



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 микропластикового загрязнения водной среды Невской губы
Финского залива»

Исполнитель _____ Кирсанов Илья Михайлович
(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)

« ____ » _____ 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Оглавление

Список сокращений	3
Введение.....	4
Глава 1. Общая характеристика района и предмета исследования	6
1.1 Физико-географическое описание района исследования	6
1.1.1 Общие сведения о Финском заливе	6
1.1.2 Батиметрия.....	7
1.1.3 Гидрология.....	8
1.1.4 Геоморфология берегов.....	10
1.1.5 Техногенное воздействие	11
1.2 Проблема микропластика в окружающей среде.....	13
Глава 2. Материалы и методы исследования	19
2.1 Методы исследования микропластикового загрязнения водной среды	19
2.1.1 Отбор проб воды	19
2.1.2 Выделение частиц микропластика из пробы воды (лабораторная обработка)	23
2.2 Материалы исследования.....	26
Глава 3. Результаты исследования	33
3.1 Содержание микропластика в водной среде Невской губы в 2022 году	33
3.2 Сравнение результатов исследования с другими исследованиями	39
Заключение	43
Список использованной литературы	46

Список сокращений

ДДТ – дихлордифенилтрихлорэтан;

КАД – кольцевая автодорога;

КЗС – Комплекс защитных сооружений;

РГГМУ – Российский государственный гидрометеорологический университет;

ЗСД – западный скоростной диаметр;

ХЕЛКОМ – Хельсинкская комиссия по защите окружающей среды Балтийского моря;

IMDC – International Marine Debris Conference;

LDPE – полиэтилены низкой плотности;

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration;

PC – поливинилхлорид;

PA – полиамид;

PP – полипропилен;

PU – полиуретан;

PS – полиэстер;

PET – полиэтилентерефталат;

HDPE – полиэтилены высокой плотности.

Введение

Долгое время загрязнение природной среды мусором считалось проблемой лишь на суше, но после открытия «Тихоокеанского мусорного пятна» проблема загрязнения водной среды стала очевидна для большинства людей. Наличие мусора в водных объектах пагубно влияет не только на водные экосистемы, но и на здоровье людей.

Большую часть мусора, попадающего в Мировой океан, составляют пластиковые предметы. С помощью ветра или течений они преодолевают большие расстояния и могут быть найдены в самых удаленных уголках океана и на необитаемых островах. По подсчетам ученых, количество пластика, оказавшегося в Мировом океане, ежегодно колеблется между 5 и 12 миллионами тонн. Среднее число — 9,5 миллионов [1].

Микропластик — «невидимая» проблема, поскольку человеческий глаз видит лишь небольшую часть морского мусора, в то время как его большая часть оседает на морском дне или плавает и активно распространяется по пищевым цепям в водной среде, накапливаясь в живых организмах.

Финский залив, в том числе и Невская губа — это уникальная, легко уязвимая экосистема, которая с каждым годом претерпевает все большую антропогенную нагрузку, в том числе увеличивается количество пластиковых отходов, поступающих с водосборной территории. В связи с этим актуально исследование процессов распределения и накопления пластиковых отходов. В том числе микрочастиц пластика — микропластика — на данной территории и акватории для борьбы с загрязнением. Данная работа посвящена исследованию загрязненности микропластиком вод Невской губы.

Объектом исследования служит акватория Невской губы.

Предметом исследования являются загрязненность частицами микропластика водной среды Невской губы.

Целью работы является проведение полевых наблюдений в акватории Невской губы, анализ полевых данных и оценка уровня ее загрязненности микропластиком.

Для достижения поставленной цели выполнялись следующие задачи:

1. Описание физико-географических характеристик района исследования;
2. Изучение проблемы загрязнения водной среды микропластиком;
3. Освоение методик полевых и лабораторных исследований микропластикового загрязнения;
4. Анализ данных полевых наблюдений и оценка общего уровня загрязненности микропластиком акватории Невской губы.

Глава 1. Общая характеристика района и предмета исследования

1.1 Физико-географическое описание района исследования

1.1.1 Общие сведения о Финском заливе

Невская губа — верхний эстуарий реки Нева, 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. Площадь водного зеркала губы составляет около 329 км^2 . Низкая соленость воды (менее 1 ‰) позволяет считать Невскую губу пресноводным объектом [2].

Финский залив простирается 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 398 км, площадь водного зеркала $29\,500 \text{ км}^2$, объем водной массы 1090 км^3 . 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. От горла к вершине залива глубина в общем уменьшается. Особенно резкое уменьшение глубины, а главное, площади поперечного сечения происходит между створами Усть-Нарва — остров Мощный на западе и мыс Шепелевский — поселок Озерки на востоке. Эту часть залива называют также Нарвской стенкой. Вдоль стенки с юга на север тянется сложная цепь отмелей, банок и островов. 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.

1.1.2 Батиметрия

Восточной естественной границей Невской губы является бар реки Невы, представляющий собой систему отмелей, расчлененных ложбинами — фарватерами. С запада губа отграничена от восточной части Финского залива «дамбой» Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС).

Бар Невы - это продолжение дельты, ее подводная, или морская, часть. Баровые же отмели (их всего десять) отчасти являются продолжением островов, а отчасти 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. Пройдя бар, речные воды попадают в широкий, мелководный с плоским дном водоем - Невская губа. Северное побережье губы в ряде мест поднимается техногенным намывом грунта [3].

Губа сообщается с Финским заливом через два пролива у острова Котлин, именуемых Северными и Южными воротами. Они относятся к комплексу защитных сооружений. 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 солоноватыми водами залива, препятствуют вхождению ветровых волн из залива в губу. С востока на запад Невскую губу прорезает Морской канал. Это широкая (80—100 м) и глубокая (12 м) искусственная прорезь, созданная для прохода глубоководных морских судов в порт. На фоне однообразного рельефа дна Невской губы Морской канал с его 12 - метровой глубиной представляет собой узкую траншею с размытыми бровками.

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.

Побережье восточной части Финского залива представляет собой классический пример террасированной равнины. Наиболее высокие террасы, расположенные на абсолютных высотах от 45 - 50 до 100 м и выработанные в морене, реже в водно-ледниковых отложениях, свидетельствуют о быстром изменении уровня приледникового бассейна. В послеледниковое время сформировались нижние, как правило, аккумулятивные террасы. Сведения о направленности и интенсивности современных тектонических движений разноречивы. Для рассматриваемого региона в целом характерны современные дифференцированные блоковые движения земной коры.

1.1.3 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 км² (что в 14,3 раза превышает площадь залива). 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.

Циркуляция вод характеризуется наличием системы постоянных разнонаправленных течений в совокупности с временными волновыми, стгонно-нагонными, дрейфовыми и стоковыми явлениями. Постоянные (входящие) течения направлены с запада на восток вдоль его северного берега (солончатые воды). Более мощное (выходящее) течение идет в противоположном направлении от устья р. Невы вдоль южного берега (опресненные воды). [4] Характер течений в Восточной части Финского залива зависит от речного стока, от волн штормового нагона, от направления, силы ветра и других природных процессов, которые сильно меняются во времени и пространстве. Постоянные течения, как в Балтийском море, так и в Финском

заливе, носят циклонический характер, то есть против часовой стрелки. Направление течений может отличаться от среднего в каждый момент времени при сильных ветрах. Система течений в Невской губе неустойчивая, из-за подвижности водных масс. Система течений в Невской губе в маловетренную погоду, при отсутствии льда (рис. 1).

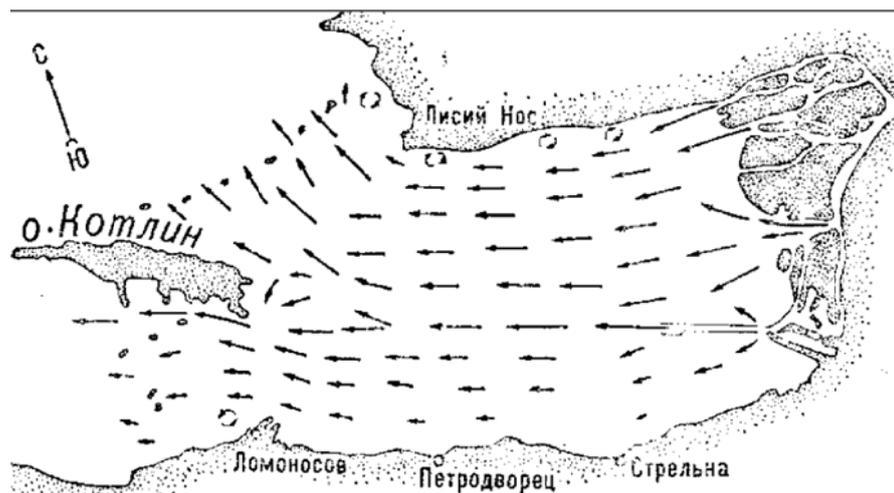


Рисунок 1 – Система течений в Невской губе[5].

Воды Невы вливаются в Невскую губу по фарватерам, часть воды растекается по отмели, образуя водоворотные зоны. Далее вода соединяется в один мощный поток, охватывающий среднюю и северную часть губы. У острова Котлин, большая часть воды уходит в Северные ворота, а меньшая – в Южные. Там же поток воды встречает на своем пути преграду в виде Ораниенбаумской отмели, и часть его отклоняется, образуя слабое противотечение вдоль южного побережья губы, сворачивая к северу у дамбы Морского канала – замыкается обширная водоворотная часть губы. У северного побережья также возникает небольшое противотечение из-за резкого изменения рельефа дна.

Такая система стоковых течений сохраняется в губе до 70% навигационного периода.

Строительство дамб комплекса защитных сооружений города Санкт-

Петербург от наводнений повлияло на картину течений в Восточной части Финского залива. Произошло перераспределение стока Невы, возникла застойная зона вблизи комплекса защитных сооружений. Проточные участки возникают при работающих судо- и водопропускных отверстиях дамбы.

Приливно-отливные колебания уровня воды в восточной части Финского залива ощущаются очень слабо, имея амплитуду 1-5 см. Более значимые колебания происходят под влиянием ветрового нагона: их амплитуда составляет 0,5-1,3 м, а при сильных нагонах может достигать 2-4 м. При интенсивных западных ветрах в Финском заливе может формироваться сейш, который значительно поднимает уровень воды в устье Невы (до 375 см выше ординара).

По гидролого-гидрохимическим характеристикам в восточной части Финского залива выделяют четыре района: пресноводный мелководный (Невская губа), переходный (зона транзита невских вод в Балтийское море), солоноватоводный и восточный глубоководный.

1.1.4 Геоморфология берегов

Согласно существующей классификации [6] в Финском заливе к группе берегов к не волновым процессам относятся:

- берега, сформированные субэральными и тектоническими процессами и мало измененным морем;

- 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.

В результате интенсивной антропогенной деятельности в Невской губе к настоящему времени образовалась береговая техносфера, основными компонентами которой являются портовые сооружения с подходными путями и фарватерами и искусственно сформированные прибрежные территории[7]. На искусственно сформированных территориях в Невской губе размещены антропогенные макрообъекты - Лахта-центр, Большой порт, различные многофункциональные комплексы жилищного и делового назначения и др. В последние десятилетия во время формирования искусственных территорий для размещения на них техносферных объектов, сопровождавшегося сбросом больших объемов извлеченного грунта в подводные отвалы Северной и Южной Лахты[8], значительное число экологически ценных прибрежных местообитаний, использовавшихся в естественных условиях рыбами и птицами в качестве мультифункциональных биотопов, было частично или полностью разрушено.

В зонах размыва ледниковых отложений (морены) как на берегу, так и на подводном береговом склоне формируется валунно-галечный бенч. Для большинства абразионных берегов характерен невысокий уступ размыва (около 1 м).

Песчаные пляжи развиты в Курортном районе Финского залива, где присутствует процесс размыва берегов. Локальные необлагороженные пляжи расположены по всему периметру Финского залива.

1.1.5 Техногенное воздействие

К основным видам антропогенного воздействия на биологические сообщества Невской губы могут быть отнесены: гидротехнические работы и дноуглубление; химическое загрязнение водной среды органическими и неорганическими соединениями; перелов рыбы; развитие транспортного сообщения и туризма; добыча полезных ископаемых (песка); строительство

берегозащитных сооружений; сезонное рыболовство и охота; сезонная рекреационная нагрузка; военная деятельность.

Возведение комплекса защитных сооружений (КЗС), практически изолировавшего Невскую губу от остального залива, нарушило систему течений и превратило её в закрытый водоём с высокой степенью загрязнения и низкой способностью к самоочищению.

В 2013 году было завершено строительство главного канализационного коллектора северной части Петербурга. С этого момента в городе стали проходить очистку 98,4% сточных вод[9].

В 2014 году Водоканал ликвидировал сброс неочищенных стоков стадиона «Петровский», также были переключены 19 прямых выпусков на Петроградской набережной. Процент очищенных сточных вод увеличился до 98,5%.

Кроме работы над количеством очищенных вод, Водоканал уделяет большое внимание повышению качества их очистки. В рамках международной конвенции Хельсинкской комиссии по защите среды Балтийского моря (ХЕЛКОМ), на крупнейших очистных сооружениях Водоканала были внедрены современные технологии глубокого удаления из сточных вод биогенных элементов – фосфора и азота. Именно фосфор и азот, поступаая со сточными водами в Балтику, стимулируют рост сине-зеленых водорослей. Эти водоросли являются одной из основных угроз здоровью Балтийского моря – активно поглощая кислород из воды, они тем самым губят остальных морских обитателей.

Рекомендации Хельсинкской комиссии по содержанию в сбрасываемых сточных водах фосфора и азота Санкт-Петербург выполняет в полном объеме - содержание фосфора не превышает 0,5 мг/л, азота –10 мг/л.

1.2 Проблемы микропластика в окружающей среде

Живя в эпоху технического прогресса, человечество в последние несколько столетий не только постоянно обретает невиданные прежде возможности, но и оказывается перед лицом все новых глобальных угроз.

Продукция из пластмасс начала появляться в конце 19 века. Первыми стали изделия из целлулоида – полимера на основе нитрата целлюлозы. А с начала 20 века промышленность приступила к выпуску изделий из бакелита – первого синтетического пластика, представителя группы фенолформальдегидных пластмасс. Уже тогда стали очевидны огромные перспективы этого направления. Однако подлинная "пластмассовая революция" в промышленности свершилась в 1950-х годах. С тех пор пластики массово пришли в нашу жизнь и радикально изменили ее. Сегодня они используются всюду – от несущих конструкций судов, самолетов, автомобилей до одежды, упаковочной тары и добавок в косметику; жизнь без них немыслима. Но у всякой медали есть обратная сторона. В случае пластиков это загрязнение окружающей среды. И не просто загрязнение, а опасность, которая надвигается поистине лавинообразно.

Особую опасность несёт микропластик – он не только малозаметен, но и легко проникает в живые организмы. Это крайне опасно и с точки зрения его воздействия на обитателей водных животных и растений, и для человека как элемента пищевой цепи. Массовое заражение океанов продуктами пластикового производства началось с 1950-х годов. Первыми о загрязнении пластиковыми частицами задумались гидробиологи. А в начале 1970-х годов [10] были опубликованы первые научные отчеты о плавающих пластиковых микрочастицах в Северной Атлантике. Уже тогда их авторы указывали на опасность попадания этих частиц в организмы морских животных, прежде всего – в зоопланктон, и возможные негативные эффекты. Последовавшие публикации подтверждали появление пластиковых частиц в северной части Тихого океана, в Беринговом и Японском морях. Беспокойство стало расти с

середины 1980-х годов. Одним из лидеров исследований загрязнений акваторий Мирового океана выступила Национальная администрация по океану и атмосфере США (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA). В частности, NOAA инициировала первую серию регулярных международных конференций, посвященных проблеме морского мусора, IMDC (International Marine Debris Conference). На этих конференциях поднималась в том числе и проблема загрязнения пластиковыми частицами.

Впервые термин "микропластик" был введен в научный оборот только в 2004 году морским биологом, профессором Плимутского университета Ричардом Томпсоном [11]. В его работе рассматривалось присутствие микропластика в прибрежных отложениях вблизи Плимута и на 17 других пляжах Великобритании.

Понятие "микропластик" вошло в массовый научный оборот лишь с 2010-х годов, однако поначалу представляло лишь академический интерес. В 2018 микропластик был обнаружен в бутилированной питьевой воде [12], что вызвало резкий рост общественного внимания к данной теме. Сегодня проблемой микропластика озабочены как экологи, так и регуляторные органы многих стран.

Важно отметить, что с точки зрения происхождения выделяют две группы микропластика: первичный – специально производимые микрогранулы твердых полимеров для применения в потребительских и промышленных изделиях (например, для добавок в цементы, косметику, ткани) и вторичный, который формируется из фрагментов крупных пластиковых отходов (например, упаковочных пакетов и бутылок) посредством механических разрушений.

Европейское химическое агентство даёт следующее определение микропластику: - [13] «микропластик – частицы, содержащие твердые полимеры с возможными добавками, причем более 1% таких частиц (по массе) должны находиться в размерном диапазоне от 1 нм до 5 мм». В случае волокон их длина должна лежать в диапазоне от 3 нм до 15 мм при отношении длины к диаметру более 3. Микропластик может содержать

полимеры любого типа, кроме:

- Природных, если они не подвергались химической модификации (кроме гидролиза);
- (Био)разлагаемых полимеров.

Источников загрязнения пластмассами множество, но прямое загрязнение морей происходит из-за отходов прибрежных городов, судоходства, рыболовства, туристической деятельности из-за работы морских портов. Существенный вклад в загрязнения отдельно вносят нефтепромышленные объекты, расположенные на прибрежных территориях [14].

Международный союз охраны природы в своем исследовании [15] определил семь главных источников микропластика, загрязняющих Мировой океан. Основным источником микропластика (35%) – синтетические текстильные материалы. Они выделяют пластиковые микрочастицы, главным образом, при механических воздействиях в процессе стирки. Было показано [16], что при каждой стирке один предмет одежды высвобождает до 1900 микрочастиц размерами менее 1 мм. Учитывая, что в мире порядка 840 млн действующих стиральных машин [17], становится понятной доминирующая роль синтетического текстиля как источника микропластика. Второй по значимости эмитент – автомобильные покрышки (28%). Третий источник – городская пыль. Далее следуют дорожные работы (7%), окраска и другие защитные покрытия судов (4%), продукты ухода и косметики (2%), а также пластиковые гранулы (0,3%).

Использование микрогранул в косметических составах, зубных пастах, бытовых химических средствах достигло широкого распространения [18]. В результате чего основная доля микропластика, попадающего в окружающую среду, поступает со сточными водами. Сюда входят микрогранулы [19], текстильные волокна и т.д.

При загрязнении источников вод микропластиком, очистные сооружения также могут рассматриваться как точечные источники выброса микропластика в водную среду [20].

Муниципальные и промышленные стоки содержат макро- и микропластик. В то время как крупные пластмассы удаляются на установках механической очистки воды, технологии на очистных сооружениях не предназначены специально для удаления или разложения микро- или нанопластика из стоков[21].

Таким образом, сточные воды, содержащие микропластик, попадают в моря, океаны с муниципальных очистных сооружений прямо или косвенно через речные системы[22].

По оценкам, только в Европе сточные воды очистных сооружений ежегодно выделяют 520000 тонн пластика [23]. Однако следует отметить, что микропластик размером менее 5 мкм нелегко поддается количественному определению и не всегда регистрируется, поэтому цифры могут быть выше. Об этом свидетельствует обильное присутствие полипропиленовых и полиэтиленовых гранул, а также акриловых, полиамидных, полиэфирных и нейлоновых волокон в морских отложениях[24].

К микропластику относятся разнообразные полимеры, которые можно разделить на семь основных типов: поливинилхлорид (PC), полиэтилены (низкой плотности (LDPE) и высокой плотности (HDPE)), полиамид (PA), полипропилен (PP), полиуретан (PU), полиэстер (PS) и полиэтилентерефталат (PET)[25].

Хотя микропластик можно найти в поверхностных водах, существуют более плотные пластиковые частицы, которые можно найти на разной глубине в толще воды в донных отложениях [26]. Повсеместное присутствие микропластика в природе означает, что все формы организмов подвергаются воздействию микропластика. Проводились исследования влияния микропластика на различные организмы как в их естественной среде обитания, так и в лабораторных условиях[27]. Было выявлено, что более крупные виды беспозвоночных поглощают микропластик, принимая их за свою естественную добычу из-за сходства формы, размера,

цвета.

Последующие исследования показали, что проглатывание микропластика может привести к задержке роста, нарушению репродуктивной функции, снижению работоспособности и, в крайних случаях, к увеличению смертности микроводорослей, червей, морских двухстворчатых моллюсков [28].

Опасность представляет тот факт, что микропластик может нести патогены, химические загрязнители и потенциально инвазивные виды [29]. Органические загрязнители могут легко адсорбироваться на поверхности микропластика. Гидрофобность и большая площадь поверхности микропластика облегчают адсорбцию. Изученными органическими загрязнителями, которые прикрепляются к микропластику и обладают высокой токсичностью, являются ДДТ, хлорированные бифенилы и полициклические ароматические углеводороды, такие как пирен и бенз/а/пирены [30].

Было проведено множество исследований, касающихся десорбции органического материала из микропластика и его транспортировки в ткани организма [31]. Было обнаружено, что микропластик может транспортировать тяжёлые металлы, такие как кадмий, свинец, цинк и никель [32].

Одним из наиболее изученных морей в мире по уровню загрязнения морским мусором микропластиком является Балтийское море и его побережья.

Первое пробное исследование пляжного мусора было проведено здесь ещё в 1994 году в Финляндии [33].

На российских побережьях Балтийского моря исследования морского мусора и микропластика ведутся с 2016 г. в Калининградской области в Юго-

Восточной части Балтийского моря Атлантическим отделением Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН с 2018 г. в Финском заливе Российским государственным гидрометеорологическим университетом (лабораторией ПластикЛаб).

Совместная работа этих двух организаций направлена на отработку согласованных

етодических подходов к мониторингу микропластика, изучение физических особенностей переноса микропластика в водной среде, что позволило создать первую базу данных по морскому мусору в российском секторе Балтики.

С 2019 года сотрудниками и студентами РГГМУ (лабораторией ПластикЛаб) проводится отбор проб воды в прибрежной зоне с помощью специальной пробоотборной системы «HydroPuMP». Данная работа является продолжением мониторинга и анализа прибрежной зоны Невской губы в рамках исследований лаборатории ПластикЛаб.

Глава 2. Материалы и методы исследования

2.1 Методы исследования микропластикового загрязнения водной среды

2.1.1 Отбор проб воды

С поверхности воды сбор производится в основном нейстонными сетями. Основное преимущество сетей состоит в быстрой фильтрации большого объема воды и отборе только концентрированной пробы [34]. Они позволяют проводить репрезентативный отбор с большой площади, отбирать частицы микропластика в миллиметровом диапазоне, одновременно проводить отбор микропластика и зоопланктона для сравнения их количества. Наиболее значимыми характеристиками пробоотборных сетей являются размер ячеей и площадь входного отверстия. Однако параметры сетей, используемых для пробоотбора, указываются редко, и обычно исследователи ограничиваются указанием размера ячеей. Размер ячеей в зависимости от целей исследования может изменяться от десятков микрометров до нескольких миллиметров, при этом в среднем соответствует размеру ячеей зоопланктонных сетей – 330 мкм. Площадь входного сечения нейстонных сетей может составлять до 2 м². Длина сетей для поверхностных проб также сильно варьируется от одного до нескольких метров, но в основном используются сети длиной 3–4 м. При этом толщина поверхностного слоя, отбираемого таким способом, составляет порядка 15–25 см. Сеть поддерживается на плаву с помощью специальных поплавков (манта-трал) [35] или специального катамарана и буксируется со скоростью 1–5 узлов. Использование катамарана позволяет проводить пробоотбор при значительном волнении, в то время как при применении манта-трала эффективность пробоотбора значительно уменьшается из-за притапливания его входного отверстия волной. Поэтому применять последний инструмент лучше в тихих водах. Время буксировки может составлять от нескольких минут до нескольких часов, в зависимости от концентрации взвешенного вещества

в воде.

Особенности конструкции сети Манта (рисунок 2) заключаются в том, что прикрепленные по бокам «крылья» при буксировке обеспечивают плавучесть и стабильность каркаса. Транспортировка или хранение просты и не требуют разборки конструкции (ячейка сети 330 мкм).



Рисунок 2 – Сеть Манта[36].

Сотрудниками ПластикЛабРГГМУ для условий прибрежной зоны условий отсутствия источника электропитания был разработан метод отбора проб морской воды на содержание микропластиковых частиц - пробоотборник-фильтр «HydroPuMP»[37]. Он применялся в исследованиях прибрежной зоны Финского залива летом 2022 года. Пробоотборник является автономным. Представляет собой последовательную цепь из электрического погружного насоса из корпуса из нержавеющей стали с аккумулятором (производительностью 30 л/мин), счётчика воды и специальной герметичной фильтровальной насадки, состоящей из серии сменных металлических фильтров различного размера ячеей (50-300 мкм), соединенных между собой шлангом.

Пробоотборная система «HydroPuMP» позволяет проводить замеры как на мелководье, в прибрежной зоне, в условиях отсутствия источника энергии,

так и непосредственно с борта судна в открытом море, используя дополнительный каркас, связывающий элементы устройства.

На данный момент с насосной установкой должны работать два человека. Первый держит погруженный в воду насос и следит за счётчиком прокачанного литров воды, а второй, стоя в нескольких метрах ближе к берегу, удерживает ёмкость с аккумулятором, проводами для самого насоса, а также заднюю часть резинового шланга с фильтрационным блоком выброса прокачанной воды (рисунок 3). Насос следует погружать под воду полностью. Таким образом, пробы воды берутся приблизительно в 30 см от поверхности воды.



Рисунок 3 – Работа с пробоотборной системой «HydroPUMP» летом 2022 года в Невской губе.

По многолетнему опыту исследований ПластикЛаб РГГМУ было принято, что для достоверного результата содержания микропластика на выбранной территории следует отбирать (прокачивать через насосную установку) не менее 100 литров воды. В случае высокого содержания

взвешенного вещества в воде разрешается отбирать две пробы по 50 литров и производить перерасчёт. Также для подтверждения результата следует отбирать контрольную пробу с того же места, что и основную для увеличения точности результата, т.к. хотя методика отбора разрешает отбор только в благоприятных погодных условиях, где наблюдается наименьшее перемешивание воды, возможна погрешность измерений из-за непрерывного процесса передвижения водных масс.

Особенности выбора дня для отбора морских прибрежных проб:

1. Отсутствие осадков. Не допускается отбор во время мороси и тем более ливневых осадков, т.к. осадки вызывают поверхностное перемешивание вод, мешают стерильности инструментов и химической посуды и создают неправильные условия для консервации проб для дальнейших лабораторных исследований.

2. Отсутствие сильного ветра и бурного перемешивания воды. Для наиболее точных показателей отбор проб следует брать в максимально спокойной воде.

3. Стоит выбирать день таким образом, чтобы в течение нескольких дней до него не было штормов, ураганных ветров и др. природных явлений, приводящих к взмучиванию донных осадков и сильному перемешиванию водной толщи.

4. Стоит учитывать, что проведение отбора проб во время активного роста фитопланктона приводит к быстрому загрязнению фильтров осаждения, а впоследствии к затруднению и удлинению отбора, а также увеличению погрешности измерений.

5. Если проводится сравнительный анализ нескольких участков водного объекта, то следует отбирать пробы со всех участков в один день.

При соблюдении всех норм отбора воды отобранную пробу в виде фильтра с осадком помещают в стеклянную банку и консервируют для сохранения исходного состояния. В закрытом доступе от солнечных лучей пробы отправляются в лабораторию для дальнейшего анализа.

2.1.2 Выделение частиц микропластика из пробы воды (лабораторная обработка)

Согласно определению NOAA [38] можно использовать следующие методики выделения частиц микропластика из проб окружающей среды - в зависимости от их размера: (1) нанофильтрация потока или фракционирование – для частиц менее 1 мкм; (2) стандартный фильтр – для частиц размером от 0.2 до 1 мкм; (3) фитопланктонная нейстонная сеть – 50–80 мкм (Phyto-P net); (4) зоопланктонная нейстонная сеть (Zoo-P net) – 330 мкм; (5) 5 мм – сито, просеивание. Поскольку результаты, полученные из проб, подвергавшихся просеиванию, и из планктонных сетей очень сложно сравнить, предлагается в качестве обязательного этапа в любом типе работ использовать просеивание на ситах с ячейей 500 мкм и обрабатывать оставшиеся на сите и прошедшие через него частицы отдельно [39]. Это позволит сравнивать данные исследований, использующих плотностное разделение и фильтрацию, с данными, полученными в ходе анализа более крупных фрагментов (от 0,5 до 5 мм) с помощью сит.

Попавший в сеть материал просушивается и затем определяется масса твердого вещества в пробе, после чего их подвергают мокрому окислению в перекиси водорода при катализаторе Fe(II), чтобы растворить лабильное органическое вещество, попавшее в пробу. При этом пластиковые частицы продолжают сохранять все свои свойства. Фрагменты, которые остались нерастворенными, подвергаются плотностному разделению в растворе NaCl.

После процедуры сепарации частицы пластика собираются с помощью фильтра с ячейей 0,3 мм для сушки. Затем, пластиковые частицы отделяют от оставшихся взвесей с помощью микроскопа и определяют его концентрацию при помощи взвешивания. Такой метод имеет применение при определении полиэтилена, поливинилхлорида, полистирола и полипропилена.

При этом, используя данный метод, частицы пластика можно идентифицировать как микропластик если они:

1. Имеют размер от 5,0 до 0,3 мм;
 2. Не подвержены разложению в перекиси водорода;
 3. Проходят флотацию в растворе NaCl (1.15 г/мл) 5М или растворе метавольфрамата лития (1,62 г/мл) 5,4М;
 4. Проходят визуальный контроль под микроскопом при увеличении 40X.
- Для получения более мелких частиц используют фильтрующие устройства (50-100 мкм). [40]

В ходе оценки микропластикового загрязнения водной среды Невской губы Финского залива проводился анализ проб в лаборатории ПластикЛаб согласно принятым в международной практике подходам к обработке проб [41] в условиях так называемой чистой лаборатории (cleanlab). Для контроля загрязнения каждый день проводились визуальные исследования чистого (холостого) фильтра с помощью микроскопа непосредственно рядом с местом анализа проб.

Образцы прошли первоначальную (термохимическую) обработку, которая состояла из очистки проб от органического материала с помощью так называемого реактива Фентона [42], минимально воздействующего на поверхность полимерной частицы и ее структуру: 30%-ной H_2O_2 и катализатора Fe(II), а также 4,5%-ной соляной кислоты HCl для дополнительного растворения хитина и другого труднорастворимого органического материала. Далее проводились просушка и при необходимости вторичная обработка проб при недостаточном растворении органического материала, фильтрация пробы и окончательная просушка, после чего производились визуальная идентификация и подсчет микрочастиц с помощью светового микроскопа.

Для идентификации синтетической полимерной природы частиц использовался метод «горячей иглы»: длинная тонкая игла, способная при нагревании прожечь верхний слой частицы микропластика. Работа с ней (рисунок 4) позволяла разделить схожие между собой прозрачные целлюлозные волокна от прозрачных искусственных синтетических нитей, которые распадались при взаимодействии с горячей иглой в отличие от первых.

С помощью стереомикроскопа Bresser (увеличение 40х) и цифровой камеры Levenhuk осуществлялась визуальная идентификация, подсчет и категоризация микрочастиц (определение типа, размеров и цвета частицы). Пример обработки изображения, полученного через программное обеспечение “Levenhuk”, представлено на рисунке 5.

Таким образом, был определён диапазон частиц от 48 мкм до 20000 мкм (2 см). Размер ячейки сетки фильтра – 100 мкм.



Рисунок 4 – Проверка частицы горячей иглой при идентификации микропластика в ходе работы со световым микроскопом Bresser в лаборатории ПластикЛаб.

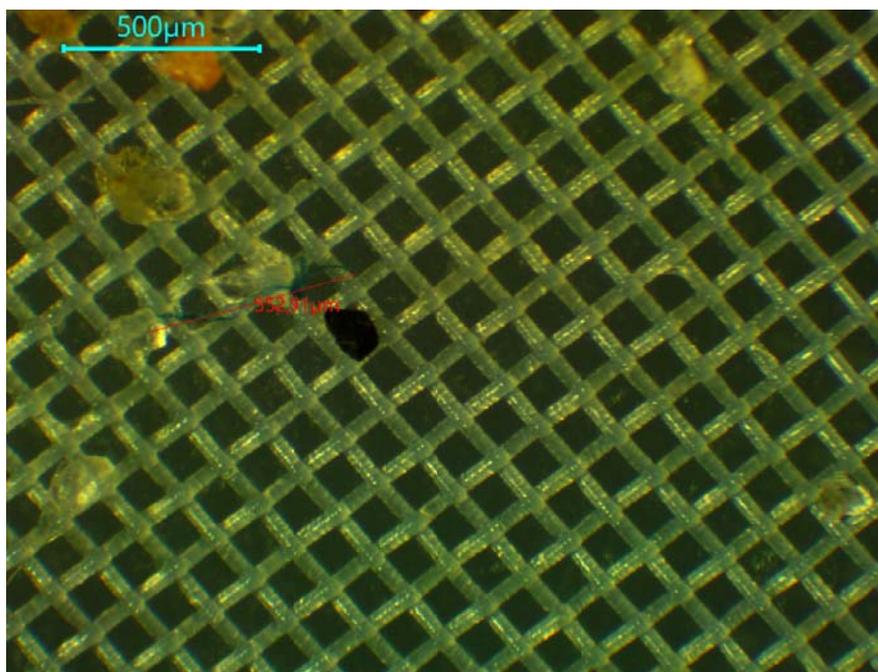


Рисунок 5 – Обработка изображения частицы микропластика для последующей классификации: определение размеров частиц, цвета, формы, морфологии частиц в лаборатории ПластикЛаб.

2.2 Материалы исследования

В рамках летней полевой практики 2022 года отбор проб проводился в течение двух дней. В первый день отбор проб проводился на точках, которые были отнесены к Невской губе, во второй день – к реке Неве. Местоположение точек представлено на рисунке 6.

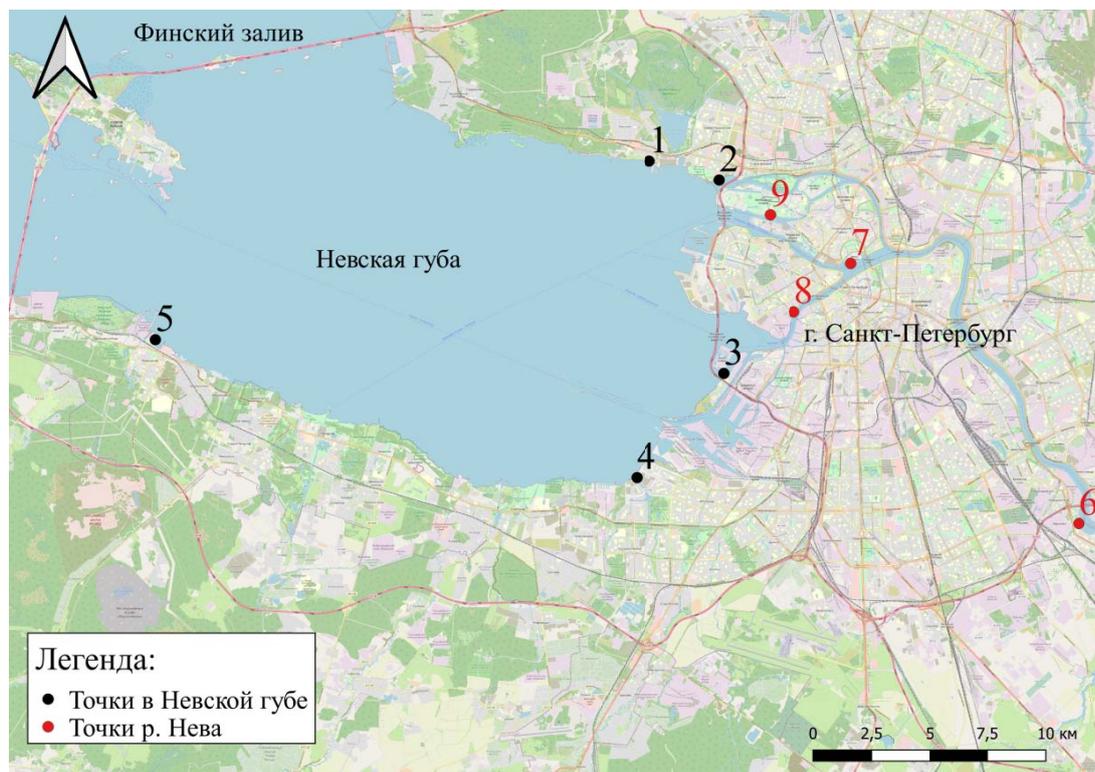


Рисунок 6 – Расположение точек отбора проб воды в августе-сентябре 2022 года в акватории Невской губы и по берегам р. Нева.

В таблице 1 представлены основные характеристики точек отбора проб.

29 августа 2022 года был проведён отбор проб воды на 5 точках, отнесённых к Невской губе и отмеченных на рисунке 6 чёрным цветом.

К городу Санкт-Петербург относится 4 точки – «Невская губа (Лахта)», расположенная на севере Невской губы за яхт-клубом «Геркулес»; «р. Большая Невка (Питерленд)», расположенная у Яхтенного моста на выходе реки Большая Невка в Невскую губу; «р. Большая Нева (Канонерский остров)», расположенная на юге Новой Канонерской гавани, относящейся к реке Большая Нева; «Устье Дудергофского канала», расположенная в месте впадения Дудергофского канала в Невскую губу. Точка «Невская губа (Ломоносов)» находится в 30 км от города Санкт-Петербург в городе Ломоносов на юге Невской губы.

Таблица 1 – Основные характеристики точек отбора проб в Невской губе и р. Нева в августе-сентябре 2022 года.

№	Название точек	Координаты	Номер пробы	Объем проб, л	Примечания	Дата отбора
1	Невская губа (Лахта)	59.987576, 30.158986	1	100	Волн нет, ветер 3 м/с, юго-восточный.	29.08.2022
		59.987576, 30.158986	2	100		
2	р. Большая Невка (Питерленд)	59.980178, 30.212969	1	100	Слабое волнение, ветер 2 м/с, юго-восточный.	29.08.2022
		59.980178, 30.212969	2	100		
3	р. Большая Нева (Канонерский остров)	59.913688, 30.232279	1	100	Волн нет, ветер 1,5 м/с, северный.	29.08.2022
		59.913688, 30.232279	2	100		
4	Устье Дудергофского канала	59.865458, 30.148303	1	100	Волн нет, ветер 3 м/с, северо-восточный.	29.08.2022
		59.865458, 30.148303	2	100		
5	Невская губа (Ломоносов)	59.918565, 29.779776	1	30	Волнение, ветер 4 м/с, северо-восточный.	29.08.2022
		59.918565, 29.779776	2	50		
6	р. Нева (Сад Спартак у КАД)	59,8468874, 30,4882850	1	50	Присутствие взвеси в воде, умеренное волнение, ветер 4 м/с, северный.	04.09.2022
		59,8468874, 30,4882850	2	100		
		59,8468874, 30,4882850	3	30		
7	р. Нева (Пляж Петропавловской крепости)	59,9477783, 30,3124212	1	62	Мутная вода, волнение, ветер северный, порывы более 5 м/с.	04.09.2022
		59,9477783, 30,3124212	2	43		
8	р. Большая Нева (Ледокол Красин)	59.928857, 30.269684	1	100	Волнение, мутная вода, ветер 4 м/с, северный.	04.09.2022
		59.928857, 30.269684	2	100		
9	р. Малая Невка (Южная дорога)	59,9666789, 30,2512531	1	30	Волнение, мутная вода, ветер 3 м/с, северо-восточный.	04.09.2022

Учитывая особенности выбора дня для отбора морских прибрежных проб, был выбран безветренный, солнечный день, в который не наблюдалось

активное перемешивание воды. Были изучены погодные условия за ближайшую неделю, в результате чего было выявлено отсутствие штормовых явлений, сильного ветра и других природных явлений, способствующих чрезмерному перемешиванию вод.

Ниже представлены описания точек отбора проб воды в Невской губе:

1. «Невская губа (Лахта)». Тип берега – техногенный, песок мелкозернистый. Дикий пляж, волонтерские уборки проводятся 3-4 раза за сезон. Недалеко находится серфинг-станция и пристань гидроциклов, судоходства нет. Волн нет, ветер 3 м/с, юго-восточный. Глубина на протяжении более 100 м находится в пределах 60 см (рисунок 7). В Ольгино находится Северная станция аэрации. Было отобрано две пробы объемами по 100 л соответственно.



Рисунок 7– Процесс отбора пробы воды на точке «Невская губа (Лахта)» в августе 2022 года.

2. «р. Большая Невка (Питерленд)». Тип берега – техногенный, песок мелкозернистый. Расположена на правом берегу реки Большая Невка. Подход к воде представляет собой техногенным пляжем. Недалеко находится пункт

проката мототехники. Есть туристическое судоходство. Рядом находятся крупные торговые центры и другие антропогенные сооружения. Слабое волнение, ветер 2 м/с, юго-восточный. Было отобрано две пробы объемами по 100 л соответственно.

3. «р. Большая Нева (Канонерский остров)». Тип берега – техногенный. Городской пляж, уборок нет, до ближайшей точки сбора мусора 100 м. Песок мелкозернистый с включениями обломков валунов и кирпичей. Рядом проходит ЗСД. Морской канал проходит недалеко от пляжа. Почти весь пляж покрыт тростником. Волн не наблюдается, сгон. Забор проб проводился рядом с Центральной станцией аэрации на о. Белый - основной очистительной станцией Водоканала Санкт-Петербурга. Волн нет, ветер 1,5 м/с, северный. Было отобрано две пробы объемами по 100 л соответственно.

4. «Устье Дудергофского канала» представляет собой подход к урезу воды с набережной по правому берегу Дудергофского канала. Волн нет, ветер 3 м/с, северо-восточный. Было отобрано две пробы объемами по 100 л соответственно.

5. «Невская губа (Ломоносов)». Тип берега – выравнивающиеся абразионные бухтовые. Пляж городской, волонтерские уборки проводятся несколько раз за сезон. Много посетителей, зона кемпинга. Присутствует песок всех фракций с включениями (гранит, известняк, кирпич). Уровень воды не меняется, волнение, ветер 4 м/с, северо-восточный. Было отобрано две пробы объемом по 30 и 50 л соответственно.

4 сентября 2022 года был проведён отбор проб воды из рукавов р. Невы, а также на её берегу в юго-восточной пограничной части города Санкт-Петербург (около вантового моста КАД).

Ниже представлены описания точек отбора проб воды по берегам реки Невы, отмеченные на рисунке 6 красным цветом:

6. Точка «р. Нева (Сад Спартак у КАД)» расположена выше всего по течению рядом с Большим Обуховским мостом, который относится к кольцевой автодороге. Точка находится на пляже. Рельеф речного русла в этом

месте имеет изгиб, что свидетельствует об осаждении речных наносов на данном участке. При отборе отмечалось присутствие в воде взвеси, умеренное волнение, ветер 4 м/с, северный. Было отобрано 3 пробы объемом 50, 100 и 30 л соответственно. Данная территория находится на границе города. Промышленные объекты, включая Обуховский завод, находятся ниже по течению.

7. Точка «р. Нева (Пляж Петропавловской крепости)» находится ниже по течению, чем исток Большой Невки и представляет интерес как участок с наиболее активным судоходством, местом туристических маршрутов и историческим центром города в целом. Выше по течению от стрелки Васильевского острова Нева расходится на два рукава - Малую Неву (на данном рукаве не удалось отобрать пробы из-за отсутствия подхода к воде, вследствие масштабных строительных работ и закрытой набережной) и Большую Неву. Точка находится на пляже, размываемом течением. В момент отбора проб вода была мутной, наблюдалось волнение, ветер северный, порывы более 5 м/с. Было отобрано две пробы объемом по 62 и 43 л соответственно.

8. Точка «р. Большая Нева (Ледокол Красин)» находится около музея «Ледокол Красин». Данная точка находится на участке с активным судоходством, берега на данном участке представляют гранитные набережные. При отборе отмечалось умеренное волнение, вода в реке была мутная, ветер 4 м/с, северный. Было отобрано две пробы объемом по 100 л.

9. На точке «р. Малая Невка (Южная дорога)» была отобрана одна проба объемом 100 л. Вода была мутной, волнение слабым, ветер 3 м/с, северо-восточный. Точка находится на естественном пляже с большим количеством растительности. Течение около берега спокойное. Недалеко располагаются яхт-клубы и причалы. Вторая проба не была взята из-за начавшегося проливного дождя после отбора первой пробы.

