



**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра ПО ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

(бакалаврская работа)

На тему Исследование загрязненности пластиковым мусором побережий Балтийского моря.

**Исполнитель**

Краснова Мария Денисовна  
(фамилия, имя, отчество)

**Руководить**

(ученая степень, ученое звание)

Ерёмина Татьяна Рэмовна

(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»**

**Заведующий кафедрой** \_\_\_\_\_

(подпись)

кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Санкт-Петербург

2022

## Содержание

Введение.....	3
1. Пластик и микропластик в морской среде.....	5
1.1 Общее понятие пластика.....	5
1.1.1 Пластик как материал.....	6
1.1.2 Размеры частиц микропластика и классификация пластикового мусора. Источники пластикового мусора.....	8
1.1.3 Свойства частиц морского пластика .....	13
1.2 Общая картина загрязнения Мирового океана пластиком.....	14
1.3 Потенциальные угрозы окружающей среде и человеку.....	16
2. Современное состояние исследований Балтийского моря на пластиковый мусор..	17
2.1 Микропластик в водной толще Балтийского моря.....	17
2.2 Микропластик в донных осадках Балтийского моря.....	20
2.3 Микропластик на пляжах Балтийского моря.....	24
3 Статистическое исследование уровня воды над нулем поста и содержания микро-мусора на пляжах на основе полученных данных.....	28
3.1 Методология статистической обработки данных.....	28
3.1.1 Первичная статистика.....	28
3.1.2 Тренд.....	29
3.1.3 Эмпирическая функция распределения. Эмпирические гистограммы.....	29
3.1.4 Анализ малых выборок.....	30
3.2 Анализ результатов уровня воды над нулем поста.....	31
3.2.1 Первичная статистика и эмпирическая функция распределения.....	31
3.2.2 Анализ тренда временного ряда.....	35
3.3 Анализ взаимосвязи уровня воды над нулем поста с уровнем загрязнения пляжей микро-мусором.....	36
Заключение.....	39
Список использованной литературы.....	40

## Введение

Современный мир разнообразен изобретениями и инновациями, большинство разработок нацелено на упрощение жизни. Удобство за небольшие деньги то, к чему стремится человек. Именно пластик является тем самым дешёвым и доступным всем материалом. Большинство вещей вокруг сделано из синтетических полимеров: бутылки, колеса машин, медицинские маски и многое другое. Пластик намного упростил жизнь людей, но за большими плюсами материала стоят минусы: глобальное загрязнение, массовая гибель земных и морских обитателей и нарушение пищевых систем.

С каждым годом производство пластика возрастает в геометрической прогрессии и параллельно с этим и выбросы пластикового мусора и загрязнения увеличивается. Компании по переработке не справляются с объемом мусора, и зачастую идет утечки пластика в океан, также большую роль играет человеческий фактор: люди халатно относятся к окружающей среде и не замечают за собой, что загрязняют природу, выбрасывая бутылки и окурки на пляжах и в воду.

Ученые прогнозируют, что объём выброса пластика к 2040 году будет составлять примерно 29 млн. т., и общий объём пластика в Мировом океане дойдет до отметки 600 млн. т., а к 2050 году пластика будет больше, чем рыбы.

Отсюда и следует актуальность данной работы: загрязнение пластиковым мусором вод Балтийского моря и его пляжей является глобальной экологической проблемой, которая влияет на жизнь людей и животных.

Цель работы заключается в оценке степени загрязнения пластиковым мусором вод и пляжей Балтийского моря относительно поднятия уровня моря, ведь с приливом увеличивается количество пластикового мусора на пляжах.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- подготовить исходные данные;
- рассчитать первичную статистику уровня воды;
- рассчитать эмпирическую гистограмму;
- рассчитать тренд для уровня воды над нулем поста;
- провести анализ малых выборок.

Исходные данные для работы - временной ряд годового изменения уровня воды над нулем поста в р. Нева по гидропосту Горного института за период с 2018-2020 гг. с дискретностью 1 сутки и дискретностью 1 год, содержание микро-мусора на пляжах восточной части Финского залива за период 2018-2020 гг.

## 1 Пластик и микропластик в морской среде

### 1.1 Общее понятие пластика

Пластмасса, или пластики — это материалы, в основе которых входят синтетические или природные высокомолекулярные соединения. Широкое применение получили пластмассы на основе синтетических полимеров

Пластик, под воздействием внешних факторов, достигает миллиметров и нанометров.

Микропластик- это твердые частицы синтетических полимеров размером не более 5 мм. Он бывает 2 типов: первичный и вторичный микропластик. Первичный – это микрогранулы, которые специально производят по размеру. Вторичный- образовывается при распаде пластиковых отходов под действием воды и ультрафиолетовых лучей.

История “материала 21 века”, как называют сейчас продукт нефтехимии, началась в середине 20 века, именно тогда началось массовое производство пластика. Широкому производству предшествовали свыше 100 лет тестов по созданию пластических материалов. История началась с британского металлурга Александра Паркса, создавшего паркезин, первый искусственный пластик, продолжил это дело Даниэль Спилл, он стал изготовителем резины и ранних термопластов, также в разработке принял участие Джон Уэсли Хайата, - американский изобретатель, который создал целлуоид, стоит также учесть работы английского химика Лео Бакеланда, который изобрел бакелит — первую недорогую и негорючую пластмассу всепригодного внедрения, образованную из синтетических молекул.[1] В итоге, после проделанных экспериментов и опытов, оказалось возможным относительно дешевое производство материала из доступного всем сырья, такого как нефть, газ и уголь. Материал обладает широким спектром свойств: прочность, легкость, химическая инертность; промышленное производство, медицина и быт не могут существовать без пластиковых изделий. Но сколько бы плюсов не было у пластикового материала, всегда есть обратная сторона медали - это колоссальное загрязнение суши и океанов, ведь пластик разлагается не менее 500 лет , и при разложении высвобождает метан и этилен, которые являются одними из газов вызывающих парниковый эффект, но и, конечно, же пластик угрожает здоровью людей и животных, поражая целые пищевые цепочки.

### 1.1.1 Пластик как материал

Пластик стремительно и крепко внедрился в наш обиход, естественно, этому есть простое объяснение: синтетические полимеры владеют широким диапазоном свойств, делающих пластик неплохой подменой практически всем материалам, которые используются в жизни. Также они предлагают новые свойства, которые не могут предоставить природные материалы.

Пластик комфортен в качестве промышленного материала благодаря собственной прочности, гибкости, низкой плотности, химической инертности и непроницаемости для широкого диапазона веществ, электроизолирующим свойствам, относительно высокой термической стойкости.

Разъясним подробнее характерные физико-химические свойства синтетических полимеров.

Полимеры – это вещества, молекулы которых состоят из большого количества повторяющихся фрагментов. Молекулу полимера называют макромолекулой или же молекулярной цепочкой. А повторяющиеся фрагменты макромолекулы называют молекулярными звеньями или мономерами.

Свойства, такие как упругость, прочность, трещиностойкость обусловлены тем, что чем длиннее молекулярные цепочки, тем более они спутаны, и тем больше силы притяжения Ван-дер-Ваальса между ними.

Силы Ван-дер-Ваальса - межмолекулярное взаимодействие с энергией 10-20 кДж/моль. Они включают в себя все виды межмолекулярного притяжения или отталкивания. [2]

Имеет влияние и количество молекулярных звеньев в молекулярной цепочке: например, если количество звеньев  $n \sim 100$  в цепочке, то полиэтилен при нормальных условиях будет вязкой жидкостью, но если  $n \sim 1000$ , то полиэтилен будет воскообразным, а если  $n \sim 100000$ , то полиэтилен будет твердым. Молекулярный вес пластика достигает миллионов г/моль.

Разновидностей полимеров много и, естественно, каждый вид имеет свои свойства, от которых в дальнейшем зависит его деградация и разрушение в окружающей среде. Полимеры бывают: природными, искусственными, синтетическими. По составу:

гомополимерами или сополимерами. По строению макромолекул различают: линейные, разветвлённые, лестничные или трёхмерные. Различные по структуре: амфотерные, частично кристаллизованные и кристаллические.

Одним характерным свойством пластиков является возможность их формирования, то есть придание гранулам или изделиям различной формы, которые в последствии сохраняются. В зависимости от данного свойства различают: термопласты, которые позволяют повторную переплавку формирования, так же реактопласты, которые не позволяют повторного формирования путем переплавки. Следовательно, термопласты и реактопласты различаются тем, каким образом полимер будет себя вести при повторном нагревании. При нагревании до высоких температур термопласты обладают возможностью многократно переходить в вязкотекучее состояние и затвердевать при понижении температуры. При этом физические и химические свойства практически остаются без изменений. При нагревании до высоких температур реактопласты приобретают “сжатую” структуру макромолекул, что является необратимым процессом. При последующем нагревании полимеры реактопластов разрушаются.

Термопласты и реактопласты имеют эластичные подмножества, такие как эластопласты, которые похожи на резину и при нагревании переходят в вязкотекучее состояние, и эластомеры, которые при нагревании не переходят в вязкотекучее состояние и при перегреве распадаются на мономеры.

Еще одна важная характеристика полимеров – это аморфность или кристалличность. Степень кристалличности – это величина, которая показывает, какая часть полимера является кристаллической, то есть какая часть полимера входит в состав полимерных кристаллитиков. Образцы полимеров никогда практически не бывают полностью закристаллизованы. Степень кристалличности оказывает огромное воздействие на подобные характеристики, такие как твердость, плотность и прозрачность. Высокая степень кристалличности приводит к большей плотности, что влияет на оседание материала в водной толще.

Аморфные полимеры- это полимеры с разветвлённой цепью, которые не могут сформировывать кристаллы, так как они более жестче линейных. Они характеризуются прозрачностью, износостойкостью, средней хемостойкостью и высоким поверхностным трением.

За перенос и накопление в окружающей среде полимеров отвечает такая основная характеристика, как плотность синтетических полимеров. При соотношении плотности морской воды и наиболее распространенных видов полимеров в океане можно сделать вывод, что полиэтилены, полипропилены, вспененные формы пластиков легче морской воды и будут плавать на поверхности, а полиамид, полистирол, полиэстер и поливинилхлорид тяжелее воды и опустятся на дно.

### 1.1.2 Размеры частиц микропластика и классификация пластикового мусора. Источники пластикового мусора

Вначале микропластиком стали называть обывденные "маленькие частички пластика", потому вопрос о размерах частиц пластика и микропластика достаточно важен, как следует нужно разобраться, каких размеров бывают частички, где распределяются частицы микропластика в Мировом океане относительно размера.

