Невской губы »

Исполнитель Миронова Дарья Владимировна

Руководитель кандидат географических наук, доцент
Дроздов Владимир Владимирович

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук, доцент

Дроздов Владимир Владимирович

« » 2024 г.

Санкт-Петербург

2024

Оглавление

Список сокращений	3
Введение.....	4
Глава 1. Проблема загрязнения микропластиком водной среды	6
1.1 Виды пластика, их особенности	6
1.2 Источники и виды микропластика	9
1.3 Влияние микропластика на водные экосистемы	10
1.4 Влияние микропластика на организм человека	12
1.5 Мониторинг загрязненности микропластиком водных экосистем..	14
Глава 2. Характеристика района исследования	24
2.1 Физ.географическое описание Финского залива	24
2.2 Физико-географическое описание реки Нева	28
2.3 Микропластиковое загрязнение Балтийского моря и Финского залива.....	31
Глава 3. Полевые исследования по оценке содержания микропластика в водной толще р.Нева и Невской губы.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.1 Отбор проб воды в Невской губы и р. Невы в 2022 г.	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Методы исследования.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.3 Анализ погодных условий в период отбора проб	Ошибка! Закладка не определена.
Глава 4. Анализ результатов исследования содержания микропластика в водной среде р.Нева и Невской губы	Ошибка! Закладка не определена.
4.1 Анализ результатов полевых исследований 2022 г.	Ошибка! Закладка не определена.
4.2 Сравнение данных мониторинга загрязненности воды микропластиком 2020 и 2022 г.	Ошибка! Закладка не определена.
4.3 Сравнение данных мониторинга загрязненности воды и пляжей	Ошибка! Закладка не определена.

4.4 Анализ источников накопления микропластика в реке Нева и Невской губе	Ошибка! Закладка не определена.
4.5 Расчет нагрузки на экосистему Невской губы	Ошибка! Закладка не определена.
4.6 Сравнение данных о загрязненности р. Нева с данными о загрязненности микропластиком других водных объектов	Ошибка! Закладка не определена.
Глава 5 Практические рекомендации	38
5.1 Практические рекомендации по снижению поступления микропластика в окружающую среду	38
Заключение	42
Список литературы	44
Приложения	51

Список сокращений

КЗС – комплекс защитных сооружений г. Санкт-Петербурга

РГГМУ – Российский государственный гидрометеорологический университет

ТКО – твердые коммунальные отходы

OSPAR – Конвенция по защите морской среды Северо-Восточной Атлантики

РАН – Российская академия наук

ХЕЛКОМ – комиссия по защите морской среды Балтийского моря

ГУП – государственное унитарное предприятие

NOAA – национальное управление океанических и атмосферных исследований США (National Oceanic and Atmospheric Administration)

ИКИ РАН – институт космических исследований Российской академии наук

ЗАО – закрытое акционерное общество

ООО – общество с ограниченной ответственностью

ЦОС – центральная станция аэрации Санкт-Петербурга

ПДК – Предельно допустимая концентрация

ООН – Организация Объединенных Наций

ПЭТ – полиэтилентерефталат

Введение

Балтийское море – это одно из самых загрязненных морей мира. Экосистема Балтийского моря характеризуется рядом особенностей, снижающих её устойчивость к внешним воздействиям, в том числе антропогенным. К этим особенностям можно отнести мелководность и низкую соленость. Кроме того, Балтийское море сообщается с океаном через несколько проливов и таким образом имеет крайне низкую скорость водообмена, что обуславливает низкую скорость очищения вод. Невская Губа – одна из наиболее подверженных антропогенной нагрузке частей Балтийского моря. Основные виды экологических проблем Невской Губы включают эвтрофикацию, последствия негативного воздействия при строительстве КЗС и намыве, загрязнение тяжелыми металлами и нефтепродуктами. В последние годы наблюдается новая экологическая проблема - загрязнение пластиковыми отходами и микропластиком Невской Губы. Частицы микропластика, прибывающие со стоком рек и очистных сооружений в акваторию Невской Губы, могут значительно повлиять на экосистему Балтийского моря [1]. От экологического благополучия Невской Губы напрямую зависит санитарно-эпидемиологическая обстановка в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области, их рекреационный потенциал.

Особенно актуальной проблемой для данной акватории является пластиковое загрязнение. Частицы пластика могут обладать большей плотностью по сравнению с водой и потому опускаться на дно, либо переноситься течениями на достаточно большие расстояния при меньшей плотности. В итоге, вследствие биообрастания преобладающая доля частиц оседает на дно. В результате этого процесса, донные осадки становятся депонирующей средой для микропластика.

В целях отслеживания уровня загрязненности акватории Невской Губы с 2018 г. лабораторией PlasticLab РГГМУ проводится мониторинг загрязненности морским мусором пляжей и прибрежных вод.

В связи с этим, целью настоящей работы является изучение механизмов распространения частиц микропластика в Невской губе и в восточной части Финского залива.

Для выполнения цели был поставлен ряд задач:

- 1) Изучить проблему загрязнения микропластиком Мирового океана и Балтийского моря;
- 2) Собрать натурные данные о содержании микропластика в воде Невской губы в ходе полевых исследований;
- 3) Проанализировать полученные натурные данные о концентрациях микропластика в реке Неве и Невской губе;
- 4) Сравнить данные натурных наблюдений с данными ежегодного мониторинга пляжей
- 5) На основании данных мониторинга загрязнения пляжей пластиком обозначить основные зоны аккумуляции пластика;
- 6) Оценить степень влияния погодных условий на содержание микропластика в воде;
- 7) Оценить вклад сбросов водоочистных сооружений Санкт-Петербурга в загрязнение микропластиком акватории Невской губы;
- 8) Разработать практические рекомендации по снижению поступления микропластика в окружающую среду Невской губы.

Объектом данного исследования служит водная среда реки Нева и Невской губы. Предмет исследования – распределение микропластика в изучаемой акватории.

В рамках данной работы были осуществлены: теоретическое изучение исследований по проблеме микропластикового загрязнения водных экосистем, а также практическая реализация методологий для отбора и анализа проб в целях получения данных о содержании микропластика в водной среде реки Невы и Невской Губы

Глава 1. Проблема загрязнения микропластиком водной среды

1.1 Виды пластика, их особенности

В научных работах термин "пластик" определяется по формулировке, предложенной Объединенной группой экспертов по научным вопросам охраны морской среды. По ней, пластиками считаются синтетические полимеры, не растворяющиеся в воде и произведенные из нефтехимии, которые способны принимать различные формы при нагревании и удерживать эти формы в течение всего периода использования [1].

В целом, полимеры - это материалы, чьи молекулы состоят из большого числа повторяющихся отдельных частей. Молекулы полимеров часто называют макромолекулами или молекулярными цепями. Эти повторяющиеся части в макромолекуле известны как мономеры или структурные звенья. Материал классифицируется как полимер, если число мономеров в его молекулярной цепи настолько велико, что добавление одного мономера не вызовет значительных изменений в его свойствах. Однако, значительное увеличение числа мономеров приводит к существенным изменениям в свойствах материала. Отличительной особенностью пластиков является возможность формования. Это означает, что частицы (гранулы) или изделия можно легко привести в различные формы, которые остаются стабильными [2].

Плотность синтетических полимеров является одним из ключевых параметров, влияющих на их распространение и аккумуляцию в окружающей среде. Исследования показывают, что общая плотность полимерных частиц изменяется со временем и в зависимости от условий окружающей среды.

В таблице 1.1 представлены ключевые виды пластика, их использование в производстве и потенциальные риски для здоровья населения. Наиболее часто встречающимся полимером в водной среде Балтийского моря является полиэтилентерефталат.

Таблица 1.1 Виды пластика, их свойства и применение [3].

Вид пластика	Сокраще ние	Маркиров ка	Описание свойств, применение	Опасность для здоровья человека	Плотн ость кг/м ³	Возможность переработки
полиэтилентерефт алат	PET (PETE)П ЭТ ПЭТФ		Прозрачный и легкий пластик. Используется для бутылок с водой, молоком, соком, растительным маслом, а также для упаковок фруктов, овощей и определенных видов косметики. Этот тип пластика является наиболее распространенным.	При повторном использовании возможно выделение фталата. Фталат может скапливаться в теле и вредить гормональной системе, являясь канцерогеном.	1350	Легко поддается переработке
полиэтилен высокой плотности низкого давления.	PEHD HDPE ПЭНД		Довольно плотный и непрозрачный пластик. Используется для бутылок с пищевыми жидкостями (молочные продукты) и не пищевыми (бытовая химия, косметика), контейнеров, крышек, упаковок средней жесткости, пластиковых пакетов.	При стандартных условиях не является токсичным, но при повышенных температурах может источать формальдегид, который является канцерогеном.	940- 960	Поддается переработке
поливинилхлорид	PVC ПВХ		Толстый и довольно устойчивый к внешним воздействиям материал. Используется в производстве труб и шлангов, строительных пленок и натяжных покрытий, а также элементов различных изделий, таких как садовая мебель или детали автомобильных салонов.	При сжигании может выделять множество токсикантов, таких как бисфенол А, диоксины, фталаты Содержит тяжелые металлы: кадмий, ртуть.	1370- 1420	Практическ и не поддается переработке.

Вид пластика	Сокраще ние	Маркиров ка	Описание, применение	Опасность для здоровья человека	Плотн ость кг/м ³	Возможность переработки
полиэтилен низкой плотности, высокого давления.	ПЭВД LDPE PELD		Материал, обладающий гладкостью и эластичностью. Применяется для производства мусорных и фасовочных пакетов, детских игрушек, строительных материалов: линолеума, брезентов, пленок.	Относительно безопасен при бытовом использовании, выделяет токсины при нагревании.	910-930	Подлежит переработке
полипропилен	PP ПП		Материал, обладающий термостойкостью и прочностью. Используется для детских игрушек, в автомобилестроении, для создания производственного оборудования, в упаковке пищевых продуктов: пищевые контейнеры, одноразовая и многоразовая посуда.	Считается безвредным при контакте с пищей, не имеет эмиссии, выдерживает многократные короткосрочные несильные нагревания	900-920	Подлежит переработке
полистирол	PS ПС		Применяется для изготовления одноразовой посуды и приборов, коробок CD, пенопласта и иных теплоизоляционных строительных материалов, шариковых ручек.	При горении и нагреве выделяет вещества пагубно влияющие на дыхательную и кровеносную систему, в том числе стирол (канцероген).	1050-1100	Не подлежит переработке
прочие	O OTHER		Применяется для изготовления детских игрушек, посуды, одноразовой тары, упаковки.	В процессе нагревания и стирки может высвобождаться бисфенол А (присутствует в поликарбонатах), который может оказывать воздействие на гормональную систему.	-	Не подлежит переработке

Этот вид пластика принадлежит к группе алифатических-ароматических полиэфиров и активно используется в России для производства разнообразных контейнеров, пластиковых бутылок. Он также применяется для создания различных видов пленки. В других странах из полиэтилентерефталата обычно производят волокна и нити. Этот материал также незаменим в процессе производства медицинского оборудования, бытовых приборов и конвейерных систем [2].

Для борьбы с загрязнением микропластиком требуется принятие мер на всех уровнях, включая минимизацию использования одноразового пластика, улучшение систем управления отходами и проведение дополнительных исследований по влиянию микропластика на здоровье людей и окружающую среду.

1.2 Источники и виды микропластика

Микропластик представляет собой крошечные фрагменты пластмассы размером менее 5 мм [1], которые составляют значительную часть морского мусора. Наиболее часто встречающимися видами пластика в водной среде являются полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид и полиэтилентерефталат. Эти компоненты обычно производятся путем полимеризации и поликонденсации низкомолекулярных соединений, извлеченных из нефти, природного газа и угля [2].

Фрагменты пластика можно разделить на основании их размера на макропластик (более 200 мм), мезопластик (5 – 200 мм), крупный микропластик (1,01 – 4,99 мм) и мелкий микропластик (менее 1 мм) [3].

Существует первичный и вторичный микропластик.

Частицы первичного микропластика, которые представляют собой пластиковые гранулы и пленки, попадают в воду из-за потерь пластикового сырья во время их транспортировки и при производстве изделий из них. Эта категория включает в себя микропластик, входящий в состав различных

косметических продуктов, как, например, скрабов или декоративной косметики. Также микропластик входит в состав особых медицинских паст и абразивов; промышленных абразивов; полимерных буровых растворов. В данную категорию входят и волокна, которые образуются при стирке синтетических тканей. Сельскохозяйственная деятельность также способствует образованию микропластика: пластиковое мульчирование, полимерные добавки в почву. [4].

Вторичный микропластик же образуется как следствие использования различных товаров: средства гигиены, синтетический текстиль, автомобильные покрышки, краски, геосинтетические материалы, ламинированная бумага.

Главными источниками такого рода микропластика являются водоочистные сооружения и предприятия, по обращению с ТКО. Вторичный микропластик попадает в моря при потерях пластиковых предметов с судов (утерянные орудия лова, частицы покрытия судов). Также частицы пластика сносятся в моря при наводнениях, штормах и иных природных явлениях.

Стоит подчеркнуть сложность подсчета количества микропластика, попадающего в окружающую среду. Его источниками могут быть как промышленные предприятия, так и выбросы на различных стадиях жизненного цикла товаров. Если выбросы от предприятий можно регулировать и нормировать, то борьба с остальным объемом микропластика должна проходить через очистку сточных вод и водных объектов, изменением структуры потребления изделий из пластика.

1.3 Влияние микропластика на водные экосистемы

Микропластик способен накапливаться в организмах гидробионтов, чем представляет серьезную угрозу для морских экосистем. Маленький размер частиц позволяет им легко попадать в организмы морских существ, от мелких планктонных организмов до больших млекопитающих, птиц и рыб. Это может

привести к накоплению микропластика в их тканях и органах, что может вызвать серьезные здоровые проблемы и даже смерть. Процесс поедания микропластика, как правило, начинается с мелкой ихтиофауны, которая поглощается более крупными консументами в цепи питания, в результате чего количество микропластика в их организмах увеличивается с каждым звеном.

Также микропластик может вызывать множество заболеваний гидробионтов, приводить к изменению поведения, наносить ущерб репродуктивной системе и вызывать преждевременную гибель. Большое количество частиц микропластика может также блокировать пищеварительные системы, что приводит к голоданию и в конечном итоге к смерти [4].

Исследование, проведенное в Австралии в 2023 г. обнаружило значительное количество рубцовой ткани в желудочной слизистой оболочке у 30 буревестников с острова Лорд-Хау. Недуг, связанный с этой находкой, получил название "пластикоз/пластиноз" [5]. Этот фиброз желудочной ткани вызывается воздействием частиц пластика. Буревестники были выбраны для изучения, поскольку эти морские птицы склонны к активному поглощению пластика. Несмотря на то, что исследование фокусировалось на одном виде птиц, можно предположить, что примерно 1200 других видов также потребляют пластик, и возможно, некоторые из них испытывают похожие симптомы.

Некоторые исследования показали, что микропластик может замедлять рост и размножение морских организмов, что может сказаться на биоразнообразии и устойчивости морских экосистем. Частицы пластика выделяют токсичные вещества, например, бисфенол, который негативно влияет на мозг, репродуктивную систему и способен вызывать онкологические заболевания [6]. Также установлено, что микропластик может затруднять формирование оболочек яиц у многих видов морских животных, что в свою очередь, сказывается на их способности к размножению. Также стоит отметить, что когда токсины биоаккумулируются в организмах морских

существ, они могут накапливаться в репродуктивных системах, воздействуя негативно на процесс производства яйцеклеток и сперматозоидов, а это, в свою очередь, может повлиять на выживаемость популяции [7].

Микропластик может поглощать другие загрязняющие вещества из морской воды, включая тяжелые металлы и пестициды, и переносить их во внутреннюю среду организмов[6].

Наконец, микропластик может изменять физические свойства водных экосистем, включая освещенность, теплообмен и даже направление течений воды, что может сказываться на функционировании всей экосистемы [8].

1.4 Влияние микропластика на организм человека

Учитывая распространенность во всех компонентах окружающей среды частиц микропластика, нет ничего удивительного в том, что их находят и внутри человеческого организма. Исследования показали, что в течение года человек может потреблять от 39 000 до 52 000 единиц микропластика. Частицы микропластика проникают в человеческий организм разными способами – некоторые осаждаются в дыхательных путях из воздушных аэрозолей, другие присутствуют в пище, которую мы потребляем, а также в пластиковой упаковке для пищи, а еще некоторые частицы попадают в наши организмы через загрязненную питьевую воду [9].

Микропластик уже обнаружили в различных частях человеческого тела, включая кишечник, легкие и желудок, которые через свои полости подвергаются воздействию окружающей среды [9]. Группа исследователей из Китая намеревалась установить, попадает ли микропластик в органы человека, которые считаются "замкнутыми". Для этой цели они провели биопсию сердечной ткани у 15 пациентов в процессе оперативного вмешательства, а также провели забор крови. С использованием методики прямой лазерной визуализации в инфракрасном диапазоне ученые выявили в образцах частицы размером от 20 до 500 микрометров из восьми разновидностей пластиков, к

которым принадлежат полиэтилентерефталат, поливинилхлорид и полиметилметакрилат [10].

Отчет Центра Международного Экологического Права под названием "Вдыхая пластик: последствия микро- и нанопластика в воздухе для здоровья" исследует воздействие микро- и нанопластика, который вдыхается человеком. Эти частицы могут проникать в ткани легких и распространяться по организму, накапливаясь в лимфатических узлах или попадая в другие органы через кровяное русло. Согласно данным, люди могут вдыхать до 22 миллионов микро- и нанопластиковых частиц ежегодно [11]. Поступление пластиковых частиц в организм может привести к таким последствиям как затруднение дыхания и уменьшение объема легких, хронический бронхит и пневмония, эмфизема легких [10]. Изучение вопроса вдыхания микропластика обнаруживает ряд вытекающих последствий для различных систем организма, начиная от раздражения дыхательных путей и заканчивая возможностью развития онкологического заболевания при длительном воздействии.

Микропластик может воздействовать на человеческий организм, стимулируя высвобождение эндокринных разрушителей. Кроме того, микропластик может переносить другие токсические химические вещества [13]. Пластик может оказывать существенное влияние на репродуктивную систему человека. Основным фактором здесь служат химические вещества, такие как фталаты, которые имитируют половые гормоны организма, из-а схожего строения молекул [12]. Доказана связь между экспозицией фталатов и уровнем тестостерона у мужчин и женщин разных возрастных групп, включая детей. Недостаток данного гормона может приводить к бесплодию у мужчин, что доказывают опыты на грызунах [12].

Установлено также что микропластик может негативно влиять на эндокринную систему: может вызывать увеличение веса, приводить к инсулиновой резистентности. Микропластиком могут быть вызваны различные аутоиммунные заболевания, аллергические реакции.

Исследования на лабораторных животных и людях показывают, что воздействие микропластика может нарушать кишечный микробиом, приводить к воспалению кишечника, изменять проницаемость тканей кишечника и характер иммунных реакций [14].

Доказана способность нанопластика закупоривать мелкие сосуды головного мозга, что приводит к болезни Альцгеймера, риску инсульта и другим заболеваниям [15]. Пациенты у которых были обнаружены в большом количестве частицы микропластика в стенках основных сосудов в течение трех лет наблюдений чаще страдали заболеваниями сердечно-сосудистой системы, риски инфарктов, инсультов и смерти были выше. Также микропластик может косвенно вызывать отек перикарда, нарушение сердечного ритма. Этим не ограничиваются последствия воздействия микропластика: исследования также указывают на гемолиз, тромбоз и коагуляцию крови как возможные последствия воздействия [15].

На основе этих данных микропластик можно рассматривать как потенциальный фактор риска для сердечно-сосудистых заболеваний.

1.5 Мониторинг загрязненности микропластиком водных экосистем

Экологический мониторинг представляет собой обширную систему наблюдений, направленных на отслеживание состояния окружающей среды. Эта система включает оценку и прогнозирование изменений в окружающей среде, вызванных как природными, так и антропогенными факторами. Мониторинг водных экосистем обеспечивает важную информацию о их состоянии на фоне меняющейся нагрузки на эти системы. Для сопоставимости результатов наблюдений за водными экосистемами необходим проводить регулярные исследования. Мониторинг микропластика помогает определить степень загрязнения окружающей среды, идентифицировать основные источники этого загрязнения и разработать эффективные стратегии для его управления и сокращения.

Мониторинг загрязнения пластиком водных объектов становится необходимой процедурой для оценки масштабов и потенциального влияния морского мусора, выработки подходящих способов минимизации отрицательного влияния и оценки эффективности принимаемых мер.

При изучении пространственного распределения микропластика используются различные методы сбора полевых данных. Для отбора проб с поверхностного слоя воды в большинстве случаев применяются нейстонные сети и тралы. Главным преимуществом этих сетей является их возможность быстро фильтровать большие объемы воды и собирать только концентрированные пробы. Сети также позволяют отбирать пробы с большой области водной поверхности, а также совместно отбирать микропластик и зоопланктон для последующего сравнения их количества (рисунок 1.5.1) [1].



Рисунок 1.5.1 – Процесс отбора проб с помощью нейстонной сети (а),
металлическое сито для касания поверхности воды (б)

Размер ячеей может варьироваться в зависимости от целей исследования, и составлять 0.053 до 3.0 мм. Площадь поперечного сечения входного отверстия нейстонных сетей может находиться в диапазоне от 0.03 до 2 м². Сеть поддерживается на поверхности воды с помощью поплавков типа "манта-трал" и буксируется со скоростью от 1 до 5 узлов [1]. Использование сетей с

различными размерами ячеек усложняет сравнение результатов различных исследований. Из-за потери наиболее мелких частиц количество микропластика обычно недооценивается. Это подтверждается прямой зависимостью между размером ячейки сетки и концентрацией обнаруженных пластиковых частиц на поверхности моря на кубический метр [17]. Данный метод актуален для изучения мусорных пятен и применяется в участках активного судоходства.

Отбор проб может проводиться прямо с поверхностного микрослоя, толщиной 50-60 микрометров, без предварительной концентрации. Металлическое сито или другой плоский предмет заранее определенной площади опускается на поверхность воды. При этом поверхностное натяжение позволяет задержать тонкий слой воды на предмете, который затем переносится в контейнер для проб. Отобранные таким способом пробы содержат минимум биогенных материалов, упрощая и ускоряя процесс обработки проб. Данный метод более точен для отбора микропластика диаметром 1-1000 мкм, однако частицы от 1 до 5 мм утрачиваются. Результаты могут быть выражены как в объемных, так и в площадных концентрациях [1].