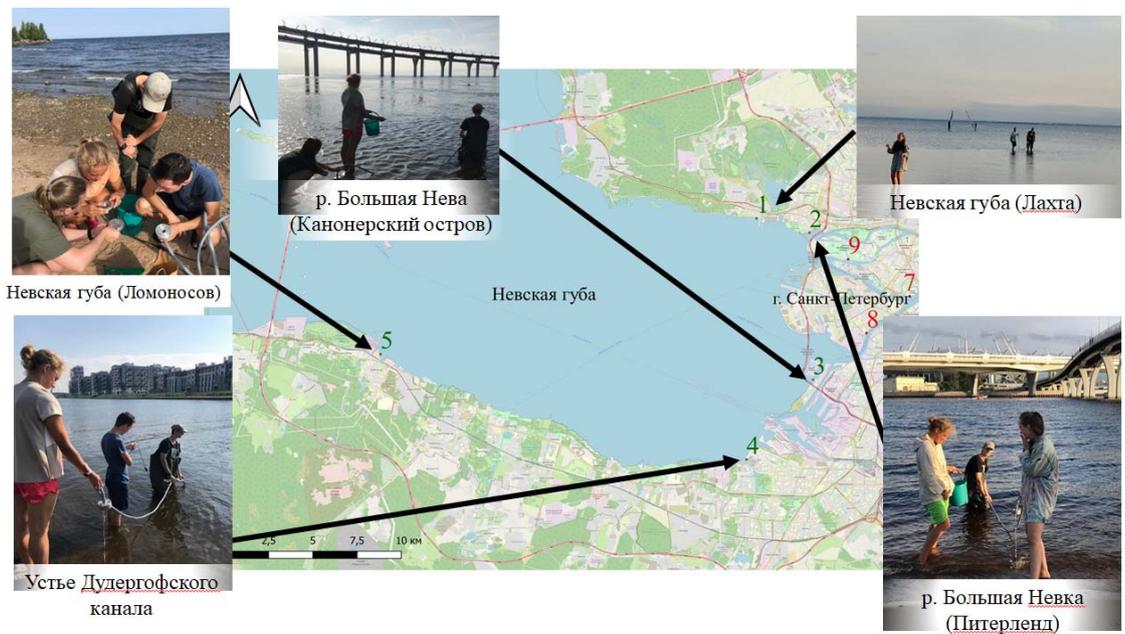


Рисунок 8 – Точки отбора проб водыв августе 2022 года в акватории Невской губы.

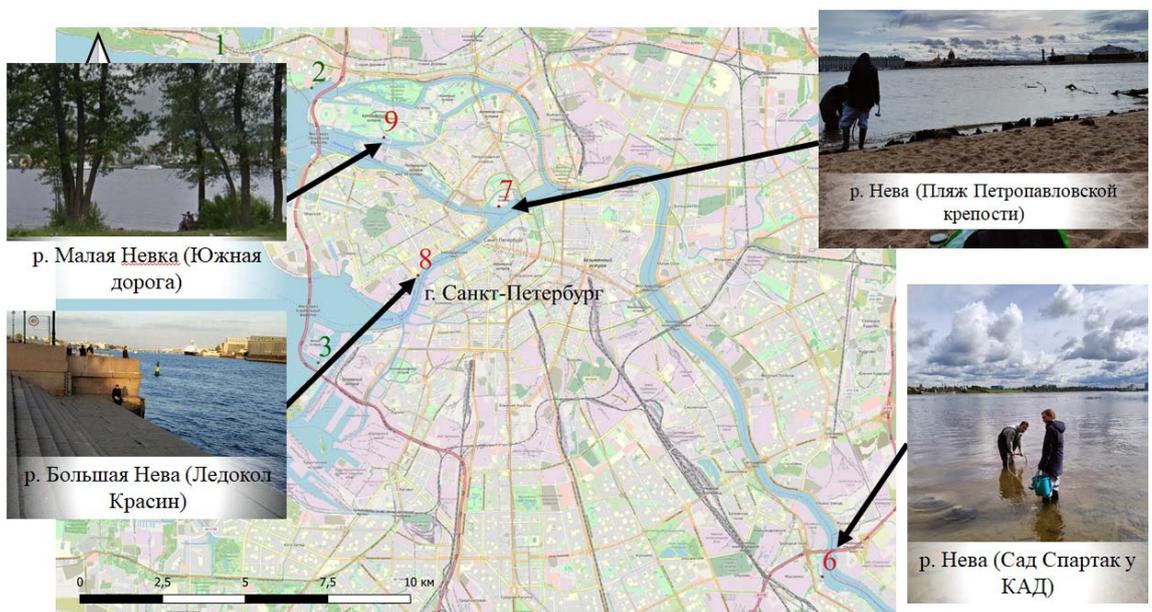


Рисунок 9 – Точки отбора проб водыв сентябре 2022 года по берегам р. Нева.

Глава 3. Результаты исследования

3.1 Содержание микропластика в водной среде Невской губы в 2022 году

В результате лабораторной обработки проб были получены данные о концентрациях микропластика(шт/л) в Невской губе и р. Нева, представленные на рисунке 10. Для сравнительного анализа точки отбора проб были распределены по двум группам (Невская губа и р. Нева) по их месторасположению. Стоит отметить, что «Устье Дудергофского канала» и «р. Большая Невка (Питерленд)» были отнесены к Невской губе из-за преобладающего влияния открытой акватории на данные точки.

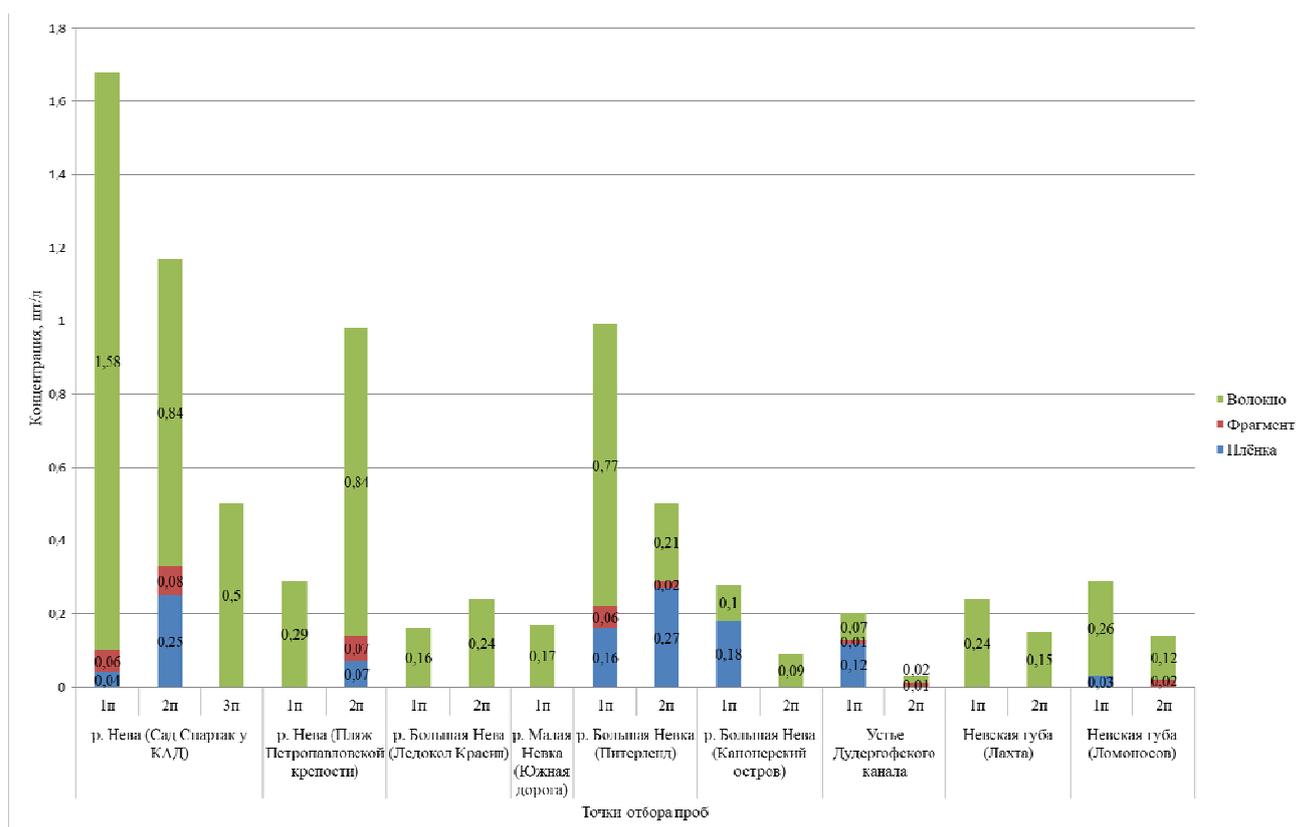


Рисунок 10– Концентрации частиц микропластика, шт/л разной морфологии (волокна, фрагменты, плёнки) на исследуемых точках в Невской губе и р. Нева в 2022 году (1 п, 2 п и 3 п – 1, 2 и 3 повторность соответственно).

По данной диаграмме видно, какая морфология частиц является преобладающей, и, какой вклад вносят рукава Невы в загрязнение Невской губы. Наибольшая концентрация волокон во всех пробах подтверждает, что доминирующая роль источника микропластика в воде принадлежит синтетическому текстилю.

Наиболее высокая концентрация волокна содержится в Неве на точке «р. Нева (Сад Спартак у КАД)». Она составляет 1,58 шт/л. Это самая высокая концентрация микропластика в 2022 году по всем точкам при том, что данная точка лежит на границе г. Санкт-Петербург до крупных промышленных объектов и городской застройки.

Преобладание плёнок наблюдается только на двух точках – «р. Большая Нева (Канонерский остров)» и «Устье Дудергофского канала», а также во второй повторности на точке «р. Большая Невка (Питерленд)».

По диаграмме видно, что на точке «р. Нева (Сад Спартак у КАД)» отмечается концентрация плёнок в 0,25 шт/л. Это означает, что загрязнение плёнками стока р. Невы предположительно происходит до границы г. Санкт-Петербург в его агломерации или выше по течению в Ленинградской области.

Первичного микропластика в виде гранул в процессе анализа частиц обнаружено не было. Однако были найдены вторичные частицы в виде фрагментов. Лабораторный анализ показал, что все найденные фрагменты имеют размер до 1 мм. Это значит, что данные частицы могут активно участвовать в трофических цепях, т.к. живые организмы могут принимать их за элементы питания.

На точке «р. Нева (Сад Спартак у КАД)» концентрации фрагментов составляют на первой повторности пробы 0,06 шт/л, на второй - 0,08 шт/л. Вниз по течению концентрации фрагментов можно отследить на точках «р. Нева (Пляж Петропавловской крепости)» и «р. Большая Невка (Питерленд)». На них концентрации составляют 0,07 шт/л и 0,06 шт/л соответственно. Стоит заметить, что частицы фрагментов были также найдены за пределами г. Санкт-Петербург. В г. Ломоносов на одноимённой точке концентрация фрагментов

составила 0,02 шт/л. Концентрация плёнок на данной точке составила 0,03 шт/л.

На основании диаграмм можно сделать вывод о сильном загрязнении частицами микропластика стока реки Невы до границы городской застройки и крупных промышленных объектов. Для выявления источников загрязнения микропластиком стока р. Невы следует расширить сеть мониторинга данных частиц вверх по течению за пределы г. Санкт-Петербург и населённых пунктах в составе его агломерации.

Для определения процентного соотношения частиц микропластика были построены две круговые диаграммы, показывающие соотношение концентраций видов частиц, отобранных на точках отбора проб в р. Нева (рис. 11а) и в Невской губе (рис. 11б) в 2022 году.

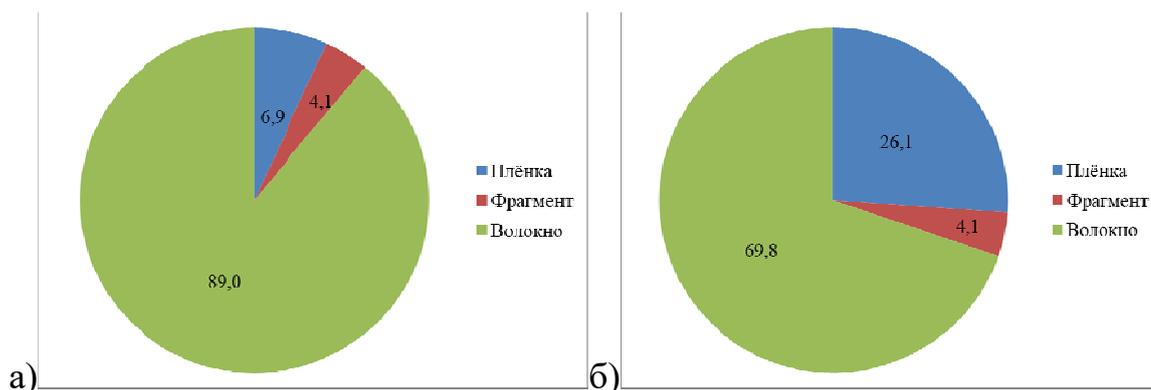


Рисунок 11 – Процентное соотношение частиц микропластика в пробах воды, отобранных на точках в 2022 году в р. Нева (а) и в Невской Губе (б).

По данным диаграмм видно преобладающее количество частиц волокна. Они занимают 89% всего микропластика в Неве и 69,8% в Невской губе. При сохранении соотношения фрагментарных частиц на уровне 4,1% заметно повышение концентрации плёнок. При 6,9% от общего количества частиц в Неве они возрастают до 26,1% в Невской губе. Такое повышение связано с тем, что согласно рисунку 10 наибольшие концентрации плёнок

отобраны на точке «р. Большая Невка (Питерленд)», которую в данном исследовании отнесли к станциям Невской губы из-за её расположения в месте впадения р. Большой Невки в Невскую губу, где наблюдается преобладающее влияние открытой акватории залива на данном участке. В последующих исследованиях рекомендуется перенести точку мониторинга на берегу р. Большой Невки вверх по течению, где влияние Невской губы ниже, для более точного отслеживания концентрации частиц по рукавам Невы.

Для уточнения характеристик отобранного микропластика были созданы диаграммы, показывающие распределение диапазонов и категоризацию частиц по цвету.

Важность исследования диапазонов частиц представлена способом отбора проб. Используя фильтры в пробоотборниках в 100 мкм, расширяется диапазон исследуемых частиц по сравнению с другими сетями от 330-1000 мкм. Таким образом, становится возможным исследование критически важных размерных диапазонов микропластика, попадающих в трофические цепи.

На рисунке 12 представлены содержания размеров частиц микропластика в пробах воды в 2022 году в Неве (рис. 12а) и Невской губе (рис. 12б) соответственно. Исходя из графиков видно, что значительное количество частиц и в Неве и в Невской губе относится к размерному диапазону в 500-1000 мкм. При этом заметно, что частиц до 1000 мкм (1мм) гораздо больше и в Неве и в Невской губе. Отношение суммы размерных диапазонов по количеству частиц до 1 мм к сумме размерных диапазонов по количеству частиц более 1 мм равняется 397/122 в Неве и 227/64 в Невской губе, что показывает преобладание частиц до 1 мм в 3, 3,5 раза соответственно. Это доказывает необходимость использования фильтров до 330-1000 мкм в зависимости от исследуемой территории.

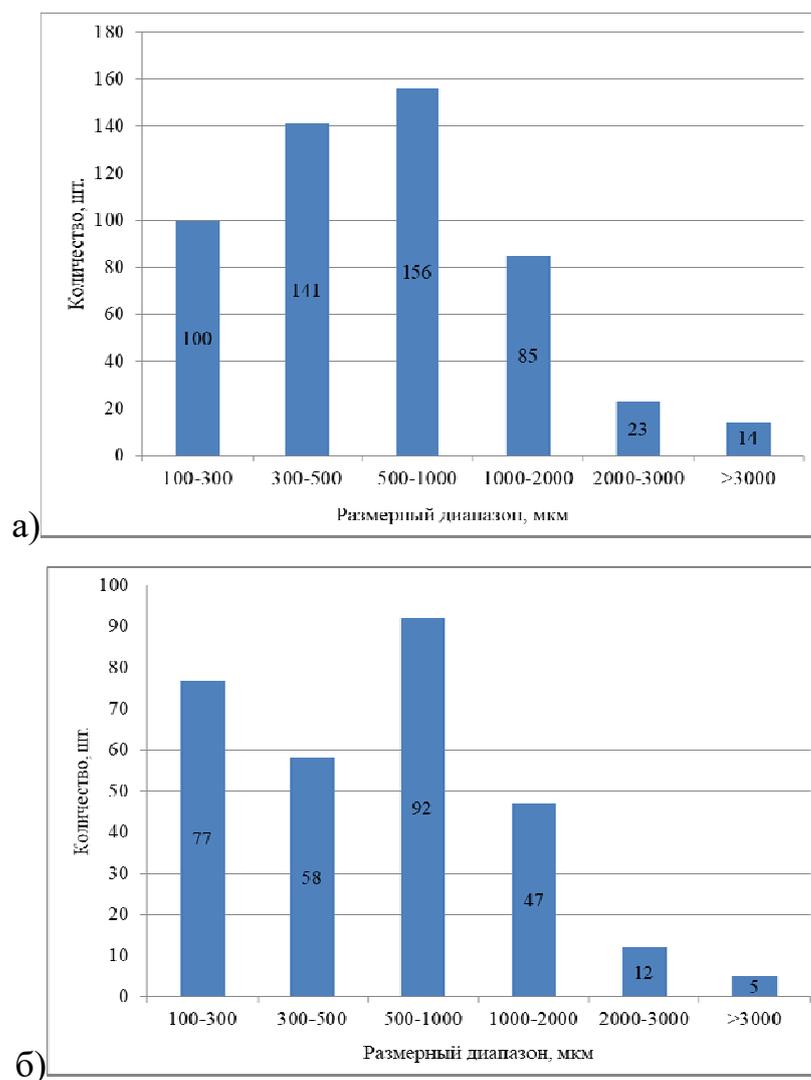


Рисунок 12 – Размерный диапазон частиц микропластика в 2022 году в р. Нева (а) и в Невской Губе (б).

Анализируя частицы микропластика по цвету видно сохранение соотношения. На рисунке 13 представлена категоризация частиц микропластика, идентифицированных по цвету, в пробах воды в 2022 году в Неве (рис. 13а) и Невской губе (рис. 13б) соответственно.

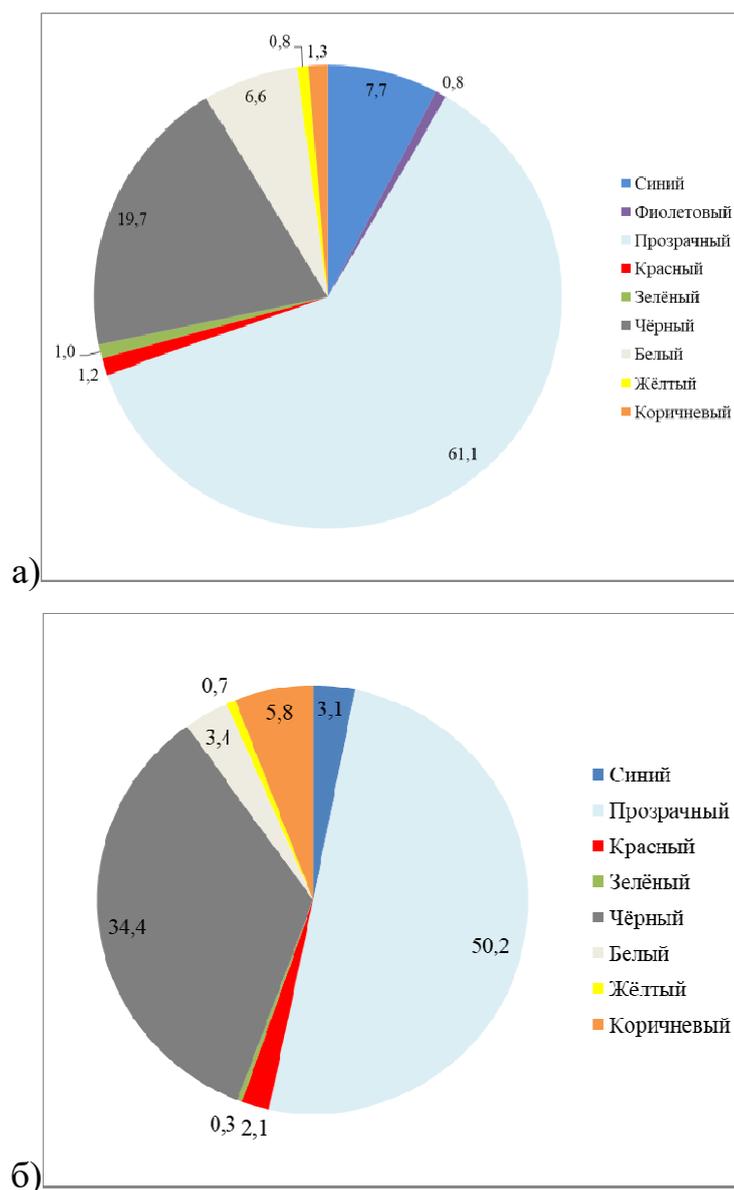


Рисунок 13 – Категоризация частиц микропластика, идентифицированных, по цвету, в 2022 году в р. Нева (а) и в Невской Губе (б).

Из диаграмм видно, что в обоих случаях прозрачные частицы составляют более 50%. При этом в Невской губе возрастает наличие чёрных частиц до 34,4% по сравнению с 19,7% в р. Нева. Возрастание коричневых частиц в Невской губе до 5,8% объясняется повышением количества плёнок данного цвета. Таким образом, можно предположить, что большая часть микропластика была обработана не стойкими красителями, в результате чего частицы, в особенности волокна, после химической обработки стали прозрачными.

Средние концентрации микропластика в р. Нева и Невской губе были пересчитаны в единицы измерения шт/м³ для сравнения с данными других исследований (рис. 14).

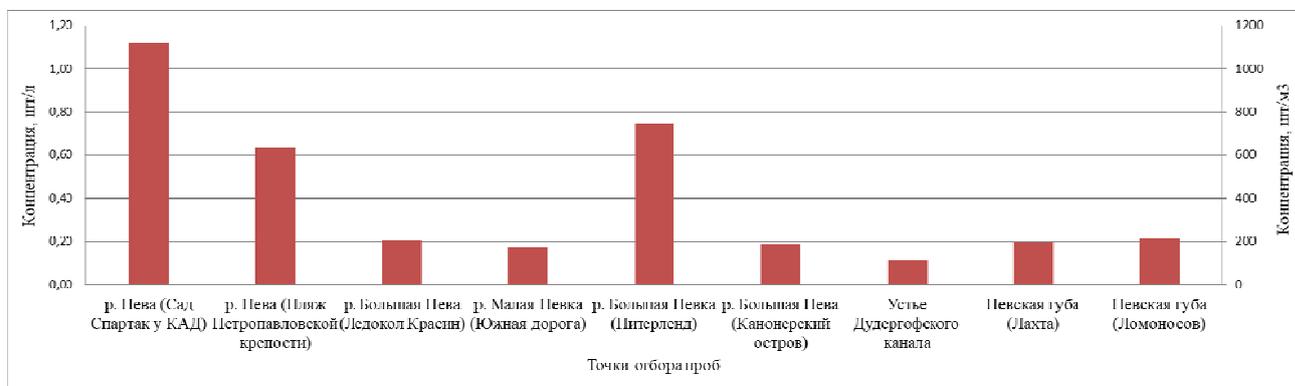


Рисунок 14– Средние концентрации (шт/л) и (шт/м³) частиц микропластика на исследуемых точках в 2022 году.

По данной диаграмме видна ведущая роль Невы в загрязнении Невской губы. На точке «р. Нева (Сад Спартак у КАД)», находящейся на юго-восточной границе г. Санкт-Петербург из стока р. Невы, зафиксирована наибольшая концентрация частиц микропластика в 1,12 шт/л или 1117 шт/м³ по международной принятой системе измерений. Следующие две точки по величине концентрации – «р. Нева (Пляж Петропавловской крепости)» и «р. Большая Невка (Питерленд)». На них отмечены концентрации в 0,64 шт/л или 635 шт/м³ и 0,75 шт/л или 745 шт/м³ соответственно.

3.2 Сравнение результатов исследования с другими исследованиями

В 2020 году лабораторией ПластикЛаб были получены первые данные концентраций микропластика в водной толще Невской губы и восточной части Финского залива, отобранные тем же методом и с использованием того же инструментария, что и в 2022 году. Сравнительный анализ данных 2020 и 2022 гг. представлен на рисунке 15.

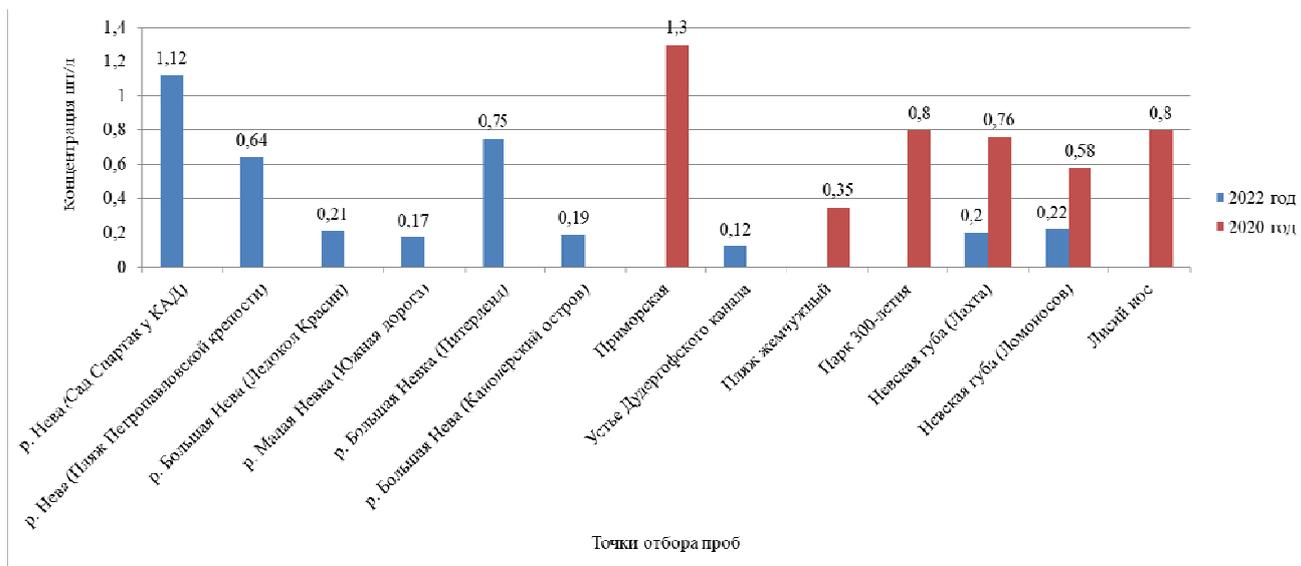


Рисунок 15—Сравнительный анализ концентраций микропластика в воде за 2020 и 2022 годы в Невской губе и р. Нева.

Средняя концентрация микропластика в 2020 г. – 0,77 шт/ли в 2022 г. - 0,4 шт/л. Значения имеют один порядок, несмотря на использование только одной повторности в 2020 году. Такая высокая сходимость результатов исследований 2020 и 2022 гг. достигается в первую очередь использованием стандартизированного в ПластикЛаб метода отбора проб и лабораторного анализа проб, не зависящих от случайных факторов, таких как, например, человеческий фактор при идентификации частиц микропластика. Так, в лаборатории ПластикЛаб всегда проводится контроль контаминации на всех стадиях работы во время отбора проб и их анализа в лаборатории, а также другие меры предосторожности при работе с образцами.

По диаграмме видно, что наиболее высокие концентрации наблюдаются в северной части Невской губы. Вероятно, это связано с особенностями вдольбереговых течений в Невской губе, рельефом береговой зоны, преобладающими направлениями ветров и антропогенной нагрузкой. Высокая концентрация частиц микропластика отмечается и в точке отбора проб воды «Парк 300-летия», который также расположен на северном побережье Невской

губы в г. Санкт-Петербург и является одним из наиболее крупных и посещаемых пляжей города, и при этом одним из самых убираемых. Значение концентрации микропластика на точке «р. Нева (Сад Спартак у КАД) остаётся одним из наиболее высоких, что говорит о необходимости проведения исследований за юго-восточной границей города по берегам р. Нева для уточнения вклада притоков р. Нева в загрязнение общего течения реки Нева микропластиком.

В 2019 году в ходе первой работы по моделированию распространения микропластика в восточной части Финского залива сотрудниками Санкт-Петербургского отделения Института океанологии РАН была создана модель распределения объёмной концентрации примеси нейтральной плавучести для частиц микропластика (рис. 16).

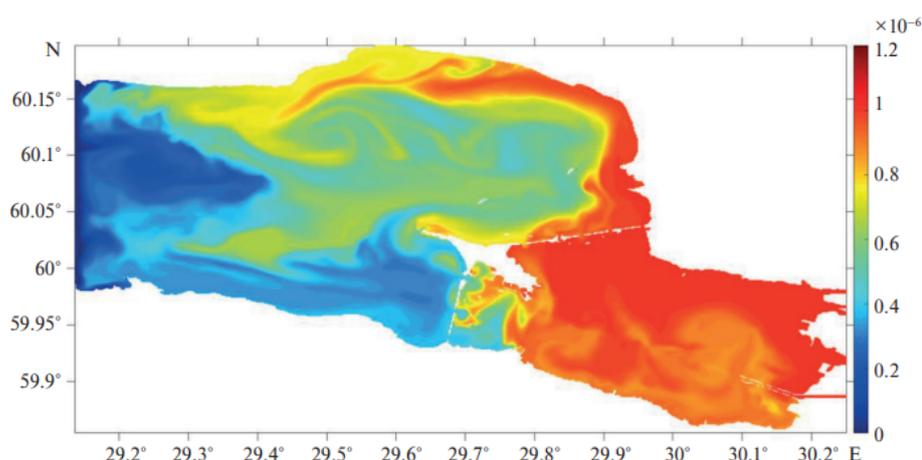


Рисунок 16 – Среднее за анализируемый период (июль-август 2018 года) модельное распределение объёмной концентрации примеси нейтральной плавучести частиц микропластика в верхнем слое водной толщи [43].

Модель распределения объёмной концентрации примеси нейтральной плавучести микропластика показывает, что наибольшее распространение частиц данной категории из устья р. Невы будет направлено по северной стороне Невской губы и восточной части Финского залива. Концентрации

частиц микропластика, полученные в ходе исследований 2020-2022 гг. показывают достоверность расчётов данной модели (рис. 17).

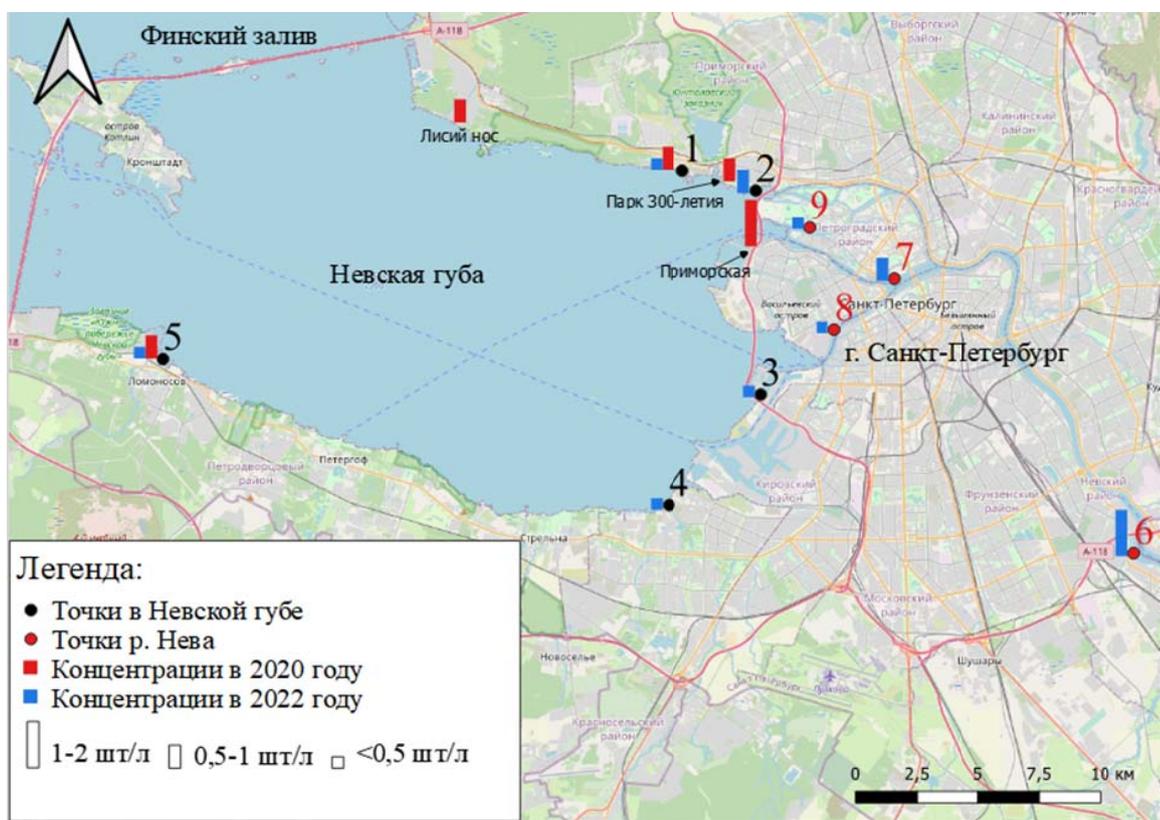


Рисунок 17 – Концентрации микропластика в шт/л в августе-сентябре 2020 и 2022 гг. в акватории Невской губы и по берегам р. Нева.

Заключение

В ходе выполнения исследования было выполнено описание физико-географических характеристик восточной части Финского залива для более полного представления об объекте исследования, а также на основе литературного анализа изучена проблема загрязнения водной среды микропластиком. Для данного исследования автором работы был осуществлен сбор натуральных материалов в процессе полевых исследований водной среды Невской губы в августе 2022 года и реки Невы в начале сентября 2022 года. Полученные материалы полевых исследований были обработаны автором в научно-исследовательской лаборатории ПластикЛаб. Далее проводился анализ данных, в результате которого:

- были определены основные характеристики частиц микропластика, а именно его концентрации, размерный диапазон, цвет и формы;
- было выявлено, что основными факторами, влияющими на распределение микропластика, являются погодные условия в момент отбора, антропогенная нагрузка, рельеф местности;
- было показано, что все найденные частицы микропластика в воде имеют размер до 1 мм, что означает возможность их активного участия в трофических цепях, т.к. живые организмы могут принимать их за элементы питания;
- было выявлено, что отношение суммы размерных диапазонов по количеству частиц микропластика в воде до 1 мм к сумме размерных диапазонов по количеству частиц микропластика в воде более 1 мм составляет 3-3,5 раза, что доказывает необходимость использования фильтров до 330-1000 мкм. Кроме того, стоит отметить, что частицы микропластика в воде размерным диапазоном 100-330 мкм занимают до 30% от общего количества частиц микропластика в воде данной исследуемой территории;

- было определено, что концентрация частиц микропластика на точке «р. Нева (Сад Спартак у КАД), находящейся на юго-восточной пограничной территории г. Санкт-Петербург является одной из наиболее высоких, что говорит о необходимости проведения исследований за юго-восточной границей города по берегам р. Невы для уточнения роли притоков р. Нева и стока Ладожского озера в загрязнении микропластиком основного течения реки.

- было показано, что среднее содержание микропластика в Невской губе – 0,29 шт/л, а в р. Нева - 0,53 шт/л. Это означает, что среднее содержание микропластика в р. Нева больше на 55% чем в Невской губе;

- было выявлено, что концентрации частиц микропластика, полученные в ходе исследований 2020-2022 гг., показывают достоверность расчётов модели распределения объёмной концентрации примеси нейтральной плавучести для частиц микропластика, созданной сотрудниками Санкт-Петербургского отделения Института океанологии РАН в 2019 году в ходе первой работы по моделированию распространения микропластика в восточной части Финского залива.

Зарубежные исследования 2016-2020 гг. по изучению пространственно-временной изменчивости микропластика в восточной части Балтийского моря [44] выявили, что наиболее высокая средняя концентрация в Финском заливе – 0,65 шт/м³. Очевидно, что средняя концентрация частиц микропластика в Невской губе (532 шт/м³) значительно превышает среднюю концентрацию частиц микропластика в Финском заливе. Это говорит о необходимости проведения мониторинга, измерений концентраций частиц микропластика в Невской губе, по берегам р. Невы в пределах г. Санкт-Петербург и выше по её течению в целях выявления источников выбросов микропластика в речные стоки, а также предложения рекомендаций по снижению количества микропластика при сбросе сточных вод в р. Нева и Невскую губу.

Исследования показали, что большую часть микропластика в водной толще составляют синтетические волокна (65-90% от общего количества), которые отслаиваются от одежды во время стирки. Для снижения концентрации данных частиц в речном стоке стоит уменьшить их поступление на очистные сооружения. С этой целью по всему миру начинают разрабатываться специальные фильтры для различных этапов производства и эксплуатации синтетической продукции от предварительной стирки в промышленных масштабах до стиральных машин в домохозяйствах.

Список использованной литературы

1. Boucher, J. and Friot D. Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources. 2017. Gland, Switzerland: IUCN. 43pp.
2. Результаты исследований техносферы Невской губы в РГГМУ / Шилин М.Б., Сычев В.И., Михеев В.Л. [и др.]. — Текст : непосредственный // ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ. — 2020. — № 60. — С. 351-370.
3. Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря / Гл. ред. О.В. Петров. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. 78 с.
4. Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря / Гл. ред. О.В. Петров. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. 78 с.
5. Нежиховский Р.А. Река Нева и Невская губа. Л., Гидрометеиздат, 1981. 69 с.
6. Ионин А.С., Каплин П.А., Медведев В.С. Классификация типов берегов земного шара// Труды океанографической комиссии. 1961. Т. 12. 94-108 с.
7. Shilin M.B., Sychev V.I., Mikheev V.L., Istomin Y.P., Lednova, S.V. Luk'yanov Yu.A., Abramov V.M. Results of investigations of the Neva Bay technosphere at RSHU. *Gidrometeorologiya i Ekologiya. Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University)*. 2020, 60: 353.
8. Chusov A., Shilin M., Gogoberidze G., Bobylev N., Ershova A., Lednova J. Long-term monitoring of the dredged material deposit sites in the Eastern Gulf of Finland // *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 164. P. 1—8.
9. Очистные сооружения г. Санкт-Петербург [Электронный ресурс] // Информационный портал администрации г. Санкт-Петербург. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ingen/news/68494/> (дата обращения 05.04.2023)
10. Carpenter E.J., Smith K.L. Plastics on the Sargasso Seasurface // *Science*. 1972. V. 175. Iss. 4027. P. 1240–1241. DOI: 10.1126/science.175.4027.1240.

11. Thompson R.C., Olsen Y., Mitchell R.P., et al. Lost at sea: where is all the plastic? // *SCIENCE*. 2004. V. 304. Iss. 5672. P. 838.
12. Mason S.A., Welch V.G., Neratko J. Synthetic polymer contamination in bottled water // *Frontiers in Chemistry*. 2018. V. 6. No. 407. DOI: 10.3389/fchem.2018.00407.
13. Annex XV restriction report. Proposal for a restriction. ECHA, 2019.
14. Barnes D., Galgani F., Thompson R., Barlaz M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 2009.
15. Boucher J., Friot D. Primary microplastics in the oceans: Aglobal evaluation of sources. IUCN, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01.en>.
16. Browne M.A., et al. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks // *Environment Science & Technology*. 2011. V. 21. P. 9175–9179. DOI: <https://doi.org/10.1021/es201811s>.
17. Cesa F.S., et al. Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: A review from textile perspective with a focus on domestic washings // *Science of the Total Environment*. 2017. V. 598. P. 1116–1129. DOI: 10.1016/j.scitoten.v. 2017. 04.172.
18. Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. and Galloway, T.S. (2011) Microplastics as Contaminants in the Marine Environment: A Review. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2588-259.
19. Napper, I.E., Bakir, A., Rowland, S.J. and Thompson, R.C. (2015) Characterization, Quantity and Sorptive Properties of Microplastics Extracted from Cosmetic. *Marine Pollution Bulletin*, 99, 178-185.
20. Dris, R., Imhof, H., Sanchez, W., Gasperi, J., Galgani, F., Tassin, B. and Laforsch, C. (2015) Beyond the Ocean: Contamination of Freshwater Ecosystems with (Micro-)Plastic Particles. *Environmental Chemistry*, 12, 539-550.
21. Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A. and Setälä, O. (2017) Solutions to Microplastic Pollution—Removal of Microplastics from Wastewater Effluent with Advanced Wastewater Treatment Technologies. *Water Research*, 123, 401-407.

22. Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. and Galloway, T.S. (2011) Microplastics as Contaminants in the Marine Environment: A Review. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2588-2597.
23. Horton, A.A., Walton, A., Spurgeon, D.J., Lahive, E. and Svendsen, C. (2017) Microplastics in Freshwater and Terrestrial Environments: Evaluating the Current Understanding to Identify the Knowledge Gaps and Future Research Priorities. *ScienceoftheTotalEnvironment*, 586, 127-141.
24. Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T. And Thompson, R. (2011) Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *EnvironmentalScience&Technology* , 45, 9175-9179.
25. Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L. and Thiel, R.C.M. (2012) Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, 46, 3060-3075.
26. Leslie, H.A., Brandsma, S.H., van Velzen, M.J.M. and Vethaak, A.D. (2017) Microplastics En Route: Field Measurements in the Dutch River Delta and Amsterdam Canals, Wastewater Treatment Plants, North Sea Sediments and Biota. *EnvironmentInternational* , 101, 133-142.
27. Gallo, F., Fossi, C., Weber, R., Santillo, D., Sousa, J., Ingram, I., Nadal, A. and Romano, D. (2018) Marine Litter Plastics and Microplastics and Their Toxic Components: The Need for Urgent Preventive Measures. *EnvironmentalSciencesEurope*, 30, 13.
28. Sussarellu, R., Suquet, M., Thomas, Y., Lambert, C., Fabioux, C., Pernet, M.E.J., LeGoïc, N., Quillien, V., Mingant, C., Epelboin, Y., Corporeau, C., Guyomarch, J., Robbens, J., Paul-Pont, I., Soudant, P. and Huvet, A. (2016) Oyster Reproduction Is Affected by Exposure to Polystyrene Microplastics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America USA*, 113, 2430-2435.
29. Virsek, M.K., Lovsin, M.N., Koren, S., Krzan, A. and Peterlin, M. (2017) Microplastics as a Vector for the Transport of the Bacterial Fish Pathogen Species *Aeromonassalmonicida* . *MarinePollutionBulletin*, 125, 301-309.

30. Antunes, J.C., Frias, J.G.L., Micaelo, A.C. and Sobral, P. (2013) Resin Pellets from Beaches of the Portuguese Coast and Adsorbed Persistent Organic Pollutants. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, 62-69.
31. Leon, V.M., Garcia, I., Gonzalez, E., Samper, R., Fernandez-Gonzalez, V. and Muniategui-Lorenzo, S. (2018) Potential Transfer of Organic Pollutants from Littoral Plastics Debris to the Marine Environment. *Environmental Pollution*, 236, 442-453.
32. Holmes, L.A., Turner, A. and Thompson, R.C. (2012) Adsorption of Trace Metals to Plastic Resin Pellets in the Marine Environment. *Environmental Pollution*, 160, 42-48.
33. Ершова А.А., Ерёмина Т.Р. Пластиковое загрязнение Мирового океана. Учебное пособие / Санкт-Петербург: РГГМУ, 2022. – 103 с.
34. Moore C.J., Moore S.L., Leecaster M.K., Weisberg S.B. (2001) A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre. *Marine Pollution Bulletin* 42, 1297–1300.
35. Eriksen M., Mason S., Wilson S., Box C., Zellers A., Edwards W., Farley H., Amato S. (2013) Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin* 77, 177–182.
36. Сеть Манта [Электронный ресурс] // Информационный портал Google фото URL: https://www.bluebirdelectric.net/oceanography/Plastic_Ocean_Pollution_Gyres_Garbage_Patches.htm (дата обращения 22.04.2023)
37. Ершова А.А., Татаренко Ю.А., Макеева И.Н. // Современные методы и средства океанологических исследований/ Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН. Том 2. – Москва: ИО РАН, 2021. – С. 201-202.
38. Masura J., Baker J., Foster G., Arthur C. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in water and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48. 2015. 31 p.

39. Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R.C., Thiel M. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification // *Environ. Sci. Technol.* 2012. V. 46. P. 3060–3075.

40. Зобков М.Б. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов / Зобков М.Б., Есюкова Е.Е. — Текст: непосредственный // *Океанология*. — Москва : Наука, 2018. — С. 149-157.

41. Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R., Thiel M. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46 (6), pp. 3060—3075. Зобков М.Б., Есюкова Е.Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // *Океанология*. — 2018. — Т. 58, № 1. — С. 149—157.

42. Ершова А.А., Ерёмина Т.Р. Пластиковое загрязнение Мирового океана. Учебное пособие / Санкт-Петербург: РГГМУ, 2022. – 98 с.

43. 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.

44. Mishra A, Buhhalko N, Lind K, Lips I, Liblik T, Väli G and Lips U (2022) Spatiotemporal Variability of Microplastics in the Eastern Baltic Sea. *Front. Mar. Sci.* 9:875984. doi: 10.3389/fmars.2022.875984.