В мире до настоящего времени нет единого мнения о границах диапазона размеров частиц микропластика, размеры зависят от способов отбора и обработки, либо целого анализа. Однако, делая упор на статьи и научные публикации деятелей российской науки, в работе представляю следующий диапазон размера микропластика: диапазон от 0,2- 0,3 до 5 мм, где нижний предел выбирается достаточно произвольным образом, выбор его основывается либо на применяемых методиках обработки, либо на физических обсуждениях. Дальше различают четыре класса: два класса микропластика (0,33-1,00 и 1,01-4,75 мм), мезопластик (4,76-200 мм) и макропластик (>200 мм).

Необходимо добавить, что европейская техническая подгруппа Рамочной директивы морской стратегии по морскому мусору в 2013 году выдвинула предложение по классификации, где различают мелкий пластиковый мусор (<1 мм) и крупный пластиковый мусор (1 -5 мм).

Различают "первичный" и "вторичный" микропластик. Первичный микропластик представляет собой небольшие пластиковые частицы, размером меньше 5 мм. Широко распространен в промышленности и в быту. Важной категорией первичного микропластика являются пеллеты – это сферические гранулы из "сырого" пластика с



диаметром 1-3 мм. Вторичный микропластик получается в результате фрагментации более крупных объектов пластиков. По результатам исследований примерно 80% частиц микропластика в океане – это вторичный микропластик.

Существует классификация пластика, идущего на переработку. На рисунке 1 представлены разновидности пластикового материала.



Рис.1. Классификация пластикового материала[3]

1. **PET** или **PETE** (код **PETE**, иногда **PET** и цифра **1**) — полиэтилентерефталат. С помощью этого материала изготавливаются пластиковые бутылки. Материал может выделять в жидкость тяжелые металлы и вещества, которые воздействуют на гормональный баланс человека, а также в организм могут попасть некоторые щелочные элементы и большое количество бактерий. PET является самым распространенным типом пластмассы в мире. Необходимо знать, что материал предназначен для одноразового использования. Данный тип пластика успешно перерабатывается в России.

2. **HDPE**— полиэтилен высокой плотности низкого давления. Данный материал не выделяет практически никаких вредных веществ и успешно идет на переработку в России.

3. **PVC**— поливинилхлорид (пластмасса ПВХ). Вещи из этого материала выделяют опасные химические элементы, которые негативно воздействуют на гормональный баланс человека. Это мягкий, гибкий пластик, относительно невосприимчив к прямым солнечным лучам и погоде. Данный пластик не идет на

переработку в России, его использование негативно сказывается на экологии. При сжигании выделяет диоксины- сильные яды и канцерогены.

4. **LDPE** — полиэтилен низкой плотности высокого давления (пластмасса ПВД). Из данного материала изготавливаются бутылки и пластиковые пакеты. Может выбрасывать весьма опасные для человеческого организма химикаты. Также успешно идет на переработку в России.

5. **PP** - полипропилен (пластмасса ПП). Данный тип пластик имеет белый цвет или полупрозрачные тона, материал термоустойчивый. Относительно безопасен, перерабатывается в нашей стране.

6. **PS** - полистирол (пластмасса ПС). Материал легкий, дешевый, прочный, но при нагревании выделяет опасные химикаты. Повторно не перерабатывается в России.

7. **OTHER или O** - прочие. К этой группе относится любой другой пластик, который не может быть включен в предыдущие группы. Например, полиуретан, поликарбонат, полиамиды, полиакрилонитрил и другие биопластики.[3]

Как говорилось ранее, в океане около 80% вторичного микропластика от полного количества частиц, существует много устройств распределения частиц между поверхностями, береговыми линиями, водной толщей. Более крупные и тяжелые частицы пластика обнаруживаются чаще всего в урбанизированных районах, рядом с городами и густонаселенными зонами. Более мелкие и легкие частицы присутствуют в глубоководных океанских отложениях, в арктических льдах, на океанических островах и пляжах.

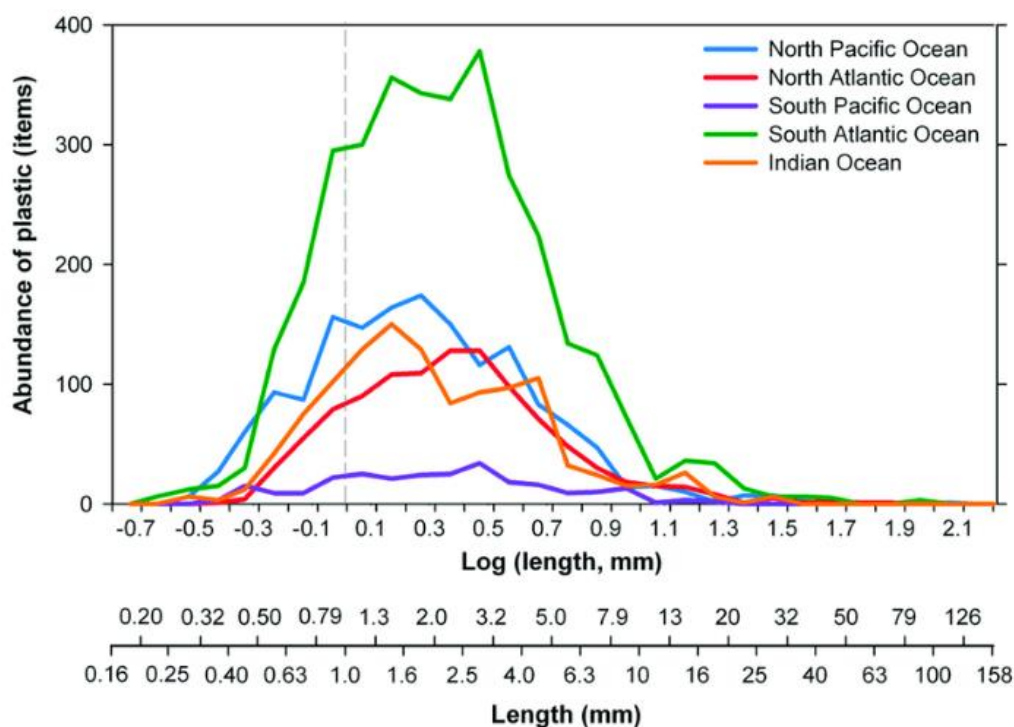


Рис. 2 Распределение по размерам фрагментов пластикового мусора , плавающего на поверхности в разных частях Мирового океана

По рисунку 2 видно, что в южной части Атлантического океана в большей мере распространены частички микропластика размером от 1,3-3,2 мм, в северной части Тихого океана распространены частички размером 2 мм, в северной части Атлантического океана распространены частицы с размером от 2 до 3,2 мм, в Индийском океане преобладают частицы с размером 1,3 мм, а в южной части Тихого океана 3,2 мм.[1]

Потребности использования пластика разнообразны, они включают в себя: потребность в энергии, транспорт, производство предметов быта, в пищевой промышленности, медицина и многое другое. Пластик внедрился в жизнь человека, и отказаться от него весьма трудно. Производя и потребляя пластик, образуется непредсказуемое количество отходов. Утечка пластика в океан может происходить на любой стадии процесса, начиная от сырья, производства, где образуется сам пластик и где он непосредственно участвует, до использования в жизни и заканчивая процессом переработки отходов.

На рисунке 3 представлены основные источники микропластика на суше и пути его попадания в океан.

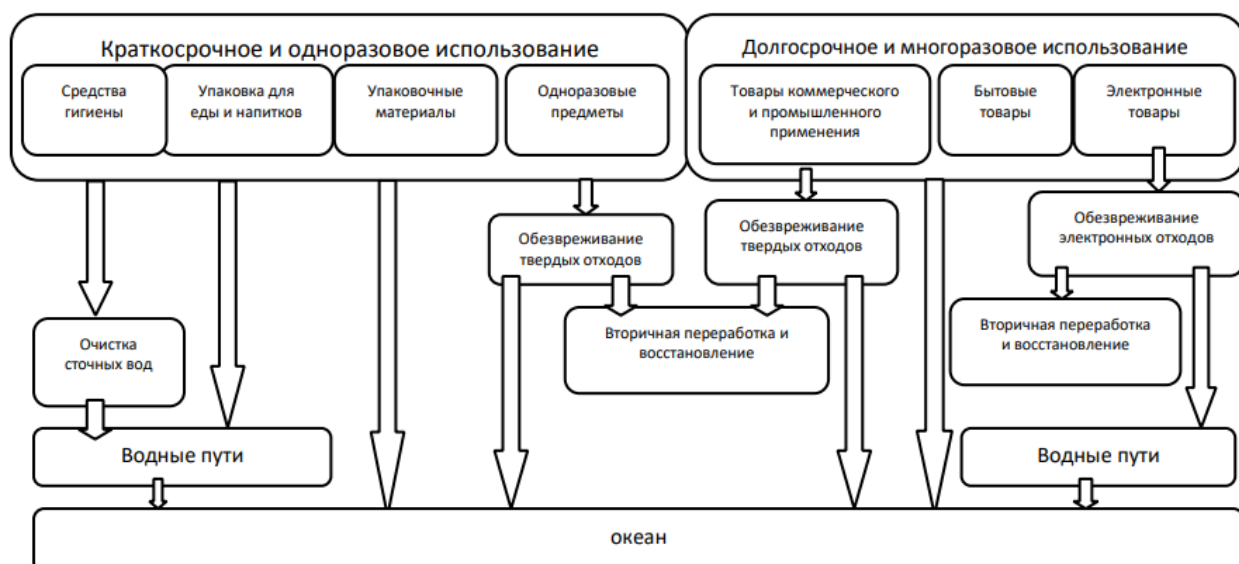


Рис. 3 Основные источники микропластика на суше и пути его попадания в океан

Пластиковые отходы попадают в океан через реки, сточные воды, прибрежные районы и атмосферу. Разберем подробнее каждый источник пластикового мусора.

