

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

Кафедра прикладной океанографии ЮНЕСКО-МОК и охраны природных вод

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(магистерская диссертация)

На тему Исследование динамики запасов трески в Атлантических морях в условиях изменения антропогенной нагрузки

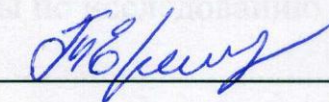
Исполнитель Найданов Дмитрий Александрович

Руководитель кандидат физ.-мат. наук, зав. каф.

Ерёмина Татьяна Рэмовна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой



кандидат физ.-мат. наук, доцент,

Ерёмина Татьяна Рэмовна

«09» 06 2018 г.

Санкт-Петербург

2018

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

Кафедра прикладной океанографии ЮНЕСКО-МОК и охраны природных вод

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(магистерская диссертация)

На тему Исследование динамики запасов трески в Атлантических морях в условиях изменения антропогенной нагрузки

Исполнитель Найданов Дмитрий Александрович

Руководитель кандидат физ.-мат. наук, зав. каф.

Ерёмина Татьяна Рэмовна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

кандидат физ.-мат. наук, доцент,

Ерёмина Татьяна Рэмовна

«__» _____ 20__ г.

Санкт–Петербург

2018

Содержание

Введение	3
1. Описание районов обитания атлантической трески	4
1.1 Географическое описание Северного и Балтийского морей	4
1.2 Гидрологический режим Северного и Балтийского морей	9
1.3 Гидрохимический режим Северного и Балтийского морей	13
1.4 Гидробиологический режим Северного и Балтийского морей	15
1.4.1 Фитопланктон, зоопланктон, бентос	15
1.4.2 Рыбные сообщества Северного и Балтийского морей	21
2. Динамика запасов атлантической трески	32
2.1 Общие запасы	32
2.2 Факторы, определяющие динамику популяции балтийской трески	40
2.2.1 Климат	40
2.2.2 Кислородные условия в Балтийском море	50
2.2.3 Влияние эвтрофикации на кислородные условия в глубинных слоях Балтийского моря	58
3. Система поддержки принятия решений MARE NEST	66
3.1 Описание модели системы MARE NEST	66
3.2 Описание модели рыбных запасов	69
4. Математическое моделирование	76
4.1 Условия проведения экспериментов	76
4.2 Численные эксперименты по исследованию запасов Балтийской трески	78
4.3 Анализ результатов	89
Заключение	91
Список используемой литературы	93

Введение

Атлантическая треска, один из важных промысловых видов в Северном и Балтийском морях. Но с начала 90х годов запасы трески, как в Северном, так и Балтийском морях упали на значительную отметку, по сравнению с началом 80х годов. За 10 лет запасы трески значительно уменьшились. На это повлияли следующие факторы: климат, эвтрофикация в Балтийском море, и переловы, особенно в Северном море.

В течение последних 30 лет, наблюдается ухудшение состояния Северного и Балтийского морей, а именно: образование гипоксических и аноксических зон, эвтрофикация, повышение температуры воды, обусловленное потеплением климата в умеренных широтах. Ухудшение состояния Балтики влияет непосредственно и на уменьшение запасов балтийской трески.

В связи с этим, целью работы является исследование влияния антропогенной нагрузки на водную среду и динамику запасов в Атлантических морях. Для достижения поставленной цели в работе должны быть решены следующие задачи:

1. Рассмотрение факторов, определяющих динамику популяции трески в Северном и Балтийском морях
2. Проведение модельных расчетов по выявлению влияния биогенной нагрузки, поступающей с речным стоком на экосистему Балтийского моря и запасы трески с помощью модели SANBALTS
3. Исследование динамики запасов трески в Балтийском море в результате переловов.

1. Описание районов обитания атлантической трески

Места, где происходит нерест атлантической трески, расположены сравнительно недалеко от районов ее нагула и зимовки. Местами нерест трески в Северном море являются места вокруг южного и восточного краев Доггер-Банка, в немецких боях, Морей-Ферт и к востоку от Шетландских островов. Места для нереста трески в Балтийском море является Борнхольмская, Готландская и Гданьская впадины. Число форм, встречающихся в желудках первой, примерно в 10 раз меньше, чем в желудках второй. Треска питается в основном беспозвоночными. Серьезных конкурентов в питании треска не имеет. [5] Зимовка трески происходит в пределах того же района, только в результате некоторой перегруппировки, на более ограниченной акватории. Нерест трески начинается с середины апреля и продолжается до конца июля. Основная масса рыбы, выметав к этому моменту половые продукты, покидает нерестилища и подходит к берегам для нагула. Изменение условий среды обитания трески может вызвать в различные годы смещение сроков ее нереста в ту или другую сторону. Поэтому ниже дается описание районов обитания атлантической трески.

1.1 Географическое описание Северного и Балтийского морей

Северное море расположено между островами Великобритании, Оркнейскими и Шетлендскими на западе, Скандинавским и Ютландским полуостровами на востоке и побережьем европы на юге, сообщается на севере с Норвежским морем, на востоке проливами Скагеррак, Каттегат, Эресунн, Большой и Малый Бельт — с Балтийским морем, на юго-западе проливами Па-де-Кале, а затем Ла-Манши на северо-западе проливами между островами — с Атлантическим океаном. Омывает берега Великобритании, Франции, Бельгии, Нидерландов, ФРГ, Дании и Норвегии. Площадь 544 тыс. км², средняя глубина 96 м, объём 42 тыс. км³.

Берега Северного моря весьма разнообразны: на северо-востоке (Норвегия) — фьордовые, с большим количеством мелких островов, на юго-востоке —

преимущественно выровненные и на всём протяжении низкие и песчаные, на юге — лагунные, местами здесь находятся ватты; восточный берег Нидерландов страдает от наводнений и поэтому почти всюду окаймлен дамбами (плотинами). В открытом море островов нет, только на юго-восток вдоль берега тянется цепочка Фризских островов, а к северу от них о. Гельголанд.

Северное море расположено в пределах шельфа. Поверхность дна представляет собой слабо наклоненную к северу равнину с глубинами от 20—30 м до 150—170 м и множеством небольших банок (наиболее значительна Доггер-банка). В юго-западной части распространены вытянутые в северо-восточном направлении небольшие песчано-гравийные гряды, созданные приливными течениями. Имеются также узкие ложбины с глубиной свыше 200 м. Вдоль берегов Норвегии протягивается корытообразный жёлоб, сформировавшийся вдоль линий разломов (глубиной 300—400 м, в проливе Скагеррак до 800 м).

Дно моря сложено мощными (до 10—12 км) толщами осадочных образующих систему пологих поднятий и впадин платформенного чехла. Наиболее крупные поднятия — Ютландское, Доггер-банка, впадины — Северная, Северодатская, Английская. Поднятия и их склоны осложнены вало- и куполообразными изгибами слоев, с которыми связаны крупные месторождения нефти и газа.

Осадочный чехол дна Северного моря перекрывает разновозрастное складчатое основание: на востоке — край докембрийской Восточно-Европейской платформы, на северо-западе — зону Норвегии и Шотландии и в большей средней части — область байкальской складчатости, распространяющейся из Центральной Европы на о. Великобритания.



Рисунок 1.1 Карта Северного моря [67]

Топографию Северного моря можно в целом описать как имеющую мелкую (<50 м) юго-восточную часть, которая резко отделена Берегом Доггера от гораздо более глубокой (50-100 м) центральной части, которая движется на север вдоль британского побережья. Центральная северная часть шельфа постепенно спускается на 200 м до достижения края полки. Еще одна важная особенность - норвежская траншея, идущая на восток вдоль норвежского побережья в Скагеррак с глубинами до 500 м. [70]

На субстратах преобладают пески в южных и прибрежных районах и мелкие грязи в более глубоких и центральных частях. Пески становятся более грубыми к востоку и западу, с пятнами гравия и камней, существующих также. В мелкой южной части концентрации валунов можно обнаружить локально, исходя из переноса ледниками во время ледникового периода. К западу от Оркнейского/Шетландского архипелага преобладают грубый песок и гравий. Глубокие районы норвежской траншеи покрыты обширными слоями мелкой грязи, а некоторые из склонов имеют скалистые днища. Несколько подводных каньонов простираются дальше к побережью Норвегии и Швеции. [70]

Балтийское море расположено между параллелями $65^{\circ}56'$ и $54^{\circ}46'$ с. ш. и меридианами $9^{\circ}57'$ и $30^{\circ}00'$ в. д. и глубоко вреzano в северо-западную часть Евразийского материка. Оно почти со всех сторон окружено сушей и лишь в юго-западной части через датские пролив и далее через проливы Каттегат и Скагеррак

соединяется с Северным морем Атлантического океана. Граница Балтийского моря с проливом Большой Бельт проходит по линии м. Гульетав— Клинт — Каппель (о.Лолланн) с проливом Малый Бельт— по линии м.Фальсхерт— м.Вайснес— Накке (о.Эрё), с проливом Зунд— маяк Стевне — м. Фальстерсбуудде. В большой мере ограниченное сушей Балтийское море относится к типу внутренних. Современное Балтийское море окружают различные по происхождению и типам берега (рисунок 1.2). При многообразии берегов рельеф дна Балтийского моря очень неровен. Небольшие глубины моря свидетельствуют о том, что оно целиком лежит в пределах материковой отмели. [66]

В Ландсортской котловине находится максимальная (470 м) глубина Балтийского моря. Датские проливы имеют небольшие глубины: Зунд 7—15 м. Большой Бельт 10—25 м, Малый Бельт 10—35 м. Мелководность проливов и сложный рельеф дна моря в целом во многом сказываются на гидрологических условиях моря. В современных границах Балтийское море имеет площадь 419 тыс. км², объем 21,5 км³, среднюю глубину 51 м и наибольшую глубину 470 м (58°38' с. ш., 18°14' в. д.). [1]

В Балтийское море впадает около 250 крупных и малых рек. По средним многолетним (1961—1970 гг.) данным они ежегодно вливают в море примерно 433 км³ воды, что соответствует 2,1% от общего объема моря. В связи с неравномерным расположением устьев балтийских рек на берегах моря речной сток неодинаков в его разных районах [1]

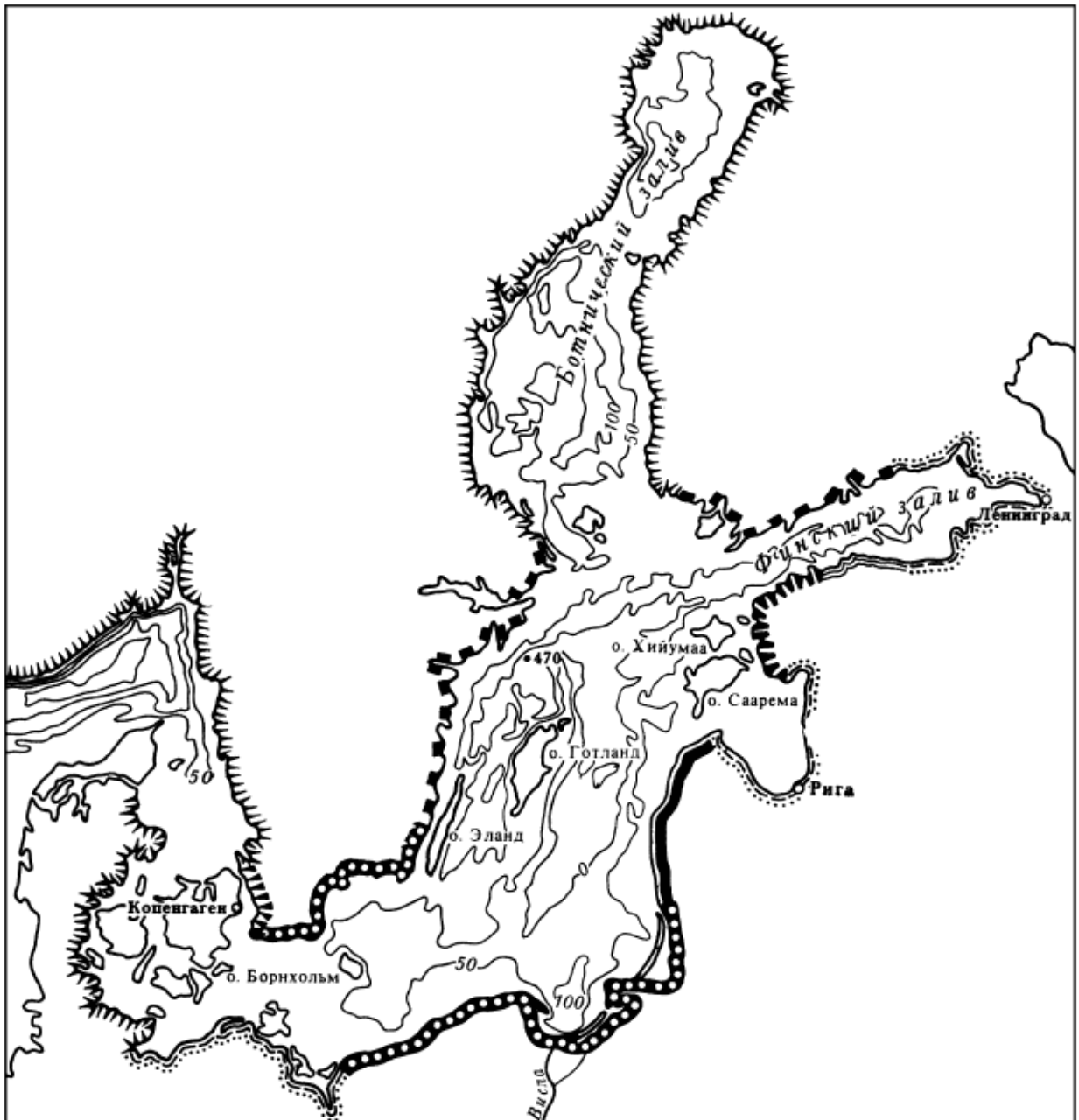


Рисунок 1.2 Типы берегов и рельеф дна Балтийского моря. [1]

Водный баланс Балтийского моря пока еще изучен недостаточно точно, поэтому данные о нем разноречивы. [1]

Временная неравномерность речного стока проявляется в сезонных и межгодовых изменениях его величин. Реки, не зарегулированные крупными озерами, например Даугава, имеют главный максимум стока весной и небольшое повышение осенью. Для рек, зарегулированных озерами, например для Невы, характерен один весенне-летний максимум стока

1.2 Гидрологический режим Северного и Балтийского морей

Циркуляция воды в Северном море, как правило, против часовой стрелки, вызывается ветром, причем большая часть воды поступает на север, на плато Северного моря, и выходит через Норвежский траншей вдоль побережья Норвегии. Приток атлантической воды показывает большую сезонную и межгодовую изменчивость, обусловленную ветрами и градиентами давления вдоль континентального склона, которые меняются год от года. Это известно как североатлантическое колебание (NAO). [70]

Зимний индекс NAO, который является мерой градиента давления воздуха между Азорскими высотами и Исландской низменностью, претерпел как долгосрочные, так и краткосрочные колебания. Высокие или положительные условия индекса NAO обычно приводят к сильному притоку в Северном море, тогда как более слабые потоки связаны с отрицательными аномалиями NAO. Индекс уменьшился с середины прошлого века до минимума в 1960-х годах. Это совпало с «большой аномалией солености», которая была сигналом низкой минерализации воды, которая распространялась в северной части Северной Атлантики. Аномалия прибыла в Северное море в конце 1970-х годов, что проявилось в виде ярко выраженных минимумов солености и температуры, а затем индекс NAO переместился на высокие значения с конца 1980-х годов до первой половины 1990-х годов, после чего произошло заметное падение до сильной отрицательной аномалии зимой 1995/96. Это были очень заметные климатические события, которые были связаны с изменениями состава планктона, популяций рыб и другой биоты в Северном море.

Наблюдения, а также результаты моделирования указывают на то, что картина циркуляции воды может быть изменена во времени в результате наветривания и разделения на два отдельных круговорота на севере и юге. Циркуляция может даже прекратиться в течение ограниченного времени. Такие изменения и их тайминги могут иметь важное значение для стадий жизни различных видов, поскольку они

могут, например, влиять на перенос икринок и личинок в конкретные кормовые районы. [70]

Основной приток относительно теплых (по крайней мере, зимой) и более, соленых североатлантических вод вдоль шельфа прорывается в норвежскую впадину, а также вокруг Шетландского и Оркнейского островов. Изменения в распределении зоопланктона и рыб были связаны с силой этих притоков. На Каттегат и восточный Скагеррак сильно влияют солоноватые поверхностные воды, поступающие из Балтийского моря, следуя шведскому побережью и после поворачивая на запад вдоль южной Норвегии. Однако нижний слой воды протекает под слоем солоноватой воды в противоположном направлении. [70]

Моделируемый приток воды в Северное море через северную границу между Оркнейскими островами, Шетландом и западным побережьем Норвегии в течение первого квартала года был низким в конце 1960-х и в конце 1970-х годов, а в конце 1980-х годов существенно увеличился, начале 1990-х годов. Эти изменения в потоках были связаны с изменениями численности и состава планктона в Северном море, характеризующимися как холодобιологические и теплобиологические события, а также различием в распределении пяти основных популяций рыб в Северном море. Предполагалось, что климатическое форсирование является наиболее вероятным объяснением «вспышки» в 1960-х годах, что было периодом с благоприятными условиями репродукции нескольких видов донных рыб в Северном море. Несмотря на то, что значительные экологические события повлияли на состояние экосистемы Северного моря, в том числе на его промысел, данные временных рядов по биомассе нерестового запаса (SSB) шести важных рыбных запасов демерсальных рыб показывают значительные различия, что отражает совокупное влияние окружающей среды и воздействия от рыболовства. Пикша Северного моря, треска и сайда находились на высоких уровнях биомассы в конце 1960-х и начале 1970-х годов (вспышка), после чего последующие снижения к низким уровням в начале 1990-х годов. Пикша и сайда с тех пор восстановились, тогда как снижение трески продолжалось. Рыболовное давление (промысловая смертность) в 1990-х годах было настолько высоким, что запасы прогнозировались в

результате краха, основанного на теоретических соображениях. Теплый климат и низкое содержание зоопланктона также были связаны с упадком и отсутствием восстановления трески в Северном море. [70]

Особенности перемешивания и обмена вод — существенно важные и характерные черты гидрологических условий Балтийского моря. Большой части моря свойственна постоянная двухслойная структура, обусловленная проникновением сюда соленых каттегатских вод. В верхних горизонтах весной формируется слой больших градиентов солености за счет распреснения поверхности моря речными водами, а летний прогрев создает здесь резкий термоклин. Таким образом, на протяжении весенне-летнего сезона в Балтийском море существует «двойной» плотностной скачок — временный верхний и постоянный нижний. Это — одна из специфических черт гидрологической структуры Балтики.

Как и в других морях Северного полушария, поверхностная циркуляция вод Балтийского моря имеет, в целом, циклонический характер (против часовой стрелки). Постоянное течение формируется в северной части моря в результате слияния вод, выходящих из Ботнического и Финского заливов. Общий поток движения вдоль шведских берегов на юго-запад. Огибая с двух сторон Борнхольм, он направляется через датские проливы в Северное море. У южного берега течение направлено на восток. Возле Гданьского залива оно поворачивает на север и движется вдоль восточного берега до о. Хиума. Здесь оно разветвляется на три потока. Один из них идет через Ирбенский пролив в Рижский залив, где вместе с водами Даугавы создает почти кольцевое течение, направленное против часовой стрелки. Другой поток входит в Финский залив и вдоль его южного берега распространяется почти до устья Невы, затем поворачивает на северо-запад и вместе с речными водами, двигаясь вдоль северного берега, выходит из залива. Третий поток идет на север и через проливы Аландских шхер проникает в Ботнический залив. Здесь течение вдоль Финских берегов поднимается на север, огибает северное побережье залива и вдоль побережья Швеции спускается на юг. В центральной части залива отмечаются замкнутые круговые течения против часовой стрелки. [1]

Глубинная циркуляция в Балтийском море определяется поступлением вод через датские проливы. Входное течение в них обычно проходит на горизонтах 10—15 м. Затем эта вода, как более плотная, опускается в нижележащие слои и глубинным течением медленно переносится сначала на восток и далее на север. При сильных западных ветрах вода из Каттегата втекает в Балтийское море практически по всему сечению проливов. Восточные ветры, напротив, усиливают выходное течение, которое распространяется до горизонтов 20 м, и только у дна сохраняется входное течение.



Рисунок 1.3 Течения на Поверхности Балтийского моря [1]

Теплый сезонный поверхностный слой развивается летом с использованием сезонного термоклина в верхнем слое. В северной части Балтийского моря в зимнее время образуется обратный термоклин: температура находится в точке замерзания на поверхности и увеличивается с глубиной до температуры максимальной плотности (2°C-3°C). Наибольшие изменения наблюдаются в южной Балтийске, где он в основном зависит от адвекции из Северного моря через датские проливы. [66]

Весной, после таяния льда, тонкий верхний слой нагревается из-за солнечного излучения. Поверхностные воды быстро достигают температуры максимальной плотности Т (15°C-3°C). [66]

Особенностью Балтийского моря и многих других покрытых льдом морей является термический слой в нижней части верхнего слоя. Образование такого слоя происходит следующим образом. В течение весны верхний слой начинает нагреваться с поверхности, а температура ниже вниз близка к замораживанию. С другой стороны, глубоководная вода остается в течение года при температурах между 3 ° С и 6 ° С, но имеет гораздо более высокую плотность, чем вода верхнего слоя из-за ее более высокой солености. [66]

Балтийское море в отдельных районах покрывается льдом. Раньше всего, примерно в начале ноября, лед образуется в северо-восточной части Ботнического залива в мелких бухточках и у берегов. Затем начинают замерзать мелководные участки Финского залива. Максимального развития ледяной покров достигает в первых числах марта. К этому времени неподвижный лед занимает северную часть Ботнического залива, район Аландских шхер и восточную часть Финского залива. В открытых районах северо-восточной части моря встречаются плавучие льды. Таяние льда начинается в конце марта — начале апреля. Освобождение моря ото льда идет с юго-запада на северо-восток. В мае море обычно очищается ото льда. Лишь в суровые зимы на севере Ботнического залива лед можно встретить в июне. [1]

1.3 Гидрохимический режим Северного и Балтийского морей

В некоторых районах Северного моря существует значительная эвтрофикация, особенно в районе Вадденского моря, южной части Каттегата и прибрежной части Скагеррака, а также в мелководье и эстуариях вдоль побережья Великобритании и Европы. Ниже галоклина разложение органического вещества иногда вызывает кислородный дефицит в конце лета/осени. Это явление связано с улучшенной первичной продуктивностью, но может быть локально естественным процессом,

особенно в закрытых прибрежных районах, таких как Каттегат, фьорды и эстуарии. Однако дефицит кислорода ускоряется крупномасштабной эвтрофикацией. [71]

Изменения в химических и биологических характеристиках океанов и пресных вод, связанных с повышенным содержанием углерода в атмосфере, включают, но не ограничиваются, повышенные температуры воздуха и воды (пресноводные и морские), освежение поверхностных слоев океана, снижение pH (увеличение подкисления) океанических вод, и снижение концентрации кислорода. Глобальное потепление также затрагивает наземные системы, пресноводную среду озер и рек и переходные воды между морской и пресной водой. [72]

Потоки воды физически соединяют экосистемы, и поскольку широкомасштабные модели давления и циркуляции распространяются на несколько экосистем. [72]

Количество растворенного кислорода в Балтийском море изменяется в значительных пределах и подвержено обычным для морей умеренного пояса сезонным колебаниям. Наибольшее содержание кислорода наблюдается в слое 0—20 м весной, что объясняется активной фотосинтетической деятельностью фитопланктона в этот сезон в условиях невысокой температуры воды.

Летом с повышением температуры воды понижается растворимость кислорода и уменьшается его содержание в воде, чему способствует и ослабление фотосинтетической деятельности. В этот сезон распределение кислорода в поверхностном слое (0—20 м) довольно равномерно по всему морю. Осенью и зимой количество кислорода в море увеличивается вследствие понижения температуры воды и приближается к весенним значениям, но не достигает их, так как в осенне-зимнее время не развит фотосинтез.[1]

В течение последних 30—40 лет отмечались мощные притоки вод через проливы, во время которых обновлялись глубинные воды Балтики. В промежутки времени между обновлениями глубинных балтийских вод в последних наблюдалось полное исчезновение кислорода и появление сероводорода. Застойные условия в глубоких районах проявлялись в центральной части моря, в Борнхольмской и Готландской впадинах. Однако в самой глубокой Ландсортской впадине полное отсутствие кислорода не наблюдалось. Здесь от горизонта 100 м и до дна содержание кислорода

обычно практически постоянно, что объясняется слабой вертикальной стратификацией вод и возможностью их конвективного перемешивания во время суровых зим. [1]

Верхние слои моря сравнительно бедны фосфатами, так как они интенсивно потребляются здесь, но медленно и спорадически возвращаются сюда из глубин. Повышенное содержание фосфатов отмечается в приустьевых районах, куда они выносятся реками. Содержание соединений азота (нитратов и нитритов) в Балтийском море изменяется по его пространству и по сезонам в соответствии с районами и временем интенсивного развития фитопланктона. Весной и летом количество этих биогенов понижено, а осенью и зимой повышено. Характерная черта химического состава балтийских вод — их богатство силикатами, обусловленное выносами в море материковым стоком большого количества соединений кремния. [1]

1.4 Гидробиологический режим Северного и Балтийского морей

1.4.1 Фитопланктон, зоопланктон, бентос

Контурные глубины 50 м, 100 м и 200 м широко определяют границы между основными донными сообществами в Северном море, а структура местного сообщества дополнительно модифицируется типом осадков. Разнообразие инфауны и эпифауны ниже в южной части Северного моря, чем в центральной и северной частях Северного моря. Однако крупномасштабные пространственные градиенты в биомассе менее выражены. Низкая температура воды, тип осадков и интенсивность траления были определены как основные переменные среды, влияющие на структуру сообщества. [70]

Крупномасштабное отбрасывание различных видов макробентоса происходит при смешанном демерсальном траловом промысле. Этот промысел изменяет биомассу, производство, размерную структуру и разнообразие бентических

сообществ, причем интенсивность и пятнистость определяют совокупные воздействия. В областях с периодическим дефицитом кислорода, например, в Каттегате бентическая фауна подвержена смертности или уменьшению роста. Это, в свою очередь, может вызвать нехватку пищи для демерсальной рыбы.

Направленные промыслы существуют для донных беспозвоночных видов и коричневой креветки.

В ICES было заключено, что в целом пространственное распределение макрофаунальных сообществ в 2000 году было довольно похоже на пространственное распределение в 1986 году. [70]

Снижение общей численности, обнаруженное в Северном море (> 100 м), было обусловлено использованием различных размеров ячеек в 1986 году (0,5 мм) и 2000 (1 мм), а также пространственным разрешением сетки станции. Увеличение числа видов в этом регионе в 2000 году может быть результатом улучшения таксономической точности. Изменения в структуре сообщества к северу от контура глубины 50 м могут быть связаны с изменениями гидроклапана, вызванными, в частности, изменениями в Североатлантическом колебании (НАО), которые в положительном режиме приводят к изменению структуры осадка и в доступности пищи. Увеличение притока атлантических водных масс через канал Fair Isle укрепило лобную систему к северу от берега, создав «сильную» границу между северными и южными водными массами. Высокие скорости течения в северной части Доггер-Банка.

Во время штормов мелкие осадки на морском дне мобилизуются на глубинах до 60 м на северном склоне Доггер-Банка. Таким образом, снижение общего количества видов и увеличение количества видов, таких как мелкий полихетный парафиномы, а также преобладание полихетных грибов к северу от контура глубины 50 м, свидетельствуют о наличии изменений гидродинамики, влияющих на структуру и стабильность осадков, что подтверждается изменениями среднего размера зерна в этой области, связанными с изменениями в доступности продуктов. Их увеличение численности к северу от контура глубины 50 м может быть намеком на более холодные северные водные массы к северу от фронтальной системы.

Изменения, наблюдаемые в общинах на морских станциях в юго-западном Северном море в направлении Ла-Манша и восточной части Фризского фронта, показывают сходные экологические воздействия. Уменьшение полихеты *Ophelia borealis* в этих регионах может зависеть (*O. borealis* - умеренно-умеренный вид), а также от изменений в составе осадка. На прибрежных станциях на юго-западе Северного моря в направлении Ла-Манша и в западной части Фризского фронта наблюдается увеличение количества полихет, это может быть вызвано большей доступностью пищи на Фламборфском и Фризском фронтах из-за гидродинамических сил. Из-за фронтальных условий и увеличения первичной продукции поставки бентоса (качество и количество) будут выше, чем в нелокальных районах на сопоставимых глубинах. [70]

В весенний период времени была отмечена значительная дифференциация доминирующих таксонов по районам моря, однако ряд видов динофлагеллят имел повсеместное распространение. В Северной и Центральной части Балтики они доминировали наряду с некоторыми другими видами этого отдела. В остальном исследуемые районы отличались главным образом составом доминирующих видов диатомовых.

В летний период времени отмечалась повсеместная перестройка структуры доминирующих комплексов фитопланктона. Это выражалось в доминировании на большей части акватории моря сине-зеленых и динофитовых водорослей. В Южной части Балтики среди доминирующих таксонов в большей степени были представлены криптомонады. [3]

Всего за период исследования было выявлено 34 доминирующих вида. Отдельные виды входили в число доминантов круглогодично. Наибольшее число доминирующих видов было обнаружено среди сине-зеленых, диатомовых и динофитовых. Доминирование прочих видов имело 89 четкую сезонную приуроченность. В июне–августе в фитопланктоне активно вегетировали сине-зеленые водоросли. Криptomonаты появлялись в фитопланктоне и продолжали вегетировать осенью. [3]

Различия в структуре доминирующих комплексов открытой и прибрежной части Балтийского моря касались главным образом устойчивости отдельных видов к колебаниям солености. Установлено, что зеленые водоросли, в меньшей степени, чем сине-зеленые адаптированы к солоноватоводным условиям и могут формировать цветения только при низкой солености. [3]

Видовой состав фитопланктона зависит от местных питательных веществ и солености и постепенно изменяется с юго-запада на северо-восток. Первичная продукция характеризуется большой сезонной и межгодовой изменчивостью. Интенсивный весенний цветение начинается в марте в западной части Балтики, но только в мае июня в Ботническом заливе. В южной и западной частях весеннего цветения преобладают диатомовые водоросли, тогда как в центральной и северной частях преобладают динофлагелляты. В период с 1979 по 1999 гг. Для диатомовых водорослей весной и летом наблюдались тенденции к понижению, тогда как динофлагелляты в Балтике обычно увеличивались, но уменьшались в Каттегате. Хлорофилла, прокси-индикатор для общей биомассы фитопланктона, также увеличился в самой Балтике. [8]

Сезонные изменения в составе планктона на Балтике ясно выражены. В феврале начинают развиваться жгутиковые, почти одновременно с ними развиваются арктические диатомовые, которые, истощив запасы биогенных элементов, отмирают. После отмирания диатомовых развиваются бактерии, затем инфузории, которые, могут служить пищей планктонных ракообразных. [4]

Зоопланктон начинает заметно развиваться в апреле, но максимального весеннего развития достигает в мае.

Распределение биомассы зоопланктона в пространственном отношении дано для слоя 0-10 м. Как показывает это распределение, величины биомассы резко колеблются в заливах, бухтах и открытых частях моря. Заливы и бухты отличаются сравнительно большой биомассой, открытая часть моря более бедна. В рижском заливе биомасса значительна вследствие повышенной продуктивности планктонных ракообразных и в центральной части залива в августе она доходила до 1357 экз/м^3 .

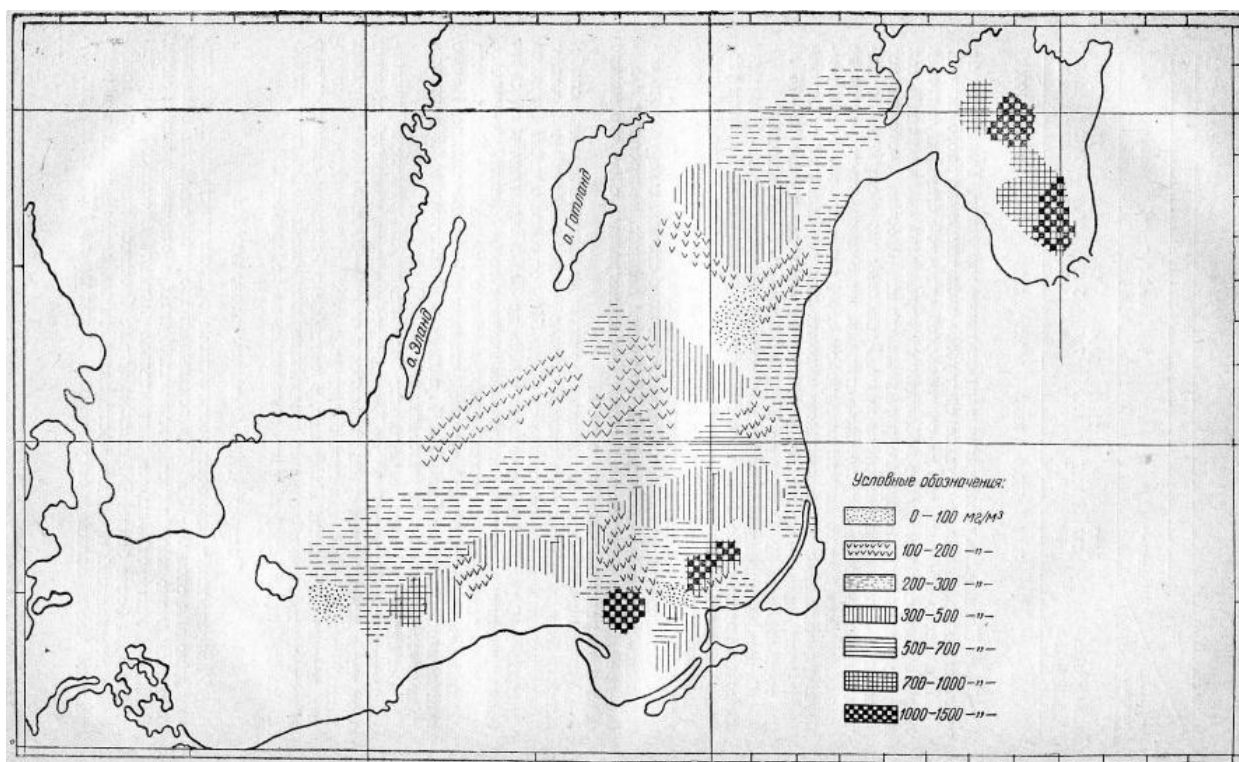


Рисунок 1.4 Распределение биомассы планктонных ракообразных в слое 0-10 м в июне, августе, сентябре в мг/м³ [4]

В пределах Рижского залива наиболее продуктивными местами являются устья Даугавы, а также прибрежные участки, где развитию планктона благоприятствует температура (район Колка-Рухну). Однако и в центральной части залива, биомасса зоопланктона примерно в шесть раз больше, чем в открытом море. Рижский залив является основным местом промысла салаки и кильки младших возрастов, что вполне совпадает с большой биомассой зоопланктона в заливе.

Пространственное распределение биомассы в различные сезоны года не оставалось постоянным. [4]

Весной в Рижском заливе наибольшая биомасса наблюдалась в прибрежной зоне. Летом более богата центральная часть залива, в особенности район к юго-востоку от острова Рухну, где обычно в это время, наблюдаются наибольшие скопления салаки. Осенью, после летнего откорма рыб, в центральной части залива биомасса меньше, чем в прибрежной зоне.

Открытая часть моря значительно беднее заливов. И здесь выделяются места более богатые и более бедные. К бедным относятся районы Вентспилса, Лиепай,

Клайпеды. К богатым планктоном местам относятся также и банки. Места, бедные планктоном, наблюдались над котловинами: Готландской котловиной и в районе Гданьской впадины. Биомасса зоопланктона распределяется неравномерно по всей акватории Балтийского моря, что обусловлено, с одной стороны, топографией моря, с другой – ветрами и течениями. [4]

В зоопланктоне Балтийского моря преобладают каланоидные копеподы и кладоцераны. На видовой состав влияет градиент солёности. Как правило, морские виды преобладают в южной более солевой части, в то время как в северных районах преобладают солоноватые виды. [8]

Так же, как и планктон, бентос не образует в Балтийском море таких мощных скоплений, как в прилежащих частях Атлантического океана или даже в Баренцовом море. В Северном море и особенно в проливах, соединяющих его с Балтийским морем, биомасса бентоса даёт очень высокие показатели. [8]

В самой юго-западной части моря и у входа в Финский залив биомасса бентоса достигает сотни граммов на 1 кв. м. Обычно же она выражена несколькими десятками граммов. [8]

Состав бентоса зависит как от типа осадка, так и от солёности, при этом суспензионно-питающие мидии важны на твердом субстрате, тогда как на мягких основаниях преобладают подающие устройства и роющие формы. Видовое богатство зообентоса обычно невелико и снижается с юго-запада на север из-за падения солёности. Тем не менее, районы, богатые видами, и биомассы с низким содержанием бентоса также встречаются в глубоких бассейнах в центральной части Балтийского моря из-за низкого содержания кислорода в придонной воде.

К востоку от порога Дарса различные полихеты становятся важными в более глубоких частях. В Ботническом заливе и центральной части Ботнического моря амфипод доминируют над зообентосом. В мелководных районах морские водоросли и морские водоросли образуют важные места обитания (включая питомники) для многих животных. Распределение морских водорослей и водорослей со временем изменилось, в некоторых случаях в ответ на эвтрофикацию [8]

1.4.2 Рыбные сообщества Северного и Балтийского морей

Треска широко распространена по всему Северному морю. Данные научно-исследовательских исследований показывают, что в южной части Северного моря в значительной степени были обнаружены молодые рыбы (в возрасте 1 и 2 лет), в то время как в последние десятилетия Скагеррак также стал важным. [72]

Взрослые рыбы в прошлом были распределены в Южном бухте, северо-восточном побережье Англии, в немецкой бухте, восточном побережье Шотландии и в северо-восточном Северном море. Поскольку численность запасов колеблется, эти группировки кажутся относительно дискретными, но занятая площадь сократилась. В последние годы самые высокие плотности трески наблюдались в более глубоких водах центрального Северного моря.

Генетические исследования популяции показали, что популяции атлантической трески структурированы как в больших, так и в меньших географических масштабах, например, между Северным и Балтийским морями. В рамках Северного моря и соседних районов в нескольких исследованиях было показано более мелкое структурирование по шкалам суб-запаса. Недавние доказательства указывают на две группы популяции; один из которых обитает на северо-восточном Северном море (в центре - банк Викинга), а другой - в более мелких водах. [72]

Большая часть молоди атлантической трески поселяются в Скагерраке и затем совершают обратную миграцию до нереста. Это объясняет высокое содержание трески 0- и 1-группы в Скагерраке.

В Северном море может быть дальнейшее структурирование, а не только генетическое доказательство. Временные изменения в распространении и местный генетический состав в одной такой нерестовой агрегации вблизи Фламбора, у северо-восточного побережья Англии, свидетельствуют о том, что во второй половине двадцатого века произошел полный крах и повторная колонизация района.

Потенциальный личиночный перенос и рост молоди показывают, что ранние стадии не смешиваются во всем мелководном регионе Северного моря. Различия в жизненных чертах были обнаружены среди мелководного региона Северного моря,

согласующегося с некоторой степенью сегрегации, хотя наиболее выраженные различия обнаруживаются в банке Викинга, так как треска сохранила репродуктивную стратегию.[72]

Имеющаяся информация свидетельствует о том, что большинство нереста происходит с начала января по апрель на шельфе в водах солености 34-35%. Вокруг Британских островов наблюдается тенденция к более позднему времени с увеличением широты. Старшие самки начинают появляться раньше, чем молодые самки, что может иметь важное значение для возрастания репродуктивного успеха.

Местами нереста трески в Северном море являются вокруг южного и восточного краев Доггер-Банка, в немецких боях, Морей-Ферт и к востоку от Шетландских островов. [72]

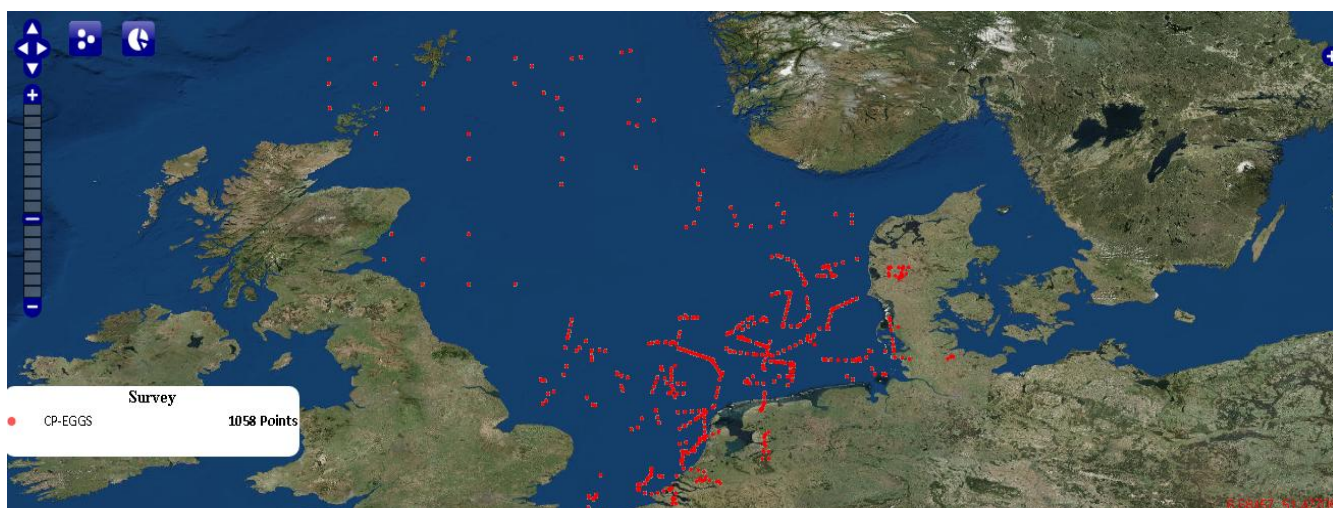


Рисунок 1.5 Карта распределения икринок атлантической трески в Северном море в 2009 году, построенная с помощью сервиса сайта ICES

В масштабе Северного моря наблюдался северный сдвиг в среднем широтном распределении запасов. Треска в Северном море состоит из комплекса более или менее изолированных суб-запасов, а треска, что находится на юге Северного моря подвергаются непропорционально высоким показателям промысловой смертности. Сокращение в пределах молодой трески Северного моря может быть связано с уменьшением численности, а также с повышенной температурой, и другими отрицательные эффекты повышением температуры на показатели репродуктивности и снижение доступности оптимальной среды обитания, могут увеличить уязвимость запасов трески к рыбной ловле.

Сдвиг распределения в северном направлении с серией теплых, ветреных зим на личинках и результирующее распределение недавно устоявшейся трески.

Этот эффект усиливается из-за низкого содержания трески более старшего возраста из-за сильного промыслового давления. Тепловой режим Северного моря еще не вызывает перерастание взрослой трески в более прохладные воды. [72]

Треска, раздельно, в течение нерестового сезона в некоторых случаях смешивается в течение нагула. Это предполагает ограниченный чистый приток трески из Ла-Манша в южное Северное море, но никакого значительного движения в другом направлении. Отсутствие очевидных физических барьеров для смешивания в Северном море предполагает, что поведенческие и экологические факторы отвечают за сохранение относительной дискретности популяций. Популяция трески имеет сильную тенденцию к привязанности к месту (даже у мигрирующих рыб), быстрые и дальние миграции, использование более глубоких каналов в качестве миграционных путей и, в некоторых случаях, четкое определение питания и нереста. [72]

Балтийская треска подобна атлантической, но окраска ее ярче, плавательный пузырь обычно несколько больших размеров и рожкообразные выросты у переднего края его у взрослых особей очень длинные и свернуты в клубочек. Окраска тела оливковая или зелено-серая с частыми пятнами сероватого или коричневого цвета. Позвонков 51—56, в среднем 52—54. I D 14—16, II D 14—27, III D 17—20; I A 17—22, II A 18—21.

Примерно до пятилетнего возраста балтийская треска растет быстро, затем темп ее роста, ближе к старости, заметно снижается. Балтийская треска в возрасте от 8 до 9 лет, в течение года увеличивается в длине только лишь на 2 см. [5]

Отдельные экземпляры балтийской трески достигают половой зрелости на втором году жизни. В значительном количестве треска становится половозрелой на четвертом году, причем самцы со зрелыми половыми продуктами встречаются в более молодом возрасте, чем самки. В среднем зрелыми самцы становятся уже по достижению 20 см длины, а самки созревают при длине 27-29 см. Продолжительность жизни балтийской трески составляет не старше 10 лет.

Число икринок, в зависимости от длины рыбы, сильно колеблется: у рыб длиной 31-35 см. количество икринок в среднем 200 тыс. штук, при длине 36-40 см. – около 400 тыс. штук, при длине 41-50 см – около 600 тыс. штук; у крупных особей количество икринок превышает 4 млн.

Схема современного распределения балтийской трески проста: для нереста она собирается на глубоководных впадинах, для нагула и зимовки подходит к берегам. На глубинах 100-130 м треска находит благоприятные для нереста условия, но после икрометания она там не задерживается вследствие малого количества корма.

Места, где происходит нерест балтийской трески, расположены сравнительно недалеко от районов ее нагула и зимовки.

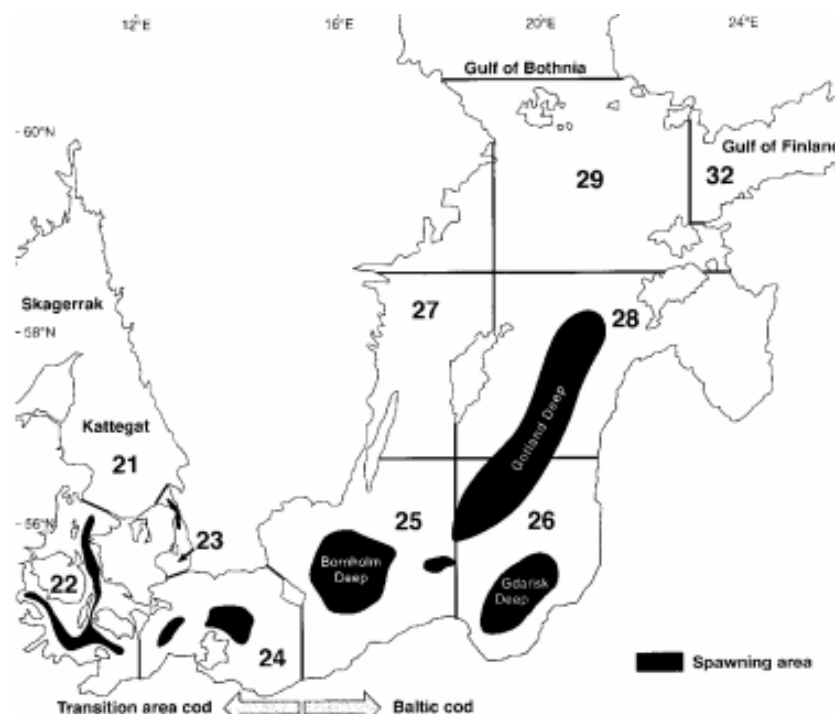


Рисунок 1.6 Места нереста Балтийской трески [13]

Наличие в Балтийском море несколько нерестилищ трески дает основание предполагать, что здесь она образует самостоятельные стада, имеющие как свои нерестилища, так и районы нагула.

Пища балтийской трески менее разнообразна, чем трески Баренцева моря. Число форм, встречающихся в желудках первой, примерно в 10 раз меньше, чем в желудках второй. Треска балтийского моря питается в основном беспозвоночными. Серьезных конкурентов в питании Балтийская треска не имеет. [5]

Жизненный цикл ее сравнительно короток, что дает основание считать эту рыбу формой, обладающей большой восстановительной способностью.

Что касается характера ее распределения, то привязанности к банкам у балтийской трески нет. В связи с тем, что во всем обширном пространстве, где происходит нагул трески в одно и то же время, существенного различия в ее физиологическом состоянии на разных участках этого пространства не обнаружено, целесообразно рассматривать распределение трески на всем этом пространстве в целом. [5]

Зимовка трески происходит в пределах того же района, только в результате некоторой перегруппировки, на более ограниченной акватории.

Нерест трески начинается с середины апреля и продолжается до конца июля. Основная масса рыбы, выметав к этому моменту половые продукты, покидает нерестилища и подходит к берегам для нагула. Изменение условий среды обитания трески может вызвать в различные годы смещение сроков ее нереста в ту или другую сторону. [5]

Растяннутость периода нереста связана с различными сроками созревания половых продуктов у отдельных рыб и, вследствие этого, с неодновременностью подхода их на нерестилища. Районы, в которых треска находит подходящие условия для нереста, значительно меньше, чем районы, где происходит ее нагул и зимовка. Плотные скопления трески в этих районах обуславливаются, тем, что для успешного нереста рыбы каждый самец, поливающий молоками выметанную самкой икру, должен быть в непосредственной близости от самки.

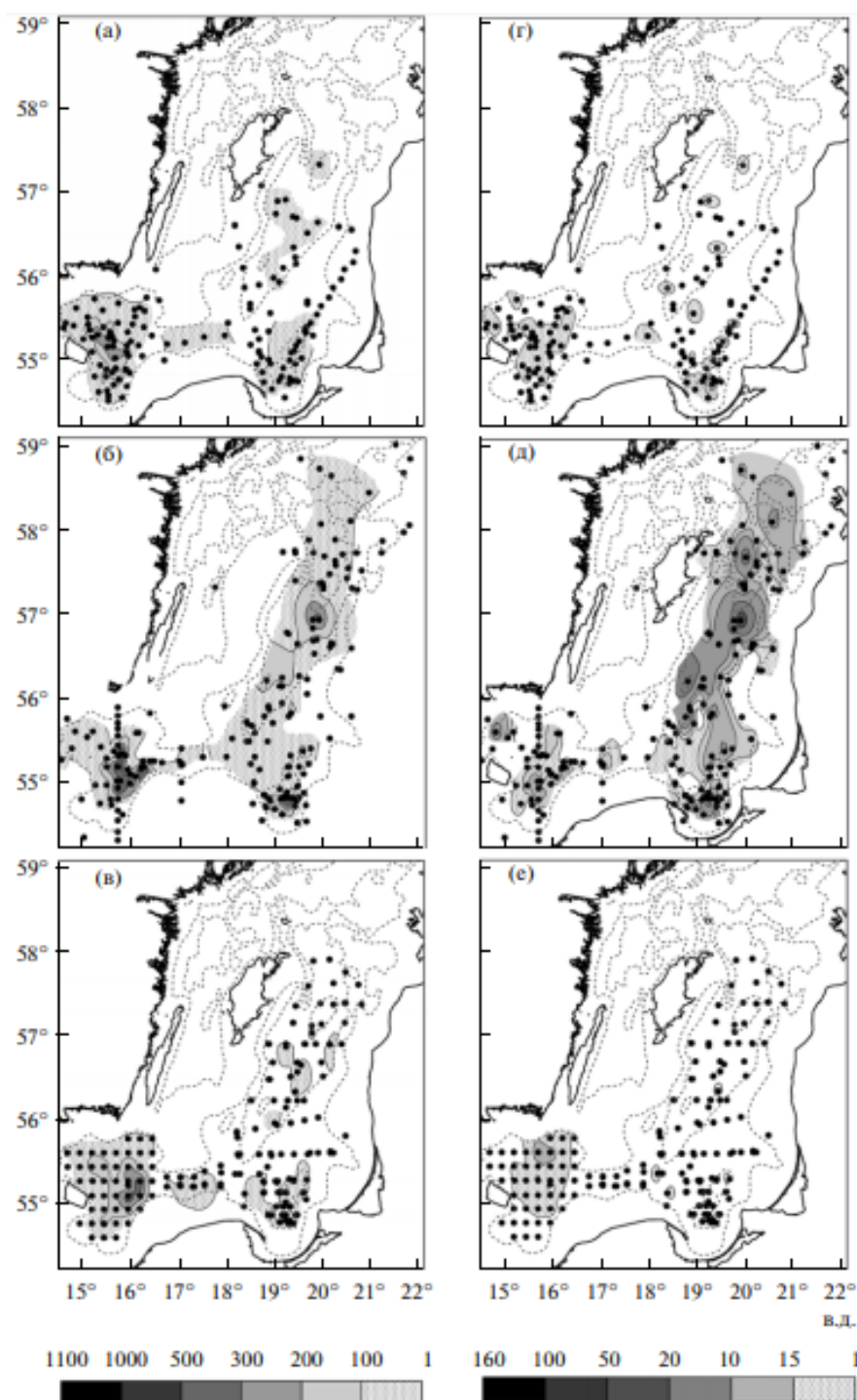


Рисунок 1.7 Распределение икры, шт/м² (а–в) и личинок, экз/м² (г–е) восточно-балтийской трески в 1931–1938 (а, г), 1949–1959 (б, д) и 1991–1996 (в, е) гг.; [13]

В районе Готландской впадины мощные скопления нерестующей трески держатся на глубинах свыше 100 м, где расположены слои воды достаточно высокой солености.

В Гданьском заливе глубины меньше, чем в Готландской впадине и почти не превышают 100 м. Здесь нижний слой воды, имеющий достаточную соленость для нереста трески, доходит до горизонта 70-80 м. [5]

В Борнхольмской впадине соленость выше, чем в Готландской и Гданьской. В связи с этим к востоку от о. Борнхольм треска нерестится на меньших глубинах (60 м и меньше).

Треска во время нереста держится не сплошной массой, а отдельными косяками. В начале на нерестилища подходят более крупные особи. К концу нерестового периода средняя длина трески уменьшается.

Во время нереста питание трески сильно ослаблено. Так как индекс пополнения желудков трески в период нереста в среднем в два раза меньше, чем в период нагула. В Балтийском море треска распространена почти повсеместно, за исключением сильно опресненных районов и наиболее глубоких впадин (с глубинами более 150 м), где в придонных слоях воды содержится слишком мало кислорода. Распределение трески во время нереста определяется требованиями этой рыбы к определенным условиям среды. Сюда относятся соленость, температура, содержание кислорода в воде. В Готландской впадине гидрологический режим отличается большим постоянством. И постоянство этого режима играет существенную роль, особенно на ранних стадиях развития икры и личинок трески.

Треска для нагула и зимовки подходит в большом количестве к побережью. Откармливаемая треска держится в основном вдоль берегов и не заходит глубже 70-80 м. Отдельные косяки встречаются иногда на глубинах до 100 м. [5]

В районах открома трески соленость не играет столь существенной роли как на нерестилищах. Треска встречается в опресненных заливах и возле устьев рек, где содержание солей доходит до нуля, а также и в некотором удалении от берегов, где соленость достигает 10‰ и выше.

Основой пищи балтийской трески являются ракообразные: из них наибольшее значение имеют морские тараканы. Меньшую роль играют креветки и гаммариды. Из червей в пище трески обнаружены полихеты. Среди рыб первое место в пище

трески занимает салака, затем следует молодь самой трески, бельдюга, песчанка, корюшка, балтийская килька или шпрот, морской налим, сельдь.

Во время нагула треска в наибольших количествах держится в местах, где резко изменяется глубина, т.е. на склонах впадин и возвышенностей.

Откармливающаяся треска избегает районов, в которых температура придонных слоев воды превышает 10-12°. Наиболее густые скопления трески наблюдаются преимущественно в придонных слоях с температурой от 3 до 6°.[5]

Описание шпрота в Балтийском море выглядит следующим образом. Жаберная крышка гладкая, без борозд. Нижняя и верхняя челюсти едва заходят за вертикаль переднего края глаза. Брюшные шипы явственно обозначены, сильные. Начало брюшных плавников приходится под самым началом спинного или даже немного впереди него. Наибольшая высота тела 17,4—19,5% всей длины тела. Длина головы 18,7—19,8% всей длины тела. Брюшных шипов впереди основания брюшных плавников насчитывается 20—24, обычно 22—23; позади 9—13, обычно 11. Поперечных рядов чешуи 47—50. Жаберных тычинок 46—51. Позвонков 45—49, обычно 47—48. D IV—V 11—14; A III—V 15—17; V I 6. [6]

Типичная форма — шпрот из Атлантического океана и Северного моря, *Spr. Sprattus sprattus*, и черноморский шпрот, *Spr. Sprattus phalericus*, отличающиеся высотой головы и тела, длиной рыла, числом брюшных шипов и другими признаками. Балтийская килька внешне очень похожа на мелкую салаку, но отличается от нее резко выступающими брюшными шипами, положением брюшных плавников (под началом I) и даже впереди него), меньшим ртом и другими признаками.

В Финском заливе, распространение, доходит на восток до Шепелева (западнее Красной Горки). Морская стайная пелагическая рыба. В отличие от салаки (*Clupea harengus membras*), избегает сильно опресненных участков (по крайней мере, в период икрометания). Нерест происходит в отдалении от берегов как в собственно Балтийском море, так и в его заливах Рижском и Финском (в последнем, по крайней мере, до линии Таллин — Хельсинки), в период с мая по август. Продолжительность нерестового сезона увеличивается к западу: в Финском заливе икрометание

происходит в период с конца мая до начала августа, в Рижском — с середины мая до середины августа, у Борнгольма — с начала мая по август, в западной части Балтийского моря — с конца апреля до конца августа. [6]

Икра свободноплавающая (пелагическая), держится обычно в слое воды до глубины 40 м. Величина икринок кильки из различных районов моря не одинакова и зависит от степени солености воды: в западной части Балтийского моря диаметр икринки равен 1,04—1,44 мм, около Борнгольма 1,25—1,48 мм, а в Финском заливе 1,1—1,7 мм. Личинка при выклеве имеет длину около 4 мм. Рассасывание желтка заканчивается спустя восемь дней после выклева, по достижении личинкой около 5 мм длины. Все плавники (кроме брюшных) сформировываются по достижении личинкой длины 13—15 мм; переходную в малька стадию личинка проходит при длине около 25 мм. Размеры личинок кильки значительно меньше размеров личинок сельдей на аналогичных по степени развития стадиях. К концу первого года жизни балтийская килька достигает в западной части Ботнического залива 5,8—8,3 см.

Рост достигает длины 15—16 см. Живет до 6 лет. В западной части Ботнического залива балтийская килька в возрасте пяти лет достигает в среднем длины 13,2—13,5 см. Половой зрелости килька достигает на втором и третьем году жизни. В промысловых уловах в Финском заливе (Нарвская губа) преобладает килька длиной 11—13 см, в западной части Ботнического залива (Швеция)— 12—14 см. [6]

Балтийская килька питается планктоном. Основной пищей являются веслоногие рачки. Немалое значение имеют также личинки рыб, в частности песчанки. Пища кильки аналогична пище салаки, в этом от ношении они являются конкурентами. Миграции кильки не велики и выражаются лишь в под ходах к берегу или отходах от него. [12]

Тело невысокое, наибольшая высота его 16,5% всей длины. Голова сравнительно большая; длина ее 21,9% всей длины тела. Рот средней величины; конец верхней челюсти под серединой глаза. Брюхо закруглено; брюшные шипы (килевые чешуи) сравнительно слабо выражены. Жаберных тычинок 64—68, в среднем 65,8. Позвонков 53—57, обычно 55—56. Поперечных рядов чешуи 52—58, в среднем 56. D 16—18; A 15—19; 7 8—9. Различают две расы: весеннюю, мечущую икру в мае —

июне, и осеннюю, мечущую икру в августе—сентябре. Для осенней расы отмечают большеглазую и малоглазую формы. Кроме обычной, мелкой (до 20 см), формы встречаются гигантские салаки, до 37,5 см (*Riesenstromlinge*—у немцев, *jattesstrommingar*— у шведов и *silli* у финнов), которые принадлежат к тому же балтийскому подвиду *Cl. harengus membras*, но являются особой, быстро растущей расой. [7]

Салака является балтийским подвидом атлантической сельди (*Clupea harengus*), отличаясь от основной формы меньшим числом позвонков, размерами, биологией. Близко родственны ей также восточные сельди: *Clupea harengus pallasi* (беломорская, чёшеко- печорская и тихоокеанская). Балтийское море к востоку от линии, соединяющей южную оконечность острова Эланд с Данцигской бухтой, а также заливы Рижский, Ботнический и Финский (в последнем до Сестрорецка).

Салака является морской рыбой опресненного Балтийского моря, хотя иногда встречается (и даже живет) и в совершенно пресной воде. Держится всегда со стаями, преимущественно в верхних слоях воды (пелагическая рыба).

Нерест происходит в прибрежной зоне и на отмелях банках, в местах с твердым грунтом, на глубине от 3 до 10—12 м. Наблюдаются два периода нереста: более значительный — в мае — июне и меньший — в августе — сентябре (весенняя и осенняя расы). Плодовитость весенней салаки из восточной части Финского залива в среднем 10,6 тыс. икринок. [7]

Икра донная, клейкая, прикрепляется к грунту и под водной растительности. Диаметр икринки 1,13—1,35 мм.

Обычная длина — до 20 см, гигантские салаки достигают длины 37,5 см. Живет до 11 лет.

Салака растет медленнее норвежской, мурманской и дальневосточной сельди. По темпу роста она близка к мелкой группе беломорской сельди. Половая зрелость наступает у салаки в возрасте двух-трех лет. Основную массу в уловах составляют особи в возрасте двух-четырех лет, длиной 14—16 см (средняя длина 15,4 см, вес 24,1 г).

Основную пищу осенью, зимой и весной составляют веслоногие рачки. Конкурентом в питании салаки является шпрот или килька (*Sprattus sprattus balticus*), которая питается в основном тем же зоопланктоном, что и салака. [7]

Салака периодически подходит из открытых участков моря в береговую зону и отходит обратно. Весной подходит к берегам на мелкие места или держится в поверхностных горизонтах. Летом, когда вода на мелких местах и в поверхностных горизонтах прогреется до 16°, салака уходит в открытые участки на глубокие места и держится в средних горизонтах. В начале осени, с охлаждением поверхностных слоев воды, вновь поднимается в верхние слои и выходит на мелководья. В конце осени, с наступлением сильного охлаждения воды, салака опять отходит на глубокие места и держится в придонных слоях воды. Подходы салаки в прибрежную зону для нереста в большой степени зависят от характера весны. Дружная, теплая весна обуславливает быстрый прогрев воды на мелких местах, и тогда наблюдаются дружные подходы мощных скоплений салаки в мелководную прибрежную зону для метания икры. Наоборот, в годы с холодной и затяжной весной салака подходит к берегам небольшими косяками, и подходы растягиваются во времени. [6]

2. Динамика запасов атлантической трески

2.1 Общие запасы

Смертность от хищников в возрасте 1 и 2 года уменьшилась за последние 30 лет из-за более низкого каннибализма. Хищничество на старой треске (возраст 3-6 лет) увеличилось из-за увеличения числа серых тюленей в Северном море.

Хищничество сельди на ранних стадиях истории трески является динамически важным и что высокое содержание сельди может привести к снижению запасов трески даже в периоды снижения давления на рыбную ловлю. Кроме того, они показывают, что численность трески сильно зависит от численности сельди и что нынешние уровни использования трески могут стать неустойчивыми, если репродукция сельди вернется к историческим высоким уровням.

Для Северного моря было подсчитано, что в 1985 году серые тюлени потребляли 4150 тонн трески (95% доверительные интервалы: 2484-5760 тонн), а в 2002 году популяция увеличилась в три раза (21-68 000) и потребляло 8344 тонны (95% доверительные интервалы: 5028-14941 т). Эти оценки потребления были сопоставлены с общей запасами биомассы для трески в 475 000 тонн и 225 000 тонн в 1985 и 2002 годах соответственно. Средняя длина трески в питании тюленей оценивалась как 37,1 см и 35,4 см в 1985 и 2002 годах соответственно. [72]

Размер популяции серых тюленей предположительно составляли 68 000 тонн в 2002 и 2003 годах соответственно. Оценки потребления трески составили 9657 тонн в 2002 году и 5124 тонны в 2003 году. Включение коэффициентов многовидовой смертности для более старшего возраста трески оказало относительно незначительное влияние на высокий уровень оценочной нормы промысловой смертности и низкий уровень численности биомассы нерестового запаса. Это говорит о том, что оценки хищничества тюленей не изменят нынешнее восприятие динамики запасов трески в Северном море.

Пространственно-временное перекрытие между треской и ее хищниками увеличивалось с повышением температуры, что указывает на то, что процессы

пищевого происхождения могут снизить потенциал восстановления трески в теплые периоды. [72]

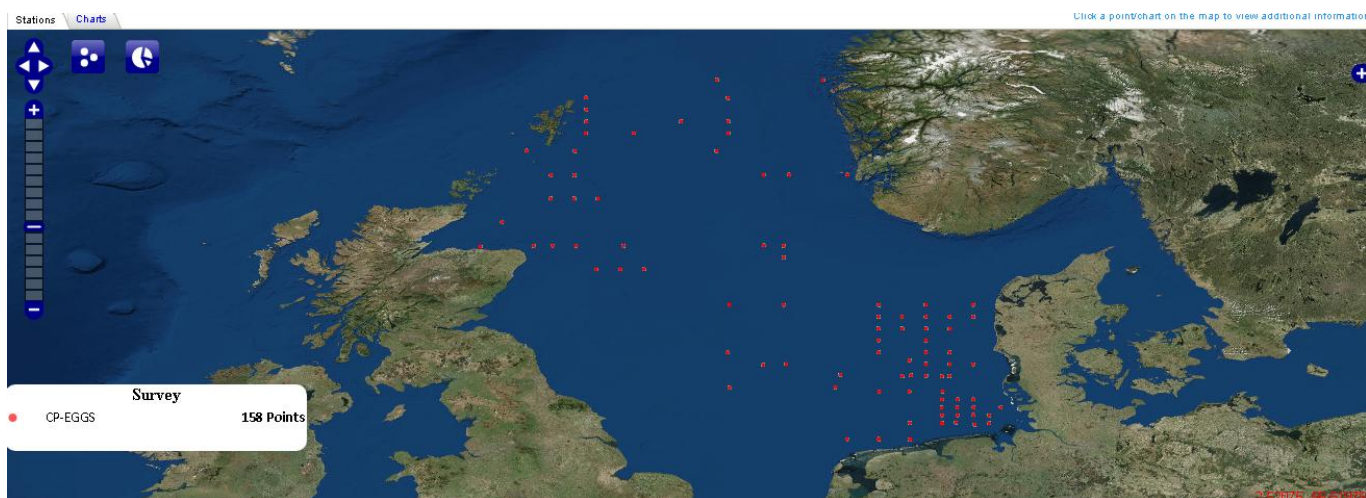


Рисунок 2.8 Карта распределения личинок атлантической трески в Северном море в 2009 году, построенная с помощью сервиса сайта ICES

*CP-EGGS – места развития икринок атлантической трески за 2009 год. Целью исследования является изучение распределения яиц и личинок рыб в зимнее время в Северном море, целевыми видами являются треска и камбала. WGEGGS управляет программой.

Данные о рыбных икринках были собраны в районе ICES в течение длительного времени для использования в оценке запасов и управлении рыбным хозяйством. Сбор данных обычно организуется международными экспертными группами. База данных сайта ICES «Яйца и личинки» направлена на хранение и предоставление данных, собранных с помощью исследований ихтиопланктона для использования ICES и более широким морским сообществом. Он содержит обзор доступных данных обследований яиц и личинок рыб и унифицированный портал для доступа к данным обследований ихтиопланктона.

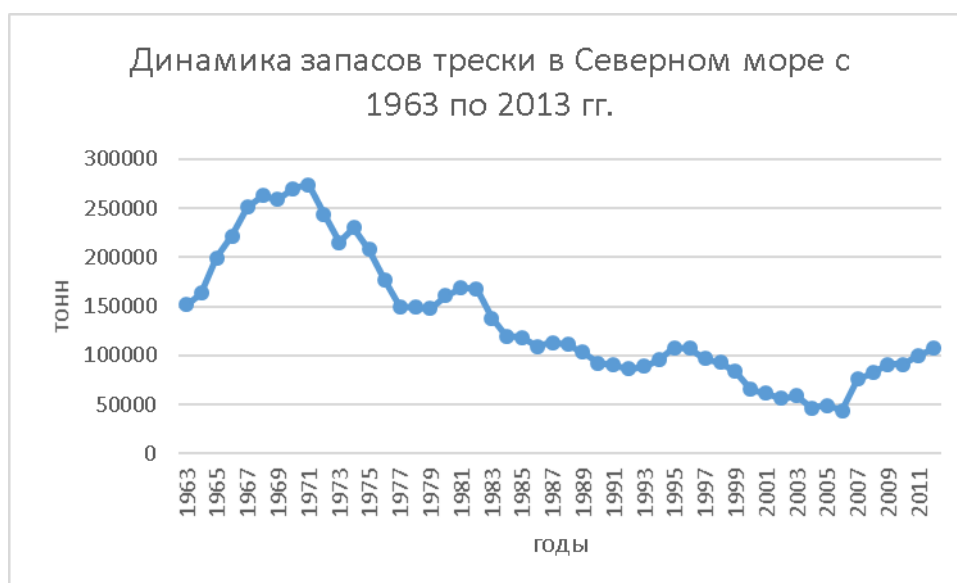


Рисунок 2.9 Динамика запасов трески в Северном море с 1963 по 2013 гг.

На рисунке 2.9 представлена динамика запасов трески в Северном море, на котором видно, что с 1963 года запасы трески начинают расти, и достигают отметки в 274 тыс. т. к 1971 году. Следующие годы, видно, что запасы трески стремительно падают, и минимальной отметки запасы достигают к 2006 году, где 44 тыс. т. Однако к 2013 году, запасы вновь начали расти, что в 2013 году составили 107 тыс. т. и все еще продолжают расти.

В 1976–1980 гг. наблюдается новый значительный рост численности икры трески, особенно заметный в Борнхольмской и Готландской впадинах. Как расширение ареала, так и увеличение количества икры были следствием роста численности популяции. Согласно оценкам запаса балтийской трески, период резкого увеличения её нерестовой биомассы начался в конце 1970х гг. и в начале 1980х гг. значительно превысил предшествующий уровень. Таким образом, наблюдалось сходство в состоянии популяции трески в середине XX в. и конце 1970х – начале 1980х гг. по таким параметрам, как: 1 – распространение нерестовой части ареала на северо-восточные впадины, а его нагульной части на северные районы моря; 2 – высокая численность икры трески в глубоководных впадинах. Прослеживалось сходство условий среды, выразившееся в росте солёности в связи с увеличением частоты североморских адвекций. В каждый из этих периодов увеличения солёности экспансия трески в северо-восточные районы последовала после появления ряда высокоурожайных поколений. Известно, что в XX в. был

отмечен только один пик уловов балтийской трески, который пришёлся на 1980–1984 гг. Средний вылов трески в 1951–1960 гг. был на порядок выше, чем в 1931–1938 гг., – 140 против 10 тыс. т. Однако он был более чем в два раза ниже уровня 1981–1985 гг. – 337 тыс. т. Это несоответствие между сходством в чрезвычайно широком распространении трески в эти периоды и существенной разницей в величине уловов объясняется разными этапами развития промысла трески. Кроме того, при проникновении вод североморских адвекций в глубинные слои северо-восточной Балтики площадь распределения нерестовых и нагульных скоплений трески резко увеличивалась, а уловы на час траления падали. Это могло привести к уменьшению промысловой смертности. [13]

Тогда причинами считались увеличение площади нерестилищ за счёт Готландской впадины и запоздавшая реакция промыслового флота на изменения в распределении запаса. Другой серьезной проблемой на раннем этапе развития тралового промысла трески был значительный прилов молоди. Впервые большое количество молоди трески (массой 120–130 г) было отмечено в 1942 г. в сельдевых тралах на шведском и германском промысле в Борнхольмской впадине, а также в Ботническом море в 1941–1943 гг. Вся выловленная рыба, не достигшая товарного размера (50 см в Швеции), выбрасывалась за борт и не учитывалась статистикой. Имеется информация о большом прилове молоди трески в советском промысле в первой половине 1950х гг., который составлял 40% улова в районах откорма трески осенью и зимой. К причинам относили появление серии урожайных поколений, приведшее к омоложению стада, широкое использование сельдевых тралов при отсутствии ограничения допустимого размера трески. [13]

Отрицательное воздействие промысла на популяцию сводилось в основном к большому прилову молоди, что значительно снижало потенциально возможный улов в весовом выражении, который мог быть достигнут через 2–3 года. Негативное влияние на величину польского годового вылова трески в эти годы имели организационные проблемы, связанные как с невозможностью обработки всей выловленной трески, так и с переходом на добычу салаки (сельди) (*Clupea harengus membras*) и шпрота (*Sprattus sprattus baltius*). До введения минимального размера (30

см) прилов молоди в польском промысле трески мог быть довольно высоким – в среднем 14%. Современные исследования подтвердили негативное влияние интенсивного вылова неполовозрелой рыбы на состояние запаса, а также необходимость хотя бы однократного нереста каждой особи. Резкий рост уловов восточно-балтийской трески в послевоенный период произошёл в первую очередь за счёт польского и советского промыслов, поэтому степень эксплуатации запаса определялась в основном их особенностями. К началу нового периода увеличения запаса в 1970–1980е гг. техническая оснащённость промыслового флота в балтийских странах, включая СССР, значительно выросла, что и позволило достичь векового максимума вылова трески в 1981 г. Для ряда популяций атлантической трески известно, что площадь занимаемого ими района сокращается при уменьшении запаса и возрастает при его увеличении. [13]

Распространение нерестилищ северо-восточной трески на север сопровождается увеличением, а смещение их на юг – уменьшением численности. Рост биопродуктивности северо-восточной трески принято связывать с усилением притока тёплых атлантических вод в арктические районы северной Атлантики. Один из периодов повышения температуры и солёности воды по измерениям в районе Исландии наблюдался между 1926 и 1960 гг. с температурным пиком в 1955 г. Известно, что флуктуации рыбных запасов во временном и пространственном масштабах зависят от климатических сдвигов. Поэтому для выявления восходящей и нисходящей фаз в динамике популяций важен учёт влияния климатической изменчивости. У восточно-балтийской трески центром ареала, где запас наиболее устойчив к влиянию изменчивости среды, является Борнхольмская впадина в юго-западной части моря. Максимальный рост этой популяции происходил только при распространении массового нереста на северо-восточные глубоководные районы моря после усиления интенсивности североморских адвекций. Таких периодов в XX в. было два – 1940е – начало 1950х гг. и конец 1970х – начало 1980х гг. Общим пусковым механизмом в эти периоды был процесс проникновения североморских притоков в северо-восточные впадины. Известно, что адвекции могут быть как

единичным явлением за ряд лет, так и следовать одна за другой в течение короткого периода. [13]

Самый длительный период отсутствия североморских притоков наблюдался с февраля 1983 г. по январь 1993 г., т.е. перед третьим из рассматриваемых периодов. Следует отметить ещё одну общую черту в репродукции трески: в 1930е и в 1990е гг. наблюдался сдвиг пика нереста на летний сезон, в то время как в 1940е и в 1980е гг. преобладал весенний пик нереста. Полной аналогии между условиями среды даже во временные отрезки с повышенной частотой адвекций не было. В первый из этих периодов (1940е – начало 1950х гг.) трофический статус моря изменился от олиготрофного на мезотрофный. Второй период (середина 1970х – начало 1980х) проходил при значительном усилении эвтрофикации Балтийского моря. Это привело к значительным различиям в гидрохимических и биотических условиях среды обитания трески в эти периоды, что требует дальнейших исследований. Таким образом, сопоставление ретроспективных и современных данных по распределению и численности икры и личинок восточно-балтийской трески показало существование долговременной периодичности в уровне их численности и типе пространственного распределения. Высокая численность икры трески и расширение нерестилищ за счёт северо-восточных глубоководных районов отмечены в конце 1940х – начале 1950х гг. В 1930е и 1990е гг. наблюдалось снижение численности икры и ограничение района ежегодного массового нереста юго-западной частью моря. Эти процессы определялись климатическими изменениями, на региональном уровне влияющими на воспроизводство трески через колебания интенсивности притоков североморских вод, уровня солёности и содержания кислорода в придонных слоях балтийских глубоководных впадин. [13]

Был построен график запасов трески в западной части Балтики. На рисунке 2.15 представлен график запасов трески в западной части Балтийского моря в периоды с 1970-2013 гг. (подрайон ИКЕС 22-24)

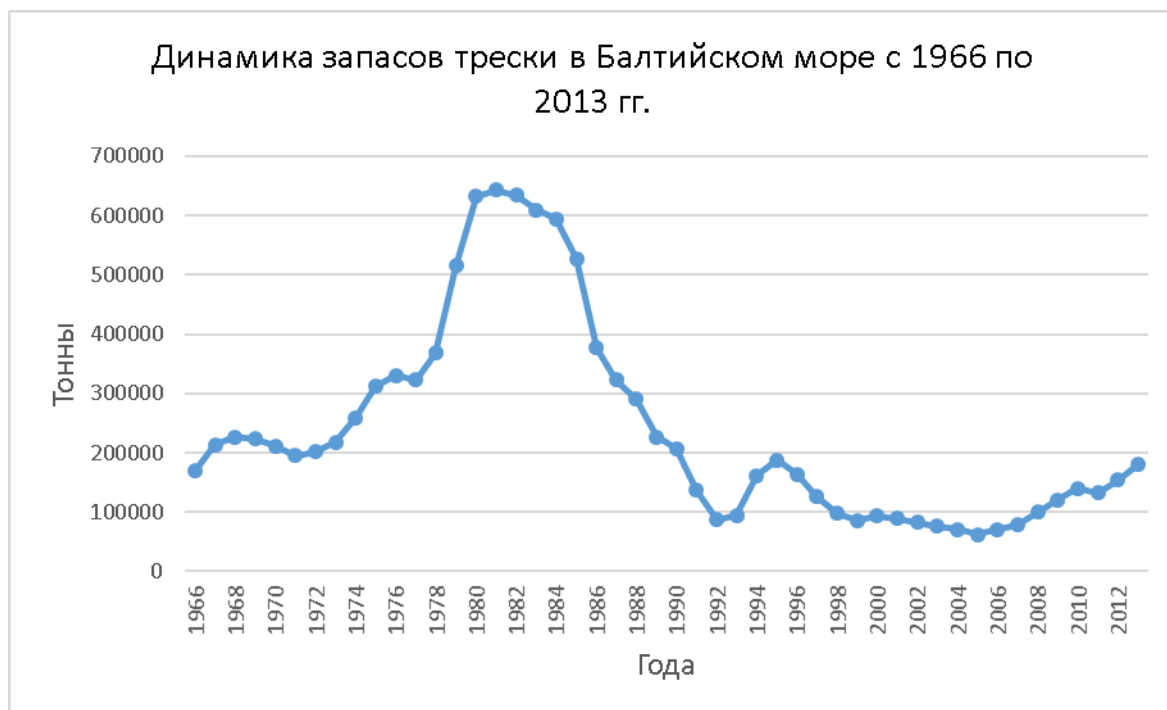


Рисунок 2.10 Динамика запасов трески в Балтийском море с 1966 по 2013 гг.

На рисунке 2.10 представлен график динамики запасов трески в Балтийском море (подрайоны ИКЕС 29, 28-2, 27, 26, 25).

На графике динамики запасов трески в восточной части Балтийского моря, рисунок 2.10, построенные с 1966 по 2013 гг., видим, что максимум находится в 1981 году со значением 643 064 тонны, минимум находится в 2005 году со значением 62 193 тонны. На графике очень четко виден рост запасов с 1966 по 1981 гг. Однако далее до 1992 года начинается падение запасов до значения 86 855 тонн и в последующие годы величина запасов колеблется до 100 000 тонн, и что примечательно с минимальной отметки начинается вновь рост запасов вплоть до 2013 года.



Рисунок 2.11 Зоны (подрайоны) ICES на Балтийском море [21]

Как видно из графика динамики запасов трески в Балтийском море, наблюдается стремительный рост запасов трески с 1966 вплоть до 1981 года, в основном в эти года треска нерестилась в Борнхольмской и Готландской впадинах. Расширение ареала нереста на северо-восточные впадины, нагула на северные районы Балтийского моря, а также увеличение количества икры, с каждым годом, были следствием увеличения численности популяции трески. На увеличение численности популяции трески прослеживается условия среды, выражающаяся в росте солености в связи с увеличением частоты североморских адвекций. В 1941 году, при траловой ловле трески в Балтийском море, выявили проблему, которая препятствовала промысловому освоению северо-восточных районов. Тяжелые грунты в районе распространения трески с глубинами 80-100м приводили к порывам трала. Плохая оснащенность ТРБ (траловый рыболовный бот) и МРТ (малый рыболовный траулер) для промысла на местах с каменистым грунтом, а также малая область освоения районов промысла, способствовало не только для сохранения высокой популяции,

но и для поддержания высокой численности стада. В следствии ограничения промысла и плохой оснащённости, а также улучшения условий среды, проникновение североморских адвекций в глубинные слои северо-восточной Балтики, площадь распределения нерестовых, а также нагульных скоплений трески резко увеличивалась, в то время как уловы падали. Это означает снижение риска уменьшения запасов трески из-за промысловой смертности.

Высокие оценки численности икры трески на обширной площади её распределения в середине XX в. согласуются с расширением её ареала и возникновением промысла в северо-восточных районах моря. Несмотря на значительное расширение ареала в северных районах моря, треска в зимне-весенний сезон по-прежнему формировала мощные скопления в Борнхольмской котловине, которая была одним из районов советского промысла. Исследователи, наблюдавшие увеличение запасов трески в Балтийском море, пришли к выводу, что оно связано с усилением притока североморских вод, ростом солёности и содержания кислорода в придонных слоях впадин, являющихся нерестовым биотопом трески. [13]

2.2 Факторы, определяющие динамику популяции балтийской трески

2.2.1 Климат

Как солёность, так и температура, влияют на разовое распределение и репродукцию, поскольку географическое распределение трески ограничено относительно тёплой, солёной водой. Поэтому большие вариации в любом из факторов будут влиять на воспроизводимость и, следовательно, доступность для промысла.

Нерест центрально-восточного запаса в Балтийском море ограничивается глубокими участками, где солёности в более глубокой воде достаточно высоки, а именно 25-26 подрайоны ICES где наблюдаются самые высокие солёностные области, для того чтобы обеспечить оплодотворение яйцеклеток и поддерживать оплодотворенные икринки на плавучести. Икринки балтийской трески достигают нейтральной плавучести

при более низких соленостях (приблизительно 12-14 промилли), чем другие запасы трески, что является существенной адаптацией к жизни в Балтийском море. Достаточное содержание кислорода в глубоком, соленом водном слое, где оплодотворенные икринки плавают, имеет решающее значение для успеха выживания икринок. Различные исследования показывают, что миграция к месту нереста происходит, с 4-5 лет.

Запасы распределены по большой площади Балтийского моря (до Рижского залива, Финского залива и Ботнического моря), когда размер запасов был высоким, а размножение происходило во всех основных глубоких бассейнах, как в конце 1970-х годов, начале 1980-х годов. При низких размерах запасов и сокращении распространения нерестовых мест обитания основная биомасса сосредоточена в южной части Балтийского моря, где гидрологические условия более благоприятны, как это произошло после середины 1980-х годов. В настоящее время распределение запасов ограничено подрайоном 25, а также подразделением младшей степени 26 и южной частью подразделения 27 и 28-2. [13]

Для анализа воздействия климатических условий на Балтийскую треску использованы данные с сайта ICES и модели экосистемы Baltic Nest.

В центральной Балтике на глубине 130 метров самая большая температура на протяжении 38 лет, находится в 25 подрайоне ICES, с апреля по Декабрь в 25 подрайоне ICES температура воды доходит до 15 градусов (max) в летние месяцы и осенью держится на значительно высоком уровне по сравнению с остальными подрайонами ICES в центральной Балтике. Максимальная температура отмечена в 1993 году в 11,7 градусов Цельсия в проливах Sound и Belt при глубине в 25 метров температура воды не опускалась ниже значения 6 градусов Цельсия вплоть до 2017 года, где температура в 24, 23, 22 подрайонах ICES упала на 2 градуса Цельсия, во всех 3х подрайонах ICES температура изменялась одинаково. В Baltic Proper в 2017 году температура на 130 метровой глубине тоже упала до 4 градусов Цельсия, однако в течении 38 летних данных, температура в этой области поднималась и ниже 4 градусов Цельсия была лишь в 1981 году и в 1987 году.

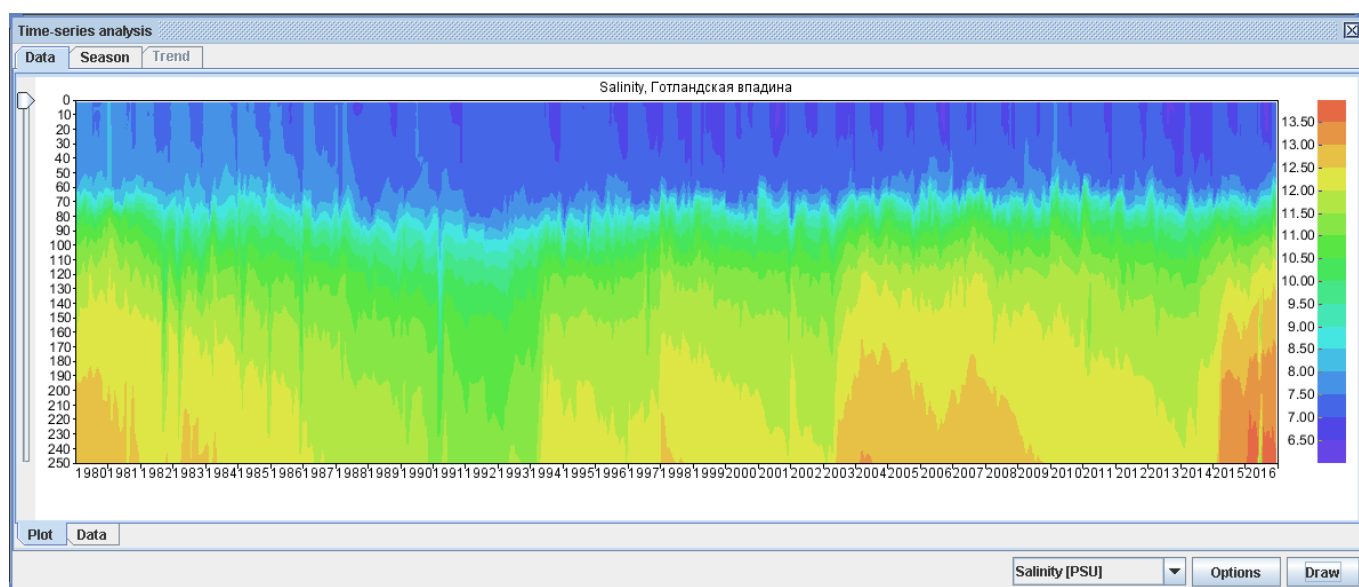


Рисунок 2.12 Среднемесячная соленость в Готландской впадине с 1980 по 2016 гг., [Baltic Nest]

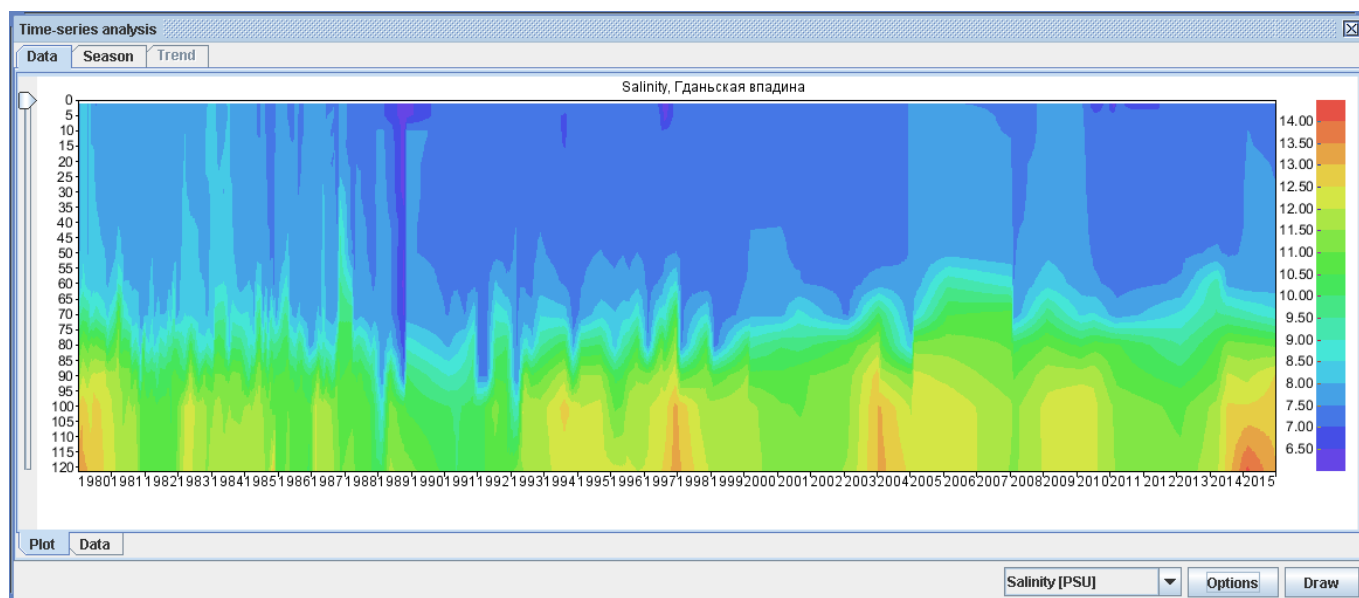


Рисунок 2.13 Среднемесячная соленость в Гданьской впадине с 1980 по 2015 гг., [Baltic Nest]

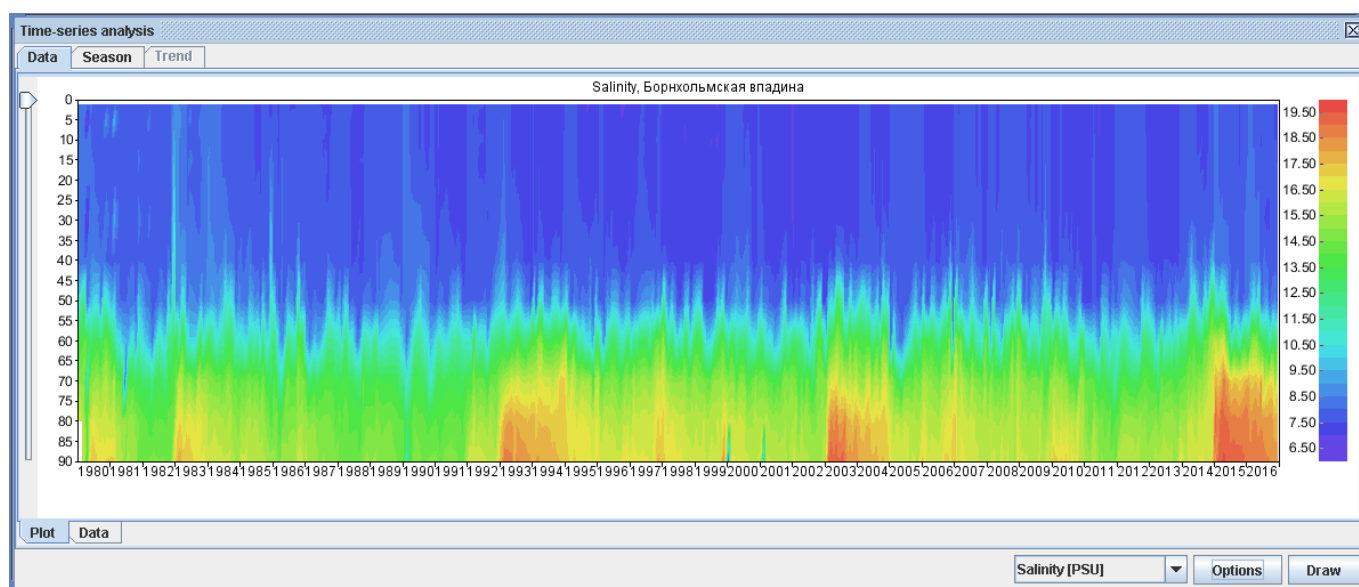


Рисунок 2.14 Среднемесячная соленость в Борнхольмской впадине с 1980 по 2016 гг., [Baltic Nest]

Репродуктивный цикл начинается в конце октября/начале ноября. Период до начала нереста занимает около четырех месяцев. Период нереста - с конца февраля по начало июня; главный нерестовый период с марта по апрель. Нерестовая область 22-24 подрайона ICES считается самой глубокой частью Датского морского пояса, самой глубокой части Кильской бухты, пояса Фемарна и Мекленбургской бухты (глубже 20 м) и, но с меньшей важностью, самые глубокие части Море Аркона (глубже 40 м). Для оплодотворения и более чем 20PSU, для обеспечения плавучести ииц требуется потребность в солености > 12PSU. [22]

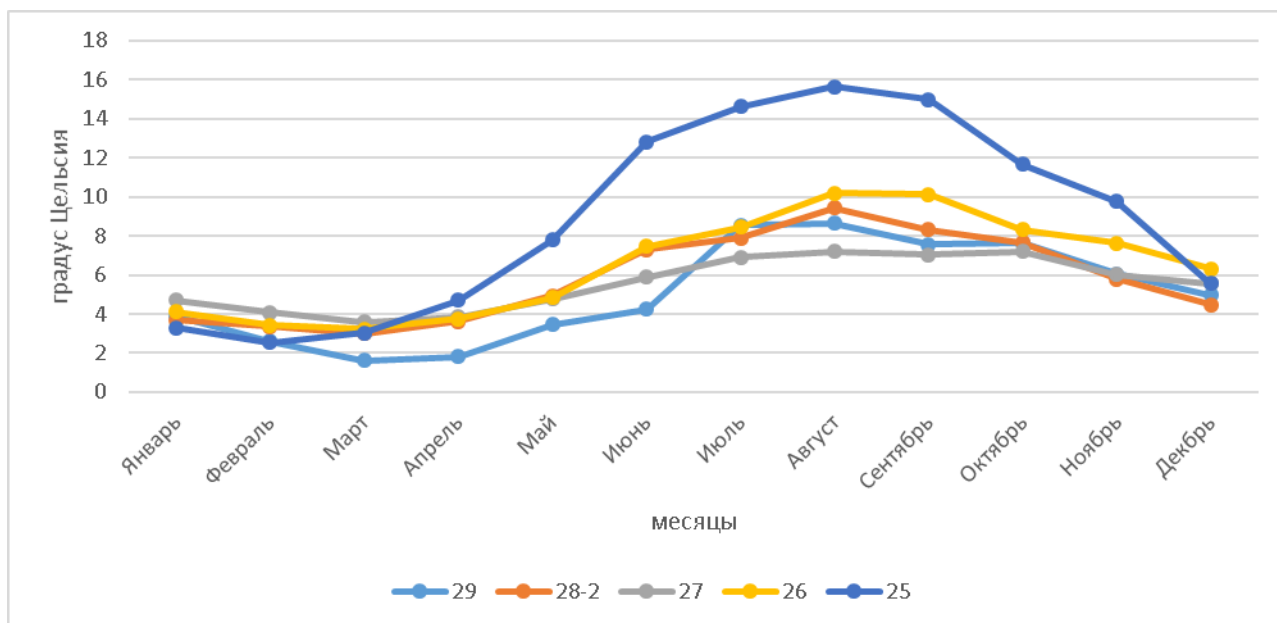


Рисунок 2.15 Среднемесячная температура в Центральной Балтике с 1980 по 2017 гг., глубина 130 метров (29, 28-2, 27, 26, 25 подрайоны ICES) [ICES]

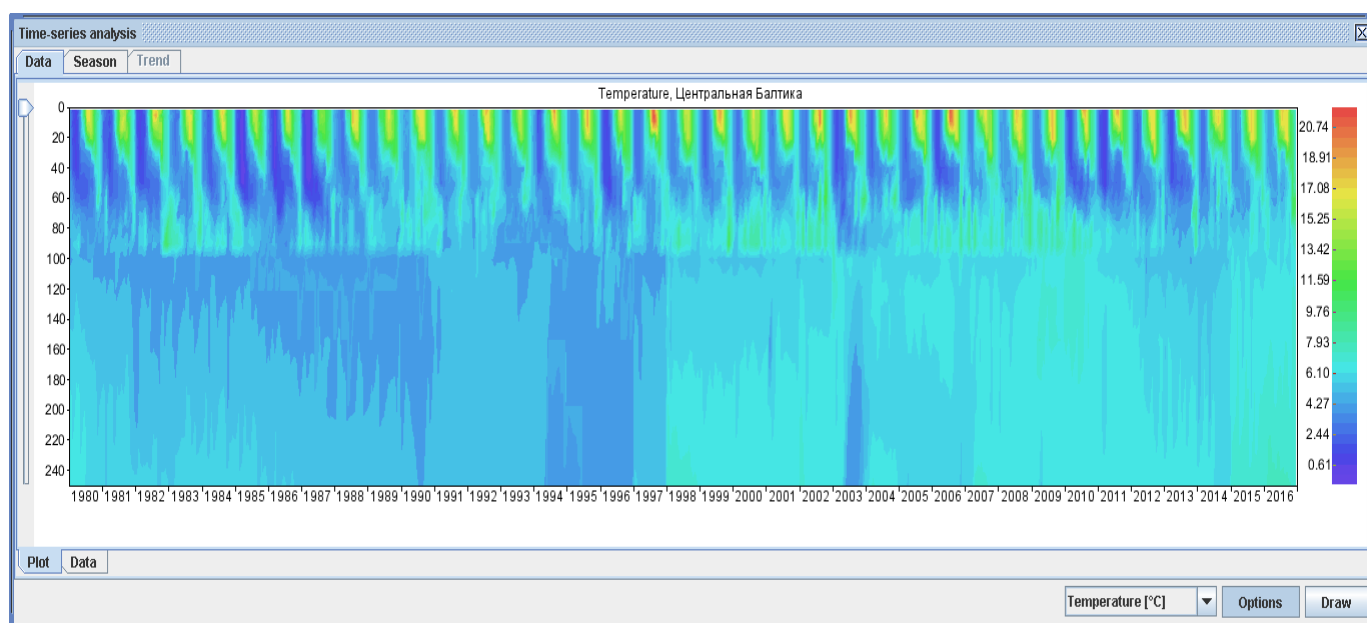


Рисунок 2.16 Среднемесячная температура в 29, 28-2, 26 подрайонах ICES (рисунок 2.17) с 1980 по 2016 гг. [BALTIC NEST]

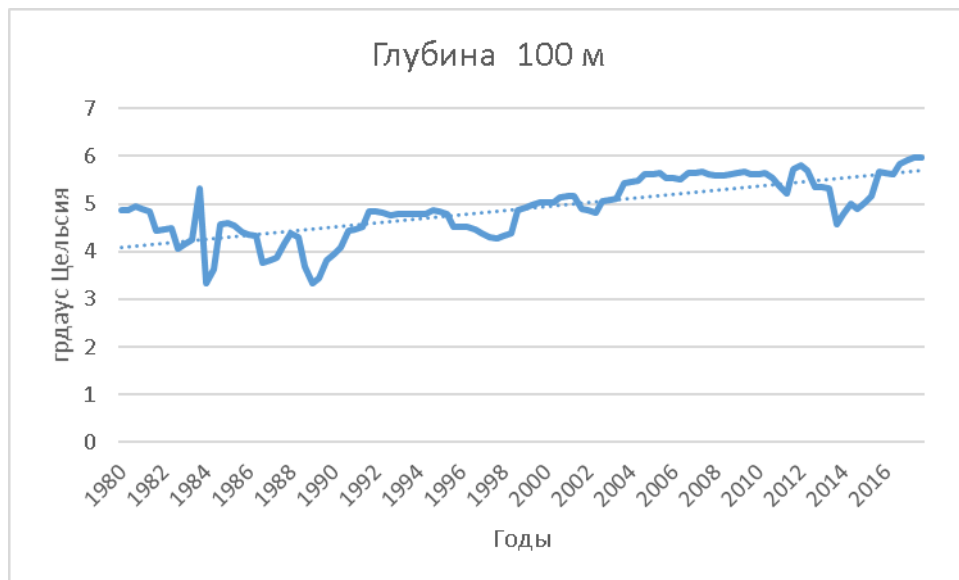


Рисунок 2.17 Среднемесячная зимняя температура в центральной Балтике в 29 подрайоне ICES с 1980 по 2017 гг. На глубине 100 м. [Baltic Nest]



Рисунок 2.18 Среднемесячная летняя температура в центральной Балтике в 29 подрайоне ICES с 1980 по 2017 гг. На глубине 100 м. [Baltic Nest]



Рисунок 2.19 Среднемесячная зимняя температура в центральной Балтике в 25 подрайоне ICES с 1980 по 2017 гг. На глубине 60 м [Baltic Nest]



Рисунок 2.20 Среднемесячная летняя температура в центральной Балтике в 25 подрайоне ICES с 1980 по 2017 гг. На глубине 60 м [Baltic Nest]

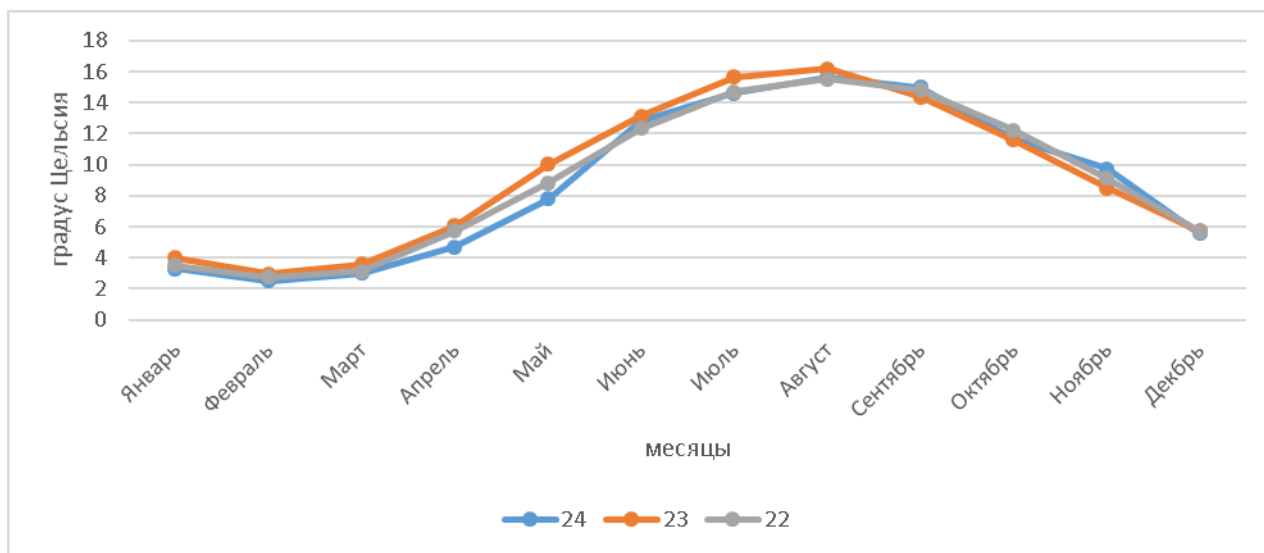


Рисунок 2.21 Среднемесячная температура в Датских проливах с 1980 по 2017 гг., глубина 25 метров (24, 23, 22 подрайоны ICES) [ICES]

Низкие температуры в центральной Балтике отмечаются в основном в Марте с 1980 по 2017 гг., однако в проливах Sound и Belt низкие температуры отмечаются лишь в Феврале. И очень высокие температуры находятся в Августе месяце как в центральной Балтике, так и в проливах Sound и Belt.

Для нереста трески, требуются определенные условия температуры и солености, так для балтийской трески температура нереста составляет от 4 до 9 градусов Цельсия, а соленость меньше 12 PSU. Глубина нереста трески составляет от 60 до 200 метров. Половозрелость трески наступает в 4 года и нерестует на 5 году жизни.

Исходя из графика центральной Балтики, мы можем увидеть, что в 25 подрайоне ICES температура для нереста трески подходит лишь до Мая месяца в года с 1980 по 2017. Однако в других подрайонах температура для нереста держится на подходящем уровне для нереста (до 9 градусов Цельсия) до Июля месяца. Так как нерест трески начинается с февраля по июнь, то исходя из графика температур центральной Балтики можно сказать, что в 29, 28-2, 27 и 26 самые благоприятные температуры для нереста трески.

В целом если сравнить графики, данные которых получены с ICES и модели экосистемы Baltic Nest соответственно, то можно увидеть, что температура в Центральной Балтике, с апреля по июнь, примерно, от 5 до 7 градусов Цельсия на глубине 130 метров. Температура за апрель – июнь, на глубине 25 метров – от 5 до

13 градусов Цельсия, однако если принят во внимание, что балтийская треска нерестится на глубинах от 60 метров и ниже, то по графику модели экосистемы Baltic Nest, можно увидеть, что ниже 60 метров за апрель – июнь температура от 4х градусов Цельсия и ниже. На графике солености можно также увидеть, что при глубине ниже 60 метров уровень солености ниже 8,5PSU. При учете, что нерест трески продолжается при температуре от 4 до 9 градусов Цельсия и солености больше 15PSU, мы можем сделать вывод, что в проливе Sound и Belt созданы плохие условия для нереста трески. К тому же, на графиках, полученным из модели экосистемы Baltic Nest, можно рассмотреть температуру и соленость на глубинах от 0 до 360 м, в Baltic Proper и от 0 до 100 м, в проливах Sound и Belt.

Нерест балтийской трески протекает в период с конца февраля по начало июня; главный нерестовый период с марта по апрель. В эти месяцы температура воды в главных нерестилищах трески, Борнхольская (105 метров), Гданьская (116 метров) и Готландская (250 метров) впадины, находится в пределах от 3х до 7 градусов Цельсия, однако в Борнхольской впадине летние температуры значительно высоки по сравнению с другими областями ICES и температуры там повышаются до 15 градусов Цельсия, и солености меньше 10 PSU, что очень благоприятно для нереста. [22]

В Датских проливах очень сильно прогревается слой до 25 метров с мая по ноябрь по среднемесячным данным за 1980 по 2017 гг., где в летнее время температуры в 3х областях достигают 15 градусов Цельсия, а в весенне-осеннее время от 8 до 10 градусов Цельсия.

Количество среднемесячной и среднегодовой температуры и солености в 25 подрайоне ICES (рисунок 2.11) (Борнхольмская впадина) значительно выше остальных подрайонов ICES в центральной Балтике, особенно в летние периоды, что отлично подходит для развития икринок, которым нужно > 12 PSU и > 2 мл/л содержание кислорода. Однако критическими этапами успеха выживания являются яичная и ранняя личиночная стадия. Низкое содержание кислорода в окружающей воде увеличивает смертность икринок, а хищничество сельди - еще один коэффициент смертности икринок, в то время как доступность икринок трески

имеет решающее значение для выживания на первой стадии личинки. Существенное хищничество на яйцах трески шпротом и сельдью было описано для бассейна Борнхольма (25-24 подрайоны ICES, рисунок 2.11), самого важного нерестилища. Яйце-хищничество наиболее интенсивно в начале сезона нереста трески, а шпрот является главным хищником. Сдвиг времени нереста трески с весны до лета привел к уменьшению давления хищников на яйца трески шпротом из-за уменьшения временного перекрытия между хищником и жертвой. Давление хищников на яйца трески, по-видимому, выше в периоды стагнации. Это объясняется более ограниченным вертикальным перекрытием между хищником и жертвой в этих областях. [13]

При больших размерах запасов треска может быть ограничена продуктом. В настоящее время запасы трески в основном сосредоточены в 25 подрайоне ICES, где низкая биомасса пелагической добычи, влияет на отрицательный рост трески и состояние. В настоящее время треска, как представляется, отрицательно сказывается на зависимости плотности и пищевых продуктах, хотя могут быть задействованы другие причины, такие как степень аноксических областей. Несовершеннолетняя треска также страдает каннибализмом. Как и в других запасах трески, интенсивность каннибализма связана с обилием большой трески, но также и с концентрациями молоди, которые зависят от занимаемого объема среды обитания и общего количества трески. Помимо изменений среднего и долгосрочного распределения, связанных с размером запасов, на межгодовой изменчивости каннибализма может влиять изменение гидрографических условий.

В проливах Sound и Belt условия нереста несколько другие, однако температуры и солености соответствуют условию нереста трески, а также условию выживания малькам трески.

Хотя долгосрочное снижение солености наблюдается во всех субрегионах, последние тенденции в солености различаются. В Рижском заливе и центральном Балтийском море соленость увеличилась с 2003 года.

В прибрежной области подрайона ICES 27 соленость продолжает уменьшаться из-за увеличения поступления пресной воды из стока.

2.2.2 Кислородные условия в Балтийском море

Балтийское море получает пресноводные ресурсы из рек и притока соленой воды из Северного моря в узкие проливы между Данией и Швецией. Это приводит к градиенту солености с юго-запада на северо-восток, который является одним из основных детерминантов и движущих сил этой солоноватой водной экосистемы.

Рельеф очень разнообразен с большими площадями (около 30%), которые имеют глубину менее 25 м, чередующимися рядом более глубоких бассейнов в Центральной Балтике, Ботническом море и Финском заливе, которые разделены (Рижский залив и Ботнический залив - внутренние фьорды). Поэтому приток соленых и богатых кислородом воды из Северного моря должен быть сильным, чтобы охватить все основные бассейны. Поскольку водный столбец в открытом Балтийском регионе постоянно стратифицирован, истощение кислорода в слоях более глубокого солевого раствора может происходить из-за ограниченного переноса кислорода, что отрицательно влияет на бентос, а также на треску и камбалу. Притоки необходимы для возобновления обедненной кислородом донной воды в бассейнах и, таким образом, для рыбы соответственно. Основные притоки произошли в 1976, 1983 и 1993 годах, а приток среднего размера произошел в 2003 году.

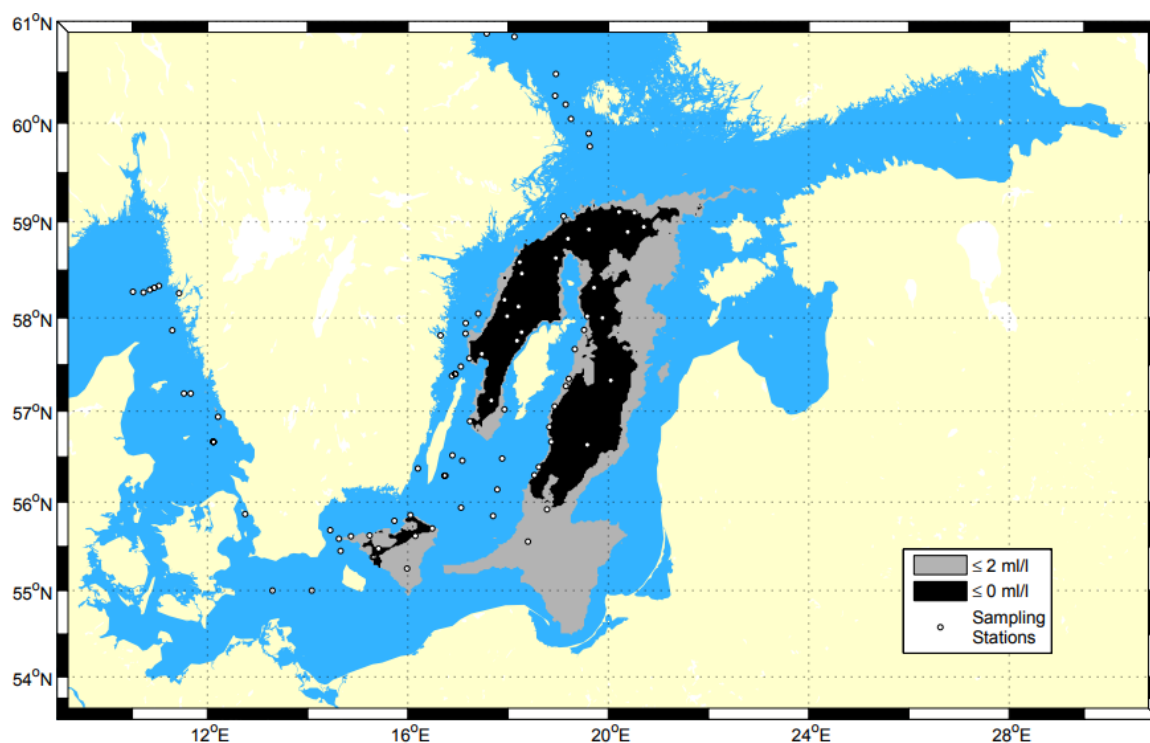


Рисунок 2.22 Степень гипоксической и аноксической придонной воды, осень 2009 г. [24]

Аноксические условия также влияют на уровень питательных веществ в Балтийском море. Балтийское море стало эвтрофическим в течение 20-го века, а уровень питательных веществ в Балтийском море оставался на высоком уровне с середины 1990-х годов. Аноксические условия вызывают выход фосфора из отложений и предотвращают денитрификацию, приводящую к избытку питательных веществ в глубокой воде, что может увеличить первичную продукцию также в поверхностных слоях воды. Эвтрофикация приводит к сезонной гипоксии также в мелководных прибрежных водах с серьезными последствиями для репродукции нерестовых видов прибрежных районов, а также прибрежного биоразнообразия. [14] Места нереста для Балтийской трески -Борнхольмская (105 метров), Гданьская (116 метров) и Готландская (250 метров)-впадины. Борнхольмская впадина была важной на протяжении всех лет, в то время как Гданьская и Готландская впадины были важны лишь в те годы, когда соленость и кислородные условия позволяли там нереститься, оплодотворяться и развиваться икринкам, и когда пространственное распределение запасов трески включало эти области. Это особенно характерно для лет с большим количеством трески. Репродуктивный объем (РО) определяется как

объем воды, который имеет соленость 12 PSU и содержанием кислорода более 2 мл/л. [22] С середины 1980х годов в Готландской впадине количество нерестилищ было очень низким или нулевым. То же самое касается Гданьской глубины, за исключением того, что за 1995-1999 годы было несколько положительных значений РО. Процессы, влияющие на РО, следующие: 1) величина притока насыщенной кислородом воды из западной части Балтийского моря, 2) температурные режимы в западной части Балтийского моря в зимний период, влияющие на растворимость кислорода до адвекции (что обычно происходит в зимние месяцы), 3) речного стока и 4) потребление кислорода биологическими процессами.

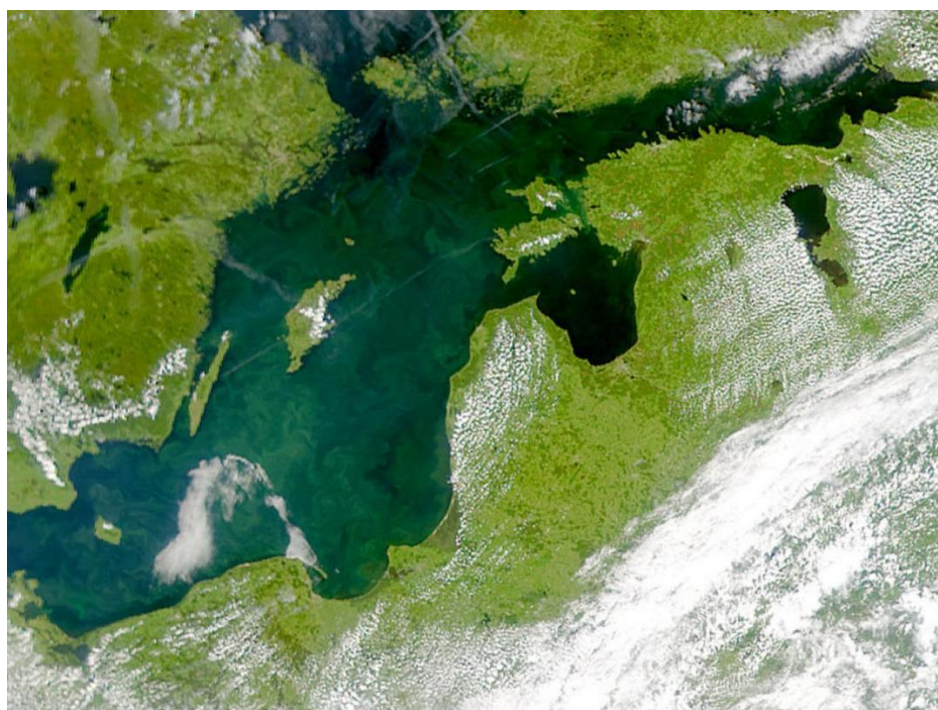


Рисунок 2.23 Балтийское море в период эвтрофикации [23]

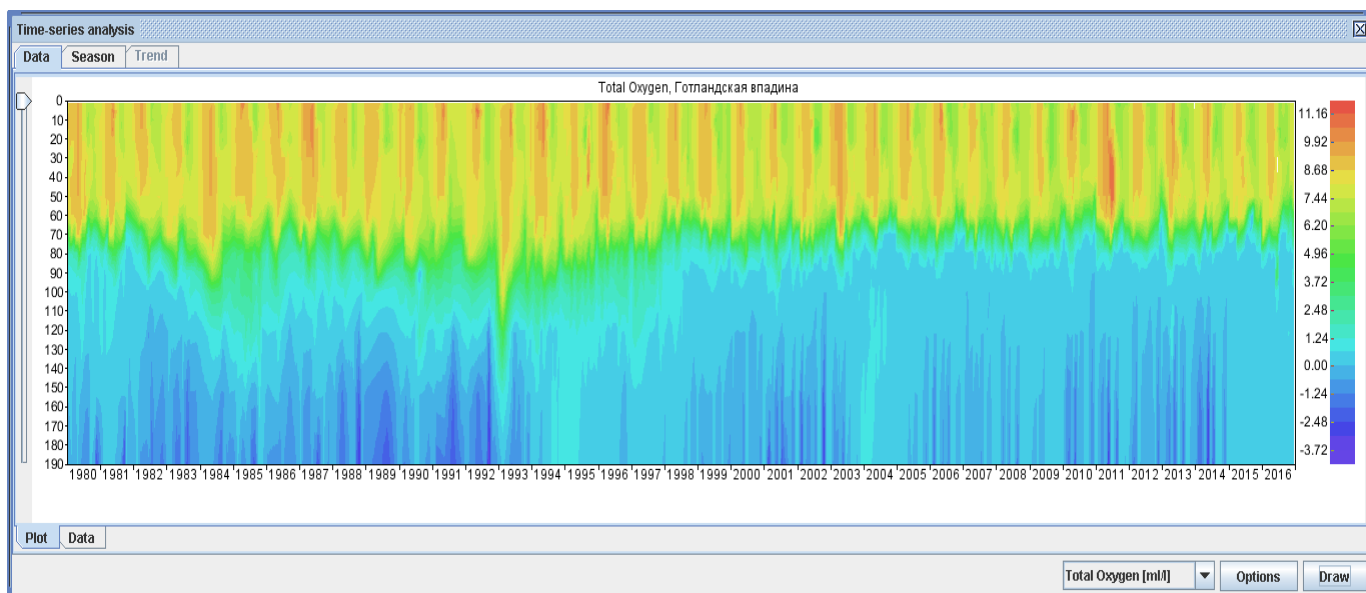


Рисунок 2.24 Среднемесячное содержание кислорода в Готландской впадине с 1980 по 2016 гг.

Для анализа биогенных воздействий на Балтийскую треску использованы данные модели экосистемы Baltic Nest.

На рисунке 2.24 представлено распределение кислорода в Готландской впадине с 1960 по 2016 года. График был построен в модели экосистемы Baltic Nest, которая будет рассмотрена в следующей главе. На графике представлен анализ временных рядов, отсюда видно, что содержание кислорода на глубине 80 м и ниже >1 мл/л, а уже начиная с 98 м >0 мл/л, что говорит нам о начале гипоксической зоны. В Борнхольмской впадине (рисунок 2.25) аноксические зоны, начинаются, приблизительно, с 80-85 м, однако в Борнхольмской впадине содержание кислорода, с июля по декабрь, начиная с глубины 85 метров, мы видим, что содержание кислорода от 0,7 до 0,5 мл/л, можно сделать вывод, что с 85 метров начинают образовываться гипоксические зоны. А при учете, нереста трески при кислороде не менее 2 мл/л, и ее нерест продолжается с апреля по июнь, то можно предположить, то глубина нереста трески составляла не менее 78 метров. В Гданьской впадине (рисунок 2.26) аноксические зоны, которые начинаются с 79,5 м в основном в летнее время (с 1960 по 2016 гг.), а с начала апреля по начало июня, глубина с содержанием кислорода больше 2 мл/л составляет 89,6 м. На глубине 100 м и ниже, содержание кислорода от 1,64 мл/л и ниже. В центральной Балтике треска нереститься

преимущественно в 3х местах, а именно Борнхольмская, Готландская и Гданьская впадинах, и нереститься, в основном, на глубинах до 60 -200 м. Исходя из того, что для развития икринок, которым нужно >2 мл/л содержание кислорода, то развиваются икринки преимущественно на глубине 60-75 м.

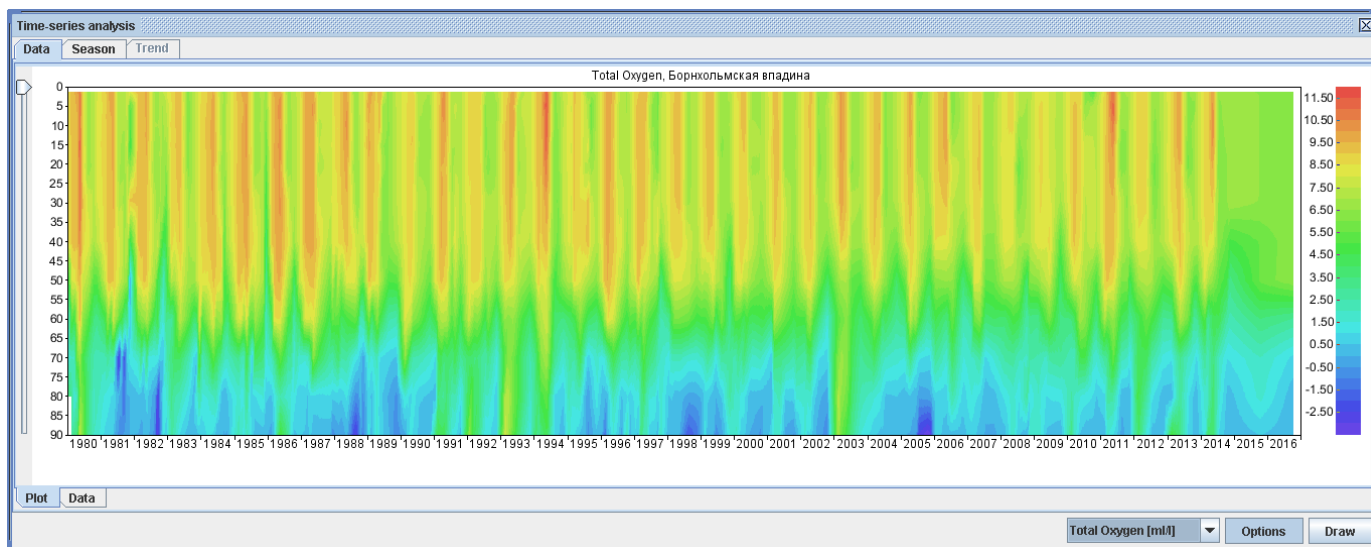


Рисунок 2.25 Среднемесечное содержание кислорода в Борнхольмской впадине с 1980 по 2016 гг.

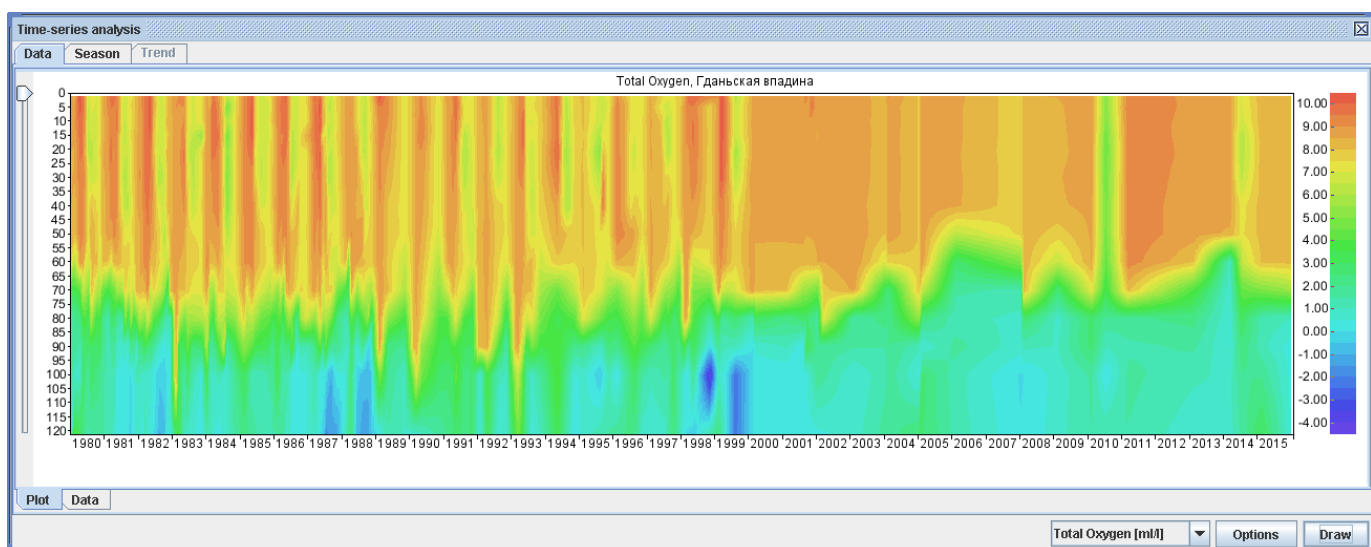


Рисунок 2.26 Среднемесечное содержание кислорода в Гданьской впадине с 1980 по 2015 гг.

Вариации в абиотической среде Балтийского моря сильны и зависят от климатического воздействия. Популяции рыб напрямую зависят от роста и воспроизводства, а также косвенно затронуты изменениями в сообществе зоопланктона. За последние два-три десятилетия во всех семи субрегионах

наблюдались выраженные структурные изменения (т. е. смены режима), связанные с климатом, рыболовством и эвтрофикацией. Сдвиги режима были идентифицированы во всех многомерных наборах данных. Основной период реорганизации в Балтийских субрегионах - в конце 1980 года (главным образом между 1987 и 1988 годами). Несколько субрегионов (Центральное Балтийское море, Рижский залив, Финский залив, Ботнический залив) также испытали структурные изменения в середине 1990-х годов, вероятно, связанные с основным притоком в 1993 году. [13]

Воспроизводство запаса трески зависит в первую очередь от объема воды с достаточным содержанием кислорода и соленостью, доступной в более глубоких бассейнах. Нынешняя гидрографическая ситуация в центральных бассейнах южной части Балтийского моря показывает, что в период нереста в 2006 году наиболее благоприятные условия для выживания икринок трески будут ограничены бассейном Борнхольма и Слупской борозды.

Основные движущие силы наблюдаемых изменений экосистемы несколько различаются между субрегионами, но все они включают повышение температуры и уменьшение солености. На них влияют широкомасштабные атмосферные процессы, показанные Индексом Балтийского моря (BSI), региональная калибровка индекса североатлантического колебания (NAO).

Переход от общего отрицательного к положительному индексу в конце восьмидесятых был связан с более частыми западными ветрами, более теплой зимой и, в конечном итоге, более теплым климатом в этом районе. Кроме того, было установлено, что отсутствие крупных событий притока связано с высоким периодом NAO. Это свидетельствует о том, что только два крупных притока в Балтийское море были зарегистрированы во время высокого периода BSI с конца 1980-х годов. В дополнение к температуре и солености, промысловое давление было идентифицировано как важное управление для центрального Балтийского и Ботнического моря. Для высоко-эвтрофированного Финского залива также было обнаружено, что питательные нагрузки являются важным фактором. Тенденции концентрации и нагрузки в питательных веществах различаются между

субрегионами; Концентрации растворенного неорганического азота (DIN) и растворенного неорганического фосфора (DIP) уменьшаются в Датских проливах и центральном Балтийском море, тогда как в Рижском заливе и Финском заливе концентрация растворенного неорганического азота (DIN) увеличивается из-за внутренней нагрузки. В Ботническом море и в Ботническом заливе концентрация растворенного неорганического азота (DIN) возрастает. В Ботническом заливе и прибрежной зоне общая нагрузка растворенного неорганического фосфора (DIP) из стока также увеличивается. [25]

Водная колонна в открытом Балтийском море постоянно стратифицирована верхним слоем солоноватой воды, отделенной от более глубокого слоя соленой воды. Это разделение ограничивает перенос кислорода с поверхности, и в результате кислород в более глубоком слое может истощиться из-за разрушения органического вещества.

Сильный приток нового солевого раствора и богатой кислородом воды из Северного моря может привести к возобновлению обедненной кислородом донной воды. Сильные притоки могут возникать, когда высокое давление воздуха над Балтийским морем сопровождается высоким градиентом давления воздуха в переходной зоне между Северным и Балтийским морями. Такие ситуации обычно возникают зимой. [25]

В Балтийское море поступают питательные вещества и промышленные отходы из рек, а также воздушные вещества из атмосферы. В результате Балтика стала эвтрофной в течение 20-го века. В целом концентрации питательных веществ в Балтийском море не уменьшились с середины 1990-х годов и остаются на высоком уровне. Низкие кислородные условия в глубокой воде влияют на количество питательных веществ в воде. Фосфор легко выделяется из отложений в условиях аноксии.

Азотные циклы в глубоководных слоях также изменяются в нетоксичных условиях: минерализация в конечном итоге приводит к образованию аммония, и окисление не происходит с образованием нитратов. Следовательно, процесс денитрификации, который нуждается в кислороде из нитратов, не будет

происходить. Полученный избыток питательных веществ в глубоководных слоях является потенциальным источником питательных веществ для поверхностных слоев, где первичное производство может быть дополнительно увеличено. Этот эффект может уравнивать снижение поступления питательных веществ в некоторые части Балтийского моря. Кроме того, долгосрочное снижение концентраций силикатов проявляется в большинстве районов Балтийского моря, а силикат в последнее время ограничивает рост диатомовых водорослей в Рижском заливе весной. Ограничение силиката изменяет структуру сообщества фитопланктона, а не ограничивает общее производство.

Кроме того, гипоксия в мелководных прибрежных водах серьезно влияет на биоразнообразие и, похоже, является все более серьезной проблемой, особенно в архипелагах северного Балтийского моря. Эти нерегулярные события вызваны местной топографией, гидрографией и дрейфующими водорослевыми матами. [25]

Весь открытый Балтийский регион оценивался как подверженный влиянию эвтрофикации. Основными путями питательных веществ в море являются речные входы, атмосферное осаждение азота на поверхность воды и прямые сбросы воды в море из прибрежных точечных источников, сток из диффузных источников в прибрежных районах или сброс с судов. Кроме того, избыточные питательные вещества, хранящиеся в донных осадках, могут проникать в толщу воды и улучшать первичное производство. [26]

Вклады питательных веществ в Балтийское море уменьшились с конца 1980-х годов. Тенденции по всему Балтийскому морю показывают, что с 1994 по 2010 год нормализованные нормированные поступления азота и фосфора в Балтийское море сократились на 16% и 18% соответственно. Изменения в отдельных суббассейнах больше. В настоящее время уровень поступления питательных веществ равен уровням нагрузок в начале 1960-х годов. [26]

2.2.3 Влияние эвтрофикации на кислородные условия в глубинных слоях Балтийского моря

Несмотря на сокращение вложений, концентрация питательных веществ не снижалась. Со времени предыдущей оценки в 2003-2007 гг. В Каттегате наблюдались признаки снижения уровня питательных веществ (растворенный неорганический азот, DIN, и растворенный неорганический фосфор, DIP), бассейн Борнхольма (DIP), Северный Балтийский заповедник (DIN) и Рижский залив (DIN и DIP). Несмотря на это, тенденции хлорофилла в течение последних лет не проявляют никаких признаков снижения или увеличения (Борнхольмский бассейн, Северный Прибалтийский, Ботническое море и Ботнический залив). Длительное время пребывания воды в открытом Балтийском море, а также механизмы обратной связи, такие как выделение фосфора из бескