



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**  
(Бакалаврская работа)

На тему «Оценка загрязненности микромусором побережий Невской губы  
Финского залива»

Исполнитель Голубева Екатерина Андреевна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук  
(ученая степень, ученое звание)

Ершова Александра Александровна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой   
(подпись)

кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович  
(фамилия, имя, отчество)

« 8 » июня 2023 г.

Санкт-Петербург  
2023

## Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Описание объекта исследования и исследуемой проблемы .....	5
1.1    Физико-географическая характеристика района исследования .....	5
1.1.1    Батиметрия .....	6
1.1.2    Гидрология .....	8
1.1.3    Геоморфология берегов и типы побережий .....	11
1.2    Экологическая проблема морского мусора .....	13
1.3    Обращение с отходами в регионе восточной части Финского залива....	17
Глава 2. Материалы и методы исследования .....	20
2.1    Методы мониторинга морского мусора на побережьях .....	20
2.2    Исследования морского мусора на песчаных побережьях восточной части Финского залива и Невской губы в 2018-2022 гг.....	25
2.3    Анализ и обработка данных .....	32
Глава 3. Результаты исследования .....	34
3.1    Результаты исследований 2022 года.....	34
3.2    Анализ результатов исследований за период 2018-2022 гг. ....	36
3.3    Сравнение результатов исследований в российской части Финского залива и зарубежных исследований на балтийских побережьях .....	41
Заключение .....	44
Список использованных источников .....	46

## Введение

Загрязнение морской среды является одной из самых острых экологических проблем. Источником загрязнения обычно является антропогенная деятельность. По определению ЮНЕП(Программа ООН по охране окружающей среды)[14] морской мусор – это антропогенные отходы, который попадают в морскую среду случайно или намеренно. Он не только аккумулируется в толще воды и оседает на дно, но и выносится в результате приливных и сгонно-нагонных явлений на побережья. В связи с этим, происходит, как накопление морского мусора в различных частях устьев рек, на побережьях морей и океанов, так и его фрагментация на более мелкие частицы, называемые микромусором, в результате действия множества факторов внешней среды.

Невская губа и открытая часть Финского залива – регион с интенсивной хозяйственной деятельностью. Здесь расположен г. Санкт-Петербург – крупный мегаполис с населением свыше 5 млн человек, в котором расположены крупные промышленные предприятия, образуется большой объем твердых коммунальных отходов, а также ведется интенсивное морское судоходство. Все эти источники влияют на накопление и распределение морского мусора в воде и на побережьях.

В связи с этим в ПластикЛабРГГМУ (единственная лаборатория, которая проводит исследования пластикового загрязнения в восточной части Финского залива) проводятся многолетние мониторинговые исследования на песчаных побережьях, расположенных в восточной части Финского залива и Невской губы.

Объект исследования: экосистема восточной части Финского залива.

Предмет исследования:загрязненностьморскиммикромусором побережий Невской губы Финского залива.

Целью работы является оценка загрязненностимикромусором побережий Невской губы Финского залива за многолетний период наблюдений.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить физико-географические особенности Финского залива и Невской губы;
2. Изучить проблему морского мусора в Финском заливе;
3. Провести полевые исследования на побережьях Финского залива в 2022 году;
4. Провести анализ данных полевых исследований по мониторингу морского мусора на побережьях Санкт-Петербурга и Ленинградской области за период с 2018 по 2022 гг.;
5. Оценить возможные источники поступления пластикового мусора на побережья восточной части Финского залива;

## Глава 1. Описание объекта исследования и исследуемой проблемы

### 1.1 Физико-географическая характеристика района исследования

Финский залив – один из крупнейших заливов Балтийского моря. На его побережье расположены Финляндия, Эстония и Россия. Финский залив пролегает от полуострова Ханко на западе до устья реки Невы на востоке. Он представляет собой узкий водоем, глубоко вдающийся в сушу. Крайнюю западную часть залива называют горлом, а крайнюю восточную — вершиной. Длина Финского залива около 400 км, площадь водного зеркала 29 500 км<sup>2</sup>, объем водной массы 1090 км<sup>3</sup>. Ширина залива изменяется от 70—75 км в горле до 120 – 130 км в самой расширенной части (на меридиане острова Мощный); в вершине ширина уменьшается до 18—22 км, а в Невской губе — до 12— 15 км[14]. Восточная, или российская часть Финского залива состоит из пяти крупных заливов. В состав входят Выборгский и Нарвский заливы, Лужская и Копорская губы. На востоке Финский залив замыкается Невской губой, которая в результате строительства Комплекса защитных сооружений от наводнения («дамбы») превратилась из естественного пресноводного водоема [21] в природно-техногенную лагуну [15] (рис. 1.1). В результате чего вещественно-энергетические потоки в значительной степени зависят от водо- и судопропускных сооружений.

В восточную часть Финского залива разделяют на открытую часть Финского залива и Невскую губу, так как Губа ограничена Комплексом защитных сооружений от основной части Финского залива.

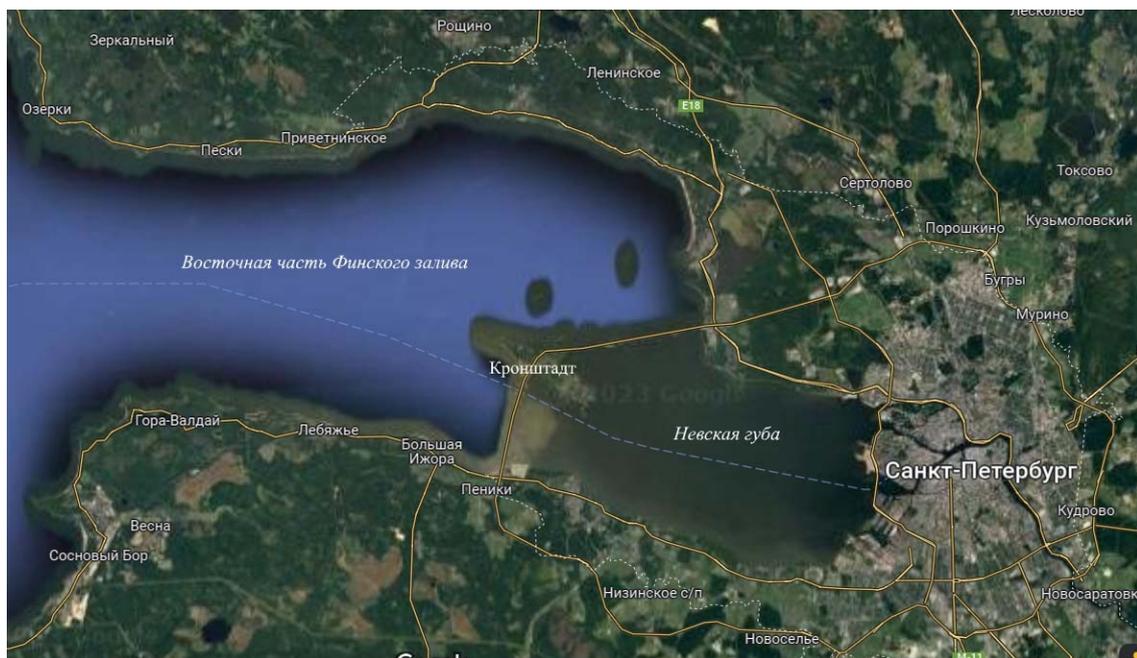


Рисунок 1.1 – Спутниковый снимок карты рельефа восточной части Финского залива и Невской губы

Невская губа — устье р. Невы, наибольшей по расходу воды реки бассейна Балтийского моря (в устье в среднем  $2530 \text{ м}^3/\text{с}$ ), — представляет собой полузамкнутый мелководный водоем со средней глубиной 3,5—4 м. Низкая соленость воды (менее 1 ‰) позволяет считать Невскую губу пресноводным объектом [18]. Площадь Невской губы достигает  $320 \text{ км}^2$  при длине 25 км и ширине 15 км [15].

### 1.1.1 Батиметрия

Рельеф дна и берегов Финского залива равнинный, осложненный формами эрозии, денудации и аккумуляции ледникового, водного, ветрового (эолового), биогенного происхождения и формами, связанными с техногенезом. Глубины Финского залива возрастают от вершины к устью. Большая часть Залива мелководна (средняя глубина 38 м) с максимумом глубины 105 м к западу от о-ва Гогланд [15]. От горла к вершине залива глубина уменьшается. Особенно резкое уменьшение глубины происходит между створами Усть-Нарва

— остров Мощный на западе и мыс Шепелевский — поселок Озерки на востоке. Эту часть залива называют также Нарвской стенкой [14].

Одной из самых мелководных частей восточной части Финского залива является Невская губа. В связи с преобразованием береговой линии, строительством намывных территорий, а также с активным судоходством в данном водном объекте, рельеф дна носит как естественный, так и искусственный характер.

Восточной естественной границей Невской губы является бар реки Невы, представляющий собой систему отмелей, расчлененных ложбинами — фарватерами [14]. Бар Невы — это подводное продолжение дельты. Баровые отмели являются продолжением островов или самостоятельным образованием, возникшим благодаря оседанию речного и морского песка. Сложены отмели мелко - и среднезернистыми песками. Глубина на них до 1,5 – 2,0 м. Фарватеров всего шесть (с севера на юг) — Елагинский, Петровский, Галерный, Корабельный, Гребной, Морской канал [14]. Елагинский фарватер является продолжением двух рек, сливающихся воедино, Средней и Большой Невки. Петровский фарватер является продолжением Малой Невки, а от устья Большой Невы отходят Галерный и Корабельный фарватеры.

С востока на запад Невскую губу прорезает Морской канал. Это широкая (80 – 100 м) и глубокая (12 м) искусственная прорезь, созданная для прохода морских судов в порт. Начинается канал в устье Большой Невы и оканчивается в Южных воротах на Малом Кронштадтском рейде; его длина — 30 км. На протяжении первых 6 км канал заключен в дамбы (во избежание заиления на мелководье), еще 4 км канала проходят между островами невской дельты (Канонерским и Гутуевским). У южного берега острова Котлин продолжением Морского канала служит Кронштадтский Корабельный фарватер [14].

Губа сообщается через два пролива у острова Котлин, именуемых Северными и Южными воротами; их ширина соответственно 9 - 10 и 5 - 7 км. В обоих воротах имеются многочисленные естественные и искусственные преграды, которые затрудняют водообмен между пресными водами губы и

солончатыми водами Финского залива. Дно в центральных районах губы сложено в основном мелкими заиленными песками. Прибрежные районы представлены песками разных фракций — от крупно-среднезернистых вблизи уреза до мелко-тонкозернистых на глубинах 1,5—2,0 м [14].

### 1.1.2 Гидрология

Самой крупной рекой, впадающей в Финский залив и определяющей его гидрологический режим, является Нева. Для восточной части Финского залива большое значение имеют реки Луга и Нарва, впадающие в залив с южного берега, а также Сайменская система каналов, расположенная на северном берегу. Общая площадь водосбора залива – 420 000 км<sup>2</sup>. Значительная ее часть приходится на такие озера, как Ладожское, Онежское, Чудское, Сайма, обладающие собственной водосборной системой. Это снижает количество осадочного материала, поступающего непосредственно в котловину Финского залива[15].