При переработке пластика происходят большие потери мусора, причины связаны с плохим местным управлением и неэффективной переработкой. Сельское хозяйство активно использует пластики в разных отраслях, включая: контейнеры для растений, пленки и защитные стенки, ирригационные трубы, а также синтетические полимеры используются для герметизации гранул удобрений, для контроля их высвобождения. Конечно, утечка не велика, но она зафиксирована. Основным потребителем пластика является строительная промышленность. Здесь пластик попадает в поток твердых отходов, и его попадание в океан зависит от эффективности системы управления твердыми отходами. Значительным источником пластиковых отходов является береговой туризм, где производятся сознательные выбросы мусора или случайное замусоривание берега туристами. Наземный транспорт тоже участвует в загрязнении пластиком окружающей среды и океана: выделение пыли из частичек пластика с поверхности покрышек. Шинная пыль вносит значительный вклад в загрязнение окружающей среды. Процесс загрязнения заключается в том, что частицы пыли попадают в воздух, то есть в атмосферу, часть частиц оседает в почве и на дороге, где вымывается дождевой водой в канализацию и в конечном итоге попадает в море, поверхностные воды или в снег. Ремонт и демонтаж кораблей также является источниками пластиковых отходов. Частицы пластика используются для очистки корпусов и внутренней части кораблей. В итоге, в окружающую среду поступает два вида пластика, а именно изначальный пластиковый абразивный порошок, как первичный пластик, и хлопья краски с полимерной основой, как вторичный пластик. Ещё один источник микропластика – это косметика и средства

личной гигиены. Здесь частицы микропластика представляют собой абразивный агент и наполнитель в ряде косметических продуктов и средств личной гигиены. Текстиль и одежда также является источником микропластика, процесс высвобождения волокон из текстиля и одежды происходит в процессе машинной стирки, а именно значительное количество волокон текстиля попадает в морскую среду. Рыболовство несет в себе большие потери пластиковых отходов. Потери в рыболовном секторе включают в себя: орудия лова, вспомогательное оборудование, отходы и высвобождение волокон. Рыболовное оборудование может быть выброшено сознательно, случайно или потеряно.[4]

### 1.1.3 Свойства частиц морского пластика

Высокий уровень производства пластика и его активное использование обусловлено тем, что синтетические полимеры обладают широким спектром характеристик, они также обладают рядом свойств, некоторые из которых несравнимы со свойствами природных материалов. Современная жизнь не может спокойно существовать без пластиковых изделий и технологий, которые основаны на них.

Пластик обладает такими свойствами как пластичность, гибкость, низкая плотность, химическая инертность, непроницаемость для широкого диапазона веществ, устойчивость к природной среде, именно эти свойства делают пластик долговечным. Пластик под действием нагрева и давления становится пластичным и может принимать заданную форму и сохранять ее после охлаждения или отверждения.

Изменение свойств частиц микропластика со временем называется деградацией. При употреблении термина деградации понимается либо процесс изменения свойств под влиянием факторов окружающей среды, либо разрушение материала с полным разложением на несинтетические молекулы. Но в последнем случае чаще употребляется термин минерализация, то есть полное разрушение синтетического полимера на углекислый газ, воду, метан, аммиак, водород и другие вещества.

Существует ряд процессов, приводящих к изменению геометрических и физических свойств пластика и микропластика в окружающей среде, кроме деградации.

Деградация бывает механической и химической. Также сильное влияние на свойства микропластика и изменение их вносит процесс биообрастания. В результате биообрастания образуются или видоизмененные “обросшие” частицы микропластика, или агрегаты, которые имеют характеристики, отличающиеся от характеристик исходных частиц микропластика. Процесс агрегации вносит значительный вклад в изменения

свойств пластика. Агрегация представляет собой формирование конгломерата из компонентов одинаковой или различной природы в ходе повторных столкновений и присоединения более мелких частиц.[1]

В таблице 1 представлены характеристики процессов, которые влияют на изменения свойств частиц пластика и микропластика в окружающей среде.

Таблица 1. Характеристики процессы, приводящие к изменению геометрических и физических свойств пластика и микропластика в окружающей среде

Процесс	Изменения в ходе процесса	Что определяет кинетику процесса?	Временные масштабы
Механическая деградация	Форма и размер объекта	Материал объекта, тип подстилающего грунта, энергетические условия в прибойной зоне	дни
Химическая деградация	Поверхностные характеристики. Предположительно, все основные физические и геометрические свойства объекта	Отношение площади поверхности к объёму частицы и материал исходного объекта , внешние условия среды	2-6 месяцев
Биообрастание	Интегральная плотность объекта	Отношение площади поверхности к объёму частицы и размер исходного объекта , внешние условия среды	3-10 недель
Агрегация с неорганической взвесью	Интегральная плотность объекта	Характер поверхности , размер и отношение площади поверхности к объёму частицы исходного объекта	Часы- дни
Включение в состав морского снега	Интегральная плотность объекта	Внешние условия среды, характер поверхности. Предположительно размер и отношение площади поверхности к объёму частицы ихнодного объекта	Часы- дни

## 1.2 Общая картина загрязнения Мирового океана пластиком

“Пластиковая эра” началась в середине 20-го века, к 1950 году производство пластика в мире составило примерно 2 млн. т. На сегодняшний день производство составляет примерно 360 млн. т. в год. С 1950 года по 2020 год произведено около 9 млрд.

т. пластика, по произведенным исследованиям только 9% из общего количества было переработано, 12%- сожжено, и остальные 79% находится на свалках и в природной среде.

Используя спутниковые данные, эксперименты, мониторинг было выявлено 5 основных мест скопления пластикового мусора в Мировом океане, эти 5 точек соответствуют центрам глобальных океанических круговоротов. На рисунке 4 представлены регионы скопления пластикового мусора в Мировом океане. Большие мусорные пятна расположены в северной части Тихого океана, в северной части Атлантического океана, в южной части Атлантики, в южной части Индийского и Тихого океана. Ученые предсказывают возникновение уже шестого мусорного пятна в Баренцевом море, пятно постепенно разрастается.



Рис.4 Регионы скопления плавающего мусора в Мировом океане[5]

Детальный анализ скопления морского пластикового мусора в Мировом океане показал, что примерно в океанических регионах Северного полушария, не включая Северный Ледовитый океан, содержит в себе 55,6% частиц и 56,8% общей массы пластиковых отходов, 37,9% частиц и 35,8% общей массы пластиковых отходов приходится на северную часть Тихого океана.

Натурные данные показывают, что самое обширное скопление океанического мусора приходится на северо-восточную часть Тихого океана, ее прозвали Большое Тихоокеанское мусорное пятно, площадь пятна примерно 1,6 млн. км<sup>2</sup>, пятно содержит от 45 до 129 тыс. т. пластика.

Результаты численного моделирования говорят о том, что на поверхности океана расположено только 1 % пластикового мусора.[1]

### 1.3 Потенциальные угрозы окружающей среде и человеку

Пластиковый мусор вызывает беспокойство со стороны потенциальной угрозы живым организмам, человеку, равновесию экосистем. Ряд проведенных анализов позволило выделить процессы, связанные в присутствии пластикового мусора в окружающей среде, которые влияют на живые организмы и несут угрозу. Разберем подробнее данные процессы.

В первую очередь – это поедание пластика и синтетических полимеров живыми организмами. Мелкие частицы пластика из-за низкой плотности удерживаются в толще воды, а живые организмы воспринимают их как пищу. Так как пластик не разлагается ферментативной системой живых организмов, то он остается в организмах и может привести к летальному исходу. К настоящему времени задокументировано, что морской мусор выявлен у 40% морских птиц, 100% морских черепах, 59% китов и 36% тюленей.

Проникновение микропластика в пищевые цепи и передача загрязнений и токсинов вверх по пищевой цепочке.

Адсорбция поверхностью пластика загрязняющих веществ из окружающей среды. Частицы пластика могут адсорбировать на своей поверхности загрязняющие вещества, это могут быть как и токсичные вещества, металлы, так и полициклические ароматические углеводороды. Старые пластики имеют высокий уровень углерода, это говорит о том, что пластиковые частицы продолжают процесс адсорбирования и накапливают загрязнители до тех пор, пока находятся в морской среде.

Угроза для человека состоит в том, что, во-первых, химические вещества, адсорбированные из морской среды поверхностью пластика, влияют и разрушают эндокринную систему человека. Вещества, как фталаты и бисфенол А, нарушают репродуктивную функцию.

Исследования по поводу того, как влияет на здоровье человека частицы пластика, продолжаются и этот вопрос крайне актуален. Тема до конца не изучена: много химических веществ адсорбируются на поверхности пластика, которые по-разному могут влиять на здоровье, находясь в разных концентрациях. Но одно ясно точно, пластик опасен для организмов и окружающей среды и нахождение его в организме может привести к летальному исходу. [1]



## 2 Современное состояние исследований Балтийского моря на пластиковый мусор

### 2.1 Микропластик в водной толще Балтийского моря

Балтийское море - полузамкнутое море, имеющее ограниченный водообмен с Атлантическим океаном через узкие Датские проливы, и из-за этого загрязнение в море задерживается надолго, накапливая опасные вещества в высоких концентрациях.

В Балтийском море вертикальная термохалинная структура играет главную роль в распределении органических и неорганических твёрдых веществ. Микропластик представляет из себя твердые частички с определенными физическими чертами, микропластики могут быть распределены как в толще вод, так и в подповерхностном слое, в том числе под действием ветра.

Был проведен ряд исследовательских работ на содержание микропластика по районам в Балтийском море. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2. Содержание микропластика в водной толще по районам Балтийского моря

Район исследования	Метод исследования	Результаты исследования
Финский залив	1. погружение насоса с размером ячеек (100 мкм); 2. метод манта-трала в поверхностном слое	1. 0-6,8 шт./м <sup>3</sup> для МП; 2. 0-0,8шт./м <sup>3</sup>
Шельф восточного побережья Швеции	вертикальные буксируемые сети WP2 с размером ячеек сетки 90 мкм	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup> шт./м <sup>3</sup> для МП
Стокгольмский архипелаг	метод манта-трала в поверхностном слое	0,19-7,73 шт./м <sup>3</sup> для МП
Архипелаг Южный Фюн	метод манта-трала в поверхностном слое	0,07+0,02 шт./м <sup>3</sup> для МП
Побережье Швеции от Каттегата до Ботнического залива (21 точка)	погружение насоса с размером ячеек (10 и 300 мкм)	При фильтрации на фильтрах 300 мкм МП в Каттегате 1,08+0,22 шт./м <sup>3</sup> ; в проливе Эресунн 4 шт./м <sup>3</sup> ; Балтийское море 0,56-0,40 шт./м <sup>3</sup> . При фильтрации на фильтре 10 мкм в среднем составили 32 шт./л
Гавань Гетеборга	Отбор сеткой с ячейкой 330 мкм	0,9-2,9 шт./м <sup>3</sup>
Гданьский бассейн	С помощью прибора PLEX, через фильтры с ячейкой 174 мкм	32,2+ 50,4 шт./м <sup>3</sup>

Концентрации частиц микропластика в различных средах (на пляжах, донных отложениях и водной толще) показывают, что микропластик присутствует абсолютно во всех районах побережья и мористой части Балтийского моря.

