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
бакалавра

На тему «Загрязнение морским мусором побережий Балтийского моря»

Исполнитель Медведев Кирилл Олегович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

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

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой _____
(подпись)

Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

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

«_____» _____2024 г.

Санкт-Петербург
2024

Содержание

ВВЕДЕНИЕ 3
Глава 1 Описание объекта исследования и исследуемой проблемы 6
1.1 Физико-географическое описание Балтийского моря 6
1.2 Уровень Балтийского моря 12
1.3 Климат моря 14
1.4 Гидрохимическая характеристика моря 15
1.5 Проблема загрязнения морской среды морским мусором 16
1.6 Исследования морского мусора в балтийском регионе и в России 18
Глава 2. Материалы и методы исследования 20
2.1 Описание методов полевых исследований 20
2.2 Станции пробоотбора 26
Глава 3 Анализ данных и полученных результатов .....**Ошибка! Закладка не определена.**
3.1 Результаты мониторинга побережий в 2023 г.....**Ошибка! Закладка не определена.**
Глава 4 Выводы и рекомендации 48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 51
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 53

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Современная экологическая реальность сталкивается с серьезной угрозой в виде загрязнения большинства морей и океанов отходами человеческой жизнедеятельности. Эта проблема приобретает всё более глобальные масштабы и требует незамедлительного внимания человечества, а главное и решения. Исследования, направленные на изучение и устранение последствий морского загрязнения, активно ведутся уже более десятилетия, к примеру, анализ состояния акваторий, таких как, например, Финский залив.

С 2018 года особое внимание уделяется мониторингу состояния морских побережий Финского залива, в частности Невской губы и большей части восточного Финского залива, которые располагаются неподалёку от Санкт-Петербурга. Однако отсутствие унифицированного подхода к мониторингу затрудняет систематизацию всех имеющихся данных и разработку наиболее эффективных и качественных мер по борьбе с подобным загрязнением. Балтийское море, как неотъемлемая часть глобальной морской экосистемы, требует особого внимания, учитывая его уникальность и значимость для экологии всего региона.

Задача обеспечения сохранности биологического разнообразия и поддержания экологической стабильности в акватории исследуемого моря является важнейшим направлением, требующим скоординированных действий не только со стороны специалистов в области экологии, но и от всех заинтересованных лиц, включая местное население, проживающее в прибрежных районах. Что также включает в себя разработку и реализацию унифицированных процедур мониторинга, которые будут способствовать систематическому наблюдению и глубокому анализу любых изменений в морской экосистеме.

Кроме того, необходимо создание и применение комплексных стратегий, направленных на минимизацию негативного воздействия человеческой деятельности на уникальные морские биосистемы. Это предполагает активное вовлечение общественности в процессы охраны природы, повышение осведомленности о важности экологического равновесия и поощрение устойчивого использования природных ресурсов Балтийского моря.

Следовательно, многоаспектный подход к вопросу загрязнения морских акваторий, включающий в себя проведение научных экспериментов, унификацию процессов мониторинга и привлечение внимания общественности, представляется неотъемлемым для достижения долгосрочного прогресса в данной области и обеспечения защиты ценных водных ресурсов, особенно Балтийского моря.

Подобные меры способствуют сохранению этого природного наследия для последующих поколений и восстановлению экологического баланса не только в северо-западной части, но и за пределами этого региона. Всё это требует всестороннего анализа и понимания экологических процессов, а также разработки эффективных стратегий для снижения отрицательного воздействия человеческой деятельности на морскую среду, что в конечном итоге приведет к улучшению качества воды, увеличению биоразнообразия и укреплению экосистемы в целом.

Предметом данного исследования является морской мусор - любой стойкий, изготовленный или обработанный твердый материал, который брошен, утилизирован или оставлен в морской и прибрежной среде.

Целью данного исследования является оценка степени загрязненности пляжей морским мусором и определение особенностей его распределения на побережьях Балтийского моря. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Дать общую характеристику предмета и объекта исследования;
2. Изучить проблему загрязнения морской среды мусором;

3. Изучить методы мониторинга морского мусора на побережьях согласно международным протоколам;

4. Провести полевые исследования на побережье Финского залива и Невской губы в 2023 году;

5. Провести анализ полученных натурных данных и сравнительную оценку загрязненности побережий Финского залива и других побережий Балтийского моря;

Глава 1 Описание объекта исследования и исследуемой проблемы

1.1 Физико-географическое описание Балтийского моря

Балтийское море — это обширная акватория, являющаяся частью глобальной системы Атлантического океана. Оно выделяется своей уникальной характеристикой: соединение с величественным Мировым океаном происходит через крайне узкий и стратегически значимый морской проход, известный как Датские проливы [1].

Исследуемое море, представляющее собой один из самых обширных морских бассейнов, входящих в систему Атлантического океана, выполняет критически важную функцию в сохранении богатства живых организмов и устойчивости экосистем. Его значение простирается далеко за пределы берегов, омывающих его воды, оказывая глобальное влияние на природные процессы, которые поддерживают жизнь на Земле. Этот водоем служит не только домом для многочисленных видов флоры и фауны, но и играет ключевую роль в регулировании климатических условий, обеспечивая экологическое равновесие, необходимое для поддержания здоровья и разнообразия морских и прибрежных экосистем. Важность Балтийского моря как стратегического ресурса требует непрерывных усилий по его охране и изучению, чтобы обеспечить его сохранность для будущих поколений.

Благодаря своему стратегически выгодному расположению, это море служит связующим звеном между обширными водными пространствами, обеспечивая тем самым циркуляцию водных масс и миграцию морских видов на значительные расстояния [2].

Важность Балтийского моря не ограничивается его природными качествами; оно также оказывает глубокое влияние на социально-экономическую сферу множества стран, расположенных вдоль его берегов. Море стимулирует экономическую активность через рыболовство, морскую

торговлю и туризм, а также является неотъемлемой частью культурного наследия и истории этих народов. В связи с этим, сохранение экологического благополучия Балтийского моря становится приоритетной задачей, требующей скоординированных усилий на международном уровне [1].

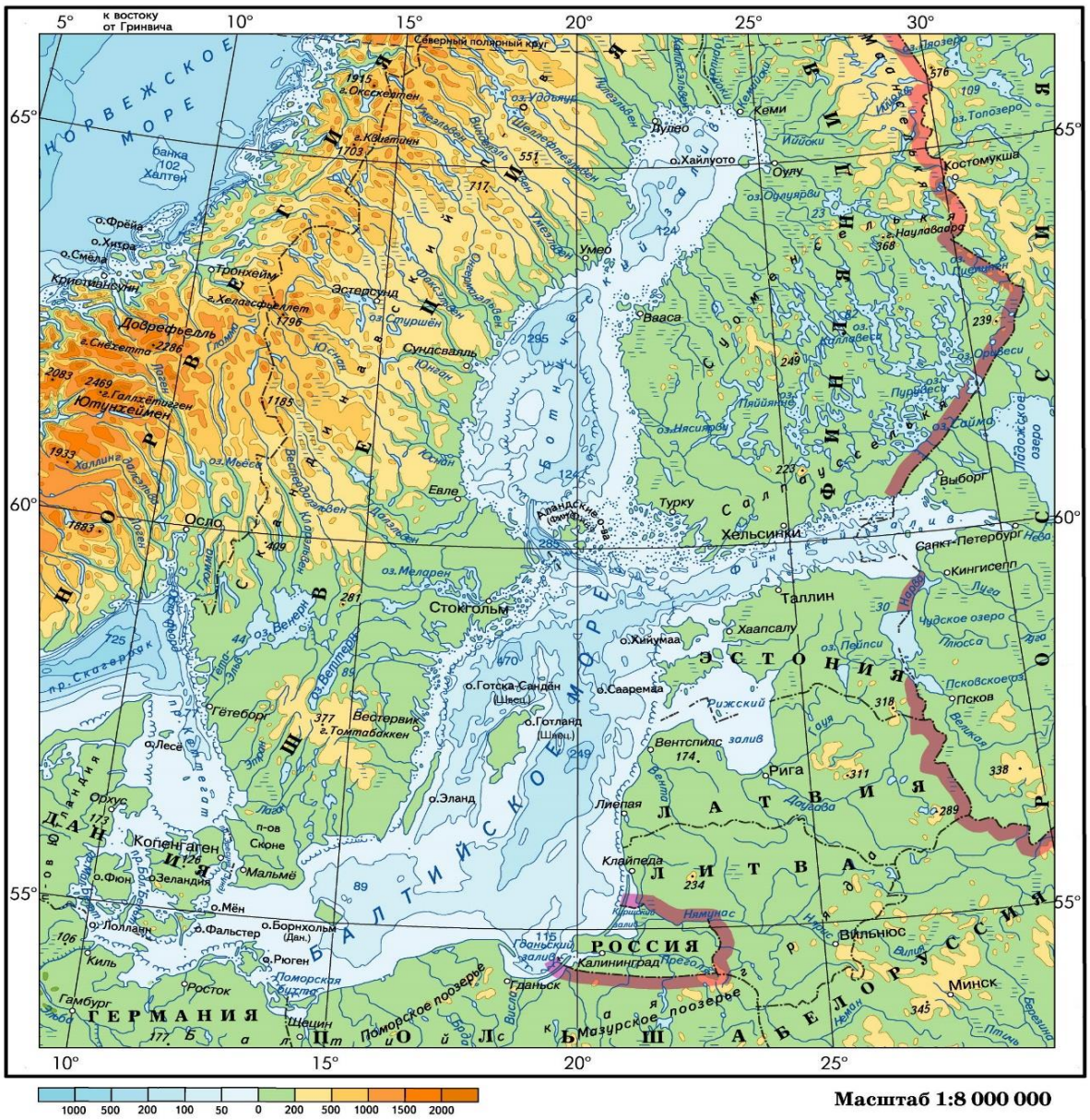


Рисунок 1.1 – Карта Балтийского моря [3]

Исследуемое море, которое является шельфовым морем внутри Европейского континента, составляет важную часть системы Атлантического океана [1].

С его обширной площадью в более чем 400 тысяч квадратных километров и внушительным объемом воды, достигающим 21 тысячи кубических километров, Балтийское море играет ключевую роль в морской экологии и экономике региона. Максимальная зафиксированная глубина моря составляет около 460 метров, что свидетельствует о его впечатляющих подводных ландшафтах [4].

Датские проливы, несомненно, представляют собой одну из самых значимых географических особенностей региона, выполняя функцию естественных переходов между Балтийским и Северным морями. Эти узкие морские проходы, в общем-то, обладают определёнными гидрологическими характеристиками: глубина воды над морскими порогами Дарсер и Дрогден достигает 18 и 7 метров соответственно, в то время как поперечное сечение этих проливов составляет 0,225 и 0,08 квадратных километров [3].

Такие параметры проливов, в общем, играют критическую роль в ограничении объёма воды, которая может свободно перемещаться между двумя морями. Это, в свою очередь, оказывает прямое влияние на солёность и общий солевой баланс Балтийского моря, а также на состояние его многообразной и уникальной экосистемы. Поддержание данного деликатного баланса имеет решающее значение для экологического благополучия региона, поскольку оно влияет на биоразнообразие, миграционные пути морских видов и общее здоровье морской среды.

Море, которое мы изучаем, занимает особое место среди водоемов Земли благодаря своей уникальной и сложной береговой линии, длина которой составляет около 22 000 километров. Геологическая история этих структур оказала определяющее воздействие на формирование береговой линии данного моря. Литологический состав берегов — минеральный и химический состав горных пород, а также их физические характеристики, такие как прочность и способность противостоять эрозии, — имел решающее значение для формирования его контуров.

Среди наиболее заметных и изрезанных участков всей береговой линии данного моря выделяются берега Финского и Ботнического заливов. Эти заливы, с их многочисленными бухтами и полуостровами, представляют собой яркий пример взаимодействия морских и геологических сил. Полуостров Ютландия также заслуживает особого внимания благодаря своей вытянутой и извилистой форме, которая служит свидетельством динамичной истории региона [5].

Балтийское море, уникальный морской бассейн, характеризуется наличием множества заливов, каждый из которых обладает своими особенностями и формирует неповторимый ландшафт. Среди этих заливов особенно выделяются Ботнический, Финский и Рижский заливы, которые являются самыми крупными и играют значительную роль в экосистеме региона [1].

Ботнический залив, разделенный на южную часть, известную как Ботническое море. Южная часть залива углубляется до впечатляющих 301 метра в впадине Ульве, в то время как северная часть достигает максимальной глубины 146 метров в впадине Бьюре. Эти глубины создают условия для разнообразных морских экосистем и важны для морских путей [4].

Финский и Рижский заливы, каждый со своими уникальными особенностями подводного ландшафта, образуют глубокие впадины, напоминающие форму чаши. Эти заливы не только способствуют поддержанию разнообразия морской флоры и фауны, но и имеют большое значение для мореплавания и экономического благополучия прибрежных территорий, служа важными транспортными и торговыми артериями. [4].

Исследуемое море, как известно, усеяно множеством островов, общее число которых исчисляется тысячами. Эти острова представляют собой разнообразие форм и размеров, причем большая их часть относится к категории мелких, что делает их менее заметными на карте, но не менее значимыми для экосистемы моря. Среди этого многообразия выделяются несколько крупных

островов, которые являются значительными как с географической, так и с культурной точки зрения.

Готланд — это остров, который занимает особое место в Балтийском море, будучи крупнейшим островом в регионе. Он известен своими историческими памятниками и живописными ландшафтами. Эланд, второй по величине, также привлекает внимание своей уникальной природой и богатой историей. Сарема, расположенный у побережья Эстонии, и Борнхольм, датский остров, известный своими красочными деревнями и скалистыми берегами, также входят в число крупнейших и наиболее известных островов Балтийского моря. Эти острова не только способствуют разнообразию ландшафта и экосистемы Балтийского моря, но и играют важную роль в экономике и культуре прибрежных стран. Они являются домом для множества видов флоры и фауны, а также предоставляют уникальные возможности для туризма, рыболовства и мореплавания [6].

Исследуемое море отличается сложным и разнообразным рельефом дна, который характеризуется множеством глубоких впадин, узких каналов, подводных порогов, а также песчаных и каменистых отмелей [6].

Пролив Каттегат является самым глубоким и просторным среди них, с максимальной глубиной в северной части до 124 метров. Однако, несмотря на это, он содержит опасные мелководные банки, глубина которых может достигать всего 7 метров. В средней части глубина пролива составляет аж 50 метров, а в южной она уменьшается до 23 метров. Западная часть Каттегата отмечена наличием отмели с глубиной до 20 метров, что представляет собой определенный интерес для мореплавания и морских исследований.

Пролив Эресунн (Зунд), в свою очередь, в северной части достигает глубины до 50 метров, тогда как южная часть, особенно в районе порога Дрогден, отличается мелководьем с глубиной всего 7-8 метров. Это создает определенные условия для движения судов и жизни морских организмов [6].

Большой Бельт, широкий и глубокий пролив, имеет глубину более 20 метров в форватере, в то время как его средняя часть является мелководной. Эти особенности делают его важным элементом в системе водных путей Балтийского моря.

Исследуемое море, расположенное в уникальной внутриматериковой зоне, отличается своими особыми гидрологическими характеристиками. Оно не только неглубокое, но и имеет сравнительно небольшой объем, что делает его чрезвычайно чувствительным к пресноводному стоку. Более чем 250 рек, впадающих в Балтийское море, играют ключевую роль в формировании его водного баланса и экологического состояния. Эти реки ежегодно вносят в море приблизительно 433 кубических километра воды, что эквивалентно 2.1% от его общего объема.

Распределение стока по различным районам Балтийского моря неоднородно. Например, в Ботническом заливе годовой сток достигает 181 кубического километра, в Финском заливе — 110 кубических километров, в Рижском заливе — 37 кубических километров, а в центральной части Балтийского моря — 112 кубических километров.

Речные системы играют критически важную роль в формировании гидрологического режима морских бассейнов, причем их вклад значительно варьируется в течение года. Это явление особенно заметно в случае реки Невы, гидрологический режим которой находится под влиянием обширных озерных систем. В теплое время года, особенно весной и летом, когда температура воздуха повышается, эти озерные системы обеспечивают реку Неву значительным притоком воды. Этот сезонный приток воды отражает изменения в климатических условиях и таянии снегов, что приводит к увеличению уровня воды в реке и, как следствие, к усилению ее влияния на водный баланс Балтийского моря. Таким образом, Нева становится ключевым фактором, определяющим не только экологическое состояние моря, но и его пригодность для навигации и экономическую активность в прибрежных районах.