По гидролого-гидрохимическим характеристикам в восточной части Финского залива выделяют четыре района: I – пресноводный мелководный (Невская губа), II – переходный (зона транзита невских вод в Балтийское море), III – солоноватоводный и VI – восточный глубоководный [16]. Изменение солености выражается в ее увеличении с востока на запад. Поверхностные воды в Невской губе практически пресные, а соленость в районе острова Гогланд достигает 3-5 ‰ на поверхности и 7-8 ‰ – у дна [16].

Финский залив свободно сообщается с открытыми районами Балтийского моря. Более 2/3 всей поступающей в залив пресной воды дает Нева. Большие массы невской воды опресняют морскую воду и создают сравнительно устойчивое поверхностное течение с востока на запад. В свою очередь, Финский залив оказывает сильное воздействие на Невскую губу и устьевую область Невы [14]. В связи с работой Комплекса защитных сооружений (КЗС) в

Невской губе замедлился водообмен, возникла застойная зона. Проточные участки возникают при работающих судо- и водопропускных сооружениях.

Циркуляция вод характеризуется наличием системы постоянных разнонаправленных течений в совокупности с временными волновыми, стонно-нагонными, дрейфовыми и стоковыми явлениями. Постоянные (входящее) течение направлено с Запада на Восток вдоль его северного берега (солончатые воды). Более мощное (выходное) течение идет в противоположном направлении от устья р. Невы вдоль южного берега (опресненные воды) [15]. Характер течений в восточной части Финского залива зависит от стока рек, волн штормового нагона, направления и силы ветра и других природных процессов, сильно меняющихся во времени и пространстве. Постоянные течения, как в Балтийском море, так и в Финском заливе, носят циклонический характер, т. е. против часовой стрелки. Направление течений может отличаться от среднего в любой момент времени при сильном ветре. Течения в Невской губе имеют неустойчивый, нерегулярный и сложный характер. В зависимости от происхождения течения классифицируют на:

- а) стоковые (создаются стоком р. Нева);
- б) стоково-градиентные (вызываются колебаниями уровня воды);
- в) стоково-ветровые (образуются за счет ветра);
- г) суммарные течения (имеют совместный характер действия нескольких факторов [14]).

Стоковые течения проявляются на акватории губы и являются наиболее сильными и устойчивыми. Стоковые течения играют важную роль в режиме течений губы, поскольку образуют фон, на который накладываются все прочие виды течений. Данный вид течений в губе направлен с В на З, средние скорости 6-8 см/с в северной, и 1-5 см/с в южной частях губы (при среднем уровне моря). Скорость течения на фарватерах варьирует от 40-45 см/с в начале до 10-20 см/с в конце, а в канале – от 20-30 см/с до 15-25 см/с [14, 5].

При подъёме уровня воды формируется система стоково-градиентных течений, направленных навстречу друг другу, когда движущаяся в Невскую

губу морская вода движется с запада на восток навстречу речной невской воде. Встречное (западное) течение может охватывать почти всю губу, а иногда и рукава дельты Невы. При спаде уровня воды почти повсеместно, Стоково-градиентные течения направлены с востока на запад [14].

Стоково-ветровые течения являются результатом наложения ветровых течений на стоковые. При скорости ветра менее 2 м/с стоково-ветровые течения не отличаются от стоковых, но при скорости ветра более 5 м/с стоково-ветровые течения уже существенно отличаются от стоковых течений. [14]

В целом, в Невской губе преобладают течения с востока на запад (повторяемость 74 % в центральной части, 48 % – в прибрежных частях). Но у берегов губы, а также по мере продвижения от устья Невы к о. Котлин начинают преобладать течения с запада на восток (повторяемость 17 % в центральной части, 28 % – в прибрежных частях).

Уровенный режим Невской губы определяется особенностями атмосферной циркуляции над Балтийским морем и Финским заливом. Любые колебания водной поверхности Финского залива передаются Невской губе, усиливаясь за счет мелководности. Самое большое воздействие на уровенный режим оказывает ветер, вызывая сгонно-нагонные колебания уровня и сейши [14].

Сгонно-нагонные колебания уровня зависят от продолжительности, направления и скорости ветра. Западные и юго-западные ветра являются нагонными (до 130-150 см), а восточные и юго-восточные - сгонными (до 70-90 см). Сейшевые колебания уровня возникают после прекращения действия ветра, когда водные массы Невской губы, стремясь прийти в равновесное положение, совершают постепенно затухающие колебательные движения. Амплитуда сейшевых колебаний уровня составляет в среднем 20-30 см, максимально – 140-150 см [14].

В Невской губе также наблюдаются приливы и отливы. Они отчетливо обнаруживаются лишь в безветренную погоду. Средняя их высота составляет 6-10 см, наибольшая – 20-25 см (в июле и декабре) [14].

### 1.1.3 Геоморфология берегов и типы побережий

Берега Невской губы на большом своем протяжении урбанизированы. В настоящее время город Санкт-Петербург охватил все побережья Невской губы [20].

Берега Финского залива и Невской губы разделяют на две большие группы:

1. Берега, образованные волновыми процессами;
2. Берега, образованные не волновыми процессами.

Согласно существующей классификации [11] в Финском заливе к группе берегов к не волновым процессам относятся:

- берега, сформированные субаэральными и тектоническими процессами и мало измененным морем, шхерный тип (берег Выборгского залива),
- формирующихся преимущественно берега устьевых участков крупных рек.

Берега на остальном протяжении Финского залива сформированы преимущественно волновыми процессами:

- тип выравнивающихся абразионно-аккумулятивных бухтовых,
- тип выровненного абразионного берега (м. Флотский – м. Песчаный),
- выровненного аккумулятивного берега (от пос. Солнечное до Сестрорецка и в восточной части Нарвского залива),
- вторично расчлененного абразионно-аккумулятивного бухтового берега (в районе пос. Б. Ижора).
- берега восточной части Невской губы отнесены к техногенному типу [17]. На рисунке 1.2 представлены примеры различных типов берегов восточной части Финского залива.



Рисунок 1.2– Примеры берегов в Финском заливе а) Выровненный аккумулятивный берег (пос. Солнечное), б) Техногенный тип берега (Канонерский о-в)

Для большинства берегов характерен невысокий уступ размыва (около 1 м). Наибольшей высоты (до 30 м) активные абразионные уступы достигают в южной береговой зоне в районе форта Красная Горка [17]. Интенсивность размыва (абразии) берегов восточной части Финского залива различна, так, северный берег, относящийся к шхерному типу, стабилен, но в связи с наличием большого количества островов и узких заливов здесь образуются застойные зоны, где происходит развитие водной растительности на подводном береговом склоне. На участках, находящихся в рекреационной зоне (Курортный район Санкт-Петербурга, Невская губа, южный берег Финского залива в районе пос. Бол. Ижора), преобладают процессы абразии и отступления береговой линии [17].

В настоящее время южная береговая зона залива в районе пос. Большая Ижора наблюдается чередование зон активного размыва, транзита и аккумуляции наносов, причем амплитуда изменений береговой линии весьма значительна как в зонах абразии, так и на аккумулятивных участках.

## 1.2 Экологическая проблема морского мусора

Морской мусор – это антропогенные отходы, попавшие в морскую или прибрежную среду случайно или намеренно [13]. Морской мусор – это мусор всегда искусственного происхождения: пластик, металл, стекло, обработанная древесина, бумага, картон, резина, текстиль [8]. В целом разнообразие видов материалов, из которых состоит морской мусор велико, но пластик является основным, так как он имеет потенциальную опасность, как для морских обитателей, так и для человека.

Морской мусор не имеет территориальной принадлежности, он либо находится в месте его происхождения, либо перемещается с ветром и потоком воды. Более тяжелые частицы оседают на дно, а более легкие плавают на поверхности или, дрейфуя, прибывают к берегу. Это затрудняет оценку распределения и источников морского мусора. Основная часть пластикового мусора, которая поступает с суши в море, скапливается у прибрежных районов, откуда в результате природных явлений (дожди, штормы, паводки и др.) и природных катастроф, попадает напрямую в Мировой океан [8].

Морской мусор имеет абсолютно разные размеры от самых маленьких частиц, которые не видно глазом, до крупногабаритных конструкций. Для того чтобы сузить круг размерного ряда, морской мусор был разделен на три класса по размеру.

I класс – микромусор – это фракция морского мусора размером менее 5 мм, также эту фракцию разделяют на крупный микромусор (1-5 мм) и мелкий микромусор (< 1 мм).

II класс – мезомусор – частицы от 5 до 25 мм.

III класс – макромусор – частицы размером более 25 мм [7].

Большая часть морского мусора состоит из пластиковых изделий. Мировое производство пластика за последние десятилетия выросло в геометрической прогрессии и в настоящее время составляет около 400 миллионов тонн в год [40]. 9,2 млрд тонн – это общее количество пластика,

которое, по различным оценкам, было произведено в период с 1950 по 2017 год. Более половины этого пластика было произведено с 2004 года. Из всего выброшенного на сегодняшний день пластика около 14% было сожжено и менее 10% было переработано[40].

Ежегодно образуется более 291 млн тонн пластиковых отходов, 62 млн тонн перерабатывается, 78 млн тонн сжигается и 151 млн тонн выбрасывается[40]. Больше половины производимого пластика выбрасывается на свалки и попадает в морскую среду.

Производство пластика растет с каждым годом, но меры по утилизации и переработке пластика до сих пор остаются в тени. В связи с этим большая часть пластиковых отходов складывается либо на свалках, либо попадает в природную среду. В результате этого, пластик фрагментируется или попадает уже в виде гранул, волокон в природную среду. Этот вид пластика называют микропластиком. Микропластик – это небольшие пластиковые фрагменты или волокна размером менее 5 мм [35]. Также различают мегапластик – куски пластикового мусора более 200 мм и нанопластик – пластиковые частицы с размерностью менее 1 мкм [8].

Мегапластик составляет большую часть пластика в океане по массе. На основе существующих исследований [30] общая масса крупных пластиковых отходов размером более 200 мм, плавающих в пяти мусорных пятнах в океане [29] и Средиземном море, составляет более 200 000 тонн. Это почти в семь раз больше массы макро- и мезопластика (5-200 мм), которые составляют около 30 000 тонн. Однако по количеству частиц обе эти категории сильно уступают третьей – микропластику. Именно микропластика в исследуемых территориях Мирового океана больше всего по количеству частиц – 4 850 миллиардов частиц из 5 250 миллиардов общего количества частиц пластика. При общем весе примерно 35 500 тонн [8].