При отборе проб из водного столба применяются сети для зоопланктона, погружные батометры (рисунок 1.5.2) и системы забора воды за бортом на исследовательских судах.

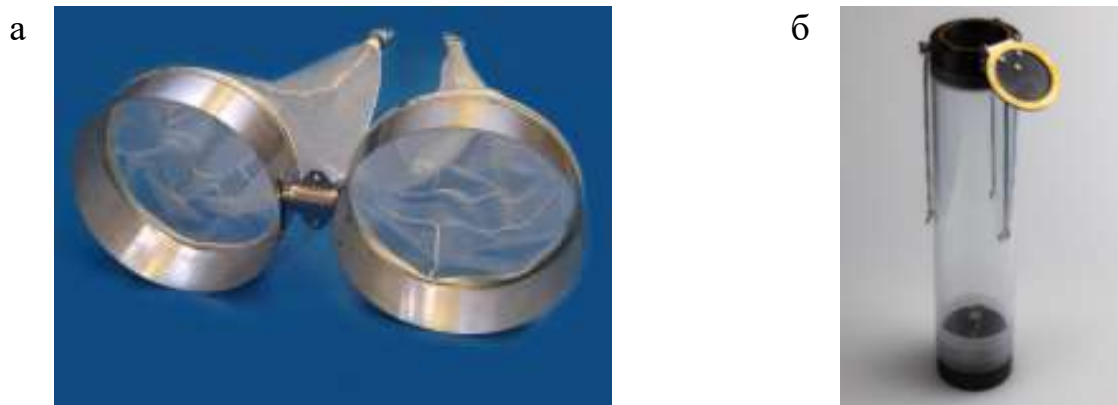


Рисунок 1.5.2 – Сеть для зоопланктона (а), батометр (б)[18]

Применение сетей для зоопланктона позволяет получать данные сравнимые с данными от поверхностного траления (отбираются схожие фракции микропластика). Отбор при помощи батометра позволяет изучить более глубокие части акваторий и охватывает микропластик всех размеров, однако данный способ не позволяет отбирать большие объемы проб [18].

Системы забора воды за бортом позволяют отбирать пробы на глубине от 2 до 6 м. Система устроена следующим образом: водозабор оснащен сеткой с размером ячеей 5 мм (верхняя граница размеров микропластика), расходомер фиксирует объем отфильтрованной воды, далее следует каскад сит, улавливающих различные фракции частиц (250, 125 мкм) (рисунок 1.5.3).

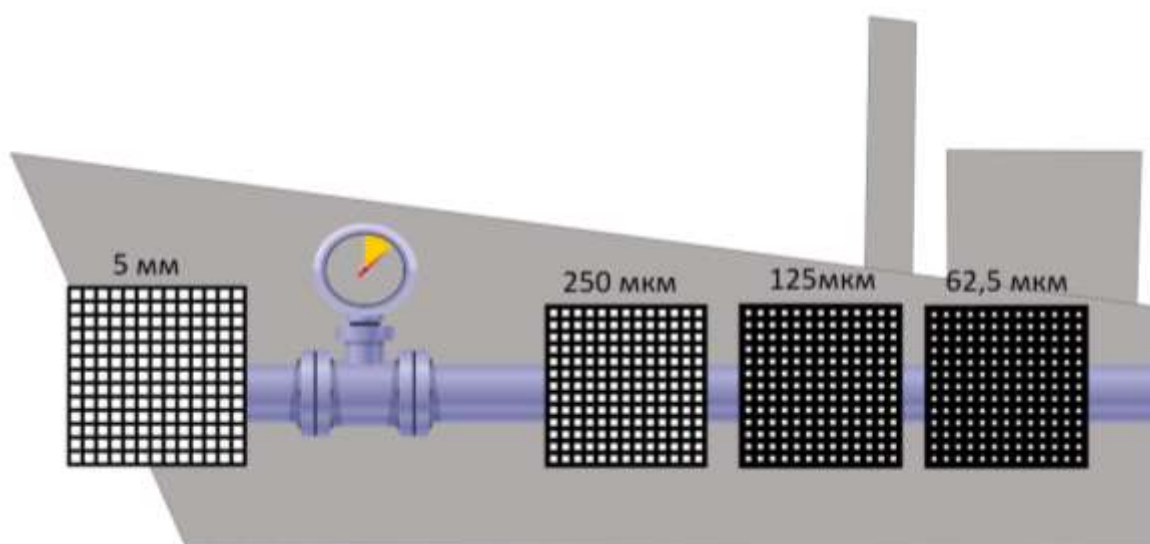


Рисунок 1.5.3 – Схема системы забора воды за бортом

Отбор макропластика из песка осуществляется при помощи совка, пинцета или металлической ложки. Крупные фрагменты при помощи инструментов или руками собираются в пакет или контейнер. Пластик собирается с определенной области, очерченной рамкой. Сбор может производиться как с поверхности пляжа, так и на определенной глубине, достигающей нескольких десятков сантиметров, но в большинстве случаев сбор осуществлялся в пределах верхних 5 см песка. Результаты могут быть

выражены как в частицах на единицу площади, так и в частицах на единицу объема [18].

При мониторинге загрязненности морским мусором песка выбор конкретного места может существенно повлиять на итоги исследования. В зависимости от исследуемого участка и фракции отбираемого пластика применяются следующие методы: метод OSPAR, Frame-метод.

Методика OSPAR, введенная в 1992 году, стала первым унифицированным стандартом для мониторинга морского мусора для побережья Северной Атлантики. По данной методике исследуются песчаные и галечные пляжи, подверженные влиянию открытого моря и доступные для исследования на протяжении всего года. Минимальная длина вдоль берега не менее 100 метров, при этом предпочтительнее участки, где длина пляжа более 1 километра. Мониторинг производится минимум на двух участках длиной 100 м на одном пляже. Методика OSPAR активно применяется в Европе, включая побережье Балтийского моря, и стандартные протоколы разработаны для заполнения не только квалифицированными кадрами, но и волонтерами. Все протоколы вносятся в единую базу данных OSPAR [19].

При помощи метода граблей (Rake-метод) отбирают макропластик со всей ширины пляжа от уреза воды до растительности. При помощи флажков производится разметка пляжа на участки длиной 5 м. Количество таких участков определяется шириной пляжа. Весь отобранный вручную и при помощи пинцета пластик упаковывается в пакет или контейнер.

Процесс сбора проб микропластика в песке основывается на просеивании образца донных отложений или песка через сетчатый фильтр непосредственно на месте отбора пробы или в дальнейшем, уже в лабораторных условиях (рисунок 1.5.4). Метод рамок (Frame-method) применяется для мониторинга содержания макропластика и микропластика в песке. Ширина пляжа делится на 3 части, далее в каждой части обозначаются по 3 участка отбора проб.



Рисунок 1.5.4 – Набор сит для просеивания песка

Участки ограничиваются квадратными рамками площадью $0,5 \text{ м}^2$, общая площадь каждого участка – 1 м^2 . Исследуемый слой осадка имеет глубину 30 мм. Не допуская смешивания слоев осадка верхний слой снимается шпателями с отметкой глубины [19]. Осадок просеивается на сите с диаметром ячеек 2 мм. Частицы макропластика и микропластика собираются в тару при помощи пинцетов визуально. Отбор проб донных отложений производится при помощи дночерпателей, если необходимо получить результаты, выраженные в частицах на единицу объема. Также применяются донные тралы. Результаты траления выражаются в частицах на единицу площади [1].

Данные в различных исследованиях могут выражаться в различных единицах измерения в зависимости от выбранного метода отбора проб, а также от исследуемой среды (зона заплеска, вода, донные отложения или биота). Уровень загрязнения может быть изложен в виде количества или массы (граммы/килограммы) на единицу длины (метры, километры), площади (квадратные метры, квадратные километры), объема (литры, кубические метры). Скорости накопления загрязнителя должны включать временной параметр (например, в день, в год и т.д.).

Существует ряд факторов, способных значительно повлиять на концентрации микропластика в воде в конкретный момент. Скорость перераспределения пластика в океане сильно различается. Оценки скорости

дрейфа частиц могут превышать 1 м/с в условиях постоянного умеренного ветра, что приводит к переносу ~100 км/сутки. Кроме того, концентрации пластикового мусора в непосредственной близости могут изменяться более чем на три порядка в течение 24 часов [20].

Учитывать динамику переноса пластика позволяют средства дистанционного зондирования. Объединив методы дистанционного зондирования и натурных наблюдений можно получить более достоверные данные. Методы дистанционного зондирования, в том числе оптическое зондирование, тепловое инфракрасное зондирование, могут либо напрямую отслеживать пластик, либо делать выводы о концентрации пластика с помощью косвенных измерений. Однако они еще не разработаны для широкомасштабного обнаружения пластика в открытом океане [21].

Пластик попадает в океаны напрямую при выбросах с прибрежных зон и через речную систему. Организацией *The Ocean Clean Up* было проведено исследование, в результате которого составлена интерактивная карта загрязнения Мирового океана пластиком [22]. На карте указаны 1656 наиболее загрязненных, по последним полевым изысканиям, пластиком рек. Данные обработаны вероятностной моделью, определяющей, достигнет ли выброшенный пластик океана за год (рисунок 1.5.5).

Результаты несколько отличаются от общепринятых сведений. Ранее считалось, что вклад рек в загрязнение океана при схожей интенсивности их загрязнения зависит напрямую от расхода реки. Однако, крупные реки внесли меньший вклад, чем предполагалось. При этом малые и средние реки городов Западной Африки и Юго-Восточной Азии внесли наиболее весомый вклад в загрязнение гидросферы.



Рисунок 1.5.5 – Интерактивная карта выбросов пластика *The Ocean Clean Up* [22].

Также неожиданно большое количество пластика поступает в океаны из тропических островов. Это связано с обильными осадками, небольшими расстояниями между источниками загрязнения и водными артериями. К таким регионам относятся Индонезия, Филиппины, переносящие в Мировой океан почти 9% от всего объема пластика в год, государства Центральной Америки. Китай и Индия все еще находятся в числе лидеров по объему выбрасываемого в океан пластика в силу большой плотности населения [22].

Более благополучными следует считать государства, не имеющие выхода к морю или государства с большой территорией, а также засушливые безветренные территории. В таких случаях пластик не может быстро преодолеть большие расстояния. Такие особенности присущи Западному Китаю и Центральной Африке [20].

Исследования загрязнения микропластиком рек в Тайване проведенные в 2023 году показали, что количество микропластика в воде варьируется от практически нулевых значений в незаселенных сельских районах до 230 шт/м³

в густонаселенных городах, причем это количество напрямую связано с численностью населения [23]. Важно отметить, что заметное увеличение уровня микропластикового загрязнения наблюдалось при переходе из сельской местности в город, что совпадает с местом появления систем ливневых канализаций.

С учетом назначения земельных участков, концентрация микропластика показывает положительную связь с площадью промышленных, жилых и транспортных зон в водосборах и отрицательную связь с размером лесных участков. Жилые и промышленные районы, вероятно, являются источниками микропластика в реках [23].

Более того, результаты данного исследования демонстрируют, что связь между распространением микропластика и численностью населения или способами эксплуатации земли вдоль градиентов между городскими и сельскими районами не линейна.

Конкретные гидрологические условия и сезон отбора проб также могут играть важную роль в верифицируемости концентраций. Более высокие режимы расхода в водотоках переносят больше частиц в единицу времени, но в среднем дают более низкие концентрации, чем районы с меньшим расходом. Сезонные изменения в режимах стока (например, таяние снега, наводнения, засуха), экстремальные ливни или антропогенный контроль водных путей (например, через плотины, водосбросные затворы) могут изменить перенос и концентрацию микропластика.

В исследовании, в котором количественно оценивалось вертикальное и продольное распределение микропластика вдоль водосборного бассейна озера Мичиган, было обнаружено, что концентрации частиц в поверхностных водах, как правило, выше, чем те, которые измеряются глубже в толще воды, но ниже, чем в отложениях [24].

Естественное весеннее и осеннее перемешивание озер также может вызвать сдвиги в вертикальном распределении частиц, что свидетельствует о важности внедрения сезонных протоколов отбора проб. Угрозу акваториям

Российской Федерации по данным интерактивной карты может нести вред только река Кальмиус, впадающая в Таганрогский залив Азовского моря. Сток пластика за год у неё составил 124 400 кг. Для сравнения, река Дон несет в год лишь 35 500 кг пластика.

Реки, впадающие в Балтийское море, не входят в число наиболее загрязненных пластиком (Рисунок 1.5.6), однако экосистема Балтийского моря неустойчива к загрязнению пластиком в силу медленных темпов водообмена.

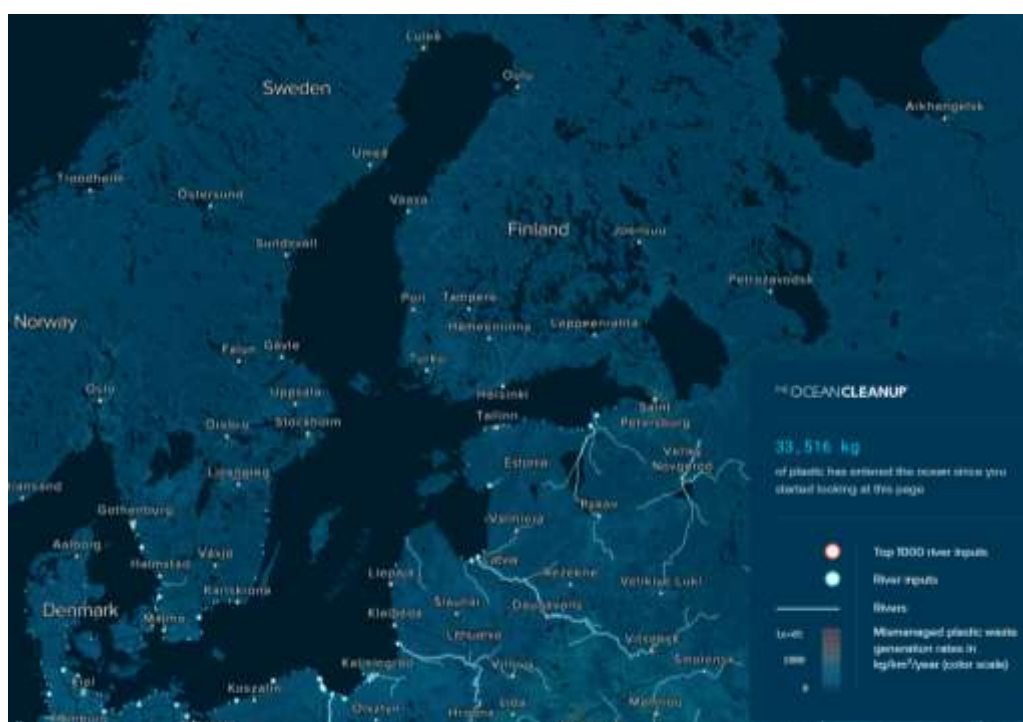


Рисунок 1.5.6 – Интерактивная карта выбросов пластика *The Ocean Clean Up*. Балтийское море [22].

Глава 2. Характеристика района исследования

2.1 Физико-географическое описание Финского залива

Балтийское море — это солоновато водное внутреннее море, которое является частью Атлантического бассейна, окруженное Скандинавским полуостровом и северо-востоком центральной Европы (рисунок 2.1.1). Термин «Балтика» происходит от средневекового латинского «Balticus». Граничащими с ним странами являются: Дания, Эстония, Финляндия, Германия, Латвия, Литва, Норвегия, Польша, Россия и Швеция. Балтийское море соединяется с Северным морем через проливы Скагеррак (часть Северного моря) и пролив Каттегат (часть Балтийского моря), а также через искусственный Кильский канал (Норд-Остзее-Канал) между устьем Эльбы на западе и Килер-Фёрде на востоке земли Шлезвиг-Гольштейн в Германии.

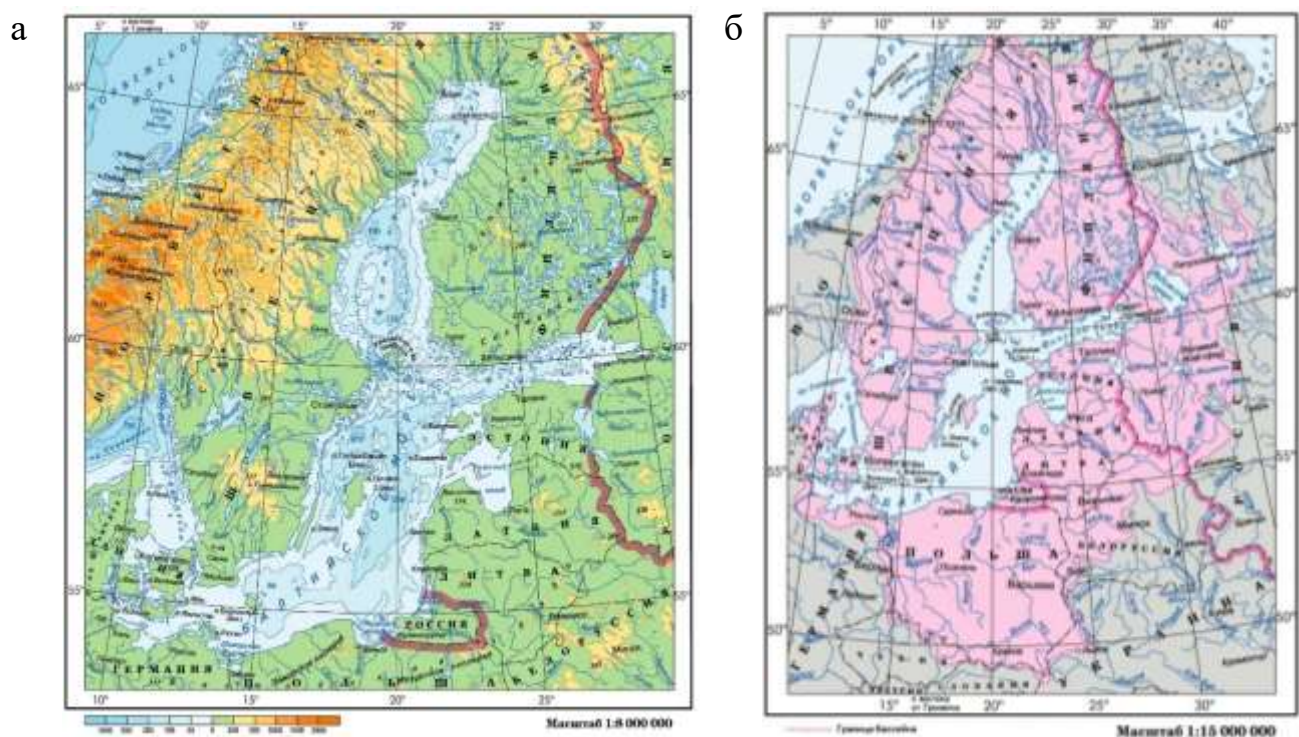


Рисунок 2.1.1 – Карта Балтийского моря (а); Карта бассейна Балтийского моря (б) [25]

Балтийское море занимает бассейн, форма которого сформировалась в результате ледниковой эрозии и давления во время последнего ледникового периода, окончившегося 12 000 лет назад. Из-за образования ледников на суше дно Балтийского моря состоит из континентальной коры, а не из вулканической океанической коры, как в большинстве частей мирового океана. Этим обстоятельством объясняется его сравнительно небольшая глубина. Поскольку высокое давление деформирует горные породы и меняет их минеральный состав, в прибрежной зоне содержится множество интересных метаморфических пород [26].

Финский залив – участок акватории Балтийского моря, ограниченный линией от мыса Пысаспеа (Эстония) до западной границы полуострова Ханко (Финляндия) на западе и устьем р. Невы на востоке (рисунок 2.1.2).

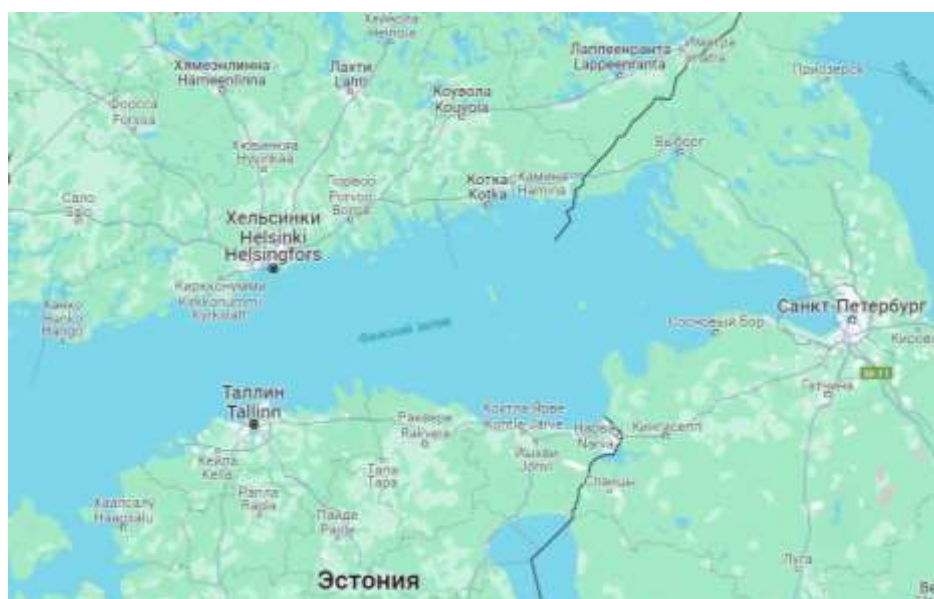


Рисунок 2.1.2 – Схема Финского залива

Площадь водного зеркала Финского залива составляет 29700 км², а объем воды около 1120 км³, что составляет около 7% площади и 5 % объема воды Балтийского моря. Глубина залива достигает 115 м, средняя глубина

составляет 38 м [26]. Площадь водосборного бассейна 421 тыс. км². Вклад реки Невы в общий приток воды Финского залива составляет 70%.

Восточная часть Финского залива ограничена с запада островом Гогланд. Данный участок Финского залива более мелководный (до 60 м). Его глубины и уровень солёности уменьшаются по мере приближения к устью реки Невы. Площадь водного зеркала около 12,5 тыс. км², объем воды достигает 275 км³ [26].

Карта эстуария реки Невы представлена на рисунке 2.1.3. Он состоит из мелководного района, прибрежных зон и внутреннего глубоководного района. Средняя глубина Невской Губы -3,0 м. Невская губа – самая восточная и мелководная части Финского залива. Данная акватория ограничена рукавами дельты реки Невы с востока и Комплексом защитных сооружений (КЗС) Санкт-Петербурга с запада.

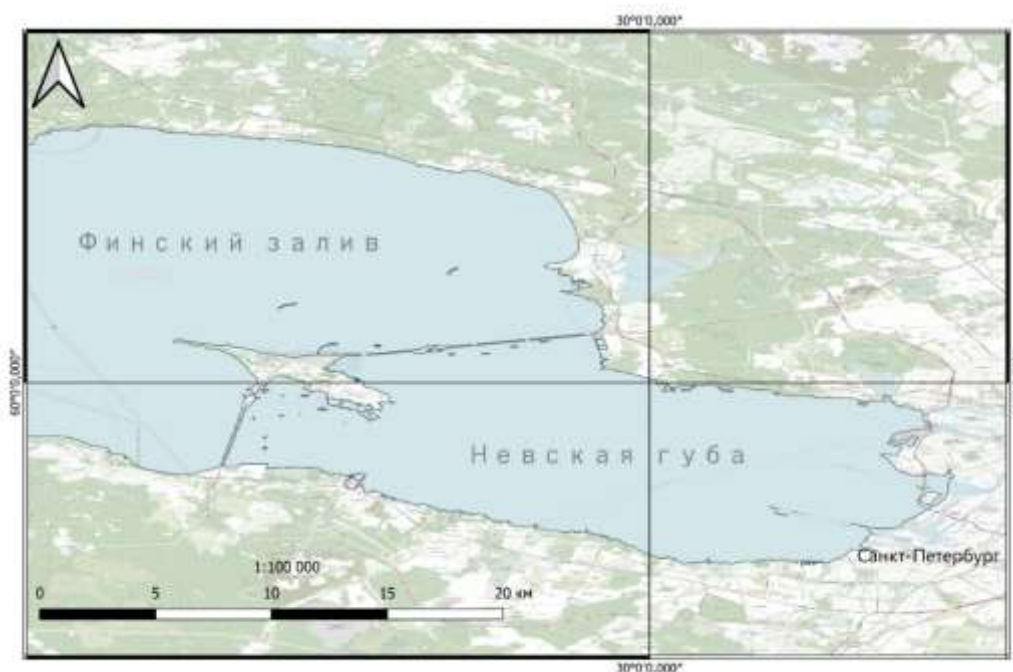


Рисунок 2.1.3 – Карта Невской губы Финского залива Балтийского моря

Площадь водного зеркала Невской губы равна 380 км², а объем водных масс составляет 1,2 км³. Помимо рукавов реки Невы в Невскую губу впадают такие реки, как Шингарка, Стрелка, Дудергофка, и 5 менее крупных рек.

Невская губа расположена в зоне умеренного климата с избыточным увлажнением. Преобладают Атлантические воздушные массы. Основные атмосферные явления – циклоны. Превалирующие направления ветра: западное, юго-западное и восточное. Среднегодовая сумма осадков на данной территории равна 600 мм, а испаряемость 250 мм. Средние температуры воздуха января составляют -5,8°С, июля +18,8°С. Зимы умеренно теплые, лето мягкое. Средние температуры воды составляют 0,0°С в феврале и 20,1°С в июле [26].

Преобладающими течениями Невской Губы являются стоковые течения реки Невы, из-за изрезанности береговой линии образуются обособленные застойные зоны. Эти явления быстро разрушаются под действием стоково-ветровых течений. Также при стоково-ветровых течениях зачастую возникает нагонная волна, что приводит к градиенту уровня воды в Невской губе. Среднегодовые скорости течений северной части Невской губы составляют 6-8 см/с, южной – 1-5 см/м. Приливная активность в Невской губе практически отсутствует [27].

Невская губа и ее прибрежная зона сформировались в период позднеплейстоценового дегляциации и голоценовых колебаний уровня моря. Последним важнейшим событием геологической истории голоцена стало выход Невы из Ладожского озера. Донные отложения представлены по большей части песками мощностью 0,05 – 0,10 м. Под ними залегают плотные глинистые породы. Грубообломочными фракциями покрыто около 15% площади дна. Они представлены валунами, гравием и галькой с глубиной залегания до 4 м. Наиболее распространены в районах о. Котлин и Лисьего носа [26].

С момента основания Санкт-Петербурга в 1703 году Невская губа подвергалась возрастающему антропогенному воздействию. После

строительства КЗС, отделяющего Невскую губу от Финского залива, её намеренно превратили в техногенную лагуну. Интенсивные дноуглубительные работы и сбросы привели к трансформации рельефа дна и осадков.

КЗС – дамбы, служащие ограждением города от наводнений. Водообмен с остальным Финским заливом происходит через Южные и Северные ворота КЗС. Наличие Комплекса защитных сооружений обуславливает низкую скорость водообмена, что приводит к опреснению акватории и снижению скорости её очистки, но вместе с тем обеспечивает защищенность от нагонных ветровых волн [27].

Экосистема Невской губы имеет ряд уникальных особенностей. Накопление гуминовых веществ и ряд физических факторов обуславливают значительную восприимчивость местных биоценозов к эвтрофированию и загрязнению. Несмотря на интенсивное движение транспорта, дноуглубительные работы и сбросы отходов, приводящие к разрушению водных местообитаний, живые планктонные и донные сообщества характеризуются высокой скоростью регенерации.

2.2 Физико-географическое описание реки Нева

Нева соединяет Ладожское озеро с Финским заливом Балтийского моря. Ее бассейн (территория водосбора) имеет площадь 281 000 км² (рисунок 2.2.1). По характеру рельефа бассейн Невы разделяется на две области примерно по линии Выборг — Приозерск — Петрозаводск — Усть-Видлица. К югу от этой линии простирается в общем слабопересеченная равнина с мягким холмистым рельефом, к северу — местность сильнопересеченная. В целом рельеф бассейна равнинный.

По видам растительности бассейн относится к лесной зоне. Почвы представлены в основном дерново-подзолистыми супесями и суглинками,

чередующимися с торфяниками. Леса занимают 55% площади бассейна, болота—13%, пахотные земли — 12% [26].



Рисунок 2.2.1 – Схема русла реки Невы

В бассейне Невы насчитывается множество озер — всего около 50 000, и среди них крупнейшие озера Европы — Ладожское и Онежское, площадью соответственно 17 680 км² и 9720 км². К другим крупным озерам относится озеро Сайма на территории Финляндии (площадь 4400 км²) и озеро Ильмень (площадь 1000 км²). Все озера неевского бассейна занимают площадь 48000 км², или 17% его площади. Объем воды в озерах бассейна огромен — 1350 км³. Этой воды хватило бы для питания такой реки, как Днепр, в течение 25 лет, а такой, как Дон, в течение 48 лет [26].

В бассейне Невы насчитывается также 60 000 рек общей протяженностью 160 000 км. Четыре крупные реки: Невы, Свирь, Волхов, Вуокса. Средние и малые реки южной половины бассейна — это преимущественно типично равнинные реки с пологими берегами и широкими заливными поймами. Реки северной половины бассейна имеют иной характер: текут в крутых лесистых берегах то бурным потоком, то разливаются глубоким озеровидным плесом с едва заметным на глаз течением. Реки эти обычно короткие и соединяют одно озеро с другим.

Река Нева вытекает из мелководной Шлиссельбургской губы (бухта Петрокрепость) Ладожского озера и впадает в Невскую губу Финского залива. Длина реки 74 км. Открытые районы Ладоги отгорожены от истока реки Невы широкой песчано-каменистой отмелью в самой южной части Шлиссельбургской губы. Устье отделено от Невской губы песчаной отмелью (Невский бар). Истоком реки принято считать место у города Петрокрепость (Шлиссельбург), напротив Шлиссельбургской крепости на острове Орешек. За устье реки принимается створ против Невских ворот Морского канала у входа в Гутуевскую гавань (ковш Морского порта).

В Неву впадает 26 небольших рек, основные — Мга, Тосна, Ижора, Охта. На берегах Невы расположены четыре города: Шлиссельбург, Кировск, Отрадное, Санкт-Петербург — и несколько десятков других населенных пунктов.

Нева протекает по широкой (30—50 км) и относительно глубокой (50—100 м) долине, называемой Приневской низменностью. Дно долины представляет собой равнину, нисходящую ступенями в направлении Финского залива и к руслу реки Невы. В отличие от других равнинных рек Нева не имеет поймы. По характеру режима Неву делят на две части: верхнюю — от истока до Ивановских порогов, длиной 30 км, и нижнюю — от Ивановских порогов до устья, длиной 44 км. В верхней части реки на уровне воды, скорости течения и т. д. преобладающее влияние оказывает Ладожское озеро, а в нижней — Финский залив. Вблизи устья река разделяется на рукава, образуя дельту. Нева считается одной из самых полноводных рек Российской Федерации (занимает 6-7 место среди Европейских рек). Среднегодовой ее сток составляет 80 кубических километров при относительно небольшой протяженности. Каждую секунду река отдает в море, в среднем, 2540 м³ воды [27].

2.3 Микропластиковое загрязнение Балтийского моря и Финского залива

Исследования, связанные с загрязнением прибрежных зон и пляжей России морским мусором и микропластиком, стартовали относительно недавно. Около 5-7 лет проводятся исследования Черного и Балтийского морей. Эти исследования включают в себя изучение характеристик распределения микропластика, его свойств и влияния на водные экосистемы, а также разработку методов мониторинга пластикового загрязнения и изучение способов накопления морского мусора на побережьях юго-восточной Балтики и восточной части Финского залива. Также ведутся работы по изучению прибрежных вод Черного моря и разработке моделей распределения и переноса микропластика.

Арктическая зона Российской Федерации остается малоизученной. Набор данных, который включает информацию о концентрациях микропластика в восточной части Баренцева и Карского морей, был опубликован в 2017 году и основан на наблюдениях международной циркумполярной экспедиции Тара Оушенс. В российской научной литературе упоминаются исследования, проведенные различными научными группами в арктических морях, включая Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН и Дальневосточный федеральный университет, в период 2017-2019 гг. [28].

Арктика является экосистемой с высоким уровнем уязвимости. Основная проблема для арктических акваторий заключается в климатических изменениях, которые здесь происходят в два раза быстрее, чем в общем мировом масштабе. Загрязнение арктического района микропластиком стало предметом возросшего интереса для всех стран арктического бассейна в последнее время. В ходе научной экспедиции в Арктику в 2019 году были получены следующие данные. Среднее содержание микропластика в подповерхностном слое составило 143 частицы/м³ в тихоокеанском секторе Северного ледовитого океана, и 11,3 частицы/м³ в арктических морях России.

Наиболее загрязненной является акватория Охотского моря (357 частиц/м³) [29].

Балтийское море и его побережье относятся к наиболее изученным в мире в контексте загрязнения морским мусором и микропластиком. Начальные крупномасштабные исследования пляжного мусора были осуществлены в 2011-2013 годах в рамках проекта MARLIN. На побережьях Швеции, Финляндии, Эстонии и Латвии было обнаружено от 75 до 236 фрагментов макромусора на каждые 100 метров пляжа, причем основными источниками морского мусора стали морской транспорт, рыболовство, бытовые отходы и отдых на пляже [29].

Экосистема Балтийского моря способна накапливать и длительное время удерживать различные загрязнители и поэтому является уязвимой для антропогенного воздействия. Это связано не только с медленным водообменом, но и с высокой антропогенной нагрузкой. Установлено, что среднее время пребывания воды в Балтийском море составляет от 25 до 30 лет. Территория водосбора Балтийского моря в четыре раза больше его площади. На его территории проживает около 85 млн. человек. Подавляющая часть попадающего в Балтийское море микропластика оседает на дно, оказывая значительную нагрузку на экосистему моря [29].

Ряд исследований, проведенных в нескольких странах Балтики позволяют оценить загрязненность микропластиком акватории Балтийского моря. Отбор проб воды подповерхностного слоя в Финском заливе показал концентрацию частиц микропластика 0–6.8 шт./м³ при размере ячеей 100 мкм. Концентрации на поверхности составили 0–0,8 шт./м³ при размере ячеей манта-трала 333 мкм [1].

Приведенные результаты сопоставимы с данными исследования, проведенного в гавани Гетеборга около сбросов очистных сооружений и в Стокгольмском архипелаге (Швеция) [16]. При использовании манта-трала с размером ячеей 330 мкм были получены концентрации 0,9 – 0,26 шт./м³ и 0,19 – 7,73 шт./м³ соответственно. В ряде работ было рассмотрено взаимодействие

загрязнения микропластиковыми частицами с морской фауной Балтийского моря. Так, в 2019 г. пластик был обнаружен в пищевых трактах балтийской песчанки [30]. Также частицы микропластика поглощают 9 из 11 видов беспозвоночных животных, рассмотренных в исследовании. Это подтверждает включение микропластика в пищевые цепи Балтийского моря [29].

Позже, в 2014-2016 годах, в Германии, Польше и Литве проводились масштабные исследования микропластика [1]. На российских берегах Балтийского моря с 2016 года в Калининградской области (Атлантическим отделением Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН) и с 2018 года в Финском заливе Российским государственным гидрометеорологическим университетом (в лаборатории PlasticLab) идут исследования морского мусора и микропластика. Совместная работа этих двух организаций направлена на создание первой базы данных о морском мусоре в российском секторе Балтийского моря.

Стоит отметить, что концентрации пластиковых частиц в воде и грунтах прибрежной зоны довольно изменчивы. Самым стабильным показателем считается концентрация микропластика в донных отложениях. Именно по ней можно судить о долгосрочной динамике загрязнения водной среды. Они выступают в роли депонирующей среды, то есть в них происходит накопление осаждающихся частиц микропластика. Этот процесс связан с нарастанием биопленки на поверхности частиц пластика. Биопленка состоит из микроорганизмов, гумусовых веществ и детрита [1].

Основными источниками микропластика в Балтийском море являются выпуски водоочистных сооружений. Впервые содержание пластиковых частиц в воде Балтийского моря было оценено в Швеции в 2007 году и концентрации составили от 80 до 2400 ед./м³. В рамках программы обязательного мониторинга Хельсинкской комиссии данное исследование проводится с 2009 года [29].

Доля микропластика, попадающего в морские экосистемы из станций очистки воды составляет 0,1% от общей массы всего пластикового мусора, попадающего в них. Однако именно микропластик представляет особую опасность из-за своей биодоступности и способности сорбировать из сточных вод различные фармацевтические препараты и токсические вещества. Отмечается, что с очисткой сточных вод от микропластика успешнее справляются станции, в которых вода до очистки проходит через отстойники [29].

В ряде исследований производился отбор проб воды из различных горизонтов акватории при помощи погружных батометров Нискина. В горизонтах от 0 до 217 м Готландского, Гданьского и Борнхольмского бассейнов содержится 400 ± 576 шт./м³. Диаметр ячеей фильтра составлял 174 мкм [31].

Работниками Атлантического отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН в 2019 г. проводилось исследование микропластика в водной толще, донных отложениях и пляжных песках юго-востока Балтийского моря. Исследовались пробы воды, отобранные на побережье Калининградской области. Наиболее часто встречались частицы из полиэстера, полиамида и полиэтилена, частицы красок, полипропилен, метилвиниловый эфир. Реже встречались частицы из ацетата целлюлозы, полистирола, фенольной и эпоксидной смолы, поливинилхлорида и углепластика [32].

Исследования загрязненности микропластиком Балтийского моря производятся многими странами Балтики. Пробы отбираются в различных районах Балтийского моря с разных горизонтов. Однако составить единую картину загрязненности акватории сложно, так как результаты исследований в значительной степени разнятся в зависимости от размера ячеей применяемых фильтров и способов выражения концентраций.

Балтийское море как внутреннее море принимает речной сток с территории крупных и плотно населенных европейских стран. Уровень его

загрязнения сопоставим с показателями других прибрежных зон Мирового океана, где средние концентрации микропластика могут меняться от 0.00019 частиц/л до 0.00725 частиц/л. В некоторых районах, таких как акватория Британской Колумбии концентрации могут достигать 5 частиц/л [1].

Активную деятельность по защите морской среды Балтийского моря ведет Хельсинкская комиссия (ХЕЛКОМ). Это организация, объединяющая страны, подписавшие Хельсинскую конвенцию в 1992 году. В неё входят Дания, Германия, Европейский союз, Литва, Латвия, Россия, Польша, Швеция, Финляндия и Эстония. ХЕЛКОМ разрабатывает программу совместных действий перечисленных государств по защите акватории Балтийского моря от различных видов негативного воздействия [33].

ХЕЛКОМ действует как координатор совместных действий Сторон в отношении определения ключевых загрязнителей, оценки их количества и источников, а также разработки эффективных национальных или региональных стратегий. Данные, полученные в ходе мониторинга в сочетании с информацией о веществах, применяемых оценок. Эта информация обеспечивает способы обновления региональных приоритетов для мониторинга загрязненности экосистем, а также комплексного подхода, который учитывает динамику загрязнений в море и их экотоксикологическое воздействие, нагрузку.

Для достижения желаемого состояния были определены следующие цели управления морским мусором: предотвращение образования отходов и их попадания в море, включая микропластик; значительное уменьшение количества мусора на береговой линии и в море [29].

Региональный план действий ХЕЛКОМ по морскому мусору является главным инструментом для достижения этих экологических целей и задач. Он предусматривает принятие мер, направленных на устранение наиболее распространенных видов мусора, обнаруживаемых в регионе Балтийского моря, путём:

- снижения воздействия брошенных, орудий лова на морскую экосистему;
- значительного уменьшения использования одноразового пластика;
- предотвращения попадания мусора из всех источников;
- минимизации поступления микропластика с помощью мер, применяемых как на начальном, так и на конечном этапах производственного цикла;
- поддержания информированности о новых и возникающих проблемах, связанных с морским мусором, и принятие необходимых мер по их устранению;
- активного продвижения и работы над глобальным соглашением по сокращению количества отходов и микропластика в морях [33].

ХЕЛКОМ планирует уменьшить количество морского мусора на пляжах как минимум на 30% к 2025 году и на 50% к 2030 году относительно показателей 2015-2016 годов. Достижение этих целей начнется с уменьшения количества наиболее часто встречающихся одноразовых пластиковых предметов и предметов, связанных с рыболовными снастями. Для успешной реализации этих целей, Стороны конвенции обязуются внедрить Региональный план действий ХЕЛКОМ по морскому мусору [34].

План заключается в согласовании основных показателей и стандартизации методов мониторинга для подсчета и оценки объема, состава, распределения и источников (в том числе речных стоков) морского мусора, не позже 2026 года [34].

Протекая в основном в городской местности, в том числе через Санкт-Петербург, Нева играет важную роль в жизни горожан, обеспечивая водоснабжение, отопление и возможности для отдыха и рекреации. Берега Невы также служат домом для множества видов. Важность сохранения и восстановления экосистемы реки Невы не может быть преувеличена. Это включает меры по контролю за загрязнением микропластиком, понимание

источников загрязнения, координированный мониторинг и управление загрязнением, а также образовательные и информационные программы для общественности.

Один из приоритетных вопросов в рамках защиты окружающей среды для ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» - это улучшение санитарного и экологического состояния реки Нева и Финского залива, что будет достигнуто путем полного прекращения сброса неочищенных сточных вод. К 2030 году Водоканал планирует перенаправить все сточные воды на очистные сооружения для обработки. На данный момент достигнут высокий уровень очистки сточных вод. По данным 2023 г. сточные воды очищаются от взвешенных веществ на 98-99% [35].

Мониторинг загрязненности морским мусором и микропластиком пляжей и водной среды Невской Губы производится лабораторией PlasticLab РГГМУ с 2018 года на 15 песчаных пляжах вдоль побережья залива и Невской губы. Результаты мониторинга из года в год показывают относительно высокую загрязненность воды и песка микропластиком вблизи г. Санкт-Петербург и устья реки Невы [36].

Загрязнение пластиком на северном побережье Финского залива и в Невской губе заметно превышают таковые на южном побережье, а общая концентрация микропластика является наивысшей в балтийском регионе. Из-за своих гидродинамических характеристик, Невская губа служит накопителем микропластика, который поступает с водами реки Нева. Однако, за пределами границ КЗС концентрации микропластика существенно уменьшаются [36].

Анализ загрязнения микропластиком акватории Невской губы, осуществленный в 2021 году, показал, что синтетические волокна размером 130-3500 мкм являются доминирующими в составе микропластика. Анализ, проведенный с помощью спектроскопии, подтвердил, что основная масса пластиковых волокон сформирована из полиэтилентерефталата [36].

Глава 5 Практические рекомендации

5.1 Практические рекомендации по снижению поступления микропластика в окружающую среду

Утерянные орудия лова составляют большую часть пластикового мусора, загрязняющего водную среду, они истощают запасы промысловых видов ихтиофауны, наносят значительный урон водным экосистемам. При помощи более тщательной маркировки орудий лова можно добиться более быстрого обнаружения и изъятия утерянных орудий лова. Также эта мера может помочь в борьбе с незаконным, нерегулируемым и неофициальным выловом [50]. Необходимо также внедрять технические изменения в конструкции орудий лова, предотвращающие их потерю, облегчающие обнаружение

Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН разрабатывает техническое руководство по применению международной системы маркировки рыболовного оборудования. Вкупе с системами аренды оборудования данные меры поощряют возврат, починку и замену орудий лова [29].

Налаженная система раздельного сбора твердых отходов позволит уменьшить попадание пластика в окружающую среду. Необходимо развитие системы раздельного сбора отходов, блокировки утечек отходов и вторичному использованию подлежащих переработке фракций. Речь идет о создании инфраструктуры, применении коммуникативных инструментов, внедрении образовательных программ для населения. Необходимо чтобы люди чувствовали в раздельном сборе отходов, были информированы, правильно пользовались инфраструктурой. Целью в долгосрочной перспективе является циклическая система в отношении использования пластика. Пока она не достигнута допустимо получение энергии из пластиковых отходов. Наилучшим способом на данный момент считается пиролиз, в ходе которого

молекулы пластика разрушаются, а в последствии преобразуются в пар. После конденсации образуется неочищенная синтетическая нефть, а при сохранении газообразного состояния – синтетический газ [51].

Высокую эффективность показал на практике метод залоговой стоимости тары. Схема работает следующим образом: в стоимость товара закладывается залоговая стоимость тары. При покупке товара потребитель вносит залог за упаковку. Сдавая тару для переработки, потребитель может вернуть сумму залоговой стоимости тары. Такая мера может применяться не только к пластиковым бутылкам, но и к стеклянной, жестяной таре [29].

Так, к примеру, в Эквадоре ввели данную систему для ПЭТ-бутылок. Они широко применяются в этой стране для обеспечения населения питьевой водой. Депозит за каждую бутылку составляет 0,02 доллара США. Данная схема была принята в 2011 году и позволила увеличить долю переработки ПЭТ-бутылок с 30% в 2011 году до 80% в 2012 году, таким образом из 1,40 млн. проданных бутылок Эквадор смог переработать 1,13 млн [52].

Одним из эффективных способов борьбы с загрязнением окружающей среды пластиком также являются налоги. В это же время они увеличивают доход государства при относительно малых затратах на их введение. Полученные деньги государство может направлять на программы по улучшению состояния окружающей среды.

К примеру, в Ирландии в 2002 году был введен налог в размере 15 центов за каждый пластиковый пакет. В 2007 году налог был увеличен до 22 центов. Это привело к падению продаж пластиковых пакетов в розничных магазинах на 90% [52]. Собранные при помощи данного налога средства финансируют деятельность компаний по борьбе с пластиковым загрязнением и исследования в области борьбы с различными видами загрязнений окружающей среды, применяются для поддержания деятельности общественных инициативных групп по защите окружающей среды.

Законодательный запрет на преднамеренное использование микропластика вступил в силу в Евросоюзе 16 октября 2022 г. Этот запрет

включает в себя регулирование таких материалов, как гранулированный наполнитель, используемый в производстве спортивных покрытий, косметики, бытовой химии, средств для мульчирования, игрушек и лекарств. Тем не менее, появление этого законодательного акта вызвало общественную критику. Переходные периоды, отведенные для большинства сфер, критикуют за их продолжительность, сокращение выброса частиц в экосистему будет весьма медленным. Кроме того, недовольство вызывает известие о том, что крупные промышленные предприятия сумели лоббировать поправки в закон, допускающие исключение из него микропластика [53].

Очистка сточных вод от микропластика стала глобальной проблемой, для решения которой активно ищутся новые подходы и технологии. Одним из основных методов является физическое отделение микро- и наночастиц с помощью фильтрующих систем. Однако эти методы обладают разной степенью эффективности и могут требовать значительных затрат на установку и обслуживание.

Существуют и другие подходы, такие как использование магнитных лигандов, коагулянтов и флокулянтов, которые помогают объединять микрочастицы в более крупные агломераты, которые затем легче отделить от воды [27].

Также идут исследования в области биологической очистки, основанные на использовании микроорганизмов, способных абсорбировать или ферментативно разлагать пластик. Однако этот подход требует дальнейшего изучения и оптимизации [27].

Одной из примечательных характеристик поведения микропластика в природе является его скопление на морских берегах. Связано это с тем, что пляжи являются местом наиболее активного УФ-разрушения, то есть процесса превращения больших предметов из мусора в микро- и наночастицы. Пляжи по всему миру по праву считаются главными источниками вторичного микро- и микропластика [1]. Это подтверждает значимость очистки пляжных зон. Эффективная уборка пластиковых отходов с пляжей до момента, когда их

поверхность станет хрупкой из-за воздействия окружающей среды, может существенно снизить объемы микропластика, попадающего в океан.

Неправильное управление отходами приводит к утечке пластика в окружающую среду. Раздельный сбор отходов позволяет перенаправить большой объем пластика с полигонов, где он будет разлагаться с выделением микропластика и токсикантов, на переработку. Строительство сортировочных комплексов и заводов по переработке пластика, установка инфраструктуры для раздельного сбора отходов позволят сократить объем производимого микропластика. Ежегодно в России только около 350 тыс. тонн полимеров попадает во вторичный цикл переработки, тогда как более чем 4 млн. тонн отправляется на свалку. Это происходит, несмотря на то, что официально зарегистрированный объем захоронения полимерных отходов в России составляет примерно 2,2-2,4 млн. тонн, при общем объеме их производства в 7 млн. тонн [1]. Среди населения отсутствует сформированное мнение о социальной важности процесса переработки отходов, не говоря уже о технической возможности его осуществления на предприятиях. Политика, нацеленная на улучшение обращения с отходами и поддержку переработки, может помочь уменьшить число источников микропластика. К сожалению, на сегодняшний день, стоимость первичного пластика в сравнении со вторичным не высока. Стимулировать применение вторичного пластика могут экономические меры.

Также сократить объем попадающего в р. Неву микропластика можно путем введения изменений в стандартах работы промышленных предприятий. Уменьшение объема используемой пластиковой упаковки при производстве и транспортировке товаров, исключение применения абразивов на основе микропластика.

Исключить ветровой микропластик с полигонов ТБО возможно только после их рекультивации. В связи с этим, необходимо строгое соблюдение сроков и правил их эксплуатации.

Заключение

В текущей работе была исследована проблема загрязнения микропластиком Мирового океана и Балтийского моря. Микропластик наносит значительный ущерб множеству отраслей: судоходству, туризму, рыболовству и аквакультуре. Из-за него усиливается процесс деградации среды обитания, ставится под угрозу существование множества видов морских обитателей и птиц. Анализ пространственного распределения микропластика направлен на выявление наиболее уязвимых частей экосистемы Невской губы.

В ходе полевых исследований были собраны натурные данные о концентрациях микропластика в реке Неве и Невской губе. Большинство частиц оседает вблизи устьевых рукавов Невы. Также выше по течению реки Невы наблюдались большие концентрации, чем в устьевых рукавах, что свидетельствует об активном осаждении частиц микропластика в донном осадке и на пляжах берегов реки Невы. Накопление частиц микропластика в песке происходит активнее в северной части побережья Невской губы.

Большая часть микропластика была представлена прозрачными волокнами размером 500 -1000 мкм. Данные о концентрациях микропластика в воде Невской Губы в 2022 г. и их свойствах образуют схожую картину распределения пластика с данными мониторинга 2020 г, соотносятся с данными мониторинга пляжей.

Полученные данные свидетельствуют о том, что речной сток и циркуляция вод оказывают значительное влияние на формирование областей повышенной концентрации пластика в прибрежной зоне и их аккумуляции в осадочных отложениях. В дальнейшем будет целесообразно отобрать пробы воды вблизи сбросов водоочистных сооружений Санкт-Петербурга для уточнения вклада сбросов очищенных вод в общий объем поступающего в акваторию Невской губы микропластика.

Степень влияния погодных условий на содержание микропластика в воде в период отбора проб была незначительна. Вклад сбросов водоочистных сооружений Санкт-Петербурга в загрязнение микропластиком акватории Невской губы незначителен. Очистка сточных вод производится на достаточном уровне. Наибольший вклад в загрязнение микропластиком Невской губы вносит сток реки Невы.

Пространственные и временные вариации содержания частиц в поверхностных водах и водной толще подчеркивают необходимость повторного и более широкого отбора проб для установления более репрезентативных базовых концентраций.

Для снижения объема поступающего в акваторию Невской Губы микропластика необходимо принять ряд мер: регулярно производить очистку пляжей от морского мусора, принимать меры по уменьшению объема применяемого при производстве и транспортировке товаров пластика, развивать систему раздельного сбора мусора и переработки пластика.

Список литературы

1. Чубаренко И.П., Есюкова Е.Е., Хатмуллина Л.И. Микропластик в морской среде.-Российская академия наук, Институт океанологии им. П.П. Ширшова.-Москва: Научный мир, 2021.
2. Кацнельсон М.Ю., Балаев Г.А. (1978) Пластические массы. Свойства и применение: Справочник. 3-е изд., перераб. Л.: Химия. 384 с.
3. Новиченок Н.Л., Шульман З.П. (1971) Теплофизические свойства полимеров. Минск: Наука и техника. 120 с.
4. Duis K., Coors A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. / Duis K. –Environ. Sci. Eur. – 2016 – vol. 28 – p. 2. DOI: 10.1186/s12302-015-0069-y.
5. Hayley S. Charlton-Howard, Alexander L. Bond, Jack Rivers-Auty, Jennifer L. Lavers, ‘Plasticosis’: Characterising macro- and microplastic-associated fibrosis in seabird tissues, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 450, 2023, DOI: 131090. ISSN 0304-3894
6. Hirt N, Body-Malapel M. Immunotoxicity and intestinal effects of nano- and microplastics: a review of the literature. *Part Fibre Toxicol.* (2020) 17:57. 10.1186/s12989-020-00387-7
7. Front. Environ. Sci., 19 August 2020 Sec. Toxicology, Pollution and the Environment, Vol. 8 – 2020
8. Романовский В.В. (1969) Влияние формы крупных частиц наносов и их ориентации в потоке на гидродинамическое сопротивление // Труды ГГИ. № 175. С. 108–118.
9. Pauly JL, Stegmeier SJ, Allaart HA, Cheney RT, Zhang PJ, Mayer AG, et al.. Inhaled cellulosic and plastic fibers found in human lung tissue. *Cancer epidemiology, biomarkers and prevention: a publication of the American association for cancer research, cosponsored by the American society of preventive. Oncology.* (1998) 7:419–28.
10. Zhang X, He Y, Xie Z, Peng S, Xie C, Wang H, et al.. Effect of microplastics on nasal and gut microbiota of high-exposure population: protocol for

an observational cross-sectional study. *Medicine*. (2022) 101:e30215. 10.1097/MD.00000000000030215

11. Kerestin E. Goodman, Joan T. Hare, Zahraa I. Khamis, Timothy Hua, and Qing-Xiang Amy Sang, Exposure of Human Lung Cells to Polystyrene Microplastics Significantly Retards Cell Proliferation and Triggers Morphological Changes *Chemical Research in Toxicology* 2021 34 (4), 1069-1081. DOI: 10.1021/acs.chemrestox.0c00486

12. Xiaoqi Zhu, Chuanxuan Wang, Xiaoyu Duan, Boxuan Liang, Elvis Genbo Xu, Zhenlie Huang, Micro- and nanoplastics: A new cardiovascular risk factor?, *Environment International*, Vol. 171, 2023, 107662, ISSN 0160-4120

13. Cary, C.M., Seymore, T.N., Singh, D. et al. Single inhalation exposure to polyamide micro and nanoplastic particles impairs vascular dilation without generating pulmonary inflammation in virgin female Sprague Dawley rats. *Part Fibre Toxicol* 20, 16 (2023). DOI: 10.1186/s12989-023-00525-x

14. Tamargo, A., Molinero, N., Reinoso, J.J. et al. PET microplastics affect human gut microbiota communities during simulated gastrointestinal digestion, first evidence of plausible polymer biodegradation during human digestion. *Sci Rep* 12, 528 (2022). DOI: 10.1038/s41598-021-04489-w

15. Yunxiao Yang, Enzehua Xie, Zhiyong Du, Zhan Peng, Zhongyi Han, Linyi Li, Rui Zhao, Yanwen Qin, Mianqi Xue, Fengwang Li, Kun Hua, and Xiubin Yang, *Environmental Science & Technology* 2023 57 (30), 10911-10918, DOI: 10.1021/acs.est.2c07179

16. Magnusson K., Eliasson K., Fråne A., Haikonen K., Hultén J., Olshammar M., Stadmark J., Voisin A. (2016) Swedish Sources and Pathways for Microplastics to the Marine Environment Number C 183. March 2016. Report. <https://www.ivl.se/webdav/files/Rapporter/C183.pdf>

17. Есюкова Е.Е., Чубаренко Б.В., Чубаренко И.П., Килесо А.В., Железова Е.В., Граве А.В., Цуканова Е.С., Собаева Д.А., Танурков А.Г., Юшманова А.В., Турко Н.А. (20186) Методика отбора и учёта фрагментов геосинтетических материалов и её тестирование для пляжей Юго-Восточной

Балтики // Арктические берега: путь к устойчивости: Материалы конференции / Редакционная коллегия: Е.А. Румянцева (отв. редактор), Г.Г. Гогоберидзе (зам. отв. редактора), М.А. Князева. Мурманск: МАГУ. С. 76–79.

18. Dris R., Gaspéri J., Rocher V., Saad M., Renault N., Tassin B. (2015) Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry* 12. DOI: 10.1071/EN14167.

19. OSPAR (2007) 333Pilot Project on Monitoring Marine Beach Litter: Monitoring of Marine. Litter in the OSPAR Region. OSPAR Commission, London.

20. Исаченко И.А., Чубаренко И.П., Лобчук О.И. (2019) Лабораторные эксперименты по взмучиванию частиц микропластика: особенности движения на дне с различной шероховатостью // В книге: Моря России: фундаментальные и прикладные исследования. Тезисы докладов IV Всероссийской научной конференции. Севастополь. С. 213–214.

21. Белолипецкий В.М., Шокин Ю.И. Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды. / Новосибирск: изд. ИНФОЛИО-пресс, 1997. 240 с.

22. Sailing seas of plastic // the oceancleanup URL: <https://app.dumpark.com/seas-of-plastic-2/#about> (дата обращения: 08.05.2024).

23. Thailand, Government of (2023).Thailand: Country 3R Progress Report (draft): Voluntary Progress/Achievements/ Initiatives in Implementing Ha Noi 3R Declaration (2013-2023). Presented at the Ninth Regional 3R Forum in Asia and the Pacific held 4-6 March 2019 in Bangkok.

24. Matthew J. Hoffman, Eric Hittinger, Inventory and transport of plastic debris in the Laurentian Great Lakes, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 115, 2017, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.11.061.

25. Атлас балтийского моря // География URL: <https://geographyofrussia.com/morya-rossii-baltijskoe-more/> (дата обращения: 09.05.2024).

26. Геология Балтийского моря / Под ред. Гуделиса В.К., Емельянова Е. М. Вильнюс.: Мокслас, 1976. С. 383.

27. Бродский, А.К., Кудрявцева М.В. Исследование влияния Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений на биоту эстуария реки Невы / А.К. Бродский, М.В. Кудрявцева. – СПб.: 2009. – http://ecosafe.spbu.ru/Nature/KZS/kzs_cp.htm (дата обращения: 24.04.2022).
28. Ершова А.А., Еремина Т.Р., Дунаев А.Л., Макеева И.Н., Татаренко Ю.А. Исследование загрязнения микропластиком морей российской Арктики и Дальнего Востока // Арктика: экология и экономика. — 2021. — Т. 11, — № 2. — С. 164-177. — DOI: 10.25283/2223-4594-2021-2-164-177.
29. HELCOM activities report for the year 2019 / – Helsinki, Finland.: Baltic Marine Environment Protection Commission. – 2020. – № 169.
30. Гущин А.В., Веремейчик Я.В. Микропластик в пище балтийской песчанки *Ammodytes tobianus* литорали Куршской косы Балтийского моря // Вопросы ихтиологии, 2019, DOI: 10.1134/S004287521904009X
31. Bagaev A., Mizyuk A., Khatmullina L., Isachenko I., Chubarenko I. (2017) Anthropogenic fibres in the Baltic Sea water column: Field data, laboratory and numerical testing of their motion. *Science of the Total Environment* 599–600, 560–571. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.185.
32. Есюкова Е. Е, Чубаренко И. П. Микропластик в водной толще, донных осадках и песках пляжей юго-восточной части Балтийского моря: концентрации, распределение частиц по размерам и формам // Есюкова Е. Е, Чубаренко И. П. – СПб.: Региональная экология. – 2019. – № 2 (56). – С. 16-29. DOI: 10.30694/1026-5600 -2019-2-16-29.
33. HELCOM (2009). Marine litter in the Baltic Sea region: Assessment and priorities for response. Baltic Marine Environment Protection Commission. Helsinki, Finland, 20 pp.
34. HELCOM (2015), Regional Action Plan for Marine Litter in the Baltic Sea. 20 pp. <https://helcom.fi/action-areas/marine-litter-and-noise/marine-litter/marine-litter-action-plan/>
35. Сведения об очистке сточных вод за 2022 год // ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» URL:

https://www.vodokanal.spb.ru/kanalizovanie/ochistka_stochnyh_vod/ (дата обращения: 07.05.2024).

36. Кузьмина А. С., Ершова А. А. Загрязнение микрочастицами морского мусора песчаных побережий восточной части Финского залива Балтийского моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 2. С. 86–100. DOI:10.22449/2413-5577-2022-2-86-100

37. Сервер «Погода России» [Электронный ресурс]. / Лаборатория информационной поддержки космического мониторинга ИКИ РАН. - Режим доступа: <http://meteo.infospace.ru/>

38. Ершова А.А., Татаренко Ю.А. Пробоотборник для определения содержания микропластика в морской воде (HydroPuMP). Патент на полезную модель 206110 U1, 24.08.2021. Заявка № 2020144043 от 28.12.2020.

39. Masura J., Baker J., Foster G., Courtney A. (2015) Laboratory methods for the analysis of MPs in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48. 31 p.

40. Chubarenko I., Bagaev A., Zobkov M., Esiukova E. On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment. // *Marine Pollution Bulletin*. 2016. Т. 108. № 1-2. С. 105-112.

41. Мартыянов С.Д., Рябченко В.А., Ершова А.А., Ерёмина Т.Р., Мартин Г. К оценке распространения микропластика в Восточной части Финского залива. // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2019. Т. 12. № 4. С. 32-41. DOI:10.7868/S207366731904004X

42. Зобков М.Б., Есюкова Е.Е. (2018) Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // *Океанология*. Т. 58. № 1. С. 149–157. DOI: 10.7868/S0030157418010148.

43. Поздняков, Ш. Р., Иванова Е. В., Гузева А. В., Шалунова Е. П., Мартинсон К. Д., Тихонова Д. А. Исследование содержания частиц

микропластика в воде, донных отложениях и грунтах прибрежной зоны Невской губы Финского залива // Водные ресурсы, 2020, том 47, с. 411-420

44. Иванова Е. В., Тихонова Д. А. Оценка содержания частиц микропластика в Ладожском озере // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 6. С. 58–67. DOI: 10.17076/lim1582

45. Акт министерств и ведомств "СХЕМА водоотведения Санкт-Петербурга на период до 2025 года с учетом перспективы до 2030 года и прогноза до 2040 года" от 29.06.2021 № 226019/2021-7352(2) // Российская газета. 2021 г.

46. Логинова Н. В., Макеева И. Н., Ершова А. А. Исследование загрязненности микропластиком водной среды Невской губы Финского залива // Логинова Н. В., Макеева И. Н., Ершова А. А. – Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции для молодых учёных по проблемам водных экосистем, посвященной 150-летию Севастопольской биологической станции - ФИЦ "Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН". Севастополь, – 2021. – С. 67-69.

47. Ершова А.А., Макеева И., Ясинский С. (2023). Микропластик в поверхностных и подземных водах крупного города в бассейне р. Волги (на примере Нижнего Новгорода). 157. 402-420. 10.24057/probl.geogr.157.21.

48. Bouwman H., Minnar K., Bezuidenhout C. Microplastics in freshwater Environments. A scoping study; North West University /WRC Report No.2610/1/18. March 2018/ 80

49. Samuel V.; Kelly, Walton R.; Scott, John; Zheng, Wei; McNeish, Rachel E.; Holm, Nancy; Hoellein, Timothy; and Baranski, Elizabeth L.. Microplastic Contamination in Karst Groundwater Systems. Groundwater, 57, 2: 189-196, 2019. Retrieved from Loyola eCommons, Biology: Faculty Publications and Other Works, URL: <http://dx.doi.org/10.1111/gwat.12862>

50. Пластиковый мусор и микропластик в Мировом океане. Глобальное предостережение и исследование, призыв к действиям и руководство по изменению направления политики. ЮНЕП, 2016, Найроби //

UNEP (2016). Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Programme, Nairobi.

51. Мырадова А.Ю., Какаджанов Д.Ш. Методы переработки отходов пластика // Вестник науки. 2023. №1 (58). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-pererabotki-othodov-plastika> (дата обращения: 09.05.2024).

52. Козырева Н. Н., Грузинов О. С. Зарубежный опыт использования депозитно-возвратной системы управления отходами // Потребительская кооперация № 1 (60) 2018

53. Protecting environment and health: Commission adopts measures to restrict intentionally added microplastics // European Commission URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_4581 (дата обращения: 07.05.2024).

Приложение 1

Таблица метаданных

Название станции	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Микропластик в воде						
Новосаратовка					+	
Пляж Петропавловской крепости					+	
Малая Невка					+	
Горный институт					+	
Ораниенбаум			+		+	
Дудергофский канал					+	
Канонерский остров					+	
Питерленд (Большая Невка)			+		+	
Лахта			+		+	
Парк Александрия			+			
Жемчужный пляж			+			
Парк 300-летия			+			
Лисий Нос			+			
Тарховка			+			
Западный Котлин (Север)			+			
Западный Котлин (Юг)			+			
Большая Ижора			+			
Микропластик в песке						
Ораниенбаум	+	+	+	+	+	
Канонерский остров					+	
Питерленд (Большая Невка)					+	
Лахта	+	+	+	+	+	+
Парк Александрия	+	+	+	+	+	+
Жемчужный пляж	+	+	+	+	+	+
о. Декабристов	+	+	+	+		
Парк 300-летия	+	+	+	+	+	+
Лисий Нос		+	+	+		
Тарховка	+			+	+	
Солнечное		+		+	+	

Название станции	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Комарово	+					
Зеленогорск	+	+	+	+	+	+
Западный Котлин (Север)	+	+	+	+	+	
Западный Котлин (Юг)	+	+	+	+	+	
Большая Ижора			+		+	
Пластик в песке, фрейм-метод						
Ораниенбаум	+	+	+	+	+	
Канонерский остров					+	
Лахта	+	+	+	+	+	+
Парк Александрия	+	+	+	+	+	+
Жемчужный пляж	+	+	+	+	+	+
о. Декабристов	+	+	+	+		
Парк 300-летия	+	+	+	+	+	+
Лисий Нос	+	+	+	+		
Тарховка	+			+	+	
Солнечное		+		+	+	
Комарово	+			+	+	
Зеленогорск	+	+	+	+	+	+
Западный Котлин (Север)	+	+	+	+	+	
Западный Котлин (Юг)	+	+	+	+	+	
Большая Ижора			+	+	+	
Пластик в песке, рейк-метод						
Тарховка	+					
Солнечное	+	+				
Комарово	+					
Зеленогорск	+	+	+	+	+	
Западный Котлин (Север)	+	+				
Западный Котлин (Юг)	+	+				
Большая Ижора		+	+	+		
Лебяжье		+				