Это связано с таянием снега и увеличением осадков, что приводит к повышению уровня воды в озере и, как следствие, к усилению стока. Аналогичная ситуация наблюдается и у других рек, впадающих в море: максимальный сток обычно приходится на весенний период, когда снег тает и воды стремительно наполняют речные русла. Осенью также может происходить умеренное увеличение стока, обусловленное сезонными дождями. Эти периодические изменения в стоке рек оказывают значительное влияние на уровень воды в море, его соленость и экосистему в целом.

Водосборная область Балтийского моря разделена на семь ключевых районов, каждый из которых обеспечивает приток речной воды в соответствующие части морской системы [1]:

- Ботнический залив
- Ботническое море
- Финский залив
- Рижский залив
- Собственно Балтийское море
- Проливы Бельт и Зунд
- Каттегат

1.2 Уровень Балтийского моря

Одним из ключевых элементов, влияющих на изменение высоты поверхности исследуемого моря, являются долгосрочные колебания в структуре земной коры, известные как постгляциальный подъем. Исследования, проведенные в течение двадцатого века, показали, что самые высокие скорости подъема земной коры наблюдаются в районе Ботнического залива, достигая до 9.7 мм в год. В то же время, на южном берегу моря зафиксированы наибольшие скорости опускания, до 11.2 мм в год [7].

В среднем, вертикальные движения земной коры вдоль побережья Балтийского моря варьируются от 2 до 11 мм в год. Хотя атмосферные осадки и испарение с морской поверхности также вносят свой вклад в изменение уровня моря, их влияние остается относительно незначительным, поскольку эти два процесса примерно уравновешивают друг друга.

В течение года уровень воды в Балтийском море подвергается значительным изменениям, которые обусловлены рядом природных факторов.

Зимой активность циклонов и преобладание западных ветров приводят к тому, что вода нагоняется через проливы в море, вызывая повторное, хотя и менее интенсивное по сравнению с весной, увеличение уровня моря.

Сейши являются одной из самых ключевых особенностей уровенного режима исследуемого моря. Кроме того, сгонно-нагонные колебания уровня моря происходят с высокой скоростью и могут достигать значительных величин, особенно в бухтах и заливах, где амплитуда колебаний может составлять от 1 до 2 метров. Эти явления оказывают важное влияние на экосистему моря и требуют внимательного мониторинга, поскольку они могут влиять на навигацию, распределение солености и температуры воды, а также на жизнь морских организмов. Таким образом, уровенный режим Балтийского моря представляет собой сложную и динамичную систему, которая требует постоянного изучения и понимания для обеспечения устойчивого развития и сохранения морской среды.

Приливы и отливы, как правило, не оказывают значительного воздействия на уровень воды в Балтийском море. Это объясняется тем, что приливные волны, проникающие из Северного моря, имеют полусуточный цикл и ограничены по величине. Кроме того, самостоятельные приливные колебания Балтийского моря также невелики. Однако временные изменения уровня моря, связанные с различиями в плотности воды в разных регионах, проявляются в виде сезонных колебаний. Эти колебания могут оказывать заметное влияние на уровень воды, особенно заметное в летние и зимние месяцы, в частности в июле

и декабре, когда наблюдаются наибольшие изменения. Таким образом, хотя приливные явления и не играют ключевой роли в динамике уровня Балтийского моря, сезонные изменения плотности воды могут оказывать значительное влияние на его колебания.

1.3 Климат моря

Море, о котором идет речь, обладает климатическими характеристиками, типичными для умеренного климатического пояса, однако в нем также присутствуют морские и континентальные черты. Его вытянутая географическая форма, простирающаяся в длину с севера на юг и с запада на восток, обеспечивает существование множества различных климатических условий в пределах его территории [8, 15].

Зимой, когда температура воздуха опускается ниже нуля, Балтийское море становится ареной для формирования ледяного покрова. Этот процесс начинается с замерзания прибрежных участков, где вода менее соленая и быстрее реагирует на понижение температуры. С течением времени, лед может распространяться и на более открытые участки моря, однако его толщина и прочность будут варьироваться в зависимости от множества факторов, включая температуру воздуха, силу и направление ветров, а также соленость воды.

В течение зимнего сезона, ледяной покров Балтийского моря подвергается динамичным изменениям. Периоды морозов чередуются с оттепелями, в результате чего лед может таять, а затем вновь замерзать, образуя новые слои. Это приводит к тому, что ледяной покров может быть неоднородным, с областями различной толщины и прочности. Полное покрытие моря льдом — явление редкое, так как для этого требуются особо суровые и стабильные морозы, которые не характерны для данного региона из-за его климатических особенностей и влияния теплых течений.

Таким образом, ледяной режим Балтийского моря является сложным и изменчивым, отражая взаимодействие множества природных факторов. Это создает уникальные условия для мореплавания и жизни морских организмов, а также предъявляет особые требования к безопасности и навигации в зимний период.

1.4 Гидрохимическая характеристика моря

Ограниченный обмен водными массами между Балтийским морем и Северным Атлантическим океаном, а также активный приток пресной воды от рек, стекающих с окружающих территорий, вносят свой вклад в формирование уникальной гидрохимической ситуации в этом море. Эти факторы, наряду с характерной двухслойной структурой воды, где верхний слой менее соленый из-за речного стока, а нижний — более соленый и плотный, обуславливают специфические условия, влияющие на химический состав воды.

Хотя в целом ионный состав вод Балтийского моря напоминает океанский, в прибрежных районах наблюдается повышенное содержание кальция, что может быть связано с влиянием карбонатных пород и процессами, происходящими в устьях рек. В то же время, концентрация натрия в этих зонах снижается, что отражает разбавление морской воды пресной водой из рек. Эти изменения в химическом составе могут влиять на местную флору и фауну, а также на условия жизни водных организмов [3].

В более центральных участках Балтийского моря и на больших глубинах различия в ионном составе становятся менее заметными, поскольку здесь воды более стабильны и менее подвержены влиянию пресных вод. Это обеспечивает более однородные условия для морских организмов, обитающих на глубине, и способствует поддержанию биологического разнообразия в этих районах.

Стратификация вод Балтийского моря, при которой формируются слои с различной соленостью, является характерной чертой его глубоководных зон и

поверхностных уровней. Это разделение препятствует эффективному перемешиванию водных масс, что ведет к затруднениям в распределении кислорода по всему водоему, особенно к его донным слоям. Такая ситуация создает условия для анаэробных процессов, при которых определенные виды бактерий, питающиеся фосфатами железа, начинают активно размножаться, усиливая уже существующие проблемы с дефицитом кислорода[9, 14].

В Гданьской впадине, расположенной в российской экономической зоне Балтийского моря, анаэробные условия обнаруживаются на глубинах свыше 80-85 метров. Эти слои, бедные кислородом, представляют собой стабильное явление, которое оказывает значительное влияние на экосистему моря. Отсутствие кислорода на таких глубинах приводит к гибели аэробных организмов и изменению состава морского дна, что может иметь долгосрочные последствия для биоразнообразия и химического баланса водной среды.

Эта проблема усугубляется из-за недостаточной циркуляции воды между Балтийским морем и большими океанами, что ограничивает естественное обновление водных масс и приводит к накоплению вредных веществ. Кроме того, интенсивный приток пресной воды от рек, впадающих в Балтийское море, способствует уменьшению солености поверхностных слоев, что еще больше усиливает стратификацию и создает препятствия для вертикального перемешивания воды.

Таким образом, сложная гидрологическая и гидрохимическая структура Балтийского моря требует дополнительных исследований и мер по сохранению его уникальной экосистемы, включая мониторинг состояния воды и разработку стратегий для улучшения качества водной среды и поддержания биологического разнообразия [9, 14].

1.5 Проблема загрязнения морской среды морским мусором

Ежегодно огромные объемы отходов попадают в воды Мирового океана. Современный образ жизни, прогрессирующие технологии и отношение к переработке отходов превращают моря в огромные свалки. Экологические проблемы океанских территорий не ограничиваются лишь наличием мусора, но именно он является знаком отношения человечества к окружающей среде.