Микропластик существует во многих формах, включая фрагменты, волокна (называемые «микроволокнами»), сферы, пленки и гранулы. Теперь

они повсеместно распространены в окружающей среде, они присутствуют в пище, воде и воздухе [42]. Существует два типа микропластика[25] (рис. 1.3):

- первичный микропластик– небольшие пластиковые частицы, которые преднамеренно добавляются или используются в промышленности и производстве [36]. Например, они используются в качестве абразивов при струйной обработке водой/воздухом для очистки поверхностей зданий и корпусов судов; как порошки для литья под давлением, а с недавнего времени для 3D-печати [41]. Также микропластик добавляют в средства личной гигиены (зубная паста, косметика, очищающие и отшелушивающие средства для кожи), и применяют в бытовой химии для улучшения функции очистки или придания цвета [19].

- вторичный микропластик– фрагменты, возникающие при разрушении более крупных пластиковых изделий[9]. Фрагментация крупных пластиковых объектов может происходить как при их непосредственном использовании, так и в процессе «естественного» разрушения в окружающей среде [19].



Рисунок 1.3 – Примеры частиц микропластика первичного (пеллеты) и вторичного происхождения

Считается [23], что в настоящее время 80 % частиц микропластика в океане – вторичного происхождения. Первичного микропластика значительно меньше – от 15 до 31 % [26].

Основными источниками образования микропластика в морской среде являются:

1. Наземные источники:
  - Искусственный газон (Истирание искусственного газона);
  - Дорожная разметка (Деградация);
  - Шины (Износ);
  - Косметика (Преднамеренно добавленные частицы пластика попадают в сточные воды);
  - Синтетическая одежда (Волокна, выделяющиеся из синтетических текстильных изделий во время стирки [19]);
  - Промышленность (Утечка мелких пластиковых гранул во время производственных процессов на промышленных объектах или во время транспортировки);
  - Сельское хозяйство (Пластмассы используются в мульчирование, в ирригационных трубках, при строительстве теплиц и т.д.);
  - Сточные воды (Улавливание микропластика системами очистки сточных вод значительно сокращают сбросы в природную среду; однако многие из них все ещё теряются, особенно во время сильных дождей).
2. Морские источники:
  - Рыболовство (Брошенные, утерянные или выброшенные снасти и рыболовные сети);
  - Морские перевозки (Износ синтетических полимеров, в том числе красок, используемых в судоходстве);
  - Аквакультура (Износ оборудования для аквакультуры, такого как буй из пенополистирола, способствуют образованию микропластика)[40].

Основными факторами, которые влияют на фрагментацию пластиковых частиц, являются: ультрафиолетовое излучение, перепады температур, циклы замерзания/таяния, физическое и химическое выветривания, ветер, волны [24], а также активность микроорганизмов или животных [39]. Оценить рост количества частиц микропластика очень сложно, так как на образование этих частиц влияет несколько факторов – от вида полимера до условий окружающей среды [38].

### 1.3 Обращение с отходами в регионе восточной части Финского залива

Восточная часть Финского залива подвергается сильному антропогенному воздействию, как со стороны зарубежных стран, так и со стороны Российской Федерации. Наиболее уязвимым участком Финского залива является Невская губа. В ее акватории расположен город Санкт-Петербург – быстро развивающийся мегаполис, являющийся крупнейшим транспортным узлом Северо-Западного федерального округа России. На его территории работают 750 крупных предприятий, свыше 24 000 малых и средних предприятий [4]. В городе проживают более 7 млн человек (с учетом приезжающих и работающих в городе)[11]. В связи с этим в городе образуется большое количество, как твердых коммунальных отходов(ТКО), так и отходов производства и потребления. Ежегодно в Санкт-Петербурге образуется 2,3 млн т ТКО [11]. При этом в городе осуществляется отдельный сбор различных отходов, которые в дальнейшем могут быть переработаны. Но из-за несовершенств законодательной системы в области обращения с отходами и низкой загруженностью перерабатывающих заводов, переработка не рентабельна и остается на низком уровне.

С 2010-х годов в Российской Федерации начался переход на более развитую систему обращения с отходами [8]. И на протяжении более 10 лет эта область претерпевала некоторые изменения. В 2014 году были внесены поправки в ФЗ №89 «Об отходах производства и потребления» [1] о выделении

четкой иерархии в области управления отходами, в 2016 году был введен документ определяющий порядок сбора, транспортирования, обработки, утилизации, обезвреживания и захоронения ТКО [8]. В 2018 г. и 2021 г. были введены запреты на захоронение определенных видов отходов. К 2024 году, согласно национальному проекту «Экология», по всей стране должна быть сформирована система раздельного сбора отходов. Таким образом, правительство намерено перерабатывать 36% отходов вместо 7%, а доля обрабатываемых твердых коммунальных отходов должна увеличиться до 60% [8].

Реформа проходит в четыре этапа:

I этап – создание в каждом субъекте РФ территориальной схемы обращения с отходами (описание системы обращения с отходами);

II этап – осуществляется выбор региональных операторов (организации, осуществляющие всю цепочку обращения с отходами);

III этап – устанавливаются региональные тарифы на услуги выбранных операторов (эти средства будут основным источником финансирования сектора);

IV этап – строительство утилизационных комплексов в регионах (заводы по переработке отходов и мусоросжигательные заводы) [8].

С 1 января 2022 года Санкт-Петербург перешел на новую систему обращения с твердыми коммунальными отходами [11]. Региональным оператором, по результатам конкурсного отбора, стало Акционерное общество «Невский экологический оператор» [2]. С появлением единого регионального оператора сократилось число несанкционированных свалок ТКО. Но сфера обращения с отходами не ограничивается только оборотом твердых коммунальных отходов [11] и существует неотрегулированная проблема обращения с отходами строительства. 95 % свалок отходов, выявляемых в городе, – это свалки строительных отходов [11]. Зачастую эти свалки размещаются несанкционированно, то есть там может происходить как загрязнение почвы, так и загрязнение грунтовых вод. В результате этого

различные виды отходов могут попадать с грунтовыми водами в различные водные объекты.

Ежегодно только из Санкт-Петербурга в воду попадает около 1500 тонн пластикового мусора [27]. Это могут быть, как бытовые товары (ПЭТ-бутылки, ватные палочки, и т.д.), так и утечки с промышленных предприятий.

## Глава 2. Материалы и методы исследования

### 2.1 Методы мониторинга морского мусора на побережьях

Первое пробное исследование пляжного мусора было проведено в Балтийском регионе ещё в 1994 году в Финляндии. Тогда было обнаружено в среднем 260 предметов морского мусора на 100-метровой полосе пляжа, исследования проводились на 15 пляжах, расположенных в разных районах Финляндии. Источником морского мусора оказалась рыболовная отрасль[8].

С тех пор данной проблемой заинтересовались большое количество учёных и сейчас в рамках различных проектов в Балтийском регионе проводятся регулярные мониторинговые исследования [8]. Уже на протяжении последних десяти лет здесь ведутся исследования по уровню загрязнения морским мусором и микропластиком[9].

Первые крупномасштабные международные исследования проводились в 2011-2013 гг. в рамках проекта MARLIN [33] на побережьях Швеции, Финляндии, Эстонии и Латвии, где проводился отбор проб методом основанным на протоколе ОСПАР(исследования проводятся на 100-метровом участке пляжа)[37] и в 2014-2016 гг. на побережьях Германии, Польши и Литвы, где оценивался масштаб загрязнения побережий всеми фракциями мусора, а также на пляжах Польши и Германии, где упор был сделан на микропластиковые частицы в пляжевых отложениях [8]. Эти исследования показали, что на побережьях содержится большое количество частиц как макромусора, так и микромусора и значительная часть отобранных проб это пластиковые изделия или частицы. Содержание микромусора, который был найден на всех пляжах в 2014-2016 гг., невозможно было сравнить с другими исследованиями, так как каждый автор использовал свой метод обнаружения частиц.

Мониторинг морского мусора является основополагающим методом регулярных наблюдений за распределением и содержанием морского мусора, как в морской среде, так и на побережьях. В настоящее время нет единого документа, по которому может быть собран и проанализирован материал. В Российской Федерации мониторингом морского мусора занимается ряд учёных, так, в Балтийском регионе исследования морского мусора и микропластика ведутся с 2016 г. в Калининградской области в Юго-Восточной части Балтийского моря (ЮВБ) Атлантическим отделением Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН[8]. В городе Санкт-Петербург исследования начались с 2018 года Российским государственным гидрометеорологическим университетом (лабораторией ПластикЛаб).

В восточной части Финского залива исследования ведутся с помощью двух международных методик обследования пляжей (метод «SandRake» («грабли») и метод «Frame» – метод рамки [31,32]), разработанные для балтийских побережий на основе опыта мониторинга проекта OSPAR[37]. Метод ОСПАР предназначен только для изучения макромусора на 100-м участке пляжа, но для более детального изучения морского мусора по фракциям (от микро- до мезо-) специально для побережий Балтийского моря группой ученых из института исследования Балтийского моря им. Лейбница, Варнемюнде, Германия и университета Клайпеды, Литва были разработаны вышеуказанные методики [8].

Фракции макромусора визуально-различимы, но для обнаружения мезомусора, особенно микромусора, требуется специальное оборудование. В двух международных методиках используются специальные инструменты для просеивания верхнего слоя песка и обнаружения фракций микромусора (частиц размером до 5 мм) и мезомусора (частиц от 5 до 25 мм). В методе «SandRake» используются «грабли» с размером ячейки от 5 мм до 2 мм. В методе «Frame» при отборе проб мезо- и микромусора применяются следующие инструменты: металлическое сито 2 мм, металлический шпатель, ведро [7](рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Инструменты, используемые в различных методиках: а) Грабли (метод «SandRake»), б) Металлический шпатель, сито с ячейкой 2 мм и ведро (метод «Frame»)

Оба метода направлены на отбор проб микромусора 2-5 мм, но при этом исследуются две функционально различные зоны пляжа [12]. Метод рамки охватывает зону заплеска волн, метод грабли закладывается между линией воды и линией растительности поперек всего пляжа, если нет растительности, мониторинг заканчивается в зависимости от конкретного типа береговой линии [32].

Перед началом работы производится рекогносцировка территории пляжа с целью выбора и описания участка (полигона). Основной полигон располагается в самом загрязненном участке пляжа, а контрольный полигон - в 10 м от основного. На каждом месте отбора проб обязательно закладывается как минимум один контрольный полигон, чтобы доказать, что субъективный метод выбора места отбора проб не влияет на результат [8].

Описание участка начинается с записи в полевой протокол погодных условий накануне и во время проведения мониторинга, GPS координат, типа песка и его гранулометрического состава. Указывается тип

использования пляжа, наличие волонтерских или других видов уборок, а также производится фотофиксация пляжа для описания физических характеристик участка. Область анализируется визуально, а все предметы больше 25 мм собираются и подсчитываются согласно списку[7].