В водном столбе отмечены наиболее часто встречающиеся частицы микропластика из PET/PES (полиэтилентерефталат/полиэстер), PA (полиамид), полимеры с красителями и частицы краски, PE (полиэтилен), PP (полипропилен), PVME (метилвиниловый эфир), CE/CA (целлюлоза и ацетат целлюлозы), PS

(полистирол), PF (фенольная смола), а также частицы из CARBON (углепластиковые волокна), PVC (поливинилхлорид), PTR (политерпеновая смола), PVDF (поливинилиденфторид), PMMA (полиметилметакрилат/эпоксидная смола).

В Балтийском море было проведено исследование с отбором 95 проб воды в районе Борнхольмской, Гданьской и восточной части Готланского бассейнов. Отбор проб происходил на горизонтах от 0 до 217,5 м в прибрежной и открытой частях бассейнов. Для отбора проб использовались батометры Нискина объемом 10 и 30 л.

Результаты исследования были следующие: средняя концентрация антропогенных частиц всех типов  $0,40 \pm 0,58$  шт./л., но в отдельных экспедициях в рамках исследования средние значения были от 0,1 до 0,9 шт./л. Распределение средних значений концентраций не зависит от местоположения и сезонности. Средние концентрации различных типов микропластика по районам исследования приведены в таблице 3.[6]

Таблица 3. Средние концентрации частиц различных типов в разных частях Балтийского моря

Район	Дата	Слой	Волокна, шт./л	Фрагменты, шт./л	Хлопья краски, шт./л	Все формы, шт./л
Прибрежные воды у пос. Янтарного	30.10.2015-03.11.2015	Придонный	0,6977	0,0089	0,0514	$0,7581 \pm 0,8545$
Гданьский бассейн	30.03.2016-2.04.2016	Подповерхностный, промежуточный, придонный	0,0192	0,0192	0,0538	$0,0923 \pm 0,1230$
Гданьский бассейн	12-14.06.2016		0,1442	0,0028	0,0421	$0,1891 \pm 0,1624$
Борнхольмский и Гданьский бассейны	01-19.08.2016	Подповерхностный, придонный	0,7867	0,0267	0,12	$0,9333 \pm 0,8440$
Восточная часть Готландского бассейна	01-16.09.2016	Подповерхностный, придонный	0,2889	0,0278	0,1278	$0,4444 \pm 0,5760$

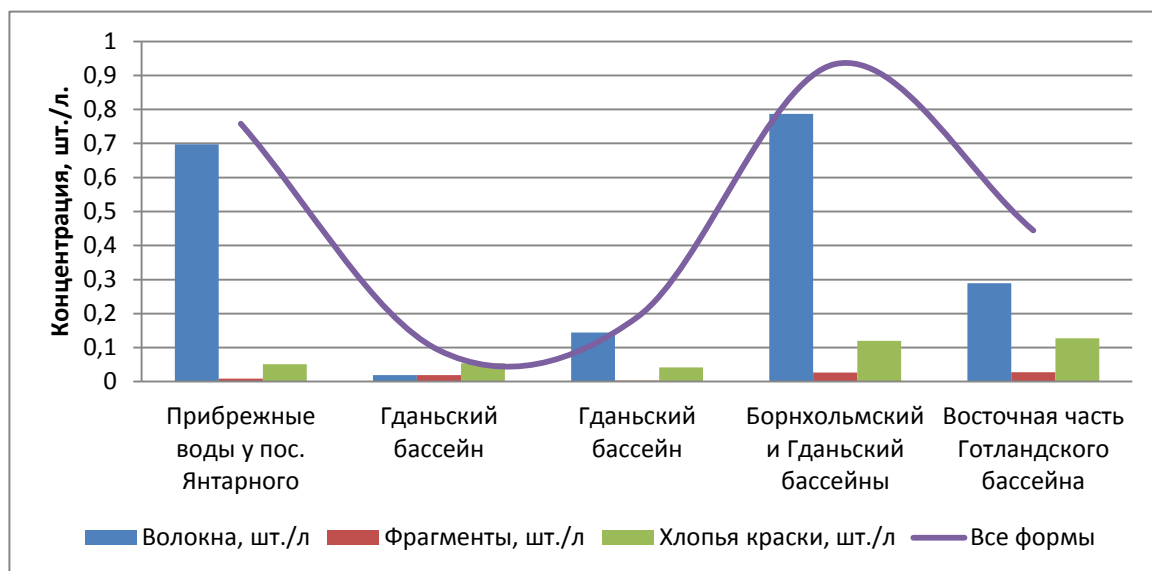


Рис.5. Средние концентрации волокон, фрагментов и хлопьев краски и их среднее содержание в различных частях Балтийского моря в рамках исследования

По рисунку 5 и таблице 3 можно сделать вывод, что из всех типов частиц преобладают волокна на всех глубинах и во всех частях районов исследования. Средняя концентрация волокон составляет 0,31 шт./л. и наибольшее содержание приходится на Борнхольмском бассейне в его придонных слоях прибрежной зоны. На втором месте по концентрации находится хлопья краски, их среднее значение составляет 0,08 шт./л. Результаты по распределению микропластика и волокон указывают на их высокие концентрации в приповерхностном и придонном слоях, а в промежуточных слоях концентрации в 3-6 раз ниже. [7]

## 2.2 Микропластик в донных осадках Балтийского моря

Частички пластика различных видов полимеров могут быть тяжелее воды и идти ко дну, либо легче воды и плавать на её поверхности, но почти все из них в итоге биообращения, дегенерации и "заселения" микробами, либо налипания более плотных частиц получают отрицательную плавучесть и опускаются на морское дно. В результате дно преобразуется в конечное "хранилище" микропластика. По проведенным исследованиям, донные осадки становятся главным накопителем волокон микропластика.

Из-за того, что в Балтийском море нет постоянных течений и приливов, то на дне образуются свалки морского мусора и микропластика. По итогам многих исследовательских работ, волокна - часто встречающаяся форма микропластика в Балтийском море. [1]

Исследования содержания микропластика в донных отложениях проводились в разных частях Балтийского моря. Разберем среднее содержание частиц в разных частях моря.

Работы по определению концентрации микропластика в донных отложениях в акватории Невской губы Финского залива в 2020 году дали определенные результаты. Точки сбора проб отображены на рисунке 6.

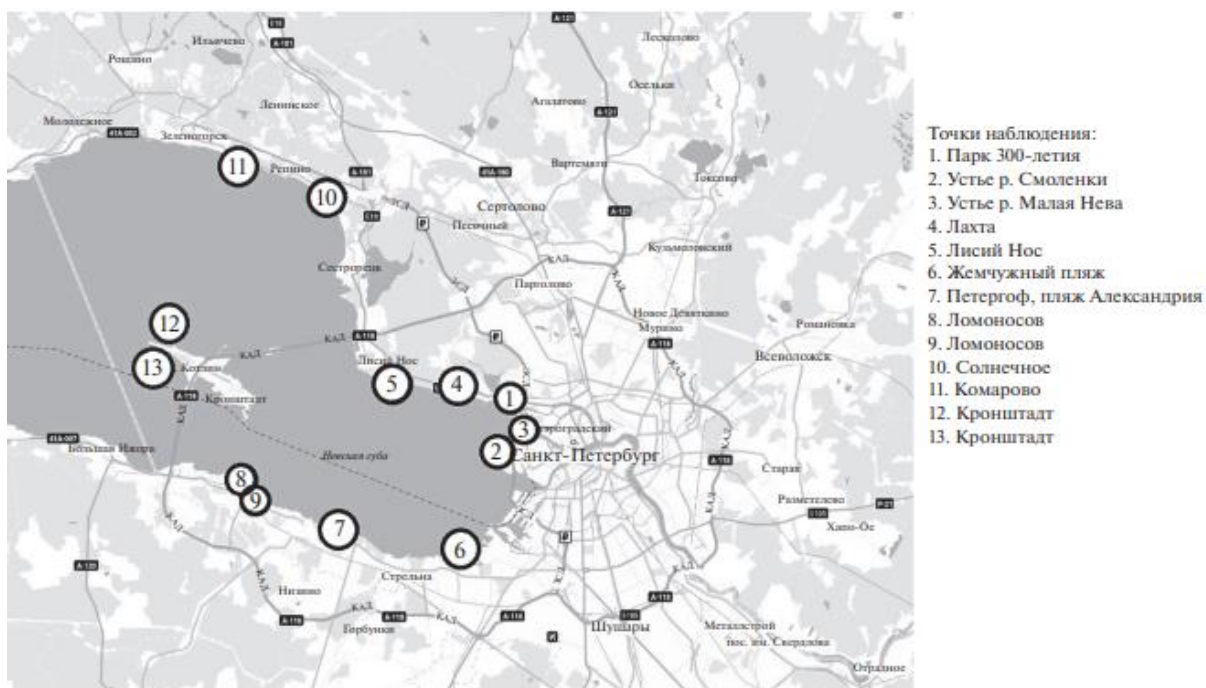


Рис. 6. Картограмма территории отбора проб на побережье восточной части Финского залива. Кружки с числами – точки отбора проб.

Анализ результатов показал, что донные отложения являются депонирующей средой, в которой происходит осаждение и накопление частиц микропластика. Во многом причиной является нарастание биопленки (микроорганизмов, детрита, гумусовых веществ). Концентрация микропластика в донных отложениях – наиболее стабильный показатель, чем концентрация в поверхностном слое воды и водной толще, и отражает долгосрочные процессы загрязнения.[1]

В таблице 4 приведены результаты отбора проб с 1 по 10 точки на концентрации частиц микропластика в донных осадках.

Таблица 4. Концентрации микропластика в донных осадках Невской губы Финского залива

Точка отбора проб	Концентрация частиц на 1 кг
Парк 300-летия, точка 1	120
Устье р. Смоленки, точка 2	60
устье р. Малой Невы, точка 3	30
Лахта, точка 4	165
Лисий Нос, точка 5	38
Жемчужный пляж, точка 6	78
Петергоф, точка 7	75
Ломоносов. точка 8	40
Ломоносов. точка 9	45
Солнечное, точка 10	58

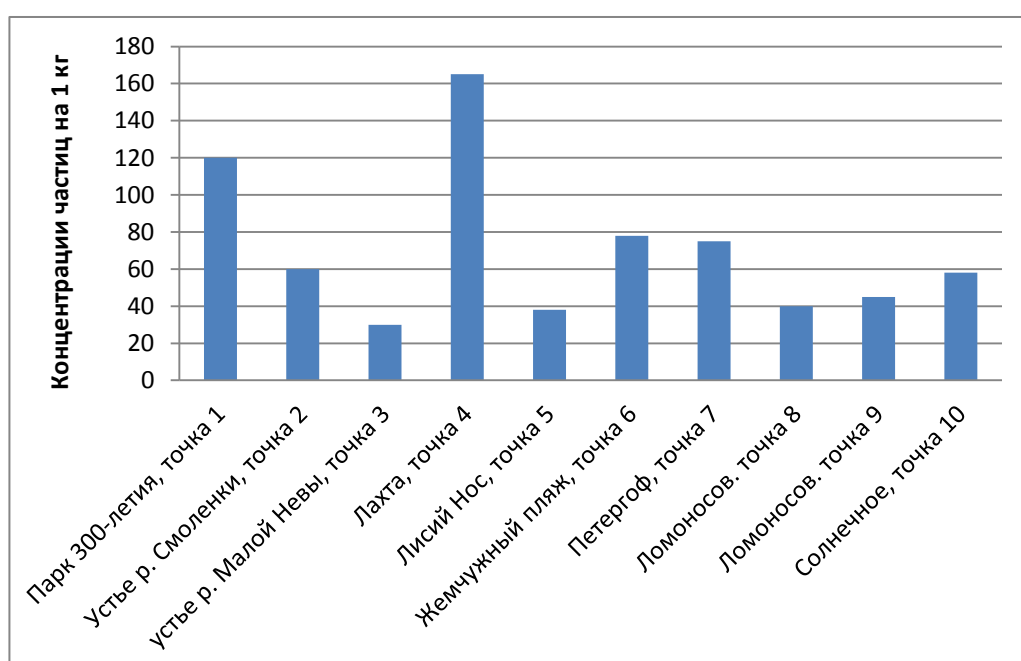


Рис.7. Распределение микропластика в донных отложениях по результатам исследования проб Невской губы Финского залива (частицы/килограмм)

По рисунку 7 видно, что наибольшая концентрация микропластика в донных отложениях расположена в районе Лахты и парка 300-летия. Высокая концентрация микропластика объясняется расположенной рядом рекреационной зоны, где идет активный выброс отдыхающими в залив антропогенного мусора. Концентрация микропластика уменьшается с востока на запад вдоль южного побережья Невской губы, вследствие отдаления от локальных источников загрязнения. В районе пос. Солнечного идет увеличение содержания микропластика, по сравнению с районом Лисьего носа,

вследствие поступления частиц пластика со стоком р. Сестры и его осаждением рядом с устьем. Можно сделать вывод, что основным источником загрязнения вод и дна Невской губы является г. Санкт-Петербург и р. Нева.[8]

В 2015-2016 году проводились исследования района российского сектора юго-восточной части Балтийского моря на пластик. Станции отбора проб донных осадков находились в точках с глубинами 3-33 м над подводным склоном. На рисунке 8 отображена карта района, где отбирались пробы для проведения исследования.

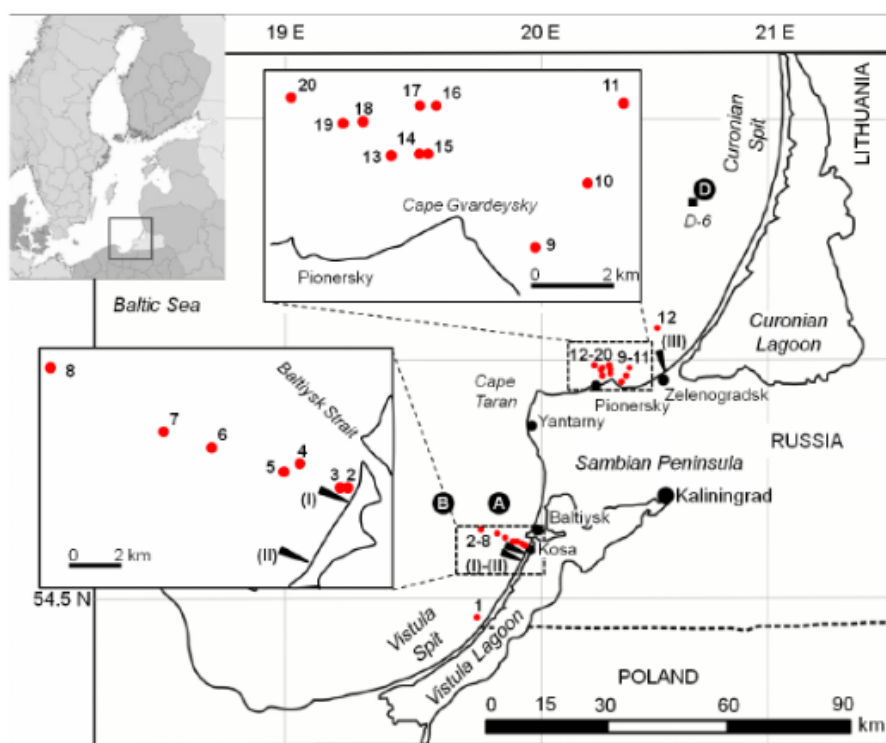


Рис. 8. Район юго-восточной части Балтийского моря с указанием места отбора проб: красные круглые маркеры - станции отбора проб донных отложений (с увеличенным масштабом выноса), черные треугольные маркеры – точки отбора проб с пляжей

Использовались в работе пробоотборники: донная дрга с размером горловины 200 × 100 мм и ковш Ван Вина с площадью захвата 0.1м<sup>2</sup>.

Результаты исследования показали, что все пробы имели микрочастицы антропогенного мусора. Формы частиц микропластика являлись фрагментами, пленками, хлопьями и волокнами.

В донных образцах на станциях 1-20 среднее значение содержания микропластика для всех проб –  $416 \pm 361$  шт./кг сух. обр.

По общим результатам наибольшее содержание микропластика находилось в донных отложениях.

Максимальное содержание микропластика наблюдается в размерном диапазоне 0.5-1.5 мм – 52.3%, <2.0 мм – 81% для пленок/фрагментов, а также для всех форм микропластика в диапазоне 0.5-1.5 мм – 40.7%, в диапазоне 0.5-2.5 мм – 67.3%, <3.0 мм – 83.4%. [6]

Проводились исследования содержания микропластика в донных осадках в районе Хельсинки, рядом с точками сброса сточных вод. Результаты показали, что присутствуют волокна  $1,7 \pm 1,3$  шт./кг сух. веса. В Гданьском заливе и Борнхольмском бассейне общее содержание микропластика составило  $547,9 \pm 400,5$  шт./кг сух. веса.

Концентрация микропластика в донных отложениях собственно в Балтийском море составила  $876 \pm 1427$  шт./кг сух. веса. [1]

### 2.3 Микропластик на пляжах Балтийского моря

Берега Балтийского моря разнообразны в строении, и от строения зависит содержания морского мусора на пляжах. Юго-восточные и южные берега моря схожи по строению: они низкие, песчаные и относятся к лагунному типу. Вдоль берегов протянуты дюны, покрытые лесами. Другая ситуация обстоит на севере и северо-западе. Здесь берега высокие, скалистые. Южные берега, в отличие от северных, подвержены волновой деятельностью и поднятием уровня моря, что ведет к затоплению береговых линий и выбрасыванию морского мусора на берег, поэтому большее количество исследований на наличие пластикового мусора на пляжах производилось в районе юго-восточной и южной части Балтийского моря. [9]

Загрязнение микромусором и мезомусором является серьезной проблемой пляжей Балтийского моря. Разработаны методы мониторинга для оценки масштабов загрязнения антропогенным мусором. Для мониторинга применяются визуальные методы: метод OSPAR (100 м), метод Rake (метод граблей), Frame (метод рамок).



В 2019 году проводилось исследование пляжей Калининградской области по методу OSPAR. На рисунке представлена карта отбора проб в ходе проведения мониторинга.



Рис. 9. Карта с точками отбора проб в ходе проведения мониторинга в 2019 году: 1- Балтийская коса; 2-г. Балтийский; 3-пос. Янтарный; 4-г. Пионерский; 5-г.Зеленоградск;6- Куршская коза, дюна Эфа

По результатам мониторинга составлены графики распределения морского мусора по образцам и балансу, результаты приведены на рисунках 10 и 11 .

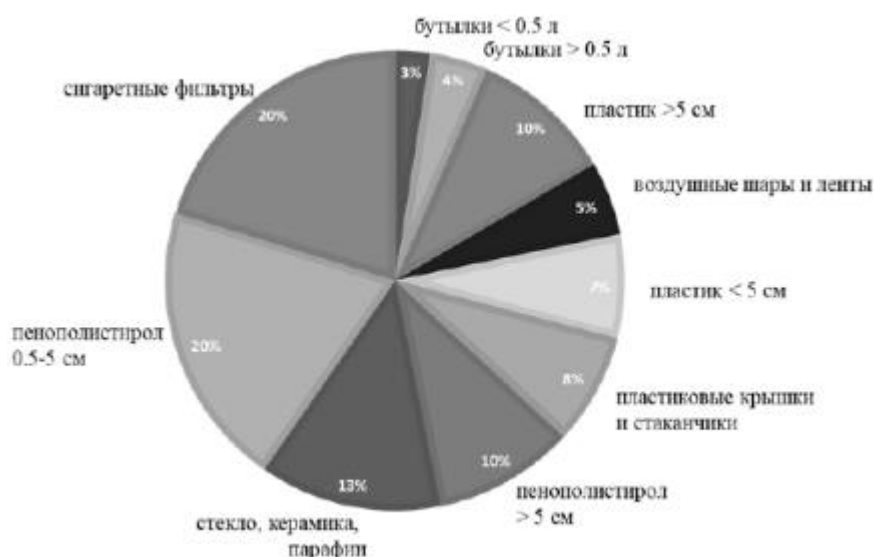


Рис.10. Распределение морского мусора по образцам на побережье Калининградской области, %

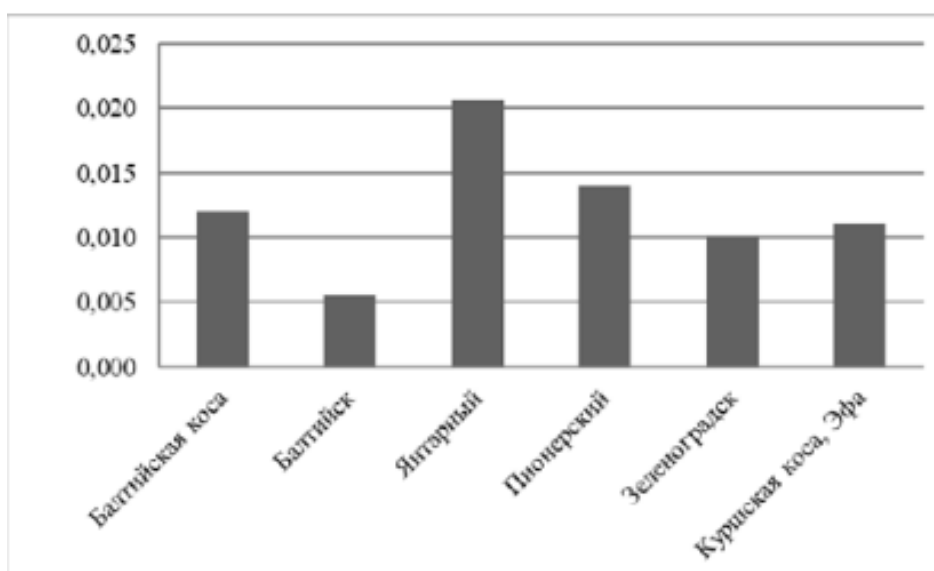


Рис. 11. Распределение пластикового мусора по местам отбора проб на пляжах Калининградской области, шт./м<sup>2</sup>

Как видно по рисунку 11 наибольшее содержание пластикового мусора обнаружено в пос. Янтарный (0,021 шт./м<sup>2</sup>), данный показатель обусловлен тем, что пляж пос. Янтарный является самым посещаемым в регионе. [10]

Обращаясь к ранее упомянутому исследованию юго-восточного района Балтийского моря в 2015-2016 году и рисунку 8, на котором указаны места отбора проб с пляжей, получены результаты. Из полученных 52 проб песка пляжей из 3 точек (I-III) продемонстрировал, что сосредоточения микропластика в некоторых образцах песка из различных районов пляжа варьируются от 2 до 572 единиц на килограмм сухого эталона, и среднее значение для всех проб  $108 \pm 138$  шт./кг сух. обр. Максимальное количество микропластика наблюдается в размерном диапазоне 0.5-1.5 мм – 73.1%, в диапазоне <1.5 мм 83.3% для пленок/фрагментов; а для всех форм МП в диапазоне 0.5-2.0 мм – 50%, а в диапазоне 0.5-3.0 – 76%. [6]

По критериям OSPAR проводились исследования на пляжах Литвы и Германии в 2010 году. По результатам исследования среднее количество морского мусора на пляжах Литвы варьируется в диапазоне от 138 до 340 шт./100 м, в среднем это 222 шт./100 м. Пластик составляет в среднем 72,9% от всего морского мусора. На пляжах Германии исследования проводились с помощью метода Frame и результаты показали, что на 7 пляжах Германии, общей площадью 177 м<sup>2</sup>, общее содержание микромусора составило 0,1 шт./м<sup>2</sup> (8%), мезомусора 1,0 шт./м<sup>2</sup> (56%) и морского макромура 0,7 шт./м<sup>2</sup> (36%). [1]

Таким образом, можно сказать, что пластик распространен по всему побережью Балтийского моря. Основное влияние несет поднятие уровня моря, течения и ветровые нагрузки. Преобладающим типом микропластика является вспененный пластик (XPS/EPS).

Приведенные в главе результаты разных исследований на наличие пластикового мусора в водной толще, донных осадках и пляжах иной раз доказывают актуальность проблемы загрязнения вод и береговых линий Балтийского моря.

### 3 Статистическое исследование уровня воды над нулем поста и содержания микро-мусора на пляжах на основе полученных данных

Уровень воды в море влияет на количество мусора на пляжах, поэтому статистика уровня воды над нулем поста имеет важное значение. Чем больше повышение уровня воды, тем больше количество морского мусора на пляжах.

Исходные данные для работы - временной ряд годового изменения уровня воды над нулем поста в р. Нева по гидропосту Горного института за период с 2018-2020 гг. с дискретностью 1 сутки и дискретностью 1 год, содержание микро-мусора на пляжах восточной части Финского залива за период 2018-2020 гг.

#### 3.1 Методология статистической обработки данных

Описание методов при помощи статистических методов дает возможность представления об исследованиях. Это основа для дальнейшего анализа изменчивости содержания микро-мусора на пляжах. В процессе работы по данной теме будут использованы следующие методы:

- Расчет первичной статистики уровня воды;
- Расчет эмпирических гистограмм;
- Расчет тренда для уровня воды над нулем поста;
- Анализ малых выборок.

##### 3.1.1 Первичная статистика

Первичная или элементарная статистика нужна для того, чтобы можно было составить общее представление об исследуемом процессе. Для данной работы понадобилось использование следующих статистических характеристик:

- Среднее значение

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

где: n - длина статистического ряда.

- Амплитуда колебаний

$$A = X_{\max} - X_{\min}$$

- Дисперсия

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

- Среднеквадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{D}$$

- Коэффициент эксцесса

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 - 3}{n\sigma^4}$$

Данные первичной статистики представлены в виде таблицы. [11]

### 3.1.2 Тренд

С помощью анализа тренда временного ряда можно спрогнозировать наличие во временной изменчивости колебаний с периодом, существенно превышающим длину выборки.

Тренд бывает линейным:

$$y = a_1 + a_0 + \varepsilon$$

А также нелинейным:

$$y = a_2 r^2 + a_1 t + a_0 + \varepsilon$$

После расчета и получения результатов нужно проанализировать их, привести сравнения трендов и оценить их значимость, а также оценить вклад в дисперсию. [11]

### 3.1.3 Эмпирическая функция распределения. Эмпирические гистограммы

С помощью эмпирических гистограмм определяется характеристика интенсивности процесса или явления, а также повторяемость его характерных или

экстремальных значений. В первом приближении при выявлении вероятности перехода от одного состояния к другому осуществимо определение возможных тенденций протекания.

Гистограмма строится при использовании следующих соотношений:

количество интервалов:

$$k_{max} = 5 \lg n$$

размер интервала:

$$\Delta X_k = \frac{X_{max} - X_{min}}{k_{max}}$$

Впоследствии производится подсчет количества значений в каждом определенном интервале и производится анализ результатов. [14]

### 3.1.4 Анализ малых выборок

Если длина статистического ряда меньше 25-30 значений, то считается, что это малая выборка. Для данных рядов статистические оценки являются неэффективными. Для малых выборок используются непараметрические методы оценивания.

Нельзя рассчитать ЭФР на основе интервалов, так как интервалы стремятся к нулю, поэтому для оценивания ЭФР используется квантильный анализ. Чтобы рассчитать квантили нужно произвести ранжирование ряда по возрастанию и каждому значению ряда поставить в соответствие значение его интегральной вероятности:

$$p_i = i/N$$

Также используется для оценки тесноты связи ранговые коэффициенты Спирмена и Кендалла.

Ранговый коэффициент корреляции Спирмена:

$$\rho_{x/y} = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{N(N^2 - 1)}$$

Значимость коэффициентов корреляции Спирмена проверяется на основе t-критерия Стьюдента. Т-критерий Стьюдента рассчитывается по формуле:

$$t^* = \rho_{x/y} \sqrt{\frac{N-2}{1-\rho_{x/y}^2}}$$

Значение коэффициента корреляции считается значимым, если  $t^* > t_{кр}(\alpha; v=N-2)$ .

Расчет коэффициента корреляции Спирмена производится в работе с помощью таблицы. [11]

## 3.2 Анализ результатов уровня воды над нулем поста

### 3.2.1 Первичная статистика и эмпирическая функция распределения

Рассчитан ряд уровня воды над нулем поста. Рассчитана описательная статистика с помощью "Пакета анализа" в Excel: среднее арифметическое, дисперсия, стандартное отклонение, коэффициент вариации, минимум, максимум, размах вариации, асимметрия и эксцесс. Результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5. Ежесуточные описательные статистики

Первичная статистика	
ср арифметическое, см	26,36
дисперсия, см <sup>2</sup>	852,36
среднее квадр.отклонение, см	22,54
коэффициент вариации, %	32,33
минимум, см	-55,00
максимум, см	141,00
размах вариации, см	196,00
асимметрия	0,67
эксцесс	0,87

На данных из таблицы 5 построен график, нанесены среднее значение уровня воды над нулем поста, положительное и отрицательное стандартное отклонение, размах вариации.

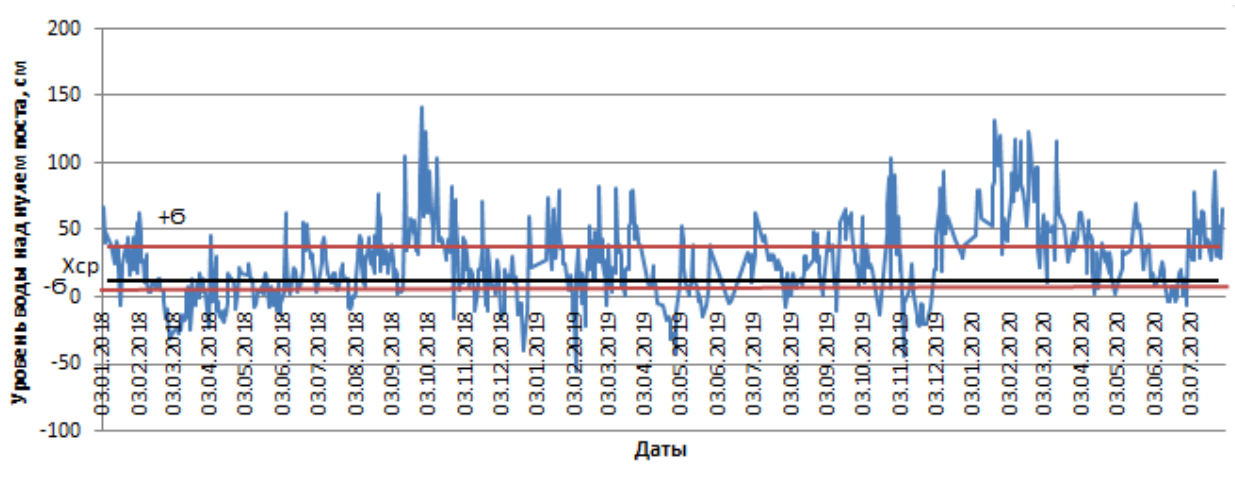


Рис. 12. Среднесуточная изменчивость уровня воды над нулем поста, среднее значение и положительное и отрицательное стандартное отклонение

Минимальный уровень воды был в 03.02.2019 году и составил -55 см. над нулем поста, максимальный уровень воды был в 27.08.2018 году и составил 141 см. над нулем поста.

Расчет эмпирической функции распределения ежесуточных значений уровня воды над нулем поста за период 2018-2020 гг. Данные расчетов представлены в таблице 6.

Таблица 6. Расчет эмпирической функции

середина	границы интервалов год от	до	Частота	накопленная частота	вероятность	интегральная вероятность
-47,46	-55,00	-39,92	4	4	0,005	0,01
-32,38	-39,92	-24,85	12	16	0,016	0,02
-17,31	-24,85	-9,77	49	65	0,066	0,09
-2,23	-9,77	5,31	102	167	0,138	0,23
12,85	5,31	20,38	170	337	0,230	0,46
27,92	20,38	35,46	160	497	0,217	0,67
43,00	35,46	50,54	109	606	0,147	0,82
58,08	50,54	65,62	65	671	0,088	0,91
73,15	65,62	80,69	29	700	0,039	0,95
88,23	80,69	95,77	21	721	0,028	0,98
103,31	95,77	110,85	8	729	0,011	0,99
118,38	110,85	125,92	8	737	0,011	0,997
133,46	125,92	141,00	2	739	0,003	1

На данных таблицы 6 построен график распределения ЭФР ежесуточных значений уровня воды над нулем поста.



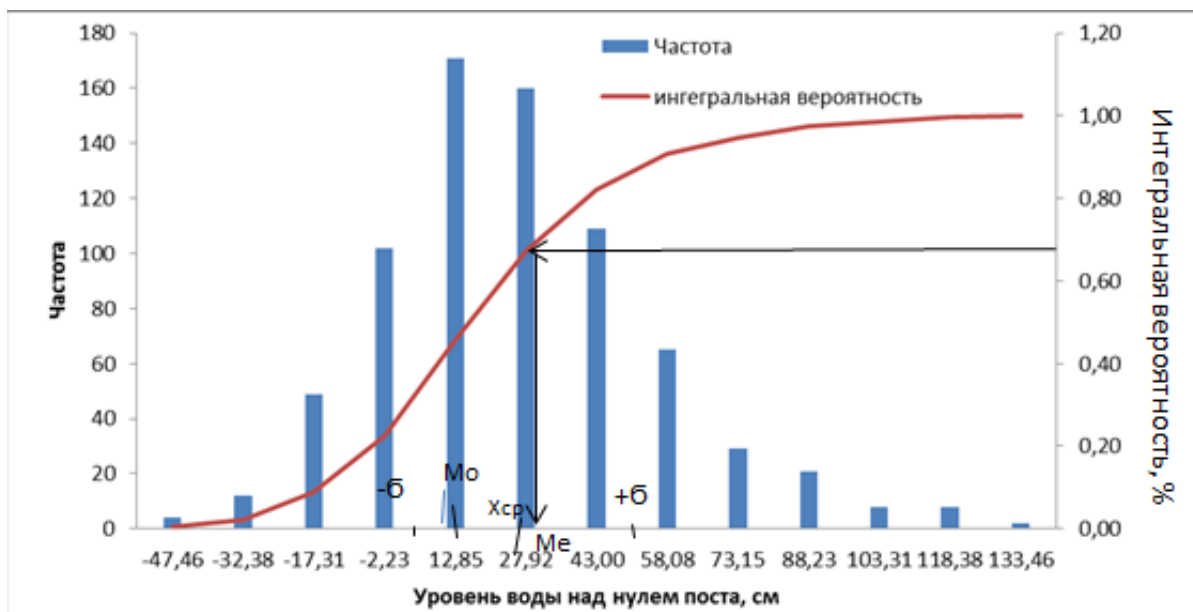


Рис. 13 Распределение ЭФР ежесуточных значений уровня воды над нулем поста

Проанализировав первичную статистику из таблицы 5 можно сказать, что асимметрия  $As=0,67$ , что больше нуля и  $As>0,25$ , значит, выбросы есть, почти соответствует нормальному закону. ЭФР обладает положительным “хвостом”.

Экссесс:  $Ex=0,87 > 0$ , величина положительная, поэтому ЭФР является островершинной в сравнении с нормальным распределением, поскольку не равняется нулю, стремится к случайному распределению.

ЭФР не соответствует нормальному закону.

По рисунку 13 можно сказать, что у нас одномодальное распределение (12,85 см.). Мода показывает наиболее встречающееся значение уровня воды над нулем поста за данный промежуток времени. Медиана составляет 27,92 см., что больше среднего значения. Относительно среднего уровня воды распределение симметрично, поэтому ЭФР ежесуточных значений уровня воды почти совпадает с нормальным законом.

Для проверки соответствия ЭФР нормальному закону была составлена таблица интервалов и статистический критерий хи-квадрат. Данные расчетов представлены в таблице 7.

Таблица 7. Проверка ЭФР ежесуточных значений уровня воды над нулем поста на нормальный закон

середина	границы интервалов год от	до	Частота	накопленная частота	вероятность	интегральная вероятность	f	nk*	nk	X
-47,46	-55,00	-39,92	4	4	0,005	0,01	8,3E-05	0,92	1	9
-32,38	-39,92	-24,85	12	16	0,016	0,02	5,9E-04	6,60	7	3,571429
-17,31	-24,85	-9,77	49	65	0,066	0,09	2,7E-03	30,17	30	12,03333
-2,23	-9,77	5,31	102	167	0,138	0,23	7,9E-03	88,19	88	2,227273
12,85	5,31	20,38	170	337	0,230	0,46	1,5E-02	164,76	165	0,151515
27,92	20,38	35,46	160	497	0,217	0,67	1,8E-02	196,76	197	6,949239
43,00	35,46	50,54	109	606	0,147	0,82	1,3E-02	150,19	150	11,20667
58,08	50,54	65,62	65	671	0,088	0,91	6,6E-03	73,28	73	0,876712
73,15	65,62	80,69	29	700	0,039	0,95	2,1E-03	22,85	23	1,565217
88,23	80,69	95,77	21	721	0,028	0,98	4,1E-04	4,56	5	51,2
103,31	95,77	110,85	8	729	0,011	0,99	5,2E-05	0,58	1	49
118,38	110,85	125,92	8	737	0,011	0,997	4,2E-06	0,05	0	0
133,46	125,92	141,00	2	739	0,003	1	2,2E-07	0,00	0	0
								$\chi^2$		147,78
								$\chi_{кр}^2(5;0,05)$		18,31

На данных таблицы 7 был построен график.

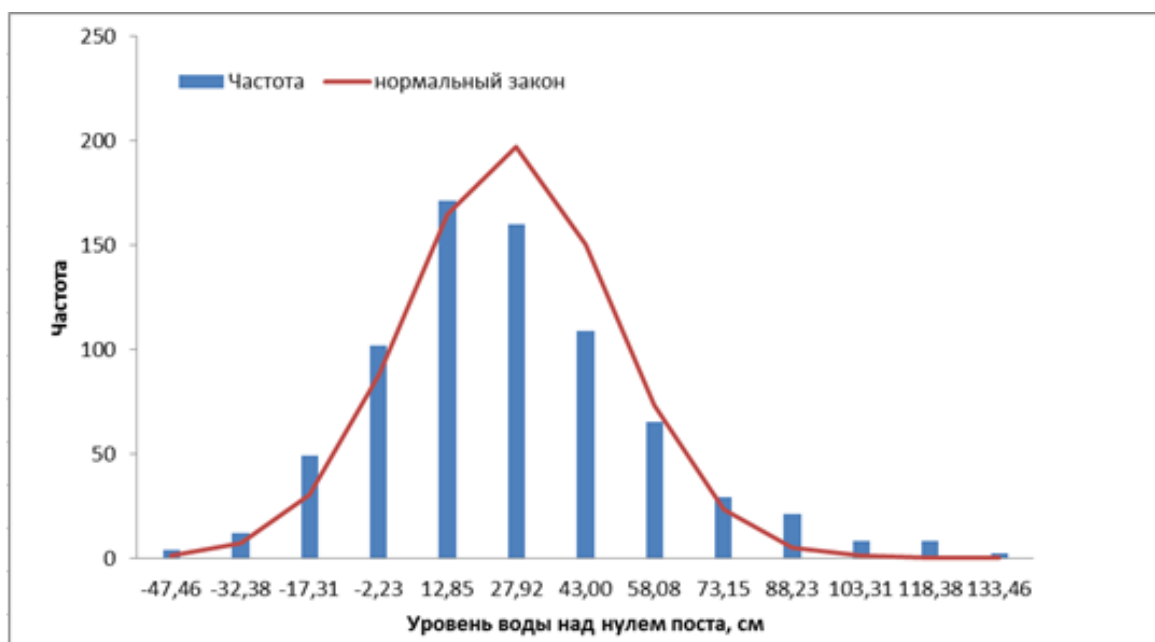


Рис. 14. Эмпирическая функция и соответствующий ей нормальный закон распределения ежесуточных значений уровня воды над нулем поста

Проверим условие  $\chi^2 > \chi_{кр}^2$ . По данным таблицы 7  $\chi^2 (147,78) > \chi_{кр}^2 (18,31)$ . Можно сделать вывод, что различия между ЭФР и нормальным законом статистически значимы и ЭФР не соответствует нормальному закону.

Среди факторов, влияющих на характеристику, есть один или несколько преобладающих.

### 3.2.2 Анализ тренда временного ряда

Был сформирован дополнительный ряд  $t_i$ . Рассчитана полная модель линейной регрессии зависимости уровня воды над нулем поста от  $t_i$  и все её параметры. Для расчета использовался пакет “анализ данных” в Excel. Получившиеся регрессионная статистика приведена в таблице 8.

Таблица 8. Коэффициенты ежесуточной регрессионной модели для значений уровня воды над нулем поста от  $t_i$

Вывод итогов								
Регрессионная статистика								
Множественный R		0,30						
R-квадрат		0,093						
Нормированный R-квадрат		0,091						
Стандартная ошибка		27,83						
Наблюдения		739						
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	1	58209,52	58209,52	75,15	0,00			
Остаток	737	570829,29	774,53					
Итого	738	629038,81						
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	10,97	2,05	5,35	0,00	6,95	14,99	6,95	14,99
Переменная X 1	0,04	0,00	8,67	0,00	0,03	0,05	0,03	0,05

Необходимо выполнить проверку коэффициентов регрессии на значимость. В модели линейной регрессии рассчитан критерий Стьюдента (таблица 8).  $t^*(a1) = 8,67$ , а критическое значение  $t_{кр} = 1,96$ . Следовательно,  $t^*(a1) > t_{кр}$ , нулевая гипотеза отвергается. Соответственно, коэффициент регрессии значим, линейный тренд есть. Тренд неслучайным образом отличается от нуля и вносит определенный вклад в формирование изменчивости исходного ряда. Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,093$  характеризует значительный вклад тренда в общую дисперсию.

Величина линейного тренда  $T_t = 0,4$  см./10 лет. Тренд несет положительный характер, т.е. происходит увеличение уровня воды над нулем поста. Уравнение тренда: уровень воды над нулем поста =  $0,04 * t_1 + 10,97 \pm \varepsilon$ .

Построен график временного хода исходного ряда, на него нанесены рассчитанные значения, линейный тренд и коэффициент детерминации.

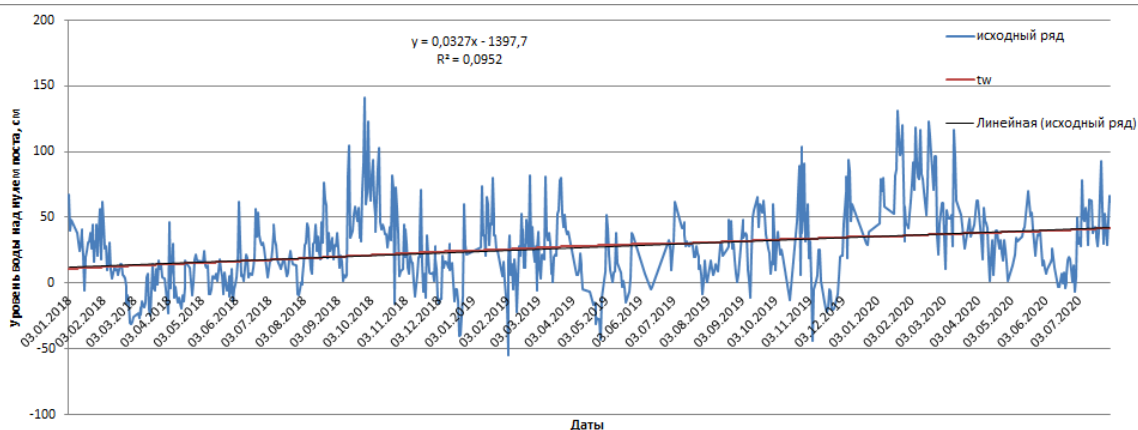


Рис. 15. Межсуточная изменчивость уровня воды над нулем поста с периодом с 2018 по 2020 гг.

### 3.3 Анализ взаимосвязи уровня воды над нулем поста с уровнем загрязнения пляжей микро-мусором

Для анализа взаимосвязи уровня воды над нулем поста с уровнем загрязнения пляжей микро-мусора используется анализ малых выборок. В Excel рассчитаны квартили распределения для всех заданных рядов. Расчеты представлены в таблице 9.

Таблица 9. Квартили распределения для рядов уровня воды над нулем поста и содержания микро-мусора на пляжах

	уровня воды над нулем поста	пос. Солнечное	гор. Зеленогорск	пос. Большая Ижора	пос. Лебяжье	Кронштадт северный	Кронштадт южный
min	28,00	1,70	0,50	0,70	1,30	0,18	0,67
1 квартиль	33,00	2,70	0,80	0,75	1,40	4,39	2,54
max	56,00	4,10	4,50	2,80	2,10	9,20	7,80

По данным таблицы 8 построено корреляционное поле.

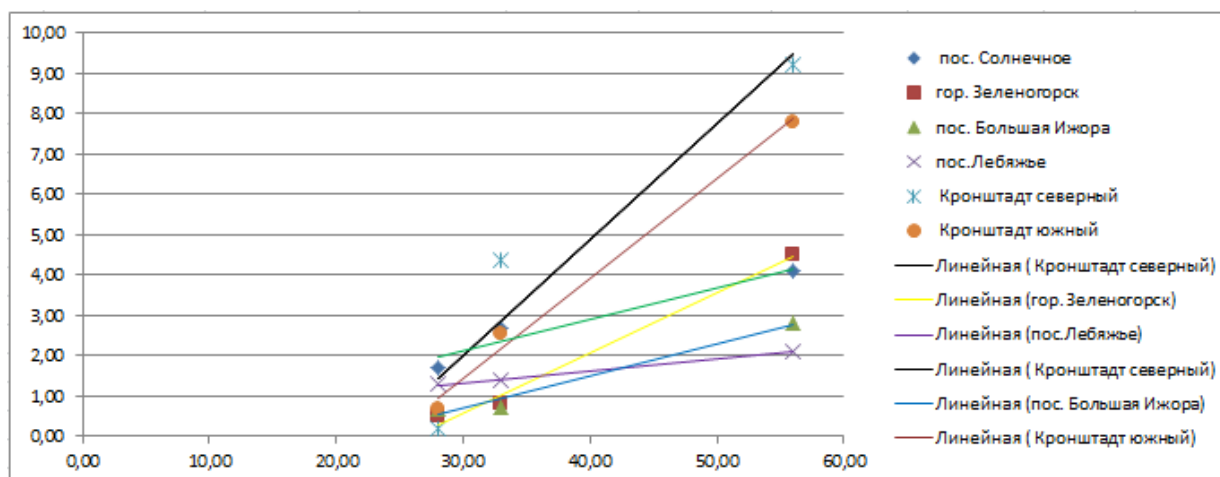


Рис. 16. График связи уровня воды над нулем поста и содержанием микро-мусора на пляжах за период с 2018-2020 гг.

По графику 16 видно, что с увеличением уровня воды количество микро-мусора увеличивается, особенно это заметно в южном и северном Кронштадте.

Для расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена между рядом уровня воды и концентрацией микро-мусора на пляжах были сделаны предварительные расчеты, которые представлены в таблице 10.

Таблица 10. Предварительные расчеты для нахождения коэффициента ранговой корреляции Спирмена между рядами уровня воды над нулем поста и концентрацией микро-мусора на пляжах

ранги уровня воды над нулем поста	ранги пос. Солнечное	ранги гор. Зеленогорск	ранги пос. Большая Ижора	ранги пос. Лебяжье	ранги Кронштадт северный	ранги Кронштадт южный	разн ран d <sub>i</sub> пос. Солнечное	d <sub>i</sub> <sup>2</sup> пос. Солнечное	разн ран d <sub>i</sub> гор. Зеленогорск	d <sub>i</sub> <sup>2</sup> гор. Зеленогорск	разн ран d <sub>i</sub> пос. Большая Ижора	d <sub>i</sub> <sup>2</sup> Большая Ижора	разн ран d <sub>i</sub> пос. Лебяжье	d <sub>i</sub> <sup>2</sup> пос. Лебяжье	разн ран d <sub>i</sub> Кронштадт северный	d <sub>i</sub> <sup>2</sup> Кронштадт северный	разн ран d <sub>i</sub> Кронштадт южный	d <sub>i</sub> <sup>2</sup> Кронштадт южный
3	1	2	1	2	1	1	2	4	1	1	2	4	1	1	2	4	2	4
1	3	3	2	1	2	2	-2	4	-2	4	-1	1	0	0	-1	1	-1	1
2	2	1	3	3	3	3	0	0	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1

Таблица 11. Коэффициенты ранговой корреляции между рядами уровня воды над нулем поста и концентрацией микро-мусора на пляжах

пос. Солнечное	гор. Зеленогорск	пос. Большая Ижора	пос. Лебяжье	Кронштадт северный	Кронштадт южный
рх/у	рх/у	рх/у	рх/у	рх/у	рх/у
-1,00	-0,50	-0,50	0,50	-0,50	-0,50
t*	t*	t*	t*	t*	t*
-	-0,58	-0,58	0,58	-0,58	-0,58

Также рассчитан t критический:  $t_{кр} = 12,71$ .

Как видно по таблице 11 в пос. Солнечное после расчета t-критерия Стьюдента получилась бесконечность при коэффициенте корреляции -1, то есть он по определению максимальный и превышает t критический, следовательно, коэффициент корреляции считается значимым. Можно сказать, что между рядами уровня воды и концентрацией микро-мусора на пляже пос. Солнечного существует прямая связь.

## Заключение

В данной выпускной квалификационной работе проводился анализ содержания микро-мусора на пляжах восточной части Финского залива в зависимости от уровня воды над нулем поста. С помощью анализа малых выборок между рядами уровня воды над нулем поста и концентрацией микро-мусора на пляжах получились следующие результаты: с увеличением уровня воды над нулем поста происходит увеличение количества микро-мусора, особенно это заметно в южном и северном Кронштадте, также обнаружена после расчетов коэффициентов корреляции Спирмена прямая связь между микро-мусором и уровнем воды в пос. Солнечное. По анализу ряда уровня воды над нулем поста видно, что средний уровень воды равен 26,36 см, следовательно, часто происходит затекание воды на пляжи, морской мусор попадает на берег и остается в теле пляжа.

На р.Неве расположены городские канализационные очистительные сооружения, которые очищают сточные воды от грязи. Но данные сооружения не способны полностью очистить воду от микро-мусора, поэтому большое количество микро-мусора поступает в р.Неву и далее при повышении уровня реки и покрытии большей части пляжей, микропластик оседает и сохраняется в песке.

Вопрос загрязнения пластиковым мусором вод Мирового океана, в частности Балтийского моря, является крайне актуальным в наше время. Печальная статистика концентраций пластика в Мировом океане требует проведения исследований и всемирной оценки загрязнения воды и почв с целью поиска решения глобальной проблемы и изучения рисков воздействия пластика на окружающую среду и здоровья человека.

## Список использованной литературы

1. Чубаренко И.П., Есюкова Е.Е., Хатмуллина Л.И. Микропластик в морской среде.-Российская академия наук, Институт океанологии им. П.П. Ширшова.-Москва: Научный мир, 2021.
2. Аликберова Л.Ю., Сивинкина Е.В., Давыдова М.Н. Методическое издание: Основы строения веществ.- Москва, 2004.( дата обращения: 04.05.2022)
3. [Электронный ресурс] URL: <http://pererabotkatbo.ru> (дата обращения: 12.01.2022)
4. Пластиковый мусор и микропластик в Мировом океане. Глобальное предостережение и исследование, призыв к действиям и руководство по изменению направления политики. ЮНЕП, 2016, Найроби/ UNEP (2016). Marine plastic debris and microplastics- Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Programme, Nairobi.
5. [Электронный ресурс] URL: <http://adgex.ru> (дата обращения: 15.01.2022)
6. Есюкова Е.Е., Чубаренко И.П. Микропластик в водной толще, донных осадках и песках юго-восточной части Балтийского моря: концентрации, распределение частиц по размерам и формам// Региональная экология. 2019.№2 (56).С. 16-29.
7. Багаев А. Антропогенный микромусор в водной толще, 2019.
8. Поздняков Ш.Р., Иванова Е.В., Гузева А.В., Шалунова Е.П., Мартинсон К.Д., Тихонова Д.А. Исследование содержания частиц микропластика в воде, донных отложениях и грунтах прибрежной территории Невской губы Финского залива.- Институт озероведения РАН, 2020.
9. Ларс-Кристер Лундин Устойчивый водный менеджмент в бассейне Балтийского моря. Книга 1 Водный ландшафт, 2000.
10. Лобчук О, Килесо А. Оценка загрязнения пляжей юго-восточной Балтики пластиковым мусором (метод ОСПАР).- Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН.- Москва, 2019.
11. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации». – СПб, изд. РГГМУ, 2017.