



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Оценка соответствия индикаторов эвтрофирования Финского залива новым целям Плана действия ХЕЛКОМ

Исполнитель Крылова Ульяна Геннадьевна
(фамилия, имя, отчество)

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

Ершова Александра Александровна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

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

Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

« » 2022 г.

Санкт-Петербург,
2022

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. Современная проблема эвтрофирования Финского залива.....	5
1.1 Физико-географическая характеристика Финского залива	5
1.2 Эвтрофирование Финского залива	12
1.3 План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю.....	17
Глава 2. Анализ индикаторов эвтрофирования	24
2.1 Хлорофилл α	24
2.2 Прозрачность	26
2.3 Биогенные элементы	27
2.4 Масштаб и продолжительность сезонного истощения кислорода	31
2.5 Диапазон глубины произрастания подводной растительности	32
Глава 3. Анализ индикаторов эвтрофирования в планах действий ХЕЛКОМ 2007 и 2021 гг.	34
3.1 Целевые значения Плана действий по Балтийскому морю 2007 года для разных акваторий	34
3.2 План действий по Балтийскому морю 2021 года	37
3.3 Анализ индикаторов эвтрофирования Финского залива	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	53
Список использованных источников	55

ВВЕДЕНИЕ

Эвтрофикация — повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления биогенных элементов под воздействием естественных и антропогенных факторов. Эвтрофикация является главной экологической проблемой Балтийского моря, которая негативно влияет на экологическое состояние региона и достаточно серьёзно изменяет всю его экосистему. На данный момент, более 97% территории Балтийского моря подвержены эвтрофированию, что включает всю акваторию открытого моря.

В 2007 году странами-участницами Хельсинской комиссии (ХЕЛКОМ) был выпущен План действий по Балтийскому морю (ПДБМ), целью которого было достижение благополучного экологического состояния региона. Одним из направлений стала эвтрофикация. Для эффективных исследований были поставлены экологические цели и соответствующие им индикаторы, некоторые из которых имеют целевые значения.

Поставленные цели не были достигнуты к 2021 году, что стало причиной обновления ПДБМ в 2021 году. Преимущества нового ПДБМ состоят в повышении его актуальности и эффективности. Направления деятельности не изменились, но были внесены другие изменения. Были добавлены цели управления, внесены изменения в максимально допустимые поступления биогенных нагрузок и др.

Цель работы: анализ индикаторов эвтрофирования ХЕЛКОМ для Финского залива и возможности их соответствия целям нового Плана действий ХЕЛКОМ.

Задачи:

- ознакомиться с экологической проблемой эвтрофирования водных объектов;
- провести анализ проблемы эвтрофирования для Финского залива Балтийского моря и современного состояния экосистемы;

- проанализировать целевые значения индикаторов эвтрофирования для Балтийского моря и Финского залива согласно данным старого и нового Плана действий по Балтийскому морю;
- сделать выводы о возможности достижения целевых значений индикаторов для российской части акватории Финского залива.

Глава 1. Современная проблема эвтрофирования Финского залива

1.1 Физико-географическая характеристика Финского залива

Финский залив является частью Балтийского моря и занимает его восточную часть. Выход к Финскому заливу есть у трех стран, среди которых Российская Федерация, Финляндия и Эстония. Площадь Финского залива составляет 29.5 тыс. км². Длина от полуострова Ханко до города Санкт-Петербург равна 420 км. Ширина достаточно сильно варьируется, от 70 км в горле до 130 км в самой широкой части залива, ширина в Невской губе вовсе уменьшается до 12 км.

Глубина Финского залива достаточно небольшая, в среднем около 38 м. Максимальная глубина достигает 121 м. В целом, залив отличается мелководностью и достаточно разнообразным рельефом дна [14].

В геологическом строении ложа Финского залива преобладают граниты, гнейсы и дайки палеозойской эры, возраст которых насчитывает более трехсот миллионов лет. Современный рельеф был образован при участии оледенений и деятельности ледников. Валдайское оледенение стало последним и завершилось 12 тысяч лет назад.

Также следует упомянуть о влиянии Скандинавского щита, от подъема которого случился перекоп дна Финского залива. Окончательное формирование современного вида Финского залива закончилось приблизительно четыре тысячи лет назад [15].

Северный берег характеризуется фьордами и шхерами, встречаются крупные заливы (Выборгский) и полуострова (Порккала, Ханко), но при этом берег — отлогий и песчаный, с береговыми валами и песчаными дюнами.

Южные берега — низкие и подтопленные. Вдоль берега протянулся Балтийско-Ладожский глинт — вал высотой до 40 м. На Кургальском полуострове берег понижается уступами. Южный берег крайне разный, от относительно ровной и не извилистой береговой линии Восточной Эстонии до изрезанной полуостровами и заливами береговой линии России и Западной Эстонии.

Отличительной чертой Финского залива является довольно низкая солёность вод, которая обуславливается достаточно большим притоком пресной воды. Значительную роль в опреснении Финского залива играет река Нева. Соленость изменяется от 0,2 до 9,2 ‰ на поверхности, у дна не превосходит 11‰ [15].

Климат Финского залива — умеренный с избыточным увлажнением. Погодные условия региона определяется воздушными массами, которые поступают с Атлантического океана. В течение всего года на территории Финского залива господствует циклоническая циркуляция, кроме мая и июля, во время которых преобладают антициклоны и малоградиентные барические поля.

Местность Финского залива относится к зоне избыточного увлажнения. Данному району присуща средняя годовая норма осадков примерно 600 мм, а испаряемость — 250 мм.

Температура воды Финского залива в поверхностных слоях летом составляет +15-17°C, в глубине стабильная температура - +2°C. Зимой температура снижается до 0°C, Финский залив покрывается льдом, который сохраняется в среднем с декабря по апрель. Залив замерзает с востока, в районе Невской губы и Выборгского залива, на запад вдоль северного побережья. Таяние происходит в обратном направлении, в результате которого границы припая и дрейфующие льды сдвигаются с запада на восток. Западная часть залива освобождается ото льда в апреле, восточная — в мае.

Важной особенностью всей территории Финского залива, кроме Невской губы, является устойчивая вертикальная стратификация. Она ограничивает конвекцию, тем самым препятствуя проникновению кислорода в природные слои. А в сумме с избыточным обогащением залива биогенными элементами в придонном слое нередко образуются гипоксические (концентрация $O_2 < 2$ мл/л) и аноксические (отсутствие O_2) зоны.

Значительной проблемой для населенных пунктов, расположенных у вод Финского залива, являются сильные ветры, которые дуют с запада. Благодаря им образуются нагонные течения, которые могут привести к наводнениям [14].



Рис. 1.1.1 — Физико-географическая карта Финского залива [14]

Экологические проблемы Финского залива

Экологическое состояние Финского залива оценивают как неудовлетворительное. Сам залив, Невская губа и река Нева вызывают определенные опасения и часто становятся повесткой на различных симпозиумах стран Прибалтики [20].

Экологическое состояние Финского залива напрямую зависит от состояния Невской губы и впадающих в неё рек.

По данным полевых наблюдений ФГБУ «ГГИ» 2002-2006 гг. были сделаны выводы о неудовлетворительном состоянии рек, впадающих в Невскую губу Финского залива, по гидрохимическим показателям. Качество вод характеризуется от умеренно-загрязненных (III класс) до чрезвычайно грязных (VII класс).

По оценке Невско-Ладожского Бассейнового Водного Управления, это можно связать с достаточно серьезной техногенной нагрузкой на окружающую среду, а именно недостаточно очищенные или вовсе неочищенные сточные воды от муниципальных предприятий ЖКХ, рекреационных объектов, а также хозяйственно-бытовых и производственных вод [9].

По данным АИС ГМВО (Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов) за 2019 г. на реке Нева наблюдались следующие нарушения нормативов ПДК с указанием их повторяемости в % (Рис. 1.1.2). Можно заметить превышение ПДК по 7 показателям: ХПК, БПК 20.5, азот нитритов, железо общее, медь, цинк и марганец. Из чего следует вывод о не самой удовлетворительном состоянии вод реки Нева и соответственно самого Финского залива [11].

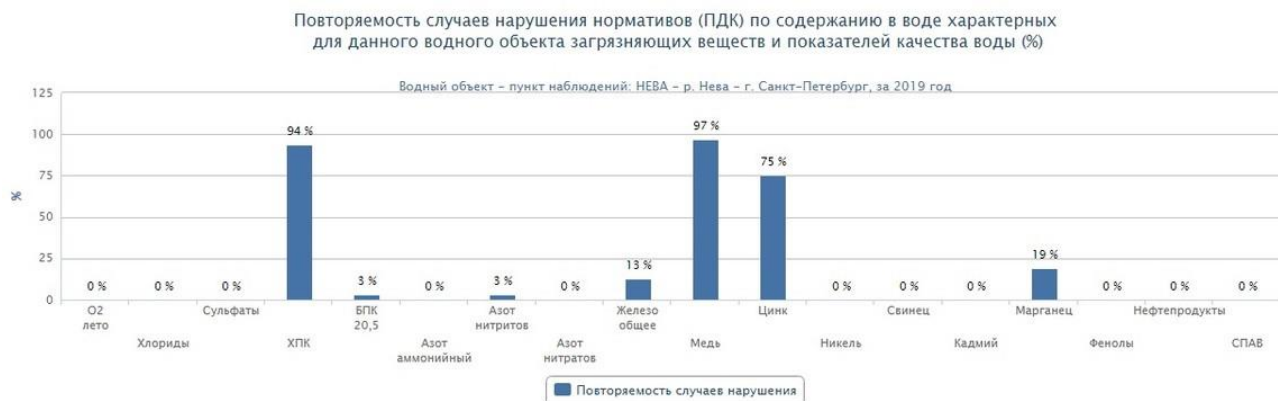


Рис. 1.1.2 — Повторяемость случаев нарушения нормативов ПДК по содержанию в воде загрязняющих веществ и показателей качества воды для водного бассейна р. Нева в % [11]

Невская губа Финского залива принимает сток с 67% площади водосбора всего Финского залива. Водосборная площадь Невской губы расположена на территории нескольких субъектов Российской Федерации (82%): Санкт-Петербург, Ленинградская, Новгородская, Вологодская области, Республика Карелия. Часть водосборной площади (18%) находится в Финляндии. Экологическое состояние Невской губы Финского залива во многом формируется стоком реки Невы.

Водосбор реки расположен в пределах России (81,4%), Финляндии (18,5%) и Белоруссии (0,1% площади водосбора). Российская часть водосбора входит в пределы семи субъектов РФ. На берегах Невы расположены города Шлиссельбург, Кировск, Отрадное, Санкт-Петербург, пос. Усть-Ижора и др. Из чего следует очень сильная антропогенная нагрузка на реку.

ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», ПАО «ТГК-1» и еще 170 предприятий-водопользователей используют водные объекты Санкт-Петербурга и Невскую губу Финского залива для сброса сточных вод. Общий объем сброса сточных вод в 2020 году составил 1063,19 млн м³, в том числе загрязненных сточных вод – 971,22 млн м³. При этом необходимо отметить, что

свыше 74% от общего объема загрязненных сточных вод приходится на Невскую губу Финского залива [20].

Можно выделить следующие главные экологические проблемы Финского залива:

1. Загрязнение вод вредными веществами.

Основным источником загрязнения являются сточные воды городской канализации и очистных систем предприятий Санкт-Петербург. Немаловажным фактором является антропогенный, большая часть пластикового мусора попадает в залив по вине человека, который выкидывает пластик прямо в воду.

Также большое негативное воздействие оказывает морское и речное судоходство. Оно служит главным источником поступления нефтепродуктов в воду. Существует несколько вариантов поступления токсичных веществ в водоем:

- смыв с приходящих в порта кораблей;
- нештатные ситуации во время заправки топливом;
- технический ремонт или обслуживание судов;
- сброс балластных вод и др.

2. Активное разрушение естественной береговой линии.

Происходит в результате строительства портовых комплексов, а также обустройства набережной Санкт-Петербурга и населенных пунктах Ленинградской области. Это также приводит к искусственному изменению русла рек, которые впадают прямым в Финский залив. Данный процесс, в свою очередь, служит причиной нарушений нерестилищ рыбы, такой как корюшка, балтийский лосось и другие [21].

Береговая линия Финского залива является объектов достаточно серьёзного долговременного техногенное воздействия, которое иногда

приводит у тому, что возникают естественные берега становятся природно-техногенными или даже техногенными. Также можно отметить значительное сокращение ширины пляжей.

Вот лишь некоторые изменения береговой линии Финского залива:

- Сокращение ширины пляжей близ пос. Лебяжье на 20-30 м, близ пос. Большая Ижора вовсе на 60-70 м (1975-1990 гг.). Сформированные на данных территориях аккумулятивные косы также подверглись размыванию на 230 и 300 метров соответственно.
- Сокращение береговой линии в посёлках Ольгино и Лисий нос на 20-25 м (1990-2005 гг.).
- В 2008 г. в следствии аккумуляции песка на территории смежной с Комплексом защитных сооружений от наводнений г. Санкт-Петербург, произошло объединение Финского залива с карьером близ КЗС. В 2006 г. ширина перемычки между самым карьером и заливом была примерно 40 м, а уже в 2008 г. - 20-25 м.
- На восточном побережье Лужской губы береговая линия отступает со скоростью 2–2,5 м/год [13].

3. Деградация прибрежных и водных экосистем.

Финского залива, в том числе биологического разнообразия в особо охраняемых природных территориях – водно-болотных угодьях международного значения – заказников «Кургальский», «Березовые острова», «Лебяжий»;

4. Эвтрофирование вод Финского залива.

Одной из самых главных экологических проблем не только Финского залива, но и всего Балтийского моря, является процесс эвтрофикации, который на данной территории носит как естественный, так и антропогенный характер.

Значительное влияние на процесс эвтрофирования оказало строительство защитного сооружения от наводнений города Санкт-Петербург, то есть дамбы. Это стало причиной сокращения водообмена Невской губы с восточной частью Финского залива на примерно 10-20% и привело к увеличению концентрации биогенных веществ в Невской губе. Самые серьёзные изменения происходят в придамбовой зоне на расстоянии менее 5 км от неё. Наибольшее опасение вызывает постепенное заболачивание мелководных частей Невской губы между Санкт-Петербургом и самой дамбой. Это вызвано тем, что осенние штормы, которые ослаблены дамбой, не могут достаточно очищать дно Невской губы от растущих там высших растений. Заболачивание вызывает гниение остатков водной растительности, что постепенно может стать причиной дополнительной эвтрофикации и исключению из акватории обширных участков [20].

1.2 Эвтрофирование Финского залива

Эвтрофикация — повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления биогенных элементов под воздействием естественных и антропогенных факторов [1].

В результате эвтрофирования происходит усиленный рост биомассы и первичной продукции фитопланктона, появляются в массе прибрежная растительность и сине-зеленые водоросли, которые приводят к «цветению» воды, также наблюдаются структурные изменения в сообществах. Эвтрофирование сопровождается усилением анаэробного обмена в глубинной зоне, происходит нарушение окислительно-восстановительных процессов и формируется дефицит кислорода [16].

Крупные формы с длительными циклами замещаются на мелкие короткоцикловые, среди рыб доминируют преимущественно планктофаги, в зоопланктоне преобладают коловратки и ветвистоусые ракообразные,

уменьшается видовое разнообразие. Увеличивается доминирование какой-то группы животных и растений на разных трофических уровнях. Изменение разнообразия в сторону упрощения сообществ гидробионтов [1].

Естественное эвтрофирование протекает крайне медленно, преимущественно в донных отложениях с остатками отмерших организмов. Это процесс естественных сукцессионных изменений экосистем.

Источниками антропогенного эвтрофирования являются: сточные воды, поверхностный сток с городских территорий и сельскохозяйственных угодий, из атмосферы, из зон рекреации, от водного транспорта и др [7].

Негативные последствия эвтрофикации:

- ухудшение физико-химических условий среды обитания рыб и других гидробионтов за счет массового развития фитопланктона;
- снижения содержания кислорода в воде;
- гибель бентосных организмов, разложение продуктов их распада;
- образование избытка органического вещества;
- истощение кислорода [1].

Эвтрофирование — одна из самых главных экологических проблем Балтийского моря. С 1900-х годов Балтийское море изменилось от олиготрофного до эвтрофного.

Главной причиной эвтрофирования Балтийского моря являются чрезмерные нагрузки азота и фосфора от наземных источников. Около 75 % азота и 95 % фосфора поступают в Балтийское море через реки или с прямыми сбросами очищенных и неочищенных муниципальных и промышленных сточных вод непосредственно в море. Около 25 % азота поступает в Балтийское море через воздушную среду. Концентрации общего азота и общего фосфора в Финском заливе за период мониторинга 1970-2006 гг. представлен на Рис. 1.2.1.

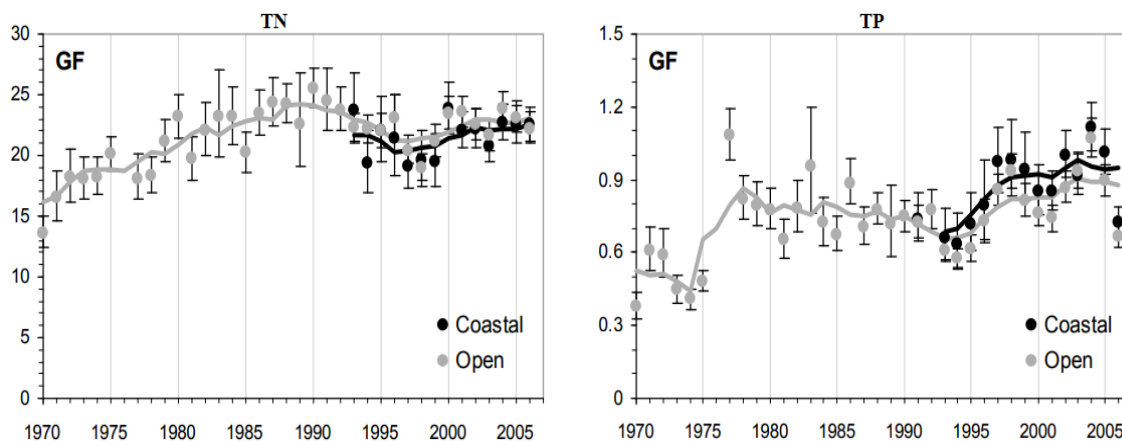


Рис. 1.2.1 — Зимние концентрации (январь–декабрь) общего азота и общего фосфора, $\mu\text{моль/л}$ в поверхностных водах (0-10 м) Финского залива в 1970-2006 гг., где черным цветом отмечена прибрежная зона, а серым — открытое море [24]

Эвтрофирование Финского залива носит как естественный, так и антропогенный характер.

Современное состояние залива объясняется проявлением внутренних гидрофизических и гидродинамических процессов и поступлением азота и фосфора с речным стоком. Биогенная нагрузка Финского залива в среднем выше, чем в большинстве других бассейнах Балтийского моря.

Естественная фоновая нагрузка от рек составляет около трети поступающих в Балтийское море фосфора и азота. Большая часть приходится на Финский и Ботнический заливы [28].

Антропогенный фактор также сильно сказывается на состоянии эвтрофирования вод Финского залива. Немаловажную роль в данном процессе принимает г. Санкт-Петербург, только официальное население которого составляет почти 5,6 миллиона человек по данным Росстата [18].

Главная роль в снижении антропогенной нагрузки принадлежит ГУП Водоканал Санкт-Петербурга. Он проводит огромную работу по сокращению сброса неочищенных сточных вод и повышению эффективности очистки сточных вод, в том числе удалению биогенных элементов – азота и фосфора, которые являются главными агентами эвтрофирования вод.

Главная задача ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» — уменьшение негативного воздействия г. Санкт-Петербург на воды Финского залива и улучшение экологического состояния экосистем Балтийского моря.

ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» постоянно ведет активную работу по модернизации и интенсификации технологий биологической очистки сточных вод с целью выполнения требований по удалению соединений азота и фосфора (азот общий – не более 10 мг / дм³, фосфор общий – не более 0,5 мг/дм³).

Для достижения поставленных значений было проведено множество мероприятий для снижения концентрации биогенных элементов.

В 2005 году Водоканал стал использовать современные методы интенсификации биологической очистки сточных вод, а также было внедрено химическое осаждение фосфора. В результате чего, с 2011 года содержание фосфора в общем объеме очищенных сточных вод Петербурга не превышает 0,5 мг / дм³.

За последнее время в городе благодаря крупным проектам получилось значительно уменьшить отрицательное влияние сточных вод на экологическое состояние Балтийского моря. Вот только несколько таких мероприятий:

- первый этап реконструкции Северной станции аэрации в 2017 г, а также второй этап с окончанием в 2023 г.
- реконструкция 8 первичных и 6 вторичных отстойников, 5 секций аэротенка с внедрением технологии глубокого удаления азота и фосфора;

- строительство 2 станций сырого осадка и станции возвратного и избыточного ила;
- внедрение технологии преферментации сырого осадка;
- строительство Главного канализационного коллектора в северной части Петербурга в 2013 году;
- завершение первого этапа строительства Охтинского коллектора для прекращения сброса неочищенных сточных вод в р. Охта в конце 2020 года и многое другое.

Перечисленные мероприятия привели к тому, что уровень очистки хозяйственно-бытовых стоков города Санкт-Петербург достиг 99,6 %.

Также к 2030 году Водоканал планирует переключить весь объем хозяйственно-бытового стока на очистные сооружения [5].

Таблица 1.2.1 — Концентрации биогенных элементов на выпуске сточных вод в Финский залив [5]

№	Биогенный элемент	Концентрация в общем объеме стоков на выходе с КОС, мг/л
1	Азот общий	10,5
2	Фосфор общий	<0,5

Также по Рис. 1.2.2 можно проследить, как снижались концентрации биогенных элементов по годам и каким мероприятиям этому способствовали.



Рис 1.2.2 —

Динамика сокращения биогенных элементов в сточных водах Санкт-Петербурга [5]

В снижении нагрузки биогенных веществ на экосистему Балтийского моря играет важную роль Хельсинская комиссия (ХЕЛКОМ). Управление осуществляется с помощью Плана действий по Балтийскому морю. ПДБМ включает полный цикл управления, направленный на конкретные улучшения условий в Балтийском море, на основе наилучшей имеющейся научной информации и системы поддержки принятия решений на основе моделей [6].

1.3 План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю

Деятельность Хельсинкской комиссии (ХЕЛКОМ) направлена на защиту морской среды Балтийского моря от всех источников загрязнений и реализуется в рамках международного сотрудничества Германии, Дании, Европейского союза, Латвии, Литвы, Польши, Российской Федерации, Финляндии, Швеции и Эстонии.

ХЕЛКОМ является руководящим органом «Конвенции по защите морской среды Балтийского моря», также известной под названием Хельсинкская конвенция.

Хельсинкская конвенция по защите морской среды Балтийского моря впервые была одобрена странами-участницами в 1974 году. Новый вариант был подписан в 1992 году и вступил в силу 17 января 2000 года. После чего был осуществлен мониторинг и оценка состояния морской среды Балтийского моря и оказывающих на него влияние факторов. В результате, выявили основные проблемы и определили цели и задачи. Это стало причиной того, что уже в ноябре 2007 года все страны-участницы конвенции утвердили План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю (ПДБМ) [17].

В 2018 г. поступило предложение о пересмотре ПДБМ, так как стало очевидно, что к 2021 году основные цели не будут достигнуты.

20 октября 2021 года вышла новая версия Плана действий по Балтийскому морю.

План действий по Балтийскому морю (ПДБМ) — стратегическая программа мер и действий ХЕЛКОМ для достижения хорошего экологического состояния Балтийского моря [23].

ПДБМ разделен на следующие сегменты и сопутствующие им цели:

1. Биоразнообразие с ориентиром — «Здоровая и экологически устойчивая экосистема Балтийского моря»;
2. Эвтрофикация с целью — «Балтийское море, не затронутое эвтрофикацией»;
3. Опасные вещества и мусор с целью — «Балтийское море без опасных веществ и мусора»;

4. Деятельность на море с целью — «Экологически устойчивая деятельность на море».

Каждый из четырех сегментов структурирован вокруг обновленных экологических и управленческих задач ХЕЛКОМ и содержит конкретные меры и действия, которые должны быть реализованы не позднее 2030 года. [29].

Стоит отметить взаимосвязь всех перечисленных сегментов, которые, в свою очередь, являются главными экологическими целями региона. Экологическая обстановка Балтийского моря за последние десятилетия значительно изменилась, основной причиной чего является возросшая антропогенная нагрузка не только на само море, но и на всю его водосборную территорию.

Процесс эвтрофирования вызывает наиболее серьезные опасения, его называют самой главной и трудноразрешимой экологической проблемой Балтики. Эти проблемы требуют немедленных широкомасштабных действий для прекращения дальнейшего разрушения окружающей среды Балтийского моря и предотвращения необратимого бедствия. Неспособность в настоящее время реагировать на проблемы должным образом подорвет перспективы восстановления морской среды и ее способности реагировать на прогнозируемый стресс в результате изменения климата. Кроме того, бездействие нанесет ущерб жизненно важным ресурсам, необходимым для будущего экономического процветания всего региона, и будет стоить в десять раз больше, чем необходимые действия [17].

Также уделяют внимание межотраслевым вопросам таким как: изменение климата, мониторинг, морское пространственное планирование, экономический и социальный анализ, обмен знаниями и повышение осведомленности, точки интенсивного воздействия и финансирование.

Помимо этого, меры во всех сегментах призваны повысить общую сопротивляемость Балтийского моря, то есть, улучшить его способность реагировать на последствия изменения климата.

Ход выполнения задач будет отслеживаться с помощью индикаторов ХЕЛКОМ и целевых показателей воздействия, если таковые имеются.

План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю основан на экологических целях, которые отражают «здоровую морскую среду с различными сбалансировано функционирующими биологическими компонентами, достигающей хорошего экологического статуса и поддерживающей широкий диапазон устойчивой человеческой деятельности». Цели для достижения «хорошего экологического статуса» основываются на имеющихся наилучших научных знаниях.

В Плане определены конкретные мероприятия, необходимые для достижения в установленные сроки согласованных целей в рамках основных экологических приоритетов: борьба с эвтрофикацией, ограничение поступления опасных веществ, обеспечение безопасности на море и реагирования на морские инциденты, а также остановка разрушения мест обитания и продолжающегося сокращения биологического разнообразия.

В Плане действий есть различие между мерами, которые могут быть осуществлены на региональном или национальном уровне, и мерами, которые могут быть реализованы только на уровне ЕС (например, общая политика в отношении рыболовства, общая сельскохозяйственная политика, контроль за маркетингом и использованием химических веществ) или в глобальном масштабе (например, контроль за судоходством, разработанный Международной морской организацией) [3].

Роль Российской Федерации в реализации ПДБМ.

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации (МПР) осуществляет координацию проведения работ, связанных с членством Российской Федерации в международных природоохранных организациях, и по обеспечению выполнения Российской Федерацией обязательств, вытекающих из конвенций, в том числе Хельсинкской конвенции, по вопросам охраны окружающей среды и природопользования.

В соответствии с письмом № 10-29/13973 от 24.05.2017 Министерства природных ресурсов и экологии РФ, Санкт – Петербургское государственное геологическое унитарное предприятие «Специализированная фирма «Минерал» (ГГУП СФ «Минерал») назначено единым оператором по реализации программ, проектов и решений Комиссии по защите морской среды Балтийского моря (далее ХЕЛКОМ).

В обязанности единого оператора входит осуществление контактного представительства и координации по вопросам ХЕЛКОМ в регионе, оказание эффективного содействия Минприроды России в выполнении обязательств в рамках Хельсинкской Конвенции по защите морской среды региона Балтийского моря, организация ежегодного Международного экологического Форума «День Балтийского моря» в Санкт – Петербурге (22-23 марта) и т.д.

Для реализации вышеуказанной деятельности на базе ГГУП СФ «Минерал» создан Центр по экологии и охране природы района Балтийского моря [10].

ГУП «Водоканал Санкт – Петербурга» поддерживает инициативы ХЕЛКОМ.

Они ставят перед собой цель: Очистка сточных вод в соответствии с рекомендациями ХЕЛКОМ:

- содержание общего азота в очищенных стоках не более 10 мг/л;
- содержание общего фосфора в очищенных стоках не более 0,5 мг/л.

Мероприятия:

- Прекращение сброса неочищенных сточных вод;
- Модернизация сооружений биологической очистки с внедрением технологии глубокого удаления биогенов;
- Внедрение химического метода удаления фосфора фосфатов.

В соответствии с вступившими в силу с 01.01.2019 положениями Федерального закона «Об охране окружающей среды» для объектов водоотведения I категории негативного воздействия на окружающую среду обязательным является внедрение наилучших доступных технологий (НДТ). Один из этапов перехода на НДТ – необходимость разработки Программ повышения экологической эффективности. В 2021 году Программы повышения экологической эффективности разработаны и утверждены для Центральной станции аэрации, Северной станции аэрации и Юго-Западных очистных сооружений [5].

Если отдельно говорить о сегменте «Эвтрофикация», то для достижения главной цели выделяют пять экологических целей, которые характеризуют незатронутое эвтрофикацией и имеющее хороший экологический статус Балтийское море.

Каждая экологическая цель обязана иметь количественно измеряемые индикаторы, с помощью которых делают выводы о процессе выполнения и реализации поставленных целей.

Выделяют следующие экологические цели и соответствующие им индикаторы эвтрофирования Балтийского моря по ПДБМ ХЕЛКОМ:

1. Концентрации питательных веществ, близкие к естественным уровням, отслеживаемые с помощью индикатора «зимние концентрации питательных веществ в поверхностных водах»;

2. Чистая вода — индикатор «летняя глубина прозрачности воды, измеряемая по диску Секки»;

3. Естественный уровень цветения водорослей — «индикатор концентрации хлорофилла- α »;

4. Естественное распределение водных растений и животных — индикатор «диапазон глубин распространения подводной растительности»;

5. Естественный уровень кислорода — индикатор «площадь и продолжительность сезонного истощения кислорода» [6].

Глава 2. Анализ индикаторов эвтрофирования

2.1 Хлорофилл α

Фитопланктон обеспечивает органическим веществом природные воды. А в свою очередь, хлорофилл, который является составляющим фитопланктона, участвует в процессе фотосинтеза. Существует несколько видов: хлорофилл α и β , которые входят в состав высших водорослей; а также c и d — составляющие низших водорослей.

Для обеспечения самого процесса фотосинтеза главную роль играет хлорофилл α , остальные виды в большей степени участвуют в поглощении света и транспортировке [9].

Содержание и концентрация хлорофилла « α » в морском фитопланктоне представляет собой важную характеристику оценки первичной биопродуктивности вод: существует закономерная связь между его количеством и величиной продукции фитопланктона [6].

Сведения о концентрации хлорофилла α и ее изменчивости в природной воде водного объекта является критерием при оценке биомассы фитопланктона и его продукции. Также хлорофилл α является индикатором оценки загрязнения природных вод [2].

Концентрация хлорофилла в настоящее время (в основном хлорофилла a) для оценки трофического состояния водных экосистем применяется достаточно широко при мониторинге поверхностных вод. Но интенсивность фотосинтеза первичной продукции зависит не только от содержания хлорофилла, но и от многих других факторов: света, температуры, прозрачности воды, состава и физиологической активности клеток и др. Поэтому при одной и той же трофности водоема концентрации хлорофилла могут резко отличаться [7].

Для оценки степени эвтрофирования морских экосистем хлорофилл α служит важным индикатором. Концентрация хлорофилла является показателем напряженности биологических процессов, развивающихся в водоеме, и критерием уровня эвтрофирования, в том числе антропогенного [16].

При повышении концентрации хлорофилла α в природной воде, происходит увеличение количества фитопланктона. Это приводит к тому, что происходит ослабление проницаемости водной толщи светом, доступность которого на дне уменьшается.

Результатом повышения количества фитопланктона также служит усиление осаждение органического материала, которое может привести как к усиленному затенению за счет заселения растительностью, так и к аноксии за счет повышенное потребление кислорода во время разложения [25].

Таблица 2.1.1 — Классификации трофности природных вод по концентрации хлорофилла « α », мкг/л [7]

Автор	Ультраолиготрофные	Олиготрофные	Мезотрофные	Эвтрофные	Гиперэвтрофные
Винберг Г.Г. (1960)		< 1	1–10	10–100	> 100
Китаев (1984)		< 1,5–3	3–12	12–48	
Meubeck (1989)	0,01–0,3	0,3–2,5	2,5–8	8–25	> 25
Forsberg (1980)		< 3	3–7	7–40	> 40
Hackanson (1991)		< 2	2–8	6–35	> 35

Таблица 2.1.2 — Классификации трофности водоемов по биомассе фитопланктона, (мг/л) [7]

Автор	Олиготрофные	Мезотрофные	Эвтрофные
Михеева, 1975	< 1,5	1,5–2,0	> 2,0
Милиус, Кываск, 1979	< 1,0	1,0–3,0	3,0–7,0
Китаев, 1984	< 0,5–1,0	1,0–4,0	4,0–16,0
Трифоновна И. С., 1993	< 1,0	1,0–3,0	3,0–10,0

2.2 Прозрачность

Прозрачность природных вод прямо связана с эвтрофированием водоемов. При увеличении количества фитопланктона в процессе эвтрофирования в водоеме происходит повышение содержания взвешенных веществ, что приводит к уменьшению прозрачности природных вод.

Прозрачность воды — является одним из основных индикаторов эвтрофирования. Прозрачность характеризует снижение проникания в воду света, а также обуславливает её поглощающие и рассеивающие способности.

Прозрачность является самым очевидным индикатором эвтрофирования вод, по которому делают первые выводы. Мониторинг прозрачности проводится ещё с конца девятнадцатого века и до наших дней.

Прибором для определения прозрачности природных вод служит диск Секки.

Диск диаметром 30 см опускают в воду и следят, на какой глубине он исчезнет из виду. До сих пор ни один современный метод мониторинга прозрачности поверхностного слоя вод Мирового океана, включая космическое

зондирование, пока не может сравниться с ним по простоте, точности и информативности. Прозрачность измеряется в летний период [25].

Таблица 2.2.1 — Классификации трофности водоемов по прозрачности в м [7]

Авторы	Олиготрофный тип	Мезотрофный тип	Эвтрофный тип
Lonnerblad,1931	> 4	2–3	< 1
Alm,1960	> 5	2–5	< 2
Китаев,1984	4–8	1–4	< 1
Hendersen-Selers,1984	> 6	3–6	< 3
Романенко,1985	6–12	3–6	0,3–0,8

2.3 Биогенные элементы

Биогенные элементы – химические элементы, имеющие важнейшее значение для существования всего живого организма, без которых его существование нереально. Насчитывается примерно около двадцати биогенных элементов, которые входят в состав клеток живых организмов. Азот, кремний, кислород, углерод, железо и другие элементы представляют наибольшую значимость для функционирования организма. Биогенные элементы могут находиться в воде как в виде ионов, так и в виде коллоидов.

Биогенные элементы определяют биологическую продуктивность водных объектов, а также характеризуют качество природных вод, которое в большей степени зависит от их концентрации. При мониторинге и оценке состояния водных объектов используется определение биогенных элементов в более широком смысле. К ним напрямую имеют отношение соединения, образующиеся в процессе распада погибших организмов и являющиеся

«строительным материалом» для поддержания жизнедеятельности живых организмов.

В первую очередь к биогенным элементам принадлежат соединения азота (нитраты NO_3 , нитриты NO_2 , органические и неорганические аммонийные соединения), фосфора (ортофосфаты, полифосфаты, органические эфиры фосфорной кислоты и др.).

Азот — важнейший химический элемент для жизнедеятельности организма, является структурным составляющим белков и аминокислот.

Концентрация соединений азота — один из важнейших показателей загрязнения водных объектов. При увеличении их содержания, в воде преобладают токсичные свойства. При загрязнении водных объектов хозяйственно-бытовыми стоками концентрация азотистых соединений может многократно увеличиться в сотни и тысячи раз, если сравнивать с природным содержанием. Причиной повышения содержания данных элементов в водных объектах также объясняется выгребными ямами и внесением минеральных удобрений.

Фосфор, в свою очередь, является важнейшим химическим элементом для развития живых организмов в водных объектах. От его концентрации напрямую зависит рост и развитие водной растительности. Недостаток соединений фосфора приводит к нарушению процессов жизнедеятельности водной фауны, избыток — к ухудшению качества воды и проявлению процессов эвтрофирования водного объекта.

Одним из самых простых способов оценки достижения водоемом эвтрофного статуса является проверка превышения фактическими концентрациями БВ предельно допустимых значений. Поэтому установление норм предельно допустимого содержания в воде БВ необходимо не только в санитарно-гигиеническом плане, но для ограничения возможности

эвтрофирования водоемов. Процесс эвтрофирования, обусловленный повышенным содержанием в воде минеральных соединений азота и фосфатов, приводит к ухудшению качества воды (его органолептических свойств), накоплению токсичных продуктов [16].

Избыток содержания биогенных элементов служит причиной интенсивного развития водной растительности и и приводит к возникновению такого явления, как «цветение» водоёмов. В процессе эвтрофирования природных вод осуществляется быстрое повышение биомассы фитопланктона, которое происходит в следствии развития синезелёных водорослей, также называемых цианобактериями. Процесс «цветения» водоемов характеризуется большими структурными изменениями в водных экосистемах. Синезелёные водоросли выступают доминирующей группой, которая заменяет все другие виды водной фауны.

Процесс эвтрофирования усиливается в том случае, когда ускоряется рост водорослей по причине значительного количества азота и фосфора, содержание которых обуславливается наличием данных элементов в богатых удобрениями стоках с земель сельскохозяйственного значения, в чистящих и моющих средствах и других отходах.

Источники поступления биогенных элементов в водные объекты:

- естественное вымывание питательных веществ из почвы и выветривание горных пород;
- сбросы частично очищенных или неочищенных бытовых сточных вод, содержащих органические соединения азота и фосфора, нитраты и фосфаты;
- смыв неорганических удобрений, содержащих нитраты и фосфаты;
- смыв с ферм навоза, содержащего органические соединения азота и фосфора, нитраты, фосфаты, и аммиак;
- смывы с нарушенных территорий (шахты, отвалы, стройки и другое);

- поступление нитратов из атмосферы.

Отношение общего азота к общему фосфору в водоеме указывает на степень эвтрофирования его водной экосистемы. Характеристика природных вод по отношению общего азота к общему фосфору представлена в Таблице 2.3.1 [19].

Таблица 2.3.1 — Классификация Алекина 1985 природных вод по отношению содержания общего азота к общему фосфору [7]

Характеристика вод	$N_{\text{общ}} : P_{\text{общ}}$
Олиготрофные	30-40
Мезотрофные	25-30
Эвтрофные	15-25
Гипертрофные	12-15

Индикаторы эвтрофирования «неорганический азот» и «неорганический фосфор» измеряются в зимний период, так как в этот сезон первичная продуктивность достаточно низкая, что обуславливает низкую зависимость концентрации биогенных элементов от поглощения. Из чего можно сделать вывод, что данные элементы становятся значительным запасом питательных веществ для бурного роста и развития фитопланктона.

Общий азот и общий фосфор в свою очередь содержат растворенные органические питательные вещества (например, белки, мочевины или гуминовые вещества), а также питательные вещества, которые связаны в твердых частицах органического вещества (например, фитопланктон и детрит). Неорганические питательные вещества, которые попадают в водоемы, быстро усваиваются организмами [30].

2.4 Масштаб и продолжительность сезонного истощения кислорода

Результатом эвтрофирования является ускоренный рост и размножение в верхних горизонтах водоема фитопланктона и другой водной растительности, у которой наблюдается повышенная суммарная поверхность тела и биомасса. Ночью фотосинтез в такой растительности не идет, но процесс дыхания продолжается. В итоге, утром в верхних горизонтах наблюдается истощение кислорода и смерть придонной к кислороду фауны водоема. Данный процесс также называют летним замором.

На дне водоемов создаются так называемые мертвые зоны. Причиной служат погибшие части растительности и других органических загрязнений, которые в результате анаэробных микробиологических процессов, попадают на дно и разлагаются. Это вызывает уменьшение и полное исчезновение кислорода из природных вод, а также формирование метана, сероводорода, фенола и других ядовитых веществ [30].

Истощение кислорода в водоеме наблюдается, в том случае, если количество кислорода на дне превышает его же количество, которое поступает с помощью течений и перемешивания ветром, в других слоях воды.

Глобальное изменение климата в настоящее время имеет важное значение в критической ситуации с истощением кислорода. По причине усиления биологических дыхательных процессов происходит уменьшение растворимости кислорода из атмосферы и повышение его потребления.

Сезонное истощение кислорода на дне водоема оказывает негативное влияние на всю экосистему водоема. Дно водоема становится безжизненным, за исключением бактерий, способных существовать без кислорода или с минимальной его концентрацией.

Многие бактерии являются источниками метана, который создает пузырьки и создает значительные площади токсичного, насыщенного сероводородом дна. Происходят геологические нарушения, способные даже в верхних слоях водоема убивать рыбу и других гидробионтов.

Требуется значительное время, а точнее десятилетия, чтобы донная растительность снова восстановилась на мертвом дне, при условии улучшения кислородных условий водоема [14].

Индикатор сезонное истощение кислорода наблюдают измерением концентрации растворенного кислорода (мл/л).

Таблица 2.4.1 — Классификация загрязненности вод по содержанию растворенного кислорода [14]

Уровень загрязнённости и класс качества	Растворённый кислород,		
	лето, мг/дм ³	зима, мг/дм ³	% от насыщения
I – Очень чистые	9	13–14	95
II – Чистые	8	11–12	80
III – Умеренно загрязнённые	6–7	9–10	70
IV – Загрязнённые	4–5	4–5	60
V – Грязные	2–3	1–4	30
VI – Очень грязные	0	0	0

2.5 Диапазон глубины произрастания подводной растительности

Процесс эвтрофирования является причиной гибели донной растительности, что приводит к отсутствию кислорода в придонном слое водоема. Эвтрофирование приводит к дисбалансу производства и потребления кислорода в придонных горизонтах. Общая продукция водоема стремительно

растет, кислород быстро используется, в результате чего наблюдается гибель прихотливой к кислороду донной и придонной растительности.

В конечном итоге, при эвтрофировании происходит исчезновение значительной части видов флоры и фауны водоема, отмечается разрушение или большая трансформация его экосистем. Также наблюдается сильное ухудшение санитарно-гигиенического состояния качества природных вод, становятся малопригодными для купания и питьевого водоснабжения.

В донном грунте, в котором отсутствует кислород, идет анаэробный распад погибших организмов, наблюдается образование сильных ядов: фенолов, сероводорода, метана и других [30].

Глава 3. Анализ индикаторов эвтрофирования в планах действий ХЕЛКОМ 2007 и 2021 гг.

3.1 Целевые значения Плана действий по Балтийскому морю 2007 года для разных акваторий

План действий ХЕЛКОМ ставит перед собой следующие требования по сокращению биогенной нагрузки, представленные в Таблице 3.1.1, в зависимости от страны [23].

Таблица 3.1.1 — Требования ХЕЛКОМ по сокращению биогенной нагрузки в зависимости от страны [23]

Страна	Фосфор, т	Азот, т
Дания	16	17 210
Эстония	220	900
Финляндия	150	1 200
Германия	240	5 620
Латвия	300	2 560
Литва	880	11 750
Польша	8 760	62 400
Россия	2 500	6 970
Швеция	290	20 780
Трансграничный общий бассейн	1 160	3 780

В ПДБМ 2007 года также были определены максимально допустимые поступления биогенных веществ по суб-бассейнам Балтийского моря для

достижения хорошего экологического состояния региона с учетом информации гидрохимических показателей за период 1997-2003 гг. (Таблица 3.1.2.) [23].

Таблица 3.1.2 — Максимально допустимые поступления биогенных веществ в суб-бассейны Балтийского моря для достижения хорошего экологического статуса и необходимые сокращения в т [23]

Суб-бассейны Балтийского моря	Фосфор, т	Азот, т
Каттегат	1,570	44,260
Датские проливы	1,410	30,890
Центральная Балтика	6,750	233,050
Ботническое море	2,460	56,790
Ботнический залив	2,580	51,440
Рижский залив	1,430	78,400
Финский залив	4,860	106,680
Балтийское море	21,060	601,720

С учетом различных имитационных моделей, таких как BALTSEM, ERGOM, MIKE, в 2013 году были опубликованы целевые значения индикаторов эвтрофирования (Таблица 3.1.3) [25].

Таблица 3.1.3 — Целевые значения индикаторов эвтрофирования Балтийского моря по акваториям [25]

Бассейн	Общий азот, $\mu\text{моль/л}$ (зима)	Общий фосфор, $\mu\text{моль/л}$ (зима)	Прозрачность Секки, м (лето)	Хлорофилл- a , мкг/л (лето)	Концентрация растворенного кислорода, мг/л
1. Северный Каттегат	<17.43	<0.64	7.56	<1.22	
2. Центральный Каттегат	<17.43	<0.64	7.56	<1.22	
3. Южный Каттегат	<17.43	<0.64	7.56	<1.22	
4. Северная часть Бельтского моря	<21.79	<0.97	7.75	<1.89	
5. Южная часть Бельтского моря	<21.79	<0.97	7.75	<1.89	
6. пролив Зунт	<21.79	<0.97	7.75	<1.89	
7. Арконский бассейн	<17.36	<0.66	7.60	<1.44	
8. Борнхольмский бассейн	<16.29	<0.57	6.84	<2.44	4.69/5.25*
9. Центральная Балтика	<16.23	<0.44	7.55	<1.74	3.11/3.41*
10. Ботническое море	<15.66	<0.24	6.79	<1.52	
11. Ботнический залив	<16.88	<0.18	6.31	<1.63	
12. Рижский залив	<37.98	<0.71	3.74	<4.12	
13. Финский залив	<22.15	<0.56	5.42	<4.37	2,17

*Снижение уровня кислорода для компенсации повышения температуры за последние 100 лет.

В Таблице 3.1.4 отдельно вынесены данные по целевым значениям индикаторов эвтрофирования для акватории Финского залива.

Таблица 3.1.4 — Целевые значения индикаторов эвтрофирования для акватории Финского залива [25]

Общий азот, моль/л (зима)	Общий фосфор, моль/л (зима)	Прозрачность Секки, м (лето)	Хлорофилл-а, мкг/л (лето)	Концентрация растворенного кислорода, мл/л
<22.15	<0.56	5.42	<4.37	2,17

По результатам отчета ХЕЛКОМ 2018 года по экологическому состоянию Балтийского были сделаны выводы о том, что поставленные в ПДБМ 2007 года цели не будут достигнуты до 2021 года. Это стало причиной того, что на Совещании министров ХЕЛКОМ в 2018 году приняли решение об обновлении Плана действий по Балтийскому морю к 2021 году с учётом поддержания, как минимум, того же уровня амбиций в достижении целей [27].

3.2 План действий по Балтийскому морю 2021 года

Обновление ПДБМ имеет следующие преимущества:

- Повышение актуальности и эффективности ПДБМ;
- Корректировка текущих действий, которая может помочь в достижении лучших результатов;
- Добавление новых мер и действий

В обновленной версии Плана действий по Балтийскому морю 2021 года изменений в экологических целях не произошло, сохранились прошлые, а именно:

1. Концентрации питательных веществ, близкие к естественным уровням;
2. Чистая вода;
3. Естественный уровень цветения водорослей;

4. Естественное распределение водных растений и животных;
5. Естественный уровень кислорода.

Из нововведений стоит отметить то, что в ПДБМ 2021 года выделили не только экологические цели, а также цель управления. Она звучит следующим образом: свести к минимуму поступление питательных веществ в результате деятельности человека. В новом ПДБМ также были скорректированы максимально допустимые поступления биогенных элементов (Таблица 3.2.1) [7].

Таблица 3.2.1 — Максимально допустимые поступления биогенных элементов в суб-бассейны Балтийского моря по суб-бассейнам [29]

Суб-бассейны Балтийского моря	Общий фосфор, (т/г)	Общий азот, (т/г)
Каттегат	1,687	74,000
Датские проливы	1,601	65,998
Центральная Балтика	7,360	325,000
Ботническое море	2,773	79,372
Ботнический залив	2,675	57,622
Рижский залив	2,020	88,417
Финский залив	3,600	101,800
Балтийское море	21,760	792,209

На данный момент эвтрофикация всё также является одной из самых главных экологических угроз для Балтийского моря. Процесс эвтрофирования негативно воздействует на всю экосистему Балтийского моря.

Наблюдаются небольшие долгосрочные улучшения в данной области, но они незначительны. Более 97% всей территории Балтийского моря по эвтрофированности также относят к экологическому состоянию ниже

благоприятного. Оценка проводилась ХЕЛКОМ в 2011-2016 гг. и учитывает всю акваторию открытого моря и 86% прибрежных вод.

Поступление биогенных элементов в суббассейны Балтийского моря существенно уменьшилось за последние несколько десятилетий. Наблюдается сокращение азота на 12% и фосфора на 26%. Не смотря на некоторые положительные изменения, ни один из целевых показателей по поступлению питательных веществ, которые были установлены Планом действий по Балтийскому морю 2007 года, не были достигнуты к 2021 году.

Большая часть сокращений на сегодняшний день была достигнута за счет мер, направленных на точечные источники, такие как очистные сооружения и промышленные предприятия, а также поступление азота по воздуху, главным образом, за счет сокращения выбросов в энергетической и транспортной отраслях.

В 1992 году был составлен список из 162 значимых объектов загрязнения Балтийского моря, также их называют горячими точками.

Выделяют несколько видов горячих точек:

1. Сельскохозяйственные.

Большие площади водосбора Балтийского моря были определены как сельскохозяйственные горячие точки. Список, составленный в 1992 году, содержал 17 сельскохозяйственных горячих точек.

Пока из списка исключены 11 горячих точек: три в Дании, две в Эстонии, одна в Финляндии, одна в Латвии, одна в Германии и три в Швеции. Основной причиной удаления было значительное сокращение сельскохозяйственной деятельности в Эстонии и Латвии из-за экономического спада.

2. Муниципальные.

Первоначально в 1992 году было назначено 53 муниципальных точек.

В ходе региональных семинаров в Польше (2001 г.) было предложено разделить некоторые горячие точки на несколько подгрупп, с тем чтобы облегчить управление ими и принятие мер по сокращению загрязнения. Впоследствии общее число перечисленных муниципальных горячих точек и подточек возросло до 75, из которых 59 были удалены. Удаленные горячие точки расположены в Дании (1), Эстонии (5), Финляндии (1), Германии (7), Литве (9), Польше (17), России (17) и Швеции (2).

3. Промышленные.

Первоначально было определено 50 промышленных горячих точек.

Как минимум три целлюлозно-бумажных комбината и два завода по переработке пищевых продуктов, которые относили к приоритетным горячим точкам, были закрыты, а производство на других заводах сократилось.

Некоторые промышленные горячие точки были разделены на подточки, как это было в случае некоторых муниципальных горячих точек, чтобы облегчить их управление и действия по сокращению загрязнения.

4. Прибрежные.

К ним причисляют чувствительные районы, такие как прибрежные лагуны и водно-болотные угодья, где необходимы специальные экологические меры.

По последним данным ХЕЛКОМ из первоначальных 162 горячих точек активны лишь 40 (25%), 122 (75%) были очищены к декабрю 2020 года.

Активные горячие точки:

- Сельское хозяйство: 6 (из 17);
- Прибрежная программа: 3 (из 5);
- Промышленность: 17 (из 65);
- Муниципалитет: 14 (из 75) [26].

В сравнение, в июле 2013 года были активны 52 горячие точки, изменения можно проследить по Рис. 3.2. Произошло сокращение горячих точек промышленности и муниципалитета.

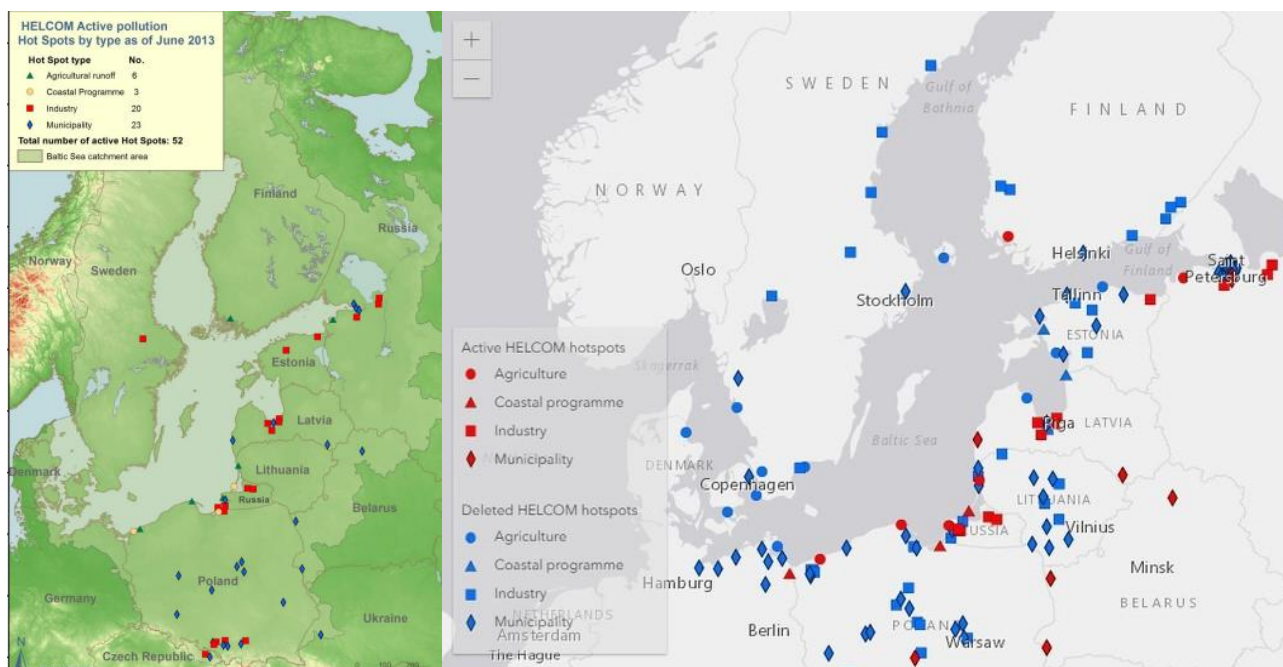


Рис.3.2.2 — Горячие точки Балтийского моря за июль 2013 и декабрь 2020 года [31, 26]

В Финском заливе на данный момент активны следующие горячие точки: муниципальные — 2 из 22 (канализационные очистные сооружения пос. Металлострой и канализационные очистные сооружения г. Колпино); сельскохозяйственные — 1 из 2 (крупные животноводческие фермы в России); промышленные — 2 из 6 (электростанция на горячем сланце в г. Нарва (Эстония), опасные отходы г. Санкт-Петербург); прибрежные 0 из 0 (Рис. 3.2.3) [26].

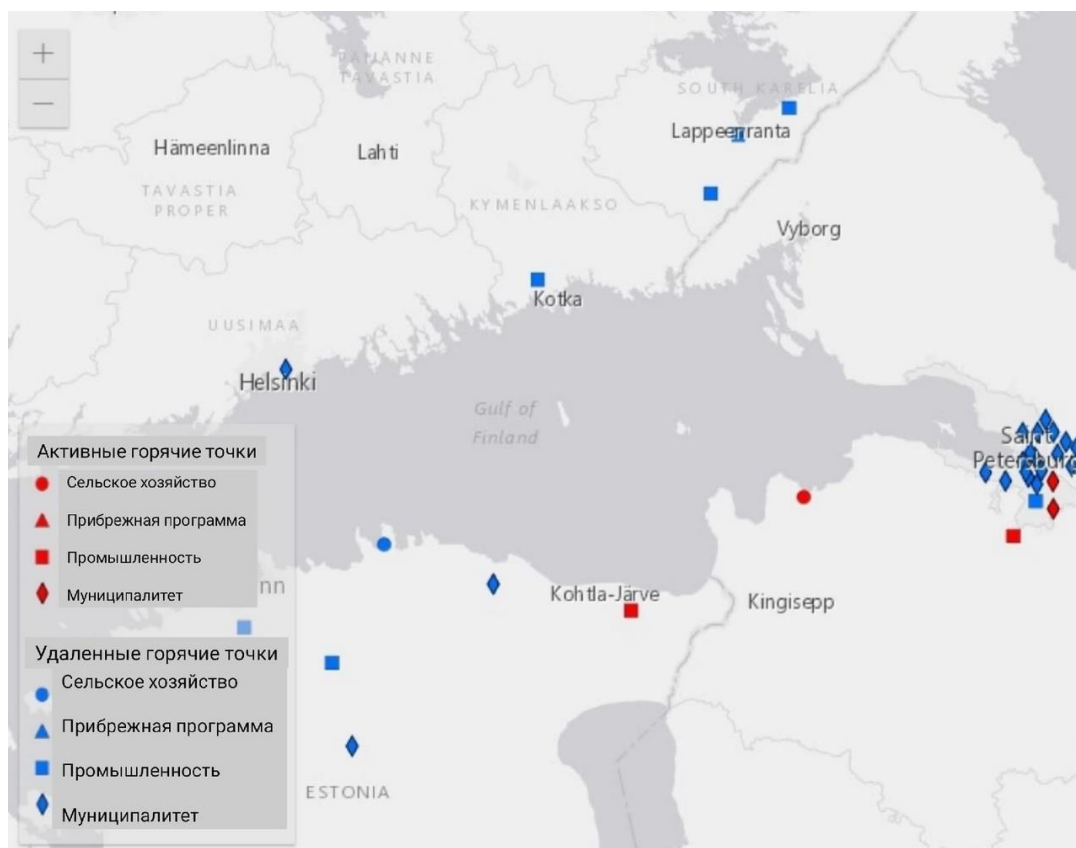


Рис. 3.2.3 — Горячие точки Финского моря за декабрь 2020 года [26]

Большой вклад в сокращение муниципальных точек Российской Федерации вносит ГУП «Водоконал» СПб. В 1992 году было выявлено 4 горячие точки с 19 горячими подточками, относящимися к Санкт-Петербургу. В 2020 году осталась лишь 1 «горячая точка» с 2 «горячими подточками», а именно: канализационные очистные сооружения пос. Металлострой и канализационные очистные сооружения г. Колпино [5].

Сельскохозяйственная отрасль обладает наибольшим потенциалом к сокращению выбросов, так как она служит одним из главных источников поступления биогенных элементов в бассейн Балтийского моря. Выбросы аммония остаются на аналогичном уровне и в последнее время даже увеличились, что указывает на необходимость более эффективных мер по сокращению выбросов в сфере сельского хозяйства.

Сельское хозяйство является основным источником поступления питательных веществ в Балтийское море, на долю которого приходится более 70-90% диффузного азота и 60-80% фосфора.

Сельское хозяйство является одним из основных направлений деятельности ХЕЛКОМ. В Плане действий по Балтийскому морю предусмотрено значительное сокращение поступления питательных веществ из сельского хозяйства, а также внедрение мер по сокращению потерь фосфора и азота.

Эффективное управление навозом является одним из наиболее важных способов снижения нагрузки питательными веществами на Балтийское море. Обработка навоза не как отходов, а как ресурса означает, что ценные питательные вещества, содержащиеся в навозе, полностью учитываются при удобрении сельскохозяйственных культур. Учет питательных веществ является отличным инструментом для обеспечения эффективного управления питательными веществами. Отсутствие передовых стандартов навоза было определено в качестве одного из основных препятствий для внедрения учета питательных веществ на уровне фермы в регионе Балтийского моря. Именно поэтому продвижение национальных стандартов содержания питательных веществ в навозе является приоритетом для ХЕЛКОМ [22].

Следует также продолжать работу в сфере дальнейшего сокращения выбросов их точечных источников, особенно в верхних частях бассейнов рек, а также для небольших населенных пунктов и отдельных домов, где еще нет надлежащей очистки сточных вод. Также важно не забывать про сферу судоходства, хотя и намечены улучшения в данной отрасли, но они незначительны и требуют дальнейшего сокращения выбросов азота и фосфора.

Вся часть российского бассейна Финского залива, которая относится к открытому морю (17,5 тыс. км² или 75% от всей российской акватории), имеет

неудовлетворительный статус эвтрофирования. Прибрежная часть (5,8 тыс. км² или 25%) не оценена (Рис. 3.2.4 и 3.2.5) [30].

Status	DE	DK	EE	FI	LV	LT	PL	RU	SE
Good	0	1	0	3	0	0	0	0	4
Not good	100	99	100	97	100	100	100	75	96
Not assessed	0	0	0	0	0	0	0	25	0

Рис. 3.2.4 — Деление акваторий Балтийского моря стран-участниц ХЕЛКОМ по состоянию эвтрофирования вод (%) [30]

Russia				
Status	Open Sea	Area (km2)	% of open sea	% of total
Good		0	0	0
Not Good		17,500	100	75
Not assessed		0	0	0
	Coastal	Area (km2)	% of coastal	% of total
Good		0	0	0
Not Good		0	0	0
Not assessed		5,800	100	25
	Total			% of total
Good		0		0
Not Good		17,500		75
Not assessed		5,800		25

Рис. 3.2.5 — Площадь вод российской части Балтийского моря с неудовлетворительным статусом эвтрофирования с делением на открытое море и прибрежные воды [30]

По результатам комплексной оценки, проведенной ХЕЛКОМ в 2011-2016 гг., Финский залив не соответствует ни одному из индикаторов эвтрофирования [Eutrophication HELCOM thematic assessment of eutrophication 2011-2016. ‘State of the Baltic Sea’ report]. Некоторые значения даже возросли по сравнению с оценкой 2007-2011 (Рис. 3.2.6). А именно, можно наблюдать повышение уровня концентрации общего фосфора и хлорофилл-а. Остальные индикаторы эвтрофирования, такие как общий азот, прозрачность воды, концентрация

кислорода, не изменились, если сравнивать с оценкой 2007-2011 гг. Из этого можно сделать вывод, что существенных улучшений в области решения проблемы эвтрофирования Финского залива за период 2007-2016 гг. не было достигнуто, статус эвтрофности водоема не изменился [28].

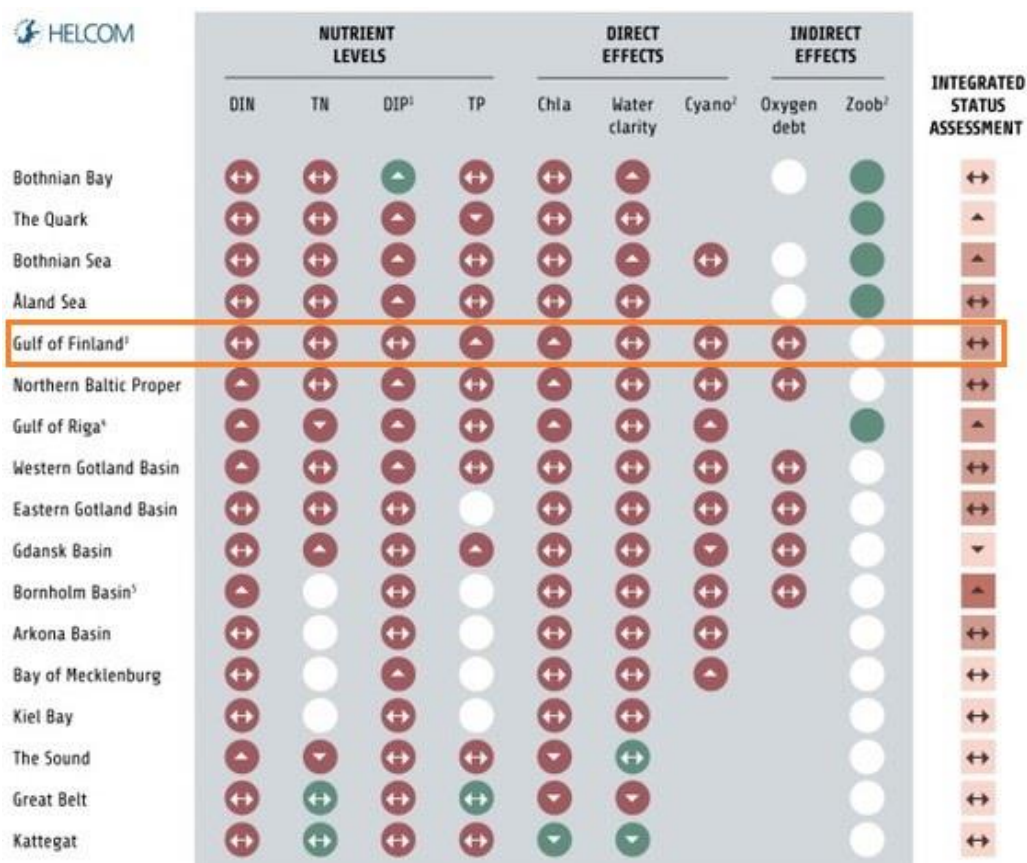


Рис. 3.2.6 — Результаты комплексной оценки ХЕЛКОМ 2011-2016 гг. индикаторов эвтрофирования по суббасейнам Балтийского моря и их изменение по сравнению с прошлой оценкой 2007-2011 гг. [30]

3.3 Анализ индикаторов эвтрофирования Финского залива

В Таблице 3.3.1 представлены имеющиеся данные мониторинга индикаторов эвтрофирования за 2014 и 2020 гг., а также указаны целевые значения ХЕЛКОМ.

Таблица 3.3.1 - Значения индикаторов эвтрофирования восточной части Финского залива [4, 12]

Индикатор эвтрофирования	Целевое значение ХЕЛКОМ	Данные «Год Финского залива – 2014»	Данные 2020 г. ГосНИОРХ
Концентрация растворенного кислорода в придонном слое, мл/л	2,17	4,18	7,05
Общий азот, $\mu\text{моль/л}$	$<22,15$	27,5	-
Общий фосфор, $\mu\text{моль/л}$	$\leq 0,56$	0,38	0,5
Хлорофилл- <i>a</i> , $\mu\text{г/л}$ (июнь–сентябрь)	$\leq 4,37$	4,0	7,87
Прозрачность по диску Секки, м	5,42	2,7	1,52

Можно сделать следующие выводы о соответствии индикаторов эвтрофирования восточной части Финского залива целевым значениям Плану действий по Балтийскому морю.

1. Индикатор «Масштаб и продолжительность сезонного истощения кислорода».

Измеряется концентрацией растворенного кислорода в мл/л, соответствует целевому значению ХЕЛКОМ (2,17 мл/л) как в 2014, так и в 2020 г., что можно объяснить мелководностью восточной части залива (Рис. 3.3.1).

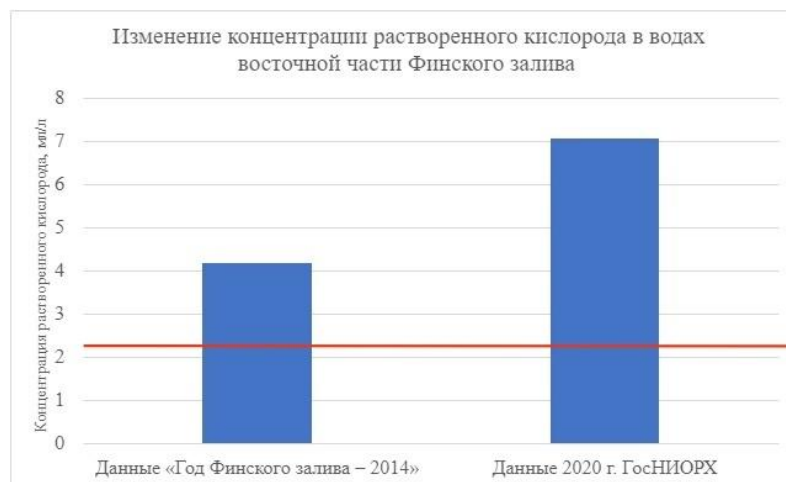


Рис. 3.3.1 — Изменение концентрации растворенного кислорода в мл/л по данным 2014 и 2020 годов, где красная линия целевое значение

2. Индикатор «зимние концентрации питательных веществ в поверхностных водах».

Зимние концентрации общего фосфора и азота в $\mu\text{моль/л}$. Общий азот в 2014 г. превышает целевое значение, но каких-то конкретных выводов о динамике сделать невозможно, так как отсутствуют данные за 2020 г. Общий фосфор, в свою очередь, меньше целевого значения по данным как 2014, так и 2020 г. Также стоит заметить увеличение концентрации в 2020 г. (Рис 3.3.2).

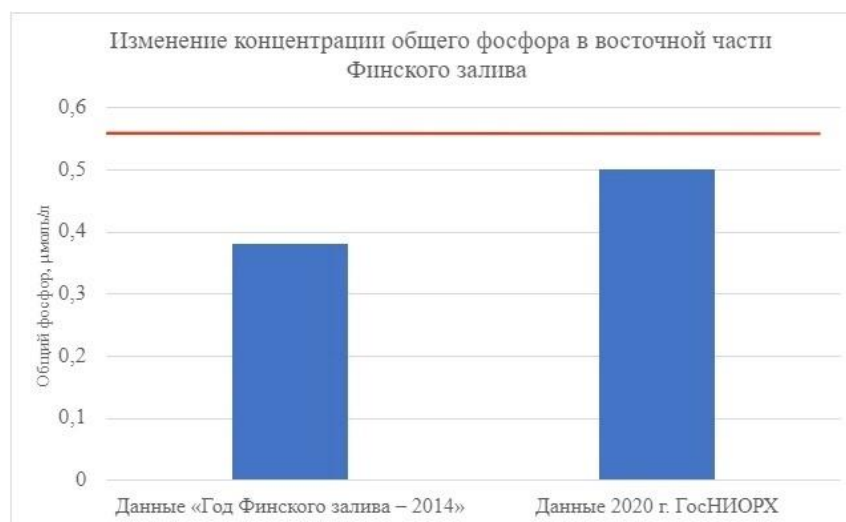


Рис. 3.3.2 — Изменение концентрации общего фосфора в $\mu\text{моль/л}$ по данным 2014 и 2020 годов, где красная линия целевое значение

3. Индикатор «концентрации хлорофилла-а»;

В 2014 году концентрация близка к целевому значению, а в 2020 — заметно

превышение почти в 2 раза (Рис 3.3.3).

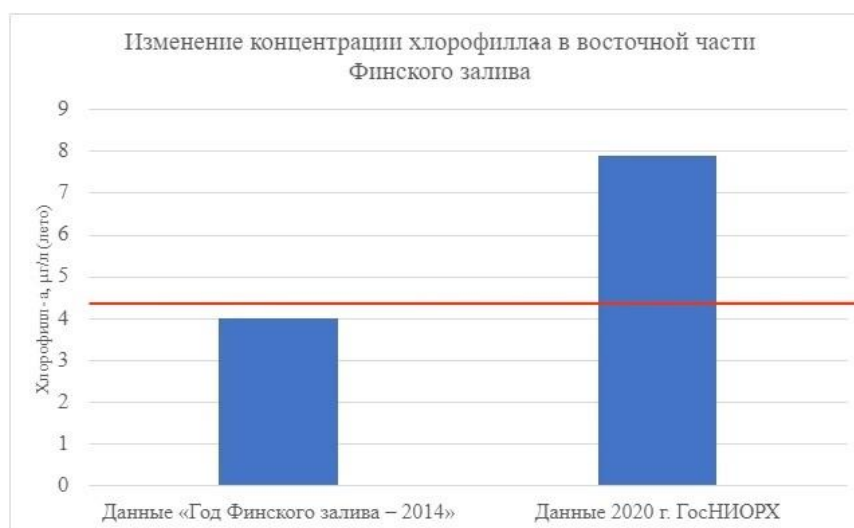


Рис. 3.3.3 — Изменение концентрации хлорофилл-а в $\mu\text{г/л}$ по данным 2014 и 2020 годов, где красная линия целевое значение

3. Индикатор «летняя глубина прозрачности воды, измеряемая по диску Секки».

Не соответствует целевому значению, можно отметить достаточно сильные отклонения в 2 раза за 2014 год и почти в 3 за 2020 (Рис. 3.3.4). Такое снижение прозрачности может являться следствием увеличения концентрации хлорофилла-а.



Рис. 3.3.4 —

Изменение прозрачности по диску Секки в м по данным 2014 и 2020 годов, где красная линия целевое значение

Таблица 3.3.2 — Классификация загрязненности вод по концентрации растворенного кислорода

Уровень загрязненности воды и класс качества	Растворенный кислород (мг/л)	
	Лето	Зима
Очень чистые, I	9	14
Чистые, II	8	12
Умеренно загрязненные, III	7-8	10
Загрязненные, IV	5-4	5
Грязные, V	3-2	5-1
Очень грязные	0	0
Целевое значение ХЕЛКОМ	2,17	2,17

В соответствии с Таблицей 3.3.2 можно сделать вывод о том, что в случае соответствия Финского залива целевому значению растворенного кислорода, по классификации, принятой в Российской Федерации, его воды будут считаться грязными и соответствовать V классу качества.

По Таблице 3.3.3 можно отметить, что при соответствии Финского залива целевому значению хлорофилла-а, его воды по всем рассмотренным классификациям будет относиться к мезотрофным.

Таблица 3.3.3 — Классификации трофности природных вод по концентрации хлорофилла «а», мкг/л [7]

Автор	Ультраолиготрофные	Олиготрофные	Мезотрофные	Эвтрофные	Гиперэвтрофные
Винберг Г.Г. (1960)		< 1	1–10	10–100	> 100
Китаев (1984)		< 1,5–3	3–12	12–48	

Meybeck (1989)	0,01–0,3	0,3–2,5	2,5–8	8–25	> 25
Forsberg (1980)		< 3	3–7	7–40	> 40
Hackanson (1991)		< 2	2–8	6–35	> 35
Целевое значение ХЕЛКОМ			<4.37		

По Таблице 3.3.4 целевое значение прозрачности в м относится по некоторым классификациям к мезотрофному типу (2 из 5 классификаций) и олиготрофному типу (3 из 5).

Таблица 3.3.4. — Классификации трофности водоемов по прозрачности в м [7]

Авторы	Олиготрофный тип	Мезотрофный тип	Эвтрофный тип
Lonnerblad, 1931	> 4	2–3	< 1
Alm, 1960	> 5	2–5	< 2
Китаев, 1984	4–8	1–4	< 1
Hendersen- Sellers, 1984	> 6	3–6	< 3
Романенко, 1985	6–12	3–6	0,3–0,8
Целевое значение ХЕЛКОМ		5,42	

Таблица 3.3.5. — Классификация Алекина 1985 природных вод по отношению содержания общего азота к общему фосфору [7]

Характеристика вод	$N_{\text{общ}} : P_{\text{общ}}$
--------------------	-----------------------------------

Олиготрофные	30-40
Мезотрофные	25-30
Эвтрофные	15-25
Гипертрофные	12-15
По целевым показателям ХЕЛКОМ	39,5

При соотношении значений целевых показателей $N_{\text{общ}} : P_{\text{общ}}$ получаем примерно 39,5, что по Таблице 3.3.5 характеризует олиготрофные воды.

Можно сделать вывод о том, что все целевые показатели соответствуют принятым российским и международным классификациям трофности. Исключение составляет классификация вод по растворенному кислороду, при граничном значении 2,17 воды летом и зимой будут относиться к грязным и соответствовать V классу качества.

По имеющимся у нас данным за 2014 и 2020 года о состоянии восточной часть Финского залива можно сделать выводы о соответствии значений индикаторов российским и международным классификациям.

В 2014 году по растворенному кислороду воды относятся летом к загрязненным (IV класс качества), а зимой к грязным (V класс качества). По прозрачности к мезотрофному типу (2 из 5 классификаций) и эвтрофному (2 из 5). К мезотрофным по всем классификациям трофности водоемов с учётом содержания хлорофилла-а. А в 2020 году воды восточной части Финского залива характеризуются как умеренно-загрязненные по загрязненности с III классом опасности, эвтрофные (2 из 5 классификаций) или мезотрофные (3 из

5) по хлорофиллу- α и к эвтрофному по почти всем классификациям по прозрачности.

Можно прийти к выводу, что на данный момент достижение всех целевых показателей индикаторов эвтрофирования маловероятны, так как можно наблюдать лишь их повышение. Лучше всего заметно ухудшение результатов прозрачности. Стоит также отметить, что была оценена лишь восточная часть, что может говорить о некоторой некорректности. Но данные за 2020 г. имеются лишь по восточной части. Оценка 2014 г. была проведена по всей акватории Финского залива, и опубликованные отчеты говорят о том, что в целом, целевые значения не достигнуты, а также наблюдаются существенные отклонения в 1,5-2 раза для концентраций растворенного кислорода, содержания общего фосфора и глубины прозрачности по диску Секки [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эвтрофикация — серьёзная экологическая проблема, которая приводит к значительным негативным изменениям всей экосистемы водоема. Для Балтийского моря и Финского залива в частности эвтрофирование является одной из самых главных экологических проблем. Для Финского залива эвтрофирование носит как антропогенный, так и естественный характер, на что влияет его физико-географическое положение: ограниченный водообмен с Центральной Балтикой, сезонная стратификация и значительная антропогенная нагрузка от трех стран, имеющих выход к заливу и др. При оценке эвтрофирования Финского залива было выявлено, что вся часть открытого моря имеет эвтрофный статус и ситуация за последние годы не улучшилась.

В ходе работы была проанализирована документация ХЕЛКОМ, изучены старый и новый Планы действий по Балтийскому морю. По ПДБМ 2007 выявлены основные направления, более подробно рассмотрен сегмент «Эвтрофикация», его экологические задачи и соответствующие им индикаторы эвтрофирования, изучены максимально допустимые поступления биогенных элементов по суб-бассейнам и биогенная нагрузка по странам. В 2013 году у индикаторов появились целевые значения по акваториям Балтийского моря. К 2021 году цели ПДБМ не были достигнуты, что стало причиной его обновления. В обновленной версии основные направления работы ХЕЛКОМ не изменились, были обновлены данные по максимально допустимым поступлениям биогенов, добавлены цели управления, также была сформулирована повестка о том, что хорошего экологического статуса Балтийского моря не получится достигнуть лишь силами стран-участниц, нужно добиваться соблюдения рекомендаций ХЕЛКОМ для всех влияющих на экосистему моря стран.

Также была проведена оценка результатов поставленных ПДБМ 2007 года целей по эвтрофикации. Стоит отметить значительное сокращение

точечных выбросов биогенов. С этой целью была проведен анализ горячих точек Балтийского моря и Финского залива. Значительную в удалении российских муниципальных горячих точек роль играет ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». На данный момент активны лишь 2 из 19 ранее выявленных. Хотя и существуют некоторые улучшения, но они незначительны и на статусе эвтрофирования никак не сказались, целевые значения индикаторов не достигнуты.

Также по имеющимся данным был проведен анализ соответствия значений индикаторов эвтрофирования целевым значениям. Было выявлено несоответствие и сделан вывод о маловероятном достижении в настоящее время целей нового ПДБМ 2021. Также было проведено сравнение целевых значений индикаторов и признанных российских и международных классификация. В результате можно сделать вывод о соответствии всем классификациям, кроме характеристики загрязненности вод по содержанию растворенного кислорода.

Список использованных источников

1. Антропогенное эвтрофирование // Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук [Электронный ресурс]. URL:<https://www.ibiw.ru/index.php?p=edu/eco/есоб> (Дата обращения: 12.12.2021).
2. ГОСТ 17.1.4.02-90 Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла α .
3. Документы ХЕЛКОМ // ХЕЛКОМ: Хельсинкская комиссия [Электронный ресурс]. URL: http://www.helcom.ru/helcom_documents/pdbm (Дата обращения: 21.05.2022).
4. Ершова А.А., Коробченкова К.Д., Агранова Ю.С. Оценка состояния Финского залива по индикаторам эвтрофирования Хелком // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2018. № 51. С. 137-149.
5. Защита Балтийского моря // ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» [Электронный ресурс]. URL: http://www.vodokanal.spb.ru/kanalizovanie/ekologiya_baltijskogo_morya/ (Дата обращения: 4.05.2022).
6. Карл Г. 1966. Предсказания продукции фитопланктона по показаниям среды обитания // Тезисы доклада II Международного океанографического конгресса. М.: Наука. С. 188–189.
7. Неверова-Дзиопак Е., Л. И. Цветкова 2020. Оценка трофического состояния поверхностных вод // Санкт-Петербург.
8. Оценка экологического состояния и ключевые проблемы бассейнов рек и озёр бассейна Финского залива (от границы Российской Федерации с Финляндией до северной границы бассейна реки Нева) // Схема комплексного использования и охраны водных объектов [Электронный ресурс]. URL: <http://nord-west-water.ru/activities/ndv/scheme-of-complex->

- use-and-protection-of-water-bodies-of-karelia-the-baltic-sea-basin-russian-part-of-the-basin-approved-documents/ (Дата обращения: 4.05.2022).
9. Рабинович Ю., Говинджи К. 1967. Роль хлорофилла в фотосинтезе // Молекулы и клетки. № 2. с. 72–83.
 10. Россия в ХЕЛКОМ // ХЕЛКОМ: Хельсинкская комиссия [Электронный ресурс]. URL: http://helcom.ru/about/russia_ministry (Дата обращения: 27.05.2022).
 11. Состояние поверхностных вод // АИС ГМВО [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=296> (Дата обращения: 4.05.2022).
 12. Состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания в восточной части Финского залива по результатам рыбохозяйственных исследований в 2020 году // Окружающая среда Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: <http://ecopeterburg.ru/2021/12/17/состояние-водных-биологических-ресу/> (Дата обращения 25.04.2022).
 13. Спиридонов М. А., Рябчук Д. В. (Всегеи), Орвику К. К. (Таллиннский Унт), Сухачева Л. Л. (Ниикам), Нестерова Е. Н., Жамойда В. А. (всегеи) // Изменение береговой зоны восточной части финского залива под воздействием природных и антропогенных факторов Региональная геология и металлогения, № 41, 2010]
 14. Финский залив // Мировой океан [Электронный ресурс]. URL: <https://global-ocean.ru/geografiya/finskij-zaliv-gde-naxoditsya-fiziko-geograficheskaya-karakteristika-kakie-strany-omyvaet/> (Дата обращения: 11.10.2021).
 15. Финский залив: подробная информация // Россия [Электронный ресурс]. URL: <https://russiaregions.ru/finskij-zaliv/finskij-zaliv-podrobnaaya-informatsiya-opisanie-foto-video> (Дата обращения: 11.10.2021).
 16. Хрисанов Н. И., Осипов Г. К. 1993. Управление эвтрофированием водоемов // Санкт-Петербург, Гидрометиздат. с. 5-6.

17. ХЕЛКОМ // ХЕЛКОМ: Хельсинкская комиссия [Электронный ресурс]. URL: <http://www.helcom.ru/about> (Дата обращения: 6.05.2022).
18. Численность постоянного населения на 1 января // Росстат [Электронный ресурс]. URL: <https://showdata.gks.ru/report/278928/> (Дата обращения: 6.05.2022).
19. Эвтрофикация водоемов // Экология [Электронный ресурс]. URL: <https://ru-ecology.info/term/73488/> (Дата обращения: 3.12.2021).
20. Экологическое благополучие Финского залива // Окружающая среда Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: <http://ecospeterburg.ru/2021/12/19/экологическое-благополучие-финского/> (Дата обращения 25.04.2022).
21. Экологическое состояние Финского залива // Некоммерческий фонд Без рек как без рук [Электронный ресурс]. URL: <https://rekiruki.ru/ekologicheskoe-sostoyanie-finskogo-zaliva> (Дата обращения 27.04.2022).
22. Agriculture // HELCOM [Электронный ресурс]. URL: <https://helcom.fi/action-areas/agriculture/> (Дата обращения 30.05.2022).
23. HELCOM 2007. Baltic Sea Action Plan. Helsinki: Helsinki Commission Publ., 2007.
24. HELCOM 2009. Eutrophication in the Baltic Sea – An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment and eutrophication in the Baltic Sea region. Balt. Sea Environ. Proc. No. 115B. 148 p.
25. HELCOM 2013. Eutrophication in the Baltic Sea — Approaches and methods for eutrophication target setting in the Baltic Sea region // Baltic Sea Environ. Proc. № 133.
26. HELCOM Hot Spots // HELCOM [Электронный ресурс]. URL: <https://helcom.fi/action-areas/industrial-municipal-releases/helcom-hot-spots/> (Дата обращения 30.05.2022).

27. HELCOM Implementation of BSAP actions and recommendations: 2020 update
28. HELCOM Implementation of the Baltic Sea Action Plan 2018
29. HELCOM 2021. HELCOM Baltic Sea Action Plan– 2021 update.
30. HELCOM Eutrophication HELCOM thematic assessment of eutrophication 2011-2016. 'State of the Baltic Sea' report
31. HELSINKI COMMISSION Implementation of Baltic Sea Joint Comprehensive Environmental Action Programme, 1992-2013 (Hot Spots Component)