Метод «Frame». После проведения рекогносцировки пляжа закладываются два полигона по  $40 \text{ м}^2$ , где происходит отбор проб макромусора. Первый полигон помещается в самый загрязненный участок. Второй полигон (контрольный) закладывается на расстоянии 10 м вдоль линии воды. Отбор проб мезо- и микромусора производится в двух квадратах площадью  $1 \text{ м}^2$  внутри участка обследования на макромусор (рис. 2.2). Первый квадрат К1 помещается в самый загрязненный участок в зоне заплеска. Второй квадрат К2 располагается на расстоянии 3 метров (от края квадрата К1)[7].

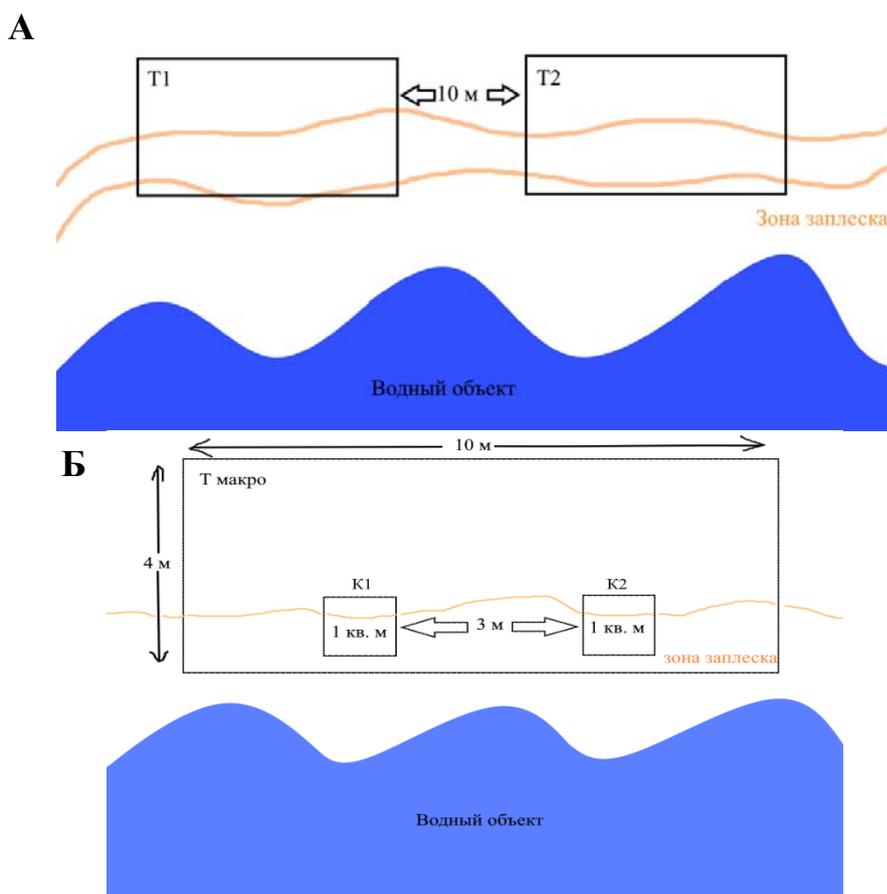


Рисунок 2.2 – Полигоны для отбора проб морского мусора «Frame»методом: макромусора (а), мезо- и микромусора (б)

Метод «SandRake» основан на просеивании большого объема песка поперек всего пляжа от линии воды или можно сказать, что он начинается там, где заканчивается полигон, который обследуется методом рамок, до линии растительности или другого объекта. Исследования проводят по сегментам (рис. 2.3), то есть сегмент измеряют в длину – от линии воды (нулевое положение) до линии растительности или другого объекта. В зависимости от ширины пляжа возможно разное количество сегментов [8]. Отбор проб песка начинается у линии воды (нулевая позиция) и заканчивается у линии растительности или другого объекта. Глубина отбора проб песка в каждом сегменте должна быть от 3 до 5 см. Для достоверности полученных результатов требуется: две или три полосы (прогона), общая площадь не менее 50 м<sup>2</sup>, общее количество мусора, найденного во всех сегментах, не менее 20 единиц [8].

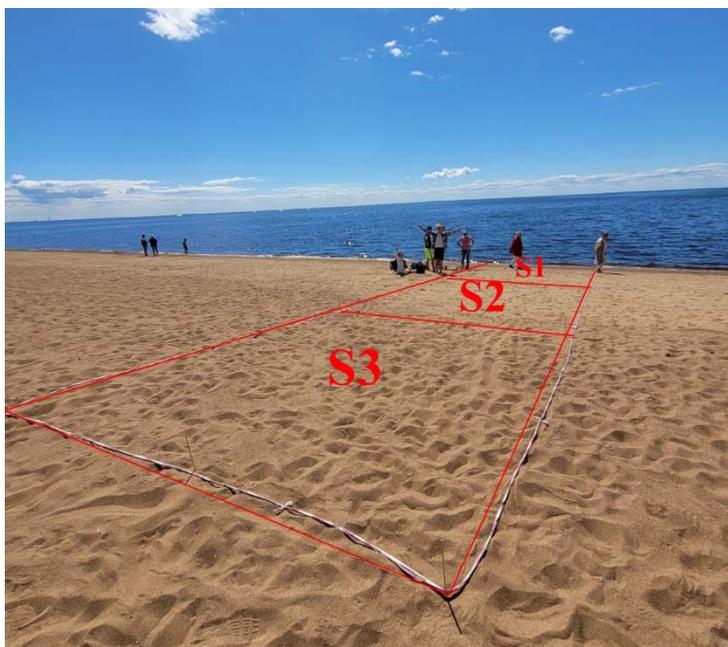


Рисунок 2.3 – Рейк-метод, полигон с сегментами (Зеленогорск, пляж Золотой, 2022 г.)

Если планируется два или более повторных отборов проб, должно быть минимальное расстояние между трансектами (разрезами) – не менее 100 м, чтобы гарантировать, что процедура соответствует подходу ОСПАР[37].

Полученные пробы анализируются в камеральных условиях (рис. 2.4). Сначала пробы с каждого полигона взвешиваются с учетом массы пакета. Затем отдельно раскладывается и классифицируется макромусор. Микро- и мезомусор выкладывается на миллиметровой бумаге размеченной штриховой линией 5 мм (микромусор) и 25 мм (мезомусор).



а)



б)

Рисунок 2.4 – Примеры камеральной обработки проб: а) Проба макромусора с пляжа Тарховка (2022г.), б) Проба мезо- и микромусора с пляжа на Канонерском о-ве (2022 г.)

Все частицы мусора подсчитываются и классифицируются по размеру, форме и типу материала, который характерен для Балтийского моря: пластик, стекло, бумага, металл и прочие материалы для установления источника загрязнения.

2.2 Исследования морского мусора на песчаных побережьях восточной части Финского залива и Невской губы в 2018-2022 гг.

В РГГМУ мониторинг побережий проводится уже на протяжении 5 лет в период 2018-2022 гг., в летнее время на 16 пляжах Санкт-Петербурга и Ленинградской области, расположенных в восточной части Финского залива и Невской губы. В данной работе проводится анализ данных, полученных фрейм-методом.

Полевые исследования в 2022 г. проходили в рамках летней производственной практики, где я принимала непосредственное участие. Мониторинг морского мусора был проведен на 13 пляжах Финского залива и Невской губы с 6 июня по 4 июля 2022 года, отмеченных на рис. 2.5. Были отобраны пробы морского микромусора фрейм-методом (зона заплеска волн).

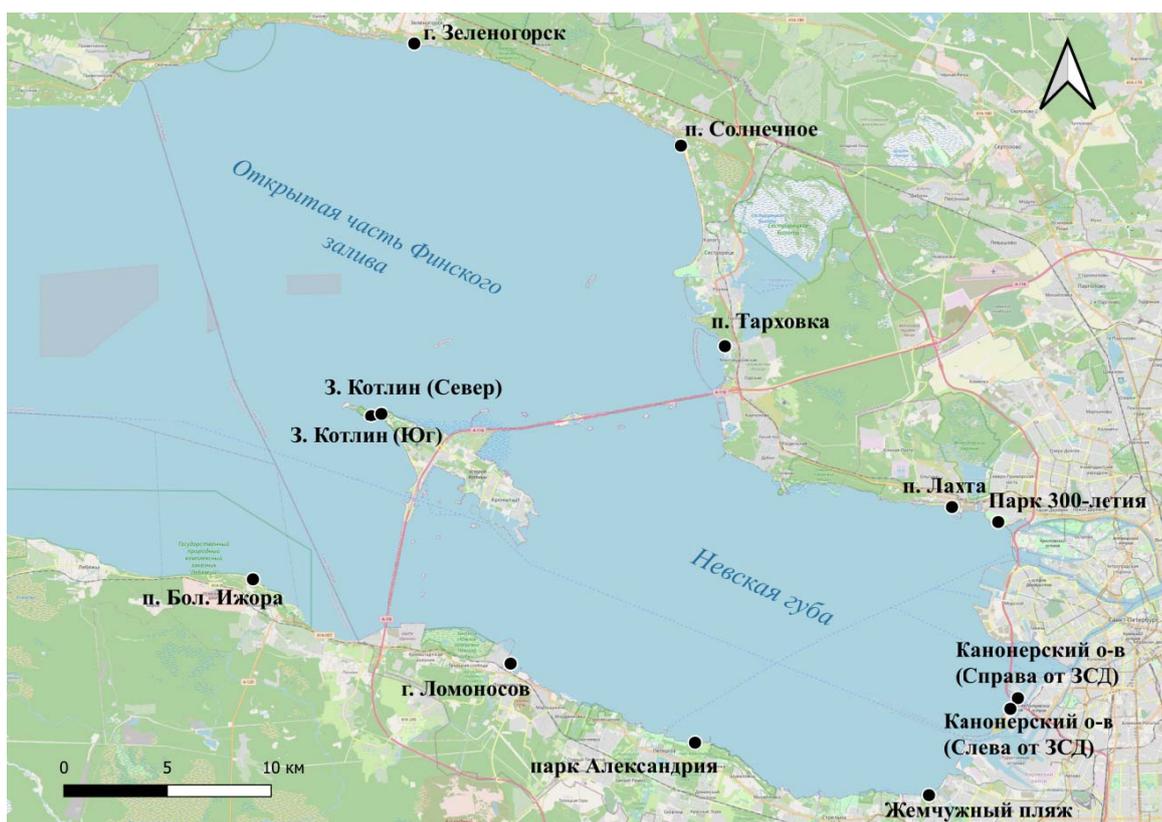


Рисунок 2.5 – Географическое положение точек отбора проб в открытой части Финского залива и Невской губе в 2022 г.

В 2022 году были исследованы пляжи регулярного мониторинга РГГМУ, кроме о. Декабристов, на котором в 2022 г. начались строительные работы

(намыв территории) и данную станцию мониторинга, приуроченную к центральной части города, пришлось заменить на новую – пляж на Канонерском острове (справа и слева от ЗСД – Западного скоростного диаметра), являющийся единственным пляжем в Невской губе в этой части города.

Анализ данных в период многолетних исследований был проведен с учетом данных полученных за 2022 г.

В таблице 1 представлены точки отбора проб и даты осуществления мониторинга в период с 2018 по 2022 гг.

Таблица 1 – Исходные данные отбора проб в период 2018-2022 гг. в Невской губе и открытой части Финского залива

Место отбора проб	Дата отбора проб (Фрейм-метод, шт/м <sup>2</sup> )				
	2018	2019	2020	2021	2022
Невская губа					
г. Ломоносов	28 июня*	8 июля	9 июля	21 июня	11 июня
Парк Александрия	27 июня	4 июля	8 июля	18 июня	11 июня
Жемчужный пляж	27 июня	3 июля	6 июля	21 июня	9 июня
Канонерский о-в (слева от ЗСД)					10 июня
Канонерский о-в (справа от ЗСД)					10 июня
о. Декабристов	22 июня*	26 июня	4 июля	18 июня	
Парк 300-летия	21 июня*	27 июня	3 июля	14 июня	8 июня
п.Лахта	26 июня	28 июня	7 июля	17 июня	8 июня
п. Лисий Нос (пляж «Морские Дубки»)	26 июня	1 июля	12 июля	17 июня	
Открытая часть Финского залива					
п. Тарховка	5 июля*			24 июня	14 июня
п. Солнечное (пляж «Ласковый»)	29 июня	6 июля	16 июля	24 июня	14 июня
п. Комарово	4 июля				
г. Зеленогорск (пляж «Золотой»)	11 июля	10 июля	27 июля	2 июля	14 июня

Западный Котлин (Север)	9 июля	11 июля	3 августа	5 июля	16 июня
Западный Котлин (Юг)	9 июля	11 июля	3 августа	5 июля	16 июня
п. Большая Ижора			6 августа	7 июля	16 июня

\* – отбор проб проводился двумя бригадами одновременно

Исследования проводились в основном в июне-июле, за исключением 2020 года, так как в этот год исследования проводились в июле-августе (в связи с карантинными ограничениями).

Выбор пляжей, на которых проводился мониторинг, в разные годы менялся, в связи с постоянно изменяющимся техногенным ландшафтом на береговой линии (намывы, строительство, и т.п.), однако большая часть станций наблюдений остается неизменной.

Общее число полученных данных за многолетний период наблюдений составило 65. Это 16 наблюдений в 2018 г., 11 – в 2019 г., 12 – в 2020 г., 13 – в 2021 г. и в 2022 г.

Характеристики пляжей в Невской губе и в открытой части Финского залива различаются. Так, пляжи, которые находятся в акватории Невской губы (рис. 2.6), в основном являются техногенными, но также представлены пляжами – абразионно-аккумулятивно-бухтовыми (парк Александрия) и выравнивающимися абразионными бухтовыми (г. Ломоносов).

В целом на пляжах характерны от крупнозернистых до мелкозернистых песков, основная часть пляжей является официально городскими, но также присутствуют дикие пляжи (п. Лахта, Канонерский о-в).



Рисунок 2.6 – Фотографии пляжей, расположенных в Невской губе, на которых проводился мониторинг морского мусора в 2018-2022 гг. (пляж на о. Декабристов – только до 2021 года, Канонерский о-в – с 2022 года, Лисий Нос – до 2021 года)

Парк Александрия и Парк 300-летия убираются каждый день, так как они являются городскими парками. Жемчужный пляж и пляж, расположенный в п. Лахта, убираются волонтерами и местными жителями раз в сезон. Пляжи, которые располагаются на Канонерском о-ве, не убираются ни волонтерами, ни местными муниципалитетами. В г. Ломоносов пляж имеет широкую популярность у туристов и жителей города, но уборки только за счет волонтеров, редкие. В п. Лисий Нос на пляже «Морские Дубки» также проводятся только волонтерские уборки.

Территория Невской губы ограничена Комплексом защитных сооружений (КЗС) и за этой территорией начинается открытая часть Финского залива. Пляжи, находящиеся в данном районе, не подвержены влиянию техногенной деятельности (намывные и дноуглубительные работы), (рис. 2.7). Северное побережье (п. Тарховка, п. Солнечное (пляж «Ласковый», г. Зеленогорск пляж «Золотой») и Западный Котлинотносятся к выровненному аккумулятивному берегу, а южное побережье (п. Бол. Ижора) относится к расчленённому абразионно-аккумулятивному бухтовому берегу.

Тип песка на всех пляжах от средне- до мелкозернистого. Присутствуют как городские, так и дикие пляжи. Два самых посещаемых и убираемых пляжа находятся в Курортном районе г. Санкт-Петербурга – п. Солнечное (пляж «Ласковый») и в г. Зеленогорск (пляж «Золотой»). В летнее время испытывают сильную антропогенную нагрузку за счет отдыхающих. Пляж «Золотой» не только убирается каждый день, но и периодически насыпается новым песком. Пляж «Ласковый» по площади больше, чем пляж «Золотой», поэтому здесь проводят только регулярные уборки специальными тракторами.



Рисунок 2.7 – Фотографии пляжей открытой части Финского залива, на которых проводился мониторинг морского мусора в 2018-2022 гг. (пляж в п. Комарово был исследован только в 2018 г.)

Пляжи, расположенные на о. Котлин, находятся в зоне ООПТ – Государственного природного заказника «Западный Котлин». Эти два пляжа периодически убираются, также на их территории, как и в самом заказнике, установлен особый режим охраны.

Пляжи в п. Большая Ижора и в п. Тарховке являются муниципальными пляжами, поэтому там не проводятся никакие уборки по очистке берега муниципальными службами.

## 2.3 Анализ и обработка данных

Данные исследований были обработаны с помощью программного обеспечения Microsoft Excel. Также проводилась статистическая обработка данных, где происходил расчет числовых характеристик: среднее арифметическое значение ряда ( $\bar{x}$ ), медиана ( $Me$ ) ряда, стандартное отклонение ( $\sigma$ ), максимальное и минимальное значения.

Медиана – это такое значение, для которого вероятность превышения и не превышения одинакова и равна 50 % [20].

Стандартное отклонение – мера разбросанности значений случайной величины около ее математического ожидания [20] (показатель разброса значений относительно среднего).

Для наглядного отображения распределения данных за период 2018-2022 гг. была построена диаграмма размаха. Блочная диаграмма, также называемая диаграмма «ящик с усами», была введена американским математиком Джоном Уайлдером Тьюки (1915–2000) как практический метод описания групп числовых данных на основе их квартилей (процентилей) и экстремальных значений [34]. Процентили используются для характеристики разброса значений относительно медианы. Процентили – делят совокупность данных на 100 равных частей, поэтому всего процентилей 99, но в научных исследованиях чаще всего применяют 25 %, 50% и 75 % процентили [3]:

- 50 % процентиль равен медиане и делит совокупность значений на две равные части.
- 25 % процентиль, или нижний квартиль ( $Q_1$ ), делит пополам нижнюю часть выборки (значения переменной меньше медианы). Это значит, что 25 % значений переменной меньше нижнего квартиля.
- 75 % процентиль, или верхний квартиль ( $Q_3$ ), делит пополам верхнюю часть выборки (значения переменной больше медианы). Это значит, что 75 % значений переменной меньше верхнего квартиля [3].

При вертикальном представлении на блочной диаграмме отображается прямоугольник, основание и вершина которого представляют положение нижнего и верхнего квартилей соответственно. Горизонтальная линия внутри прямоугольника описывает медиану [34].

Область между верхним и нижним квартилем называется межквартильным интервалом, который описывает меру разброса данных. «Усы» – это минимальное и максимальное значения при отсутствии выбросов, соединяются с нижним и верхним квартилями линиями соответственно. Выбросы на диаграмме изображаются точками, и обычно они возникают либо в результате ошибок в данных, либо при случайных обстоятельствах.

## Глава 3. Результаты исследования

### 3.1 Результаты исследований 2022 года

В 2022 году были исследованы пляжи регулярного мониторинга ПластикЛаб РГГМУ, также были впервые исследованы пляжи, находящиеся на Канонерском о-ве. Всего было проведено 26 исследований на 13 пляжах Невской губы и открытой части Финского залива. Общее количество частиц микромусора составило 381 единица морского мусора на общей площади 52 м<sup>2</sup>.

На основе полученных данных, была составлена диаграмма, показывающая количественный и качественный состав микромусора в Финском заливе и Невской губе в 2022 году (рис. 3.1).

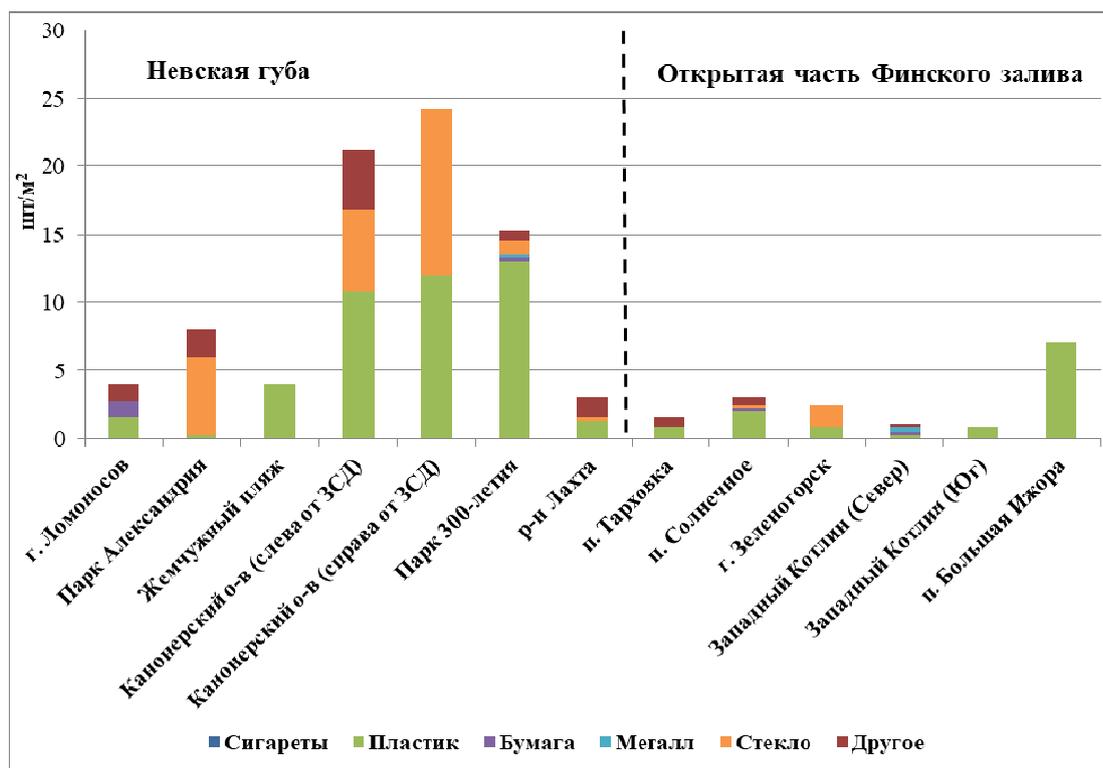


Рисунок 3.1 – Количественный и качественный состав микромусора в Невской губе и открытой части Финского залива в 2022 г., шт/м<sup>2</sup>

Исходя из данной диаграммы, можно сделать вывод о том, что побережья Невской губы в зоне заплеска волн более загрязнены микромусором, чем в открытой части Финского залива. Самые загрязненные участки в 2022 году располагаются в непосредственной близости к центру города (Канонерский о-в – справа от ЗСД (24,3 шт/м<sup>2</sup>), слева от ЗСД (21,3 шт/м<sup>2</sup>)). Наименее загрязненным участком является пляж в районе Лахты – 3 шт/м<sup>2</sup>. В открытой части Финского залива самым загрязненным участком в 2022 году стал пляж в п. Большая Ижора – 7 шт/м<sup>2</sup>. Наименее загрязненным участком является пляж в ООПТ «Западный Котлин» (на южной стороне острова) – 0,8 шт/м<sup>2</sup>.

Во всех пробах микромусора, собранных с 13 пляжей Невской губы и открытой части Финского залива, присутствует микропластик. Пластик обладает высокой степенью плавучести, так же как и тростник, большое количество которого было найдено на берегу. Основная часть найденного микропластика приходится на Невскую губу. Парк 300-летия – 13 шт/м<sup>2</sup>, Канонерский о-в – справа от ЗСД (12 шт/м<sup>2</sup>) и слева от ЗСД (10,8 шт/м<sup>2</sup>). В открытой части Финского залива пляж в п. Большая Ижора наиболее загрязнен микропластиком (7 шт/м<sup>2</sup>), чем другие пляжи, расположенные в данном районе.

Вторым материалом по встречаемости в пробах стало стекло. Большая его часть была найдена в Невской губе – Канонерский о-в – справа от ЗСД (12,3 шт/м<sup>2</sup>) и слева от ЗСД (6 шт/м<sup>2</sup>), парк Александрия (5,8 шт/м<sup>2</sup>).

Также частицы из категории «другое» (строительный мусор, например, кирпич) присутствуют как в Невской губе, так и в открытой части Финского залива. Наибольшее количество частиц было найдено в Невской губе на Канонерском о-ве (слева от ЗСД – 4,5 шт/м<sup>2</sup>).

Частицы из категории «бумага» были найдены в открытой части Финского залива (п. Солнечное и Западный Котлин (Север) – 0,25 шт/м<sup>2</sup>), в Невской губе – парк 300-летия (0,25 шт/м<sup>2</sup>), г. Ломоносов (1,25 шт/м<sup>2</sup>).

Предметы категории «сигареты» не были найдены ни на одном пляже в 2022 г.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в 2022 году в Невской губе наблюдаются самые высокие показатели содержания мусора в зоне заплеска, чем в открытой части Финского залива. Результаты данных исследований показали, что распределение морского мусора может зависеть от удаления станции мониторинга от устья р. Нева. Больше всего морского мусора найдено на Канонерском острове – в центральной части города у одного из главных рукавов р. Нева, а меньше всего – на о. Котлин.

Основным материалом морского мусора на побережьях Невской губы и открытой части Финского залива стали пластик и стекло, но микропластиковые частицы были обнаружены на всех пляжах, на которых проводился мониторинг в 2022 году.

### 3.2 Анализ результатов исследований за период 2018-2022 гг.

В данном разделе был проведен статистический анализ данных, полученных в период 2018-2022 гг., был проанализирован материал 65 исследований на 16 пляжах открытой части Финского залива и Невской губы. Все исследования проводились с помощью фрейм-метода, то есть в зоне заплеска. Данная работа по обобщению данных, полученных за многолетний период исследований, проводилась впервые.

В таблице 2 представлен статистический анализ данных и рассчитанные числовые характеристики (медиана, стандартное отклонение, минимум, максимум, верхний и нижний квартили) для рядов наблюдений в период 2018-2022 гг. на песчаных побережьях Невской губы и открытой части Финского залива. На основе полученных характеристик была построена диаграмма размаха («ящик с усами») (рис. 3.2). Данная диаграмма является основой описательной статистики и служит для визуального представления групп числовых данных через квартили.

Таблица 2 – Числовые характеристики рядов данных в период 2018-2022 гг.

Показатель	2018	2019	2020	2021	2022
Количество исследований	16	11	12	13	13
Среднее	9,91	13,50	4,93	5,12	7,35
Стандартное отклонение	6,28	14,90	3,50	4,05	7,87
Минимум	2,50	1,00	1,00	1,00	0,75
Нижний квартиль (Q <sub>1</sub> )	6,56	5,88	1,88	1,33	2,50
Медиана	8,50	9,75	3,75	4,00	4,00
Верхний квартиль (Q <sub>2</sub> )	11,81	14,63	7,25	7,50	8,00
Максимум	23,25	55,50	10,50	13,75	24,25

По данным таблицы 2 можно сделать вывод о том, что стандартное отклонение не превышает среднее значение в 2018 г. ( $9,91 \pm 6,28$  шт/м<sup>2</sup>), в 2020 г. ( $4,93 \pm 3,50$  шт/м<sup>2</sup>) и в 2021 г. ( $5,44 \pm 4,05$  шт/м<sup>2</sup>), а в 2019 г. ( $13,50 \pm 14,90$  шт/м<sup>2</sup>) и в 2022 г. ( $6,73 \pm 7,87$  шт/м<sup>2</sup>), наоборот, стандартное отклонение превышает среднее значение, что говорит о сильной изменчивости значений содержания микромусора на пляжах.

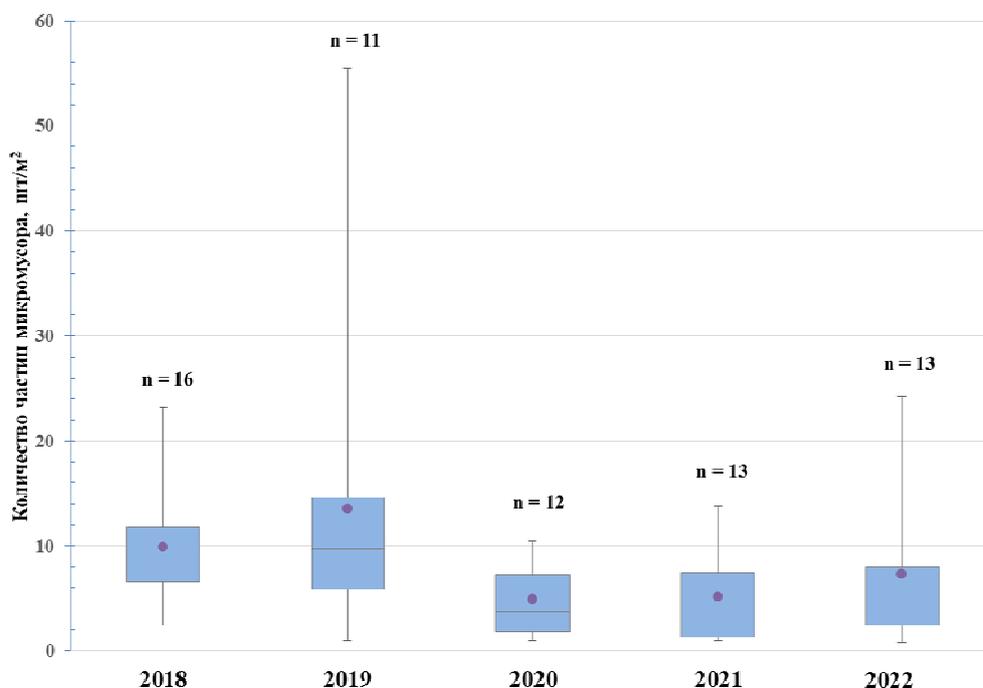


Рисунок 3.2 – Диаграмма размаха для концентраций микромусора в 2018-2022 гг. на песчаных побережьях Невской губы и открытой части Финского залива, шт/м<sup>2</sup> (n – число исследований)

По данным представленным на графике можно сделать вывод о том, что в 2018 г. и в 2019 г. разброс значений очень большой. Также данные за 2019 год обладают наибольшими максимальными значениями по сравнению с последующими 3 годами. Минимальным разбросом данных характеризуются последующие 3 года.

В 2018 и 2019 гг. в целом количество микромусора больше, чем в последующие 3 года. Однако, невозможно выделить какую-либо достоверную тенденцию к увеличению или уменьшению содержания микромусора на пляжах в зоне заплеска как в Невской губе, так и в открытой части Финского залива в период 2018-2022 гг.

По данным распределения микромусора, полученным за 2018-2022 гг., была построена карта (рис. 3.3) с помощью свободной геоинформационной системы QGIS, которая показывает содержание микромусора в зоне заплеска на 16 пляжах восточной части Финского залива и Невской губы.

В период 2018-2022 гг. среди всех исследованных пляжей больше всего частиц микромусора на квадратный метр в зоне заплеска обнаружено на пляже в самом центре города Санкт-Петербурга на о-ве Декабристов ( $55,5 \text{ шт/м}^2$ ) в 2019 г. и на Канонерском о-ве ( $24,3 \text{ шт/м}^2$  – пляж справа от ЗСД) в 2022 году. В целом максимальное количество микромусора наблюдается в Невской губе. Наименьшее количество частиц микромусора было обнаружено на пляжа – в открытой части Финского залива – в заказнике Западный Котлин ( $1 \text{ шт/м}^2$ ) в 2022 году и в Зеленогорске ( $1 \text{ шт/м}^2$ ) в 2021 году.

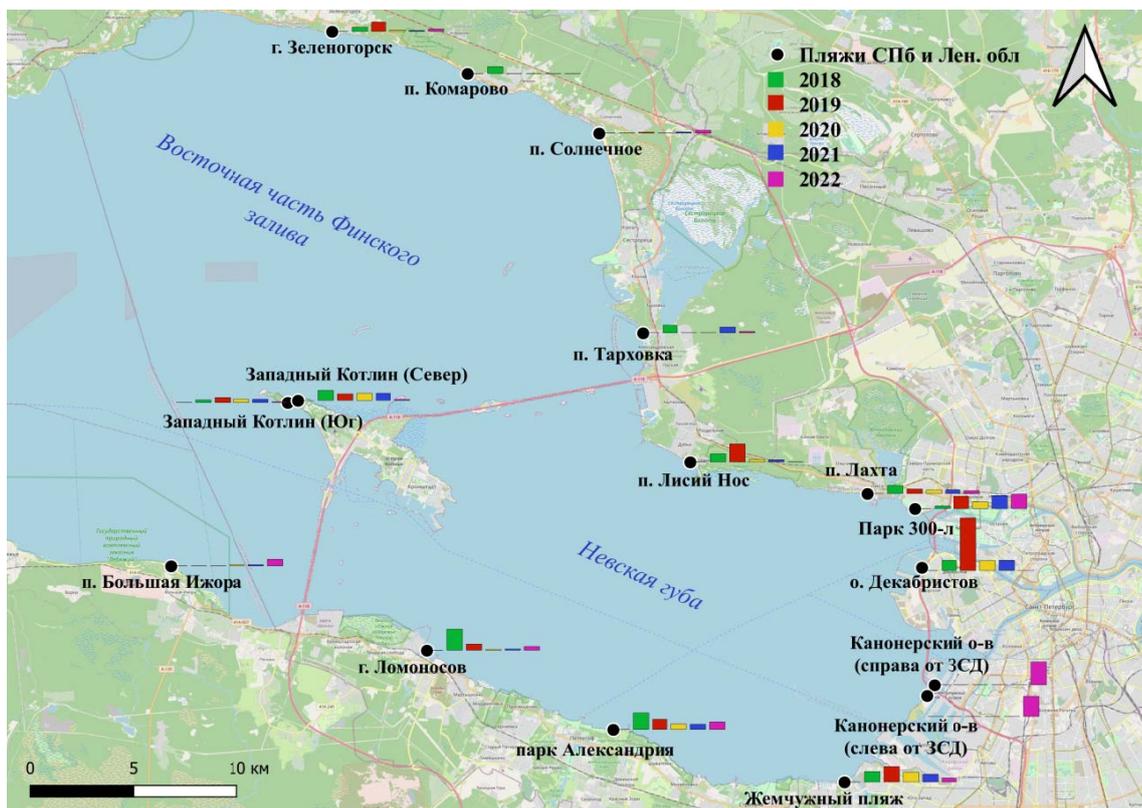


Рисунок 3.3 – Содержание микромусора (шт/м<sup>2</sup>) на пляжах Санкт-Петербурга и Ленинградской области в период 2018-2022 гг.

В течение всего периода на всех исследованных пляжах качественный состав микромусора в основном представлен пластиком и стеклом, за исключением пляжа в городе Ломоносов в 2018 году, где преобладает микромусор из категории «другое» (кусочки строительной штукатурки).

В целом разнообразие видов материалов, из которых состоит микромусор Финского залива и Невской губы, велико, но микропластик является основным. Больше всего частиц микропластика было найдено на пляже на о-ве Декабристов в 2019 г. (55,25 шт/м<sup>2</sup>), меньше всего – в 2019 г. в парке Александрия (0 шт/м<sup>2</sup>) и в п. Солнечное (0 шт/м<sup>2</sup>), а также в 2020 г. в п. Большая Ижора (0 шт/м<sup>2</sup>). В среднем на пляжах Невской губы обнаружено 6,5 шт/м<sup>2</sup> микропластика и 2,7 шт/м<sup>2</sup> в открытой части Финского залива.

Таким образом, можно сделать несколько выводов:

1. Каждый год на пляжах Невской губы обнаруживается больше частиц микромусора, особенно микропластика, чем в открытой части Финского

залива. Это может объясняться тем, что пляжи, находящиеся в Невской губе, испытывают сильную антропогенную нагрузку за счёт поступления стоков и бытовых отходов от крупного мегаполиса, а также за счет стока р.Нева, впадающей в Невскую губу.

2. За пять лет наблюдений самыми загрязненными пляжами являются пляжи в непосредственной близости к центру города (о. Декабристов) и в районе промышленной зоны (Канонерский о-в).

3. В целом характерна значительная вариабельность значений микромусора на пляжах, что отражает в первую очередь сложные и постоянно меняющиеся гидродинамические условия в исследуемом водоеме. Накопление мусора на пляжах зависит от многих факторов: ветро-волновое воздействие и частые сгонно-нагонные явления смывают и намывают частицы мусора на пляжи, постоянно меняя картину загрязнения, но при этом содержание микромусора на пляжах не увеличивается.

4. Очевидно, что съемки 1 раз в год недостаточно для выявления тенденций накопления микромусора в Невской губе Финского залива. Связь с изменением стока реки и содержанием микромусора на пляжах в центре города необходимо изучать более подробно и проводить сезонные съемки.

Возможные источники микромусора на песчаных побережьях восточной части Финского залива и Невской губы отличаются от пляжа к пляжу, так как они могут изменяться от вида и местоположения промышленной деятельности. Некоторые виды микромусора являются индикаторами источника загрязнения. Так, например, на пляже в парке Александрия индикаторным видом микромусора выступает стекло, возможным источником которого может являться Петровская стекольная мануфактура, расположенная неподалеку от парка. В структуре микромусора пляжей в ООПТ «Западный Котлин», особенно, на северном пляже, выделяются металлические частицы, которые являются следствием активного судоходства в данном районе, а также возможным разрушением Фортов Кронштадта. Большое количество кусочков кирпича (категория «другое») было найдено на Канонерском о-ве, это может

быть связано с тем, что пляжи находятся в непосредственной близости к промышленным площадкам или местам, где утилизируются строительные отходы.

Источник микропластиковых частиц выявить сложнее, так как, во-первых, микропластик присутствует практически на всех пляжах в период 2018-2022 гг. и поэтому источник может быть не один, во-вторых, пластик обладает различной плавучестью и поэтому во время штормов может либо уноситься с побережий, либо привносится в больших количествах на них. Также на пляжах обнаруживаются как первичные микропластиковые частицы (пеллеты), так и вторичные (фрагменты, возникающие при разрушении более крупного пластика). Идентифицировать источник частиц вторичного происхождения сложнее, так как это могут быть любые виды пластиковой тары или других пластиковых предметов. Пеллеты или гранулы используются в качестве абразивов в пескоструйной очистке судов и могут намеренно смываться со сточными водами предприятия. Также гранулы являются сырьем для изготовления пластиковых предметов различного применения, в результате транспортировки, утечки с предприятия и неправильного хранения данные частицы могут попадать в водные объекты, тем или иным способом, и выносятся на побережья.

### 3.3 Сравнение результатов исследований в российской части Финского залива и зарубежных исследований набалтийских побережьях

В российской части Финского залива были проведены исследования в Юго-Восточной Балтике в Куршском и Вислинском заливах (территория Калининградской области РФ) в 2018 году. По результатам исследований показали, что состав морского мусора на побережьях разнообразен. Основными предметами среди наблюдаемого пластикового микромусора в зоне заплеска были: куски полистирола (пенопласта) и кусочки пластика[8]. В ходе исследований, проведенных в период 2018-2022 гг. в восточной части Финского

залива и Невской губы, было обнаружено больше частиц микропластика и стекла. Это может быть связано как с различными источниками поступления, так и с различными гидрологическими условиями Юго-Восточной Балтики и восточной части Финского залива.

На балтийском побережье на пляжах Германии и Литвы в период с июня по сентябрь 2014 г. проводились исследования «Frame»-методом. В Германии было проведено 13 исследований на 7 пляжах. Общее количество предметов мусора составило 215 штук на общей площади 117 м<sup>2</sup> (1,8 шт/м<sup>2</sup>). Было найдено 17 штук микромусора (0,1 шт/м<sup>2</sup>, 8 % от общего числа найденного морского мусора). Микромусор был найден в 7 из 13 исследований [19]. В Литве было проведено 8 исследований на 4 пляжах, общее количество найденного мусора составило 383 предмета мусора на общей площади 72 м<sup>2</sup> (5,3 шт/м<sup>2</sup>), из них 285 штук микромусора (3,9 шт/м<sup>2</sup>, 74 %). В 5 из 8 обследований был обнаружен микромусор [19]. В восточной Финского залива было проведено 65 исследования на 16 пляжах в период 2018-2022 гг. В 2018 году было проведено 32 исследования на 12 пляжах Невской губы и открытой части Финского залива. Общее количество предметов микромусора составило 634 предмета на общей площади 64 м<sup>2</sup> (9,9 шт/м<sup>2</sup>). В 2019 г. было проведено 22 исследования на 11 пляжах Невской губы и открытой части Финского залива. Общее число предметов микромусора в 2019 году составило 594 предмета на общей площади 44 м<sup>2</sup> (13,5 шт/м<sup>2</sup>). В 2020 году было проведено 24 исследования на 12 пляжах. Общее число найденных частиц микромусора составило 223 предмета на общей площади 48 м<sup>2</sup> (4,6 шт/м<sup>2</sup>). В 2021 г. и в 2022 г. было проведено 26 исследований на 13 пляжах регулярного мониторинга ПластикЛаб РГГМУ. Общее число предметов микромусора в 2021 году составило 293 предмета на общей площади 52 м<sup>2</sup> (5,6 шт/м<sup>2</sup>), в 2022 году – 381 предмет морского микромусора на общей площади 52 м<sup>2</sup> (7,3 шт/м<sup>2</sup>).

Сравнение концентраций микромусора, найденного на балтийских побережьях Германии и Литвы [19] с помощью метода, использующегося в настоящем исследовании, показало, что, в отличие от пляжей Германии и

Литвы, в восточной части Финского залива обнаружено в среднем 8,2 шт/м<sup>2</sup>, что в 80 раз больше, чем на побережьях Германии (0,1 шт/м<sup>2</sup>) и в 2 раза больше чем на побережьях Литвы (3,9 шт/м<sup>2</sup>).

Основным видом микромусора в восточной части Финского залива является пластик и стекло, а на балтийских побережьях Литвы и Германии – парафин (из категории «другое») и предметы из искусственных полимеров, соответственно.

По сравнению с зарубежными исследованиями 2014 года российская часть Финского залива загрязнена сильнее, чем балтийское побережье Литвы и Германии. За весь период наблюдений в российской части Финского залива во всех исследованиях был обнаружен микромусор.

## Заключение

В данной работе была выполнена многолетняя оценка загрязненности микромусором побережий Невской губы и открытой части Финского залива. Были рассмотрены основные физико-географические особенности восточной части Финского залива и Невской губы, которые показали, что район восточной части Финского залива подвержен сильному антропогенному воздействию со стороны г. Санкт-Петербурга. В связи с этим, проблема морского мусора в данном регионе актуальна, так как система обращения с отходами еще остается на начальном этапе развития и остаются неотрегулированные этапы утилизации и переработки бытовых отходов, а также несанкционированное размещение свалок строительных отходов.

Были проведены полевые исследования в 2022 году на 13 пляжах Невской губы и открытой части Финского залива. Среди всех исследованных пляжей больше всего частиц микромусора в зоне заплеска обнаружено на пляже в непосредственной близости к центру города Санкт-Петербург на Канонерском о-ве (24 шт/м<sup>2</sup>) в Невской губе. Наименьшее количество частиц микромусора было обнаружено в открытой части Финского залива – в ООПТ «Западный Котлин» (на южной стороне острова) – 0,8 шт/м<sup>2</sup>. Установлено, что основными видами микромусора на песчаных побережьях восточной части Финского залива и Невской губы в 2022 году стали пластик и стекло. Микропластик был обнаружен во всех исследуемых пробах микромусора.

Проведена оценка многолетнего мониторинга песчаных побережий открытой части Финского залива и Невской губы в период 2018-2022 гг. С помощью элементов описательной статистики была проведена статистическая обработка данных и были получены следующие выводы:

1. 2018 г. и 2019 г. обладают наибольшими разбросами значений, также 2019 г. характеризуется наибольшими максимальными значениями (о. декабристов – 56 шт/м<sup>2</sup>);

2. В период 2018-2022 гг. невозможно выделить какую-либо достоверную тенденцию к увеличению или уменьшению содержания микромусора на пляжах в зоне заплеска как в Невской губе, так и в открытой части Финского залива;

Также было установлено, что каждый год на пляжах Невской губы обнаруживается больше частиц микромусора, особенно микропластика, чем в открытой части Финского залива. Самыми загрязнёнными пляжами являются пляжи в непосредственной близости к центру города (о. Декабристов) и в районе промышленной зоны (Канонерский о-в). В целом характерна значительная вариабельность значений микромусора на пляжах, что отражает сложные гидродинамические условия в восточной части Финского залива, особенно в Невской губе, но при этом содержание микромусора на пляжах остается примерно на одном и том же уровне. Съёмок один раз в год недостаточно для выявления какой либо тенденции накопления микромусора в Невской губе Финского залива.

По сравнению с исследованиями зарубежных стран можно сделать вывод о том, что российская часть Финского залива загрязнена сильнее, чем балтийские побережья Литвы и Германии.

Основные источники микромусора могут изменяться в зависимости от расположения пляжа и наличия поблизости каких-либо видов хозяйственной и иной деятельности. Самыми загрязненными пляжами остаются пляжи, которые находятся в непосредственной близости к центру города, что может говорить о больших темпах развития промышленности, судовых перевозок, а также большого количества человек проживающих на данной территории. В связи с этим, для снижения нагрузки на восточную часть Финского залива, в частности на Невскую губу, следует выявить основные источники поступления микрочастиц, провести мероприятия по предотвращению попадания этих частиц как в морскую среду, так и в прибрежные зоны, а также проводить регулярные просветительские работы с населением в области обращения с отходами.

## Список использованных источников

1. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 01.03.2023) «Об отходах производства и потребления»// Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901711591> (дата обращения: 27.05.2023).
2. 1 января 2022 года АО «Невский экологический оператор» начинает оказание услуги по обращению с твердыми коммунальными отходами на территории Санкт-Петербурга // Невский экологический оператор [Электронный ресурс]. — URL: <https://spb-neo.ru/o-kompanii/news/1-yanvaryu-2022-goda-ao-nevskiy-ekologicheskii-operator-nachinaet-okazanie-uslugi-po-obrashcheniyu-s/> (дата обращения: 27.05.2023).
3. Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря / Гл. ред. О.В. Петров. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. 78 с.
4. Баврина, А. П. Современные правила использования методов описательной статистики в медико-биологических исследованиях // Медицинский альманах. — 2020. — № 2 (63). — С. 95-104.
5. Бизнес потенциал Санкт-Петербурга // expoforum [Электронный ресурс]. URL: <https://www.expoforum.ru/ru/page/Sankt-Peterburg/> (дата обращения: 25.05.2023).
6. Водные объекты Санкт-Петербурга / Под ред. С.А. Кондратьева, Г.Т. Фрумина. – СПб.: Символ, 2002. – 348 с.
7. Восточная часть Финского залива и его береговая зона // Окружающая среда Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]URL: <http://ecospeterburg.ru/2016/11/18/восточная-часть-финского-залива-и-его/> (дата обращения: 16.04.2023).
8. Ершова, А.А. Мониторинг морского мусора на побережьях лагун / замкнутых заливов / эстуариев рек (Невская губа): Методическое пособие по производственной практике: Санкт-Петербург, 2018. – 5 с.

9. Ершова, А.А. Пластиковое загрязнение Мирового океана / А.А.Ершова, Т.Р. Еремина // Учебное пособие – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2022. – 170 с.
10. Ершова, А.А. Морской мусор и микропластик в Финском заливе. Изучение глобальной экологической проблемы XXI века на региональном уровне / А.А. Ершова – Окружающая среда. – 2022. – №2 (24) – С. 28-31.
11. Ионин, А.С. Классификация типов берегов земного шара (применительно к картам физико-географического атласа мира) /А.С. Ионин, П.А. Каплин, В.С. Медведев // Тр. Океаногр. КомиссииАНСССР. – М.: Изд-воАНСССР, 1961. Т. XII. – С. 94 – 108.
12. Казаков, И. Д. Реформирование отрасли обращения с отходами /И.Д. Казаков – Окружающая среда. – 2022. – № 2(24). – С. 7-9.
13. Кузьмина, А. С. Загрязнение микрочастицами морского мусора песчаных побережий восточной части Финского залива Балтийского моря / Кузьмина А. С., Ершова А. А. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 2. С. xx–xx. doi:10.22449/2413-5577-2022-2-xx-xx.
14. Морской мусор // UNEP - UN Environment Programme [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unep.org/ru/issleduyte-temy/okeyanu-i-morya/nasha-deyatelnost/rabota-po-regionalnym-moryam/morskoj-musor> (дата обращения: 16.04.2023).
15. Нежиховский, Р. А. Река Нева и Невская губа / Р. А. Нежиховский. — Ленинград : Гидрометиздат, 1981. — 112 с.
16. Погребов, В. Б. Природоохранный атлас Российской части Финского залива / В. Б. Погребов, Р. А. Сагитов. — Санкт-Петербург : Тускарора, 2006. — 56 с.
17. Спиридонов, М. А.Изменение береговой зоны восточной части Финского залива под воздействием природных и антропогенных факторов /Спиридонов М. А., Рябчук Д.В., Орвику К.К. и др.// Региональная геология и металлогения. – 2010. – № 41. – С. 107-118.

18. Фрумин, Г.Т. Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы / Г.Т. Фрумин и др.; под редакцией А.Ф. Алимова и С.М. Голубкова. СПб, М., 2008. 477 с.
19. Чубаренко, И.П. Микропластик в морской среде: монография / И.П. Чубаренко, и др. Москва : Научный мир, 2021. – 520 с.: 20 с. цв. ил. ISBN 978-5-91522-513-7
20. Шелутко, В.А. Практикум по дисциплине «Анализ и методы обработки геоэкологической информации» / В.А. Шелутко, Е.С. Урусова. – СПб.: РГГМУ, 2020. – 120 с.
21. Шилин, М.Б. Результаты исследований техносферы Невской губы в РГГМУ / М. Б. Шилин, В. И. Сычев, В. Л. Михеев и др. // Гидрометеорология и экология (Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета). – Санкт-Петербург: РГГМУ — 2020. — № 60. — С. 351-370.
22. Alenius P., Myrberg K., Nekrasov A. The physical oceanography of the Gulf of Finland: a review // Boreal Environment Research. - 1998. - №3. - С. 97-125.
23. Andrady A.L. (2011) Microplastics in the marine environment. Marine Pollution Bulletin 62, 1596–1605. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.
24. Andrady A.L. (2015) Plastics and Environmental Sustainability. Wiley. ISBN: 978-1-118- 31260-5. P. 352.
25. Arthur, C., Baker, J., Bamford, H. (2009). Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects and fate of microplastic marine debris. NOAA Technical Memorandum. NOS-OR&R30
26. Boucher J., Friot D. (2017) Primary microplastics in the oceans. IUCN. Global Marine and Polar Programme. 43 p. ISBN: 978-2-8317-1827-9. DOI: 10.2305/IUCN.CH.2017.01.en
27. Ecology of the Gulf of Finland and the Neva Bay: plastic pollution of the marine environment// EuroScientist: [Электронный ресурс]. URL:

<https://www.euroscientist.com/ecology-of-the-gulf-of-finland-and-the-neva-bay-plastic-pollution-of-the-marine-environment/> (дата обращения: 25.05.2023).

28. FAO (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/a-i7677e.pdf> (дата обращения: 23.05.2023).

29. Garbage Patches // Marine Debris Program [Электронный ресурс]. URL: <https://marinedebris.noaa.gov/info/patch.html> (дата обращения: 24.05.2023).

30. Geyer, R., J. Jambeck and K. Law (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made, *Science*, vol. 3, issue 7. DOI: 10.1126/sciadv.1700782

31. Haseler M, Balciunas A, Hauk R, Sabaliauskaite V, Chubarenko I, Ershova A and Schernewski G (2020) Marine Litter Pollution in Baltic Sea Beaches – Application of the Sand Rake Method. *Front. Environ. Sci.* 8:599978. doi: 10.3389/fenvs.2020.599978

32. Haseler, M., Schernewski, G., Balciunas, A. et al. (2018). Monitoring methods for large micro- and meso-litter and applications at Baltic beaches // *J Coast Conserv* 22: 27

33. MARLIN (2013). Final report of Baltic marine litter project MARLIN – litter monitoring and raising awareness. Onlineat: <http://projects.centralbaltic.eu/project/447-marlin>(дата обращения: 24.05.2023).

34. Martinez E.Z. Description of countinuous data using bar graphs: a misleading approach. *Rev Soc Bras Med Trop* 2015; 48 (4): 494-497, URL: [https://www.researchgate.net/publication/279731918\\_Description\\_of\\_continuous\\_data\\_using\\_bar\\_graphs\\_A\\_misleading\\_approachj](https://www.researchgate.net/publication/279731918_Description_of_continuous_data_using_bar_graphs_A_misleading_approachj) (дата обращения: 30.05.2023).

35. Microplastics // MarineDebrisProgram [Электронный ресурс]. URL: <https://marinedebris.noaa.gov/info/patch.html> (дата обращения: 24.05.2023).

36. Microplastics// National Geographic [Электронный ресурс]. URL: <https://education.nationalgeographic.org/resource/microplastics/> (дата обращения: 23.05.2023).

37. OSPAR Commission, 2010. Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR Maritime Area. Online at: [https://www.ospar.org/ospar-data/1002e\\_beachlitter\\_guideline\\_english\\_only.pdf](https://www.ospar.org/ospar-data/1002e_beachlitter_guideline_english_only.pdf) (датаобращения: 24.05.2023).

38. Song Y.K., Hong S.H., Jang M., Han G.M., Jung S.W., Shim W.J. (2017) Combined Effects of UV Exposure Duration and Mechanical Abrasion on Microplastic Fragmentation by Polymer Type. *Environmental Science and Technology* 51 (8), 4368–4376. DOI: 10.1021/acs.est.6b06155.

39. Sundt P., Schulze P.-E., Syversen F. (2014) Sources of microplastic pollution to the marine environment. Report M-321, 2015. Project 1032. Norwegian Environment Agency. Oslo, Norway. <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M321/M321.pdf> (датаобращения: 25.05.2023)

40. Tsakona M., Baker E., Rucevska I. et al. Drowning in Plastics – Marine Litter and Plastic Waste Vital Graphics // United Nations Environment Programme, 2021. — 77 с.

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

42. UNEP and GRID-Arendal (2016). Marine Litter Vital Graphics. United Nations Environment Programme and GRID-Arendal. Nairobi and Arendal. <https://www.grida.no/publications/60> (датаобращения: 23.05.2023).