По определению Организации Объединенных Наций, морской мусор — это любой прочный материал, созданный или обработанный человеком, который оказывается в море, особенно в прибрежной зоне. Морской мусор представляет собой разнообразные объекты, созданные человеком и умышленно оставленные в морских водах, на речных берегах или пляжах; это также вещи, утерянные во время непогоды (такие как рыболовные снасти, одежда, туристические принадлежности) или преднамеренно забытые на пляже (например, упаковки от продуктов, ненужные предметы, детали оборудования). [12].

Твердые отходы, попадающие в океан и прибрежные районы, вызывают ряд неблагоприятных последствий, включая экологические, экономические и здоровьесберегающие проблемы. С уверенность можно сказать, что пластик и полистирол являются доминирующими составляющими морского мусора, распространенными по всему океанскому пространству [16].

Исследования показали, что микроскопические фрагменты пластика и тонкие пластиковые нити могут поглощать токсичные соединения, такие как полихлорированные бифенилы (ПХБ), метаболиты ДДТ и нонилфенолы, из морской воды. Это способствует дальнейшему распространению опасных химикатов в океане и воздействию на животных, обитающих в море [3].

Большие фрагменты морского мусора, такие как отбросы рыболовных сетей, представляют серьезную угрозу для морской фауны. Морские животные, включая рыб, морских птиц, черепах и млекопитающих, часто оказываются запутанными в этих сетях. Это может привести к травмам, ограничению подвижности и даже смерти, поскольку животные не способны самостоятельно

освободиться из таких ловушек. Кроме того, мусор, состоящий из пластика, полистирола, стекла и металла, является наиболее распространенным в морских экосистемах. Эти материалы могут долгое время сохраняться в морской среде, поскольку они не подвергаются биоразложению. Пластиковые отходы, в частности, могут распадаться на микропластики, которые поглощаются морскими организмами, влияя на их здоровье и пищевые цепочки.

Микропластики могут содержать токсичные добавки и поглотители, которые могут накапливаться в тканях животных, вызывая хронические заболевания и нарушения репродуктивной функции. Это не только угрожает индивидуальным особям, но и может иметь долгосрочные последствия для всей морской экосистемы.

Основные источники морского мусора:

1. Судоходство.
2. Рыболовство;
3. Морские нефтегазовые платформы;
4. Свалки, находящиеся вблизи от берега;
5. Бытовые стоки;
6. Рекреационная деятельность на побережье.

1.6 Исследования морского мусора в балтийском регионе и в России

За период с 2011 по 2013 год, в рамках международного проекта MARLIN, инициированного Швецией с целью обеспечения экологической безопасности страны, был впервые тщательно изучен вопрос загрязнения Балтийского моря мусором. В проекте активно участвовали такие страны, как Швеция, Эстония, Латвия и Финляндия. В ходе исследований было выявлено значительное количество крупных обломков мусора. Исследователи пришли к выводу, что ключевыми источниками загрязнения являются морской транспорт, рыболовство, бытовые отходы и досуговая деятельность на берегу. Однако, из-за отсутствия до 2014 года унифицированной системы сбора и анализа данных

о мусоре на пляжах Балтийского моря, сопоставить и оценить полноту собранных данных было невозможно [11].

Исследовательская работа, направленная на анализ морского мусора в прибрежных районах восточной части Финского залива, была инициирована Российским гидрометеорологическим университетом в 2018 году. В рамках этого исследования было выявлено, что береговые линии Финского залива и Невской губы испытывают загрязнение разнообразными формами морского мусора. В целом, прибрежные зоны Финского залива демонстрируют более высокие уровни концентрации микропластика по сравнению с аналогичными зонами других стран, омывающихся Балтийским морем.

В период с лета 2017 года до осени 2019 года было осуществлено обширное изучение проблемы загрязнения Балтийского моря мусором. В ходе 197 экспедиций, охвативших 35 зон Балтийского моря, было обнаружено 9345 элементов мусора на общей площади в 10 271 квадратный метр. При этом 69,9% от общего числа найденных предметов мусора имели размеры от 2 до 25 миллиметров. Исследование проводилось при активном участии всех прибрежных государств Балтийского моря, которые применяли стандартизированный метод сбора данных, известный как метод «Рейк».

Глава 2. Материалы и методы исследования

2.1 Описание методов полевых исследований

Метод "Фрейм" представляет собой технику, которая использует процесс отсеивания песка на определенной активной площади. В начале процедуры на пляже размечается квадратная зона Tmacro, подходящая для сбора образцов (размером 10 метров в длину и 4 метра в ширину), где затем производится сбор всего макромусора, видимого невооруженным глазом (частицы более 25 мм в размере). Первый квадрат T1 (рисунок 2.2) помещается в самый загрязненный участок в зоне заплеска. Второй квадрат T2 расположен на расстоянии 3 метров (от края квадрата T1).

При отборе проб мезо- и макромусора необходимо:

- металлическое сито 2 мм,
- ведро.
- металлический шпатель (рисунок А),

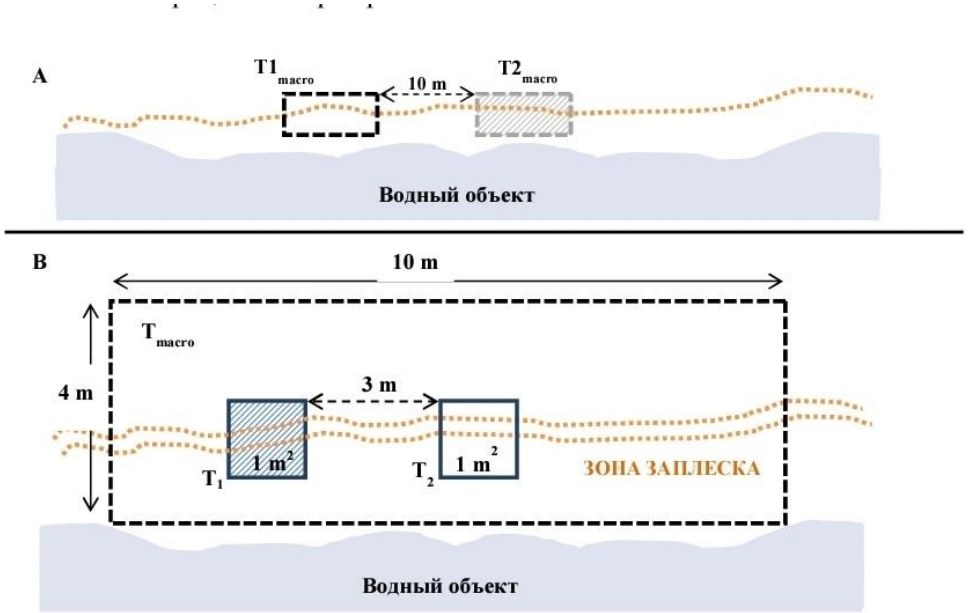


Рисунок 2.1 - Схематическое изображение “Фрейм” – метода

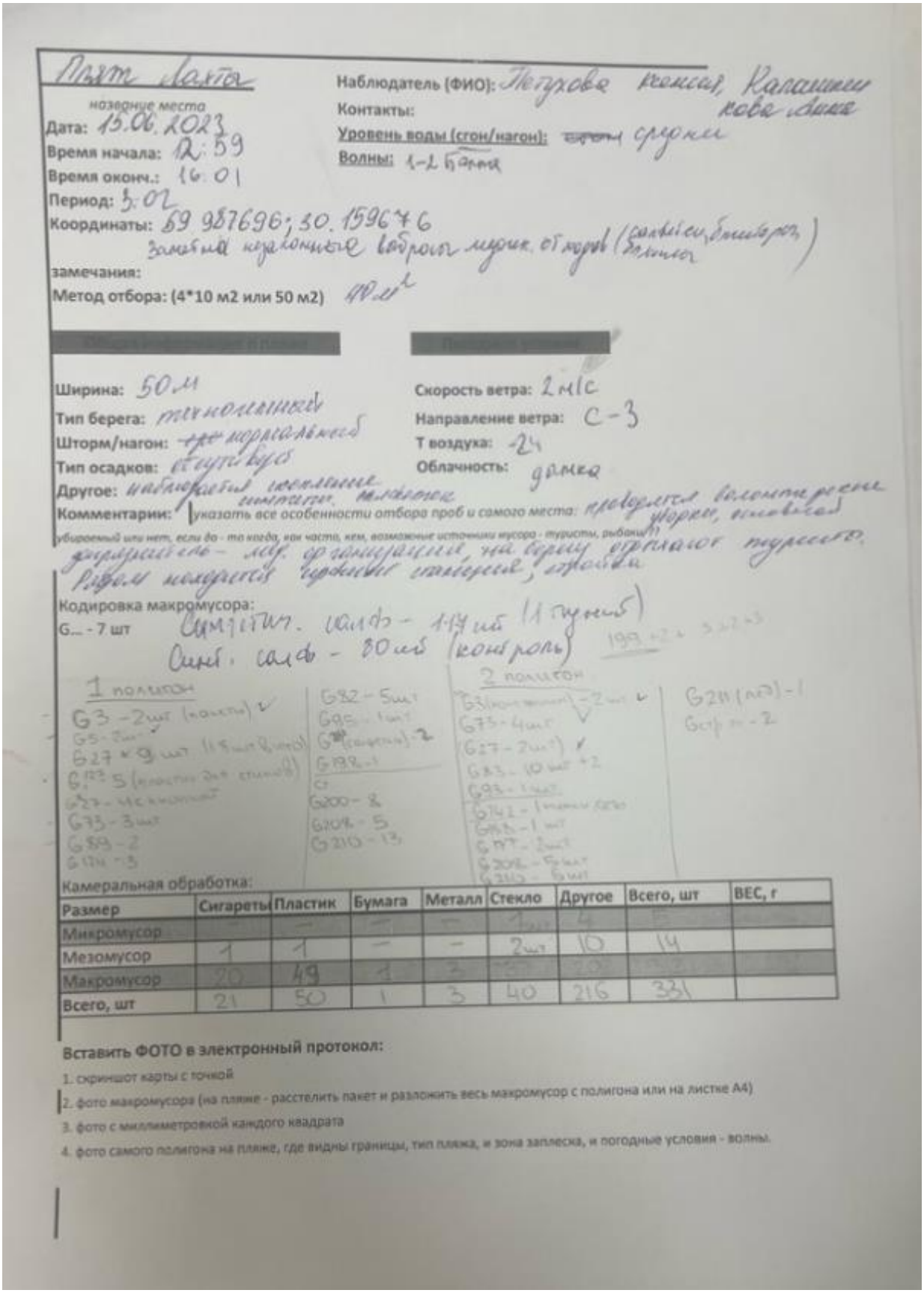
Рисунок 2.2 - Первый квадрат T1

В процессе тщательного исследования морского дна используется специализированный металлический инструмент для аккуратного извлечения верхнего слоя осадка или песка, имеющего толщину приблизительно два сантиметра. Этот слой представляет собой важный объект изучения, так как содержит данные о состоянии экосистемы на различных глубинах. Извлеченный материал затем помещается в прочную металлическую решетку, которая специально разработана для отделения более крупных элементов от мелких частиц. Далее, решетку осторожно опускают в ведро, наполненное наполовину чистой водой, и начинают процесс встряхивания. Это действие выполняется с особой тщательностью, чтобы обеспечить максимально эффективное отделение песка от других компонентов. Вода в ведре служит средой для отмывания мелких частиц, позволяя более крупным оставаться в решетке.

Процедура повторяется до тех пор, пока не будет полностью очищена выбранная для исследования площадь. Это может занять значительное время, в зависимости от размера участка и количества мусора. После завершения процесса отделения, оставшиеся фрагменты мусора, которые могут включать пластик, стекло, металл и другие материалы, собираются в специальный полиэтиленовый пакет.

Каждый пакет тщательно маркируется, включая информацию о точном месте сбора, номере участка (Т1 или Т2), а также дате и времени сбора. Это обеспечивает точность идентификации образцов и последующего анализа. Затем пакеты герметично закрываются, чтобы предотвратить контаминацию образцов во время транспортировки в лабораторию для дальнейшего изучения.

После сбора образцов на местности заполняется соответствующий протокол (рисунок 2.3).



Пляж Лахта
название места
Дата: 15.06.2023
Время начала: 12:59
Время оконч.: 16:01
Период: 3.02
Координаты: 59.987696; 30.159676
замечания:
Метод отбора: (4*10 м2 или 50 м2)

Наблюдатель (ФИО): Петухова Ксения, Калашни
Контакты: кова Анна
Уровень воды (сгон/нагон): средний
Волны: 1-2 балла

замечания: замечена неправильная выброска мусора от людей (палатки, бинокль, бутылки)

Ширина: 50 м
Тип берега: технический
Шторм/нагон: -
Тип осадков: облачно
Другое: наблюдается скопление мусора, палаток

Скорость ветра: 2 м/с
Направление ветра: С-З
Т воздуха: -2°
Облачность: дымка

Комментарии: указать все особенности отбора проб и самого места: преобладает волонтерский мусор, пивная убираемый или нет, если да - то когда, как часто, кем, возможные источники мусора - туристы, рыбаки)
дюна - лес, организация, на берегу отпечаток туристов, рядом некрасивый горящий костер, палатки

Кодировка макромусора:
G... - 7 шт

Синт. сайз - 1.7 мб (1 пункт)
Синт. сайз - 30 мб (контроль)

1 полигон
G3 - 2 шт (пакеты)
G5 - 2 шт
G27 - 9 шт (1 с пивной)
G123 - 5 (пластик для стрижки)
G27 - неизвестный
G73 - 3 шт
G89 - 2
G174 - 3

G82 - 5 шт
G95 - 1 шт
G (сигары) - 2
G198 - 1
G
G200 - 8
G208 - 5
G210 - 13

2 полигон
G3 (пакеты) - 2 шт
G75 - 4 шт
G27 - 2 шт
G83 - 10 шт +2
G93 - 1 шт
G142 - 1 (пластик одно)
G95 - 1 шт
G97 - 2 шт
G208 - 5 шт
G210 - 6 шт

G211 (м2) - 1
G стр - 2

Камеральная обработка:

Размер	Сигареты	Пластик	Бумага	Металл	Стекло	Другое	Всего, шт	ВЕС, г
Микромусор		—	—	—	1 шт	4	5	
Мезомусор	1	1	—	—	2 шт	10	14	
Макромусор	20	49	1	3	38	202	313	
Всего, шт	21	50	1	3	40	216	331	

Вставить ФОТО в электронный протокол:

1. скриншот карты с точкой
2. фото макромусора (на пляже - расстелить пакет и разложить весь макромусор с полигона или на листке А4)
3. фото с миллиметровкой каждого квадрата
4. фото самого полигона на пляже, где видны границы, тип пляжа, и зона заплеска, и погодные условия - волны.

Рисунок 2.3 Пример протокола (Пляж Лахта)

Затем следует детальная лабораторная обработка собранных образцов. Образцы подвергаются классификации в соответствии с их размерами и составом, используя миллиметровую сетку (Рисунок 2.4) и систему категоризации морского мусора.

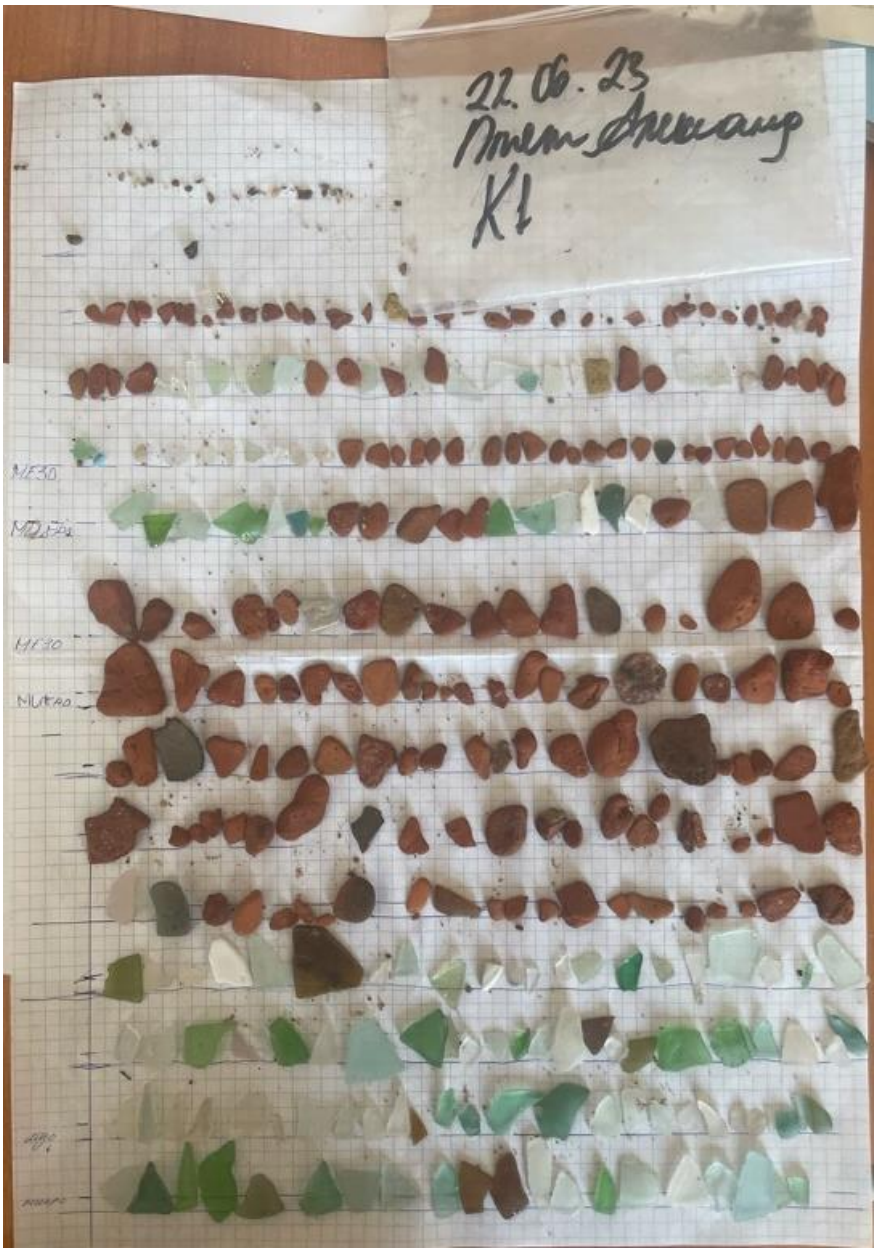


Рисунок 2.4 - Проба макро- и мезомусора на миллиметровке (Пляж Александрии)

Методика OSPAR

Методика OSPAR, введенная в действие в 1992 году, является пионерским стандартизированным подходом к наблюдению за морскими отходами антропогенного происхождения различных размеров — от мега- (более 1 метра), через макро- (от 1 метра до 25 миллиметров), до мезо- (от 5 до 25 миллиметров) — для региона Северной Атлантики.

Идеальная пляжная зона для научных исследований должна соответствовать ряду критериев, чтобы обеспечить достоверность данных и возможность их сравнения. Такая зона должна быть естественно сформирована из песка или гальки, что позволяет проводить мониторинг различных типов пляжных экосистем. Важно, чтобы пляж был под воздействием открытых морских вод, что обеспечивает естественный обмен веществами и организмами между пляжем и морем.

Доступ к пляжной зоне для научных наблюдений должен быть без ограничений в течение всего года, что позволяет ученым наблюдать за сезонными изменениями и динамикой пляжных процессов. Протяженность исследуемого участка должна составлять не менее 100 метров для получения репрезентативных данных, но при этом не превышать 1 километр, чтобы облегчить управление исследованием и анализ данных.

Рекомендуется проводить мониторинг на двух отдельных участках пляжа, каждый из которых имеет длину 100 метров. Это позволяет сравнивать данные и учитывать возможные локальные различия в состоянии пляжа. Наблюдения следует проводить четыре раза в год, чтобы отслеживать изменения, происходящие в разные сезоны, и оценивать влияние климатических условий на пляжную экосистему.

Для участков шириной в 100 метров и более установлен предел в 100 единиц мезо- и макроотходов в пределах данной территории. Это позволяет оценить уровень загрязнения и эффективность мер по его снижению. Для более

протяженных участков в один километр устанавливается минимальное количество в 20 крупных объектов размером свыше 50 сантиметров, что помогает выявить наиболее значимые источники загрязнения.

Такой подход к мониторингу пляжных зон позволяет не только оценить текущее состояние экосистемы, но и проследить динамику изменений, а также разработать стратегии для сохранения биоразнообразия и устойчивого использования прибрежных ресурсов. Это важно для понимания влияния антропогенной деятельности на морские экосистемы и для разработки мер по их защите и восстановлению.

В рамках европейского мониторинга, метод OSPAR включает использование унифицированных протоколов, которые могут быть заполнены как специалистами в области науки, так и добровольцами. Эти документы затем интегрируются в общую базу данных OSPAR. Процесс сбора данных предельно ясен: все видимые без специальных приборов объекты, созданные человеком, аккумулируются в специальные контейнеры для мусора и анализируются, после чего результаты анализа вносятся в классификатор морского мусора.

2.2 Станции пробоотбора

Мониторинг морского мусора был проведен на 6 пляжах Финского залива и Невской губы в июне 2023 года, отмеченных на рисунке 2.5. В таблице 1 представлены точки и даты отбора проб.

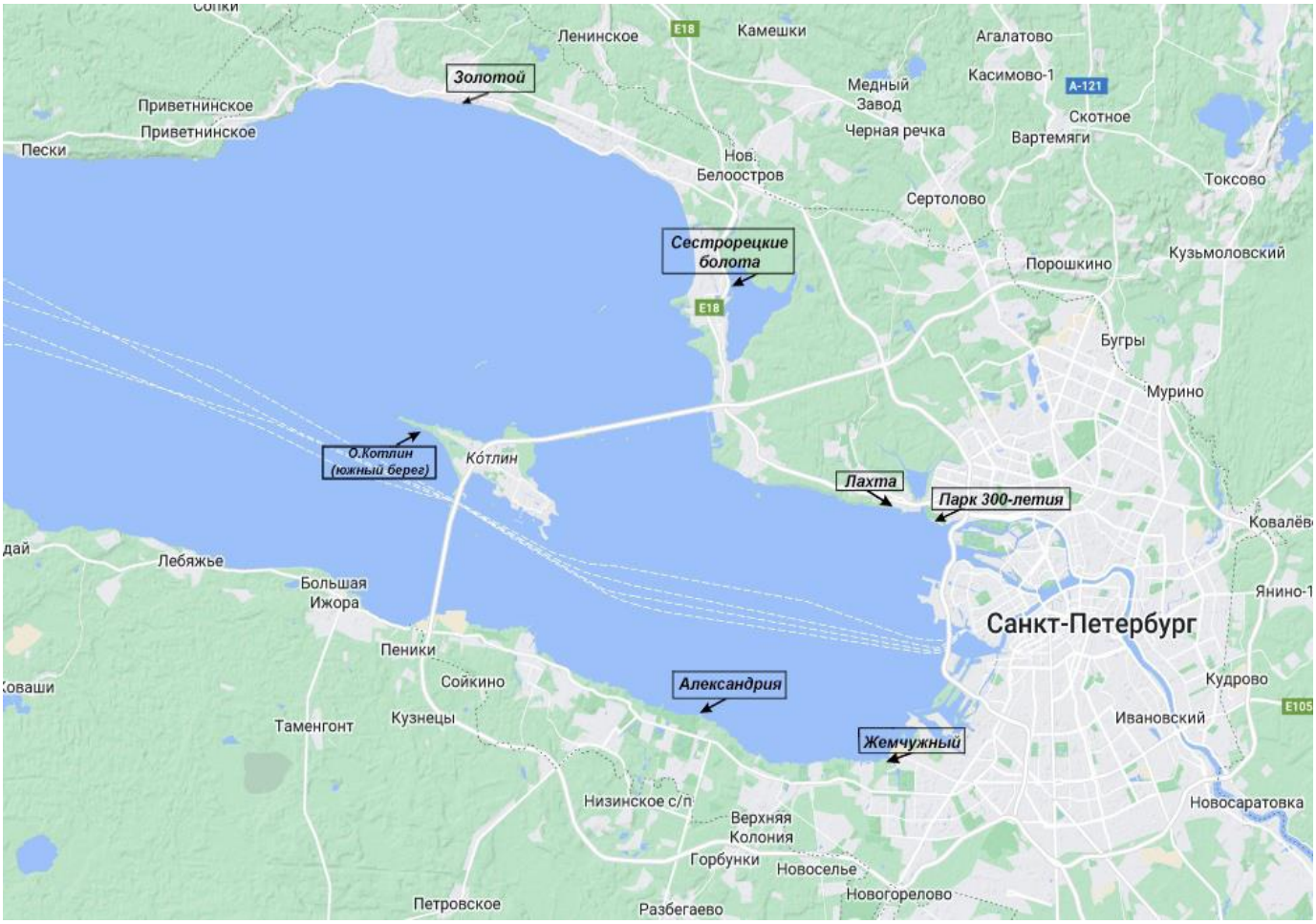


Рисунок 2.5 - Географическое положение точек отбора проб

Таблица 1 - Точки отбора проб с датами

Точки отбора проб	Дата отбора проб
Парк 300-летия	21.06.2023
Лахта	22.06.2023
Жемчужный пляж	23.05.2023
пляж Золотой	26.06.2023
Сестрорецк	27.06.2023

Парк Александрия	28.06.2023
Пляж южного берега острова Котлин	21.04.2023

Ниже представлены описания точек отбора проб:

Парк 300-летия

Исследуемый участок представляет собой техногенный берег, где природные осадки не наблюдаются. Температура воздуха составляет комфортные 25°C. Ветер дует с северо-запада со скоростью 5 метров в секунду, создавая небольшие волны высотой от одного до двух баллов. Уровень воды в данной зоне опускается на 2,5 метра в результате отлива.

Расположенный в зоне отдыха, городской пляж подвергается ежедневной уборке и испытывает значительную рекреационную нагрузку. Песок здесь мелкозернистый, что характерно для районов, расположенных вблизи устьев рек. Этот пляж является техногенным и регулярно пополняется новым песком. Активное судоходство в этом районе свидетельствует о значительном движении судов. Ближайшая точка для сбора мусора находится на расстоянии 200 метров от пляжа, что облегчает поддержание чистоты и порядка.

Рисунок 2.6 - Полигон 40 м^2 и два квадрата 1 м^2 на пляже в парке 300-летия

На пляже парка 300-летия, анализ распределения макромусора выявил, что основную его часть составляют элементы бытового и строительного происхождения. Среди наиболее часто встречающихся предметов можно отметить фрагменты кирпичной кладки, осколки стеклянных изделий, вероятно, происходящие от разбитых бутылок, а также окурки сигарет.

Кроме того, на пляже можно обнаружить и другие виды отходов, которые свидетельствуют о необходимости усиления мер по очистке и предотвращению загрязнения данной зоны отдыха. Это подчеркивает важность проведения регулярных уборок и просвещения общественности о последствиях бесконтрольного выброса мусора в окружающую среду.

Лахта

Изучаемый участок побережья характеризуется техногенным типом берега с преобладанием мелкозернистого песка. Этот дикий пляж, несмотря на свою удаленность от централизованных городских служб, поддерживается в чистоте благодаря усилиям волонтеров, которые организуют уборки три-четыре раза в течение купального сезона.

В непосредственной близости от пляжа расположены объекты для активного отдыха: серфинг-станция и пристань для гидроциклов, что делает его популярным местом среди любителей водных видов спорта. При этом отсутствие судоходства обеспечивает спокойную и безопасную среду для отдыхающих и спортсменов.

Уровень воды в данном районе является средним, а ветер, дующий с северо-запада со скоростью 1-2 метра в секунду, создает благоприятные условия для занятий серфингом. Температура воздуха в районе пляжа составляет приятные +24ºС, и, как правило, осадки здесь не наблюдаются, что делает его идеальным местом для летнего отдыха.

Пляж находится вблизи населенного пункта, что облегчает доступ для местных жителей и гостей города. Кроме того, в Ольгино расположена северная станция аэрации, которая играет важную роль в поддержании качества воды и предотвращении ее загрязнения, что еще больше повышает привлекательность данного места для отдыха и спорта.

Рисунок 2.7 - Полигон 40 м^2 на пляже Лахта

В непосредственной близости к пляжу парка 300-летия расположена медицинская учреждение, от которой сточные воды направляются в акваторию Финского залива. Это приводит к тому, что во время приливов на берег выбрасывается значительное количество отходов. В результате, береговая линия испытывает серьезное загрязнение, особенно заметное по скоплению синтетических салфеток и других санитарно-гигиенических изделий.

Хотя мусор с пляжа удаляется регулярно, такие меры оказываются недостаточными для полного решения проблемы. Станция аэрации,

расположенная поблизости, не вносит заметного вклада в улучшение экологической ситуации, что вызывает определенные опасения с точки зрения охраны окружающей среды.

Кроме того, вблизи пляжа ведутся строительные работы, и материалы с этой стройки, включая кирпич, резину и другие строительные отходы, регулярно попадают на береговую линию, усугубляя проблему загрязнения.

Антропогенное воздействие на пляж также достаточно велико. Многочисленные отдыхающие, наслаждаясь красотами природы, к сожалению, оставляют после себя пустые банки, сигаретные окурки, обертки и прочий мусор, что еще больше ухудшает экологическое состояние этой зоны отдыха. Это подчеркивает необходимость усиления мер по очистке и просвещению общественности о важности сохранения чистоты природных территорий.

Пляж Жемчужный

Исследуемый участок побережья представляет собой техногенный пляж, покрытый песком мелкой и средней фракции. Неподалёку расположен порт, обеспечивающий активное судоходство в этом районе. Прибрежная зона характеризуется наличием плотного зарослю тростника, простирающегося на ширину пяти метров от кромки воды и достигающего высоты в пятнадцать сантиметров. Эта зона не приспособлена для комфортного отдыха граждан и не подвергается систематической очистке, за исключением волонтёрских акций. Отсутствие ближайшей точки сбора мусора усугубляет проблему загрязнения, так как отходы накапливаются без возможности их своевременной утилизации. В прибрежных водах обнаружено большое количество водорослей, которые, приближаясь к берегу, формируют сплошную полосу шириной тридцать сантиметров, охватывающую весь пляж.

В зарослях тростника было найдено множество предметов, оставленных после отдыха на природе, включая металлические гриль-сетки, пластиковые веера для раздувания углей, одноразовые стаканчики и обувь. Кроме того, на пляже присутствуют обломки строительного мусора, такие как кирпичи, бутылки и гнилые доски, а также разнообразный микромусор. Северо-западный ветер, дующий со скоростью два метра в секунду, способствует распространению мусора и ухудшает условия для отдыхающих. Эта ситуация требует принятия дополнительных мер по очистке пляжа и установке урн для мусора, а также повышения экологической осведомленности среди посетителей для сохранения чистоты и порядка на природных территориях.

Рисунок 2.8 Полигон 40 м2 на Жемчужном пляже

Пляж Золотой, г. Зеленогорск

Городской часто убираемый пляж, находится возле парка культуры и отдыха. Ширина 65 м. Благоустроенный, есть урны для мусора. Берег выровненный, аккумулятивного типа. Песок преимущественно среднезернистый, возле уреза - крупнозернистый. Справа от полигонов находится лодочная станция.

Температура воздуха 22ºС. Ветер восточный, вначале работы на пляже имел скорость 2,5 м/с, под конец – 4 м/с. Вначале изучения волны отсутствовали, но с увеличением времени работы – увеличились, с изменением уровня воды на 50 см. Нагон средний. Облачность 50%, без осадков.

Рисунок 2.9 - Полигон 40 м2 на пляже Золотой

Парк Александрия

Пляж находится в парковой зоне. Ширина 100 м, неблагоустроенный. Берег выровненный, техногенного типа. Песок крупнозернистый с включением гранита и гальки. Недалеко от берега расположена стекольная мануфактура.

Температура воздуха 26ºС. Ветер южный, скорость 2 м/с. По мере изучения интенсивность волн изменялась - увеличивалась в зависимости от проплывания теплоходов «Метеоров». Нагон средний. Облачность 20%, без осадков.

Рисунок 2.9 - Полигон 40 м2 на пляже в парке Александрия

Безымянный пляж на южном берегу острова Котлин

Это дикий пляж, расположенный на южном берегу острова Котлин. С координатами (60.005869, 29.695319), пляж простирается на 50 метров в ширину и покрыт песком мелкой и средней фракции. Берег был покрыт большим

количеством тростника, в некоторых местах собранного в кучки. Рядом с пляжем находятся конюшни и парк, а также дорога, ведущая к городу. Температура воздуха около 21ºС, юго-западный ветер со скоростью 2 метра в секунду.

Рисунок 2.10 - Полигон на пляже острова Котлин.

Глава 4 Выводы и рекомендации

4.1 Выводы

Благодаря проведённому исследованию были сделаны следующие выводы:

1. Наибольшее количество мусора среди побережий Санкт-Петербурга было найдено на пляже парка Александрия, на пляже Лахта и на пляже Жемчужный, наименьшее было найдено на пляже парка 300-летия и на пляже Солнечный г. Зеленогорск.
2. Наиболее загрязнены микромусором пляж парка Александрия и пляж Золотой. На южном побережье преобладает строительный мусор, на северном побережье преобладает бытовой мусор.
3. Макромусор, крупные фрагменты отходов, такие как пластиковые бутылки, упаковки и другие крупногабаритные предметы, являются основной проблемой загрязнения пляжей. Эти отходы не только портят внешний вид пляжей, но и представляют угрозу для морской фауны, так как животные могут принять их за пищу или запутаться в них.
4. Среди всех страх у которых есть выход к Балтийскому морю наиболее высокий показатель количества микромусора и мезомусора имеет побережье Санкт-Петербурга, наибольшее количество макромусора же на побережьях Польши. Стоит отметить, что наименьший показатель по всем категориям у Дании.
5. Наибольшее количество синтетических полимеров находится на побережьях Эстонии, на втором месте побережье Санкт-Петербурга. Наименьшее количество синтетических полимеров отмечено в Дании, также низкий показатель в Германии, на побережьях Северного моря. Наибольшее количество сигаретных окурков обнаружено в Финляндии и

Польше, наименьшее в Санкт-Петербурге и Дании. Наибольшее количество бумаги и картона обнаружено в Польше, наименьшее в Санкт-Петербурге. Наибольшее загрязнение металлическим мусором отмечено снова в Польше, наименьшее в Германии.

6. Наибольшая категория мусора на побережьях Балтийского моря – синтетические полимеры, стоит отметить, что в категории макромусора также высокий показатель у сигаретных окурков, в категории мезомусора высокий показатель у парафина, в категории микромусора же также много парафина. Стоит отметить, что мезомусора на побережьях Балтийского моря больше всего – 43% от общей массы мусора, меньше всего микромусора – 26% от общей массы.

4.2 Рекомендации

Для сокращения количества мусора на побережьях Балтийского моря были составлены следующие рекомендации:

1. Раздельный сбор отходов

Раздельный сбор отходов — это один из наиболее эффективных способов сократить количество мусора на побережьях Балтийского моря и упростить процесс его переработки. Для реализации этой инициативы необходимо установить контейнеры для разных видов отходов, таких как бумага, пластик, стекло, металл, органические отходы и т. д. Это позволит сортировать отходы на этапе сбора

2. Внедрение системы штрафов и поощрений.

Можно ввести систему штрафов за выброс мусора в неположенных местах и поощрять тех, кто соблюдает правила и сортирует отходы. Это может стимулировать людей более ответственно относиться к окружающей среде.

3. Организация экологических акций и мероприятий.

Проведение субботников, лекций и мастер-классов по экологической тематике поможет привлечь внимание к проблеме загрязнения окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы было выполнено исследование пляжей Балтийского моря на загрязнённость морским мусором, выявлены особенности накопления и пути его распространения.

Были проведены полевые исследования с применением международных методов мониторинга морского мусора, которые показали, что наибольшее количество мусора среди побережий Санкт-Петербурга было на пляже парка Александрия, на пляже Лахта, на пляже Жемчужный и южном берегу острова Котлин.

После изучения данных по другим странам, имеющим выход в Балтийское море было установлено, что наиболее высокий показатель количества микромусора и мезомусора имеет побережье Санкт-Петербурга. Наибольшая категория мусора на побережьях Балтийского моря – синтетические полимеры, в категории макромусора высокий показатель у сигаретных окурков, в категории мезо- и микромусора высокий показатель у парафина.

Различные факторы, такие как промышленные отходы, непригодность современных фильтров на водоочистных сооружениях, неправильная утилизация бытового мусора, безответственное отношение к нему и другие социальные аспекты жизни современного человека - способствуют загрязнению побережья Балтийского моря. Это подчеркивает необходимость принятия комплексных мер, которые включают в себя не только законодательные и правоприменительные меры, но и образовательные программы, нацеленные на изменение потребительских привычек и повышение осознанности общества.

Одним из наиболее важных шагов в борьбе с загрязнением мусором побережья Балтийского моря является установление строгих международных стандартов и соглашений, а также их последующая реализация и надлежащая координация действий между странами, имеющими выход в это море.

Кроме того, следует активно вовлекать местные сообщества, неправительственные организации и частный сектор в процесс решения этой проблемы. Необходимо проводить систематические уборки пляжей, организовывать образовательные кампании и пропагандировать раздельный сбор мусора на всех уровнях.

Устранение загрязнения мусором побережья Балтийского моря требует долгосрочных инвестиций и сотрудничества всех заинтересованных сторон, создания систематизированной базы мониторинга морского мусора. Однако, при наличии ресурсов и грамотно спланированных мер, проблема может быть обращена к лучшему. Только совместными усилиями мы сможем создать чистую и здоровую среду для будущих поколений и сохранить уникальное биоразнообразие и экологическое состояние Балтийского моря.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гидрометеорологические условия Балтийского моря и Рижского залива // Ленинград : Гидрометеоиздат, 1979. С 14-19.
2. Матишов, Геннадий Григорьевич Экосистемы и биоресурсы европейских морей России на рубеже XX и XXI веков // Мурманск : ин-т КНЦ РАН, 1999. - 126 с.,
3. Экологические проблемы Калининградской области и Балтийского региона. // Калининград : Изд-во Калинингр. гос. ун-та, 2002. С 91, 211, 213.
4. Догановский, Аркадий Михайлович. Гидросфера Земли // Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 2004. С 582-583.
5. Израэль, Юрий Антониевич. Антропогенная экология океана // Москва : Гидрометеоиздат, 1989. С 293-295.
6. Геология Балтийского моря. Под ред. проф. д-ра В. К. Гуделиса и канд. геол.-минерал. наук Е. М. Емельянова ; // Вильнюс : Мокслас, 1976. - 382 с.
7. Дуванин А. И., Уровень моря, о многолетних колебаниях уровня океанов, некоторых морей и озер, «Вестник МГУ. Серия 5. География», 1975, № 69
8. Серых И.В., Костяной А.Г., Т О климатических изменениях температуры Балтийского моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12, № 3. С. 5—12.
9. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.:РГГМУ, 2008. 407 с.
10. А. И. Симонов. Гидрохимия моря // Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985. - 290 с.

11. Окружающая среда Санкт-Петербурга : журнал // Санкт-Петербург 2019 №3 С. 10-14.
12. К оценке распространения микропластика в восточной части Финского залива. С. Д. Мартьянов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12, № 4. С. 32–41.
13. Шамраев Ю. И., Шишкина Л. А., Океанология // Л.: Гидрометеоиздат, 1980. — 384 с.
14. Альберт К. Дженсен., Живой мир океанов // Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1994. С 141-144
15. Безруков Юрий Федорович Океанология. Часть I. Физические явления и процессы в океане // Симферополь Таврический национальный университет им. В.И.Вернадского, 2006. - 159 с.
16. Морская экология и прибрежно-морское природопользование: учеб. пособие / под общ. ред. Я.Ю. Блиновской // М.: Академия, 2008.
17. Ежегодник состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации. — М.: Росгидромет, 2022.
18. Загрязнение пляжей Балтийского моря морским мусором // [Электронный ресурс] URL: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2020.599978/full (дата обращения 11.05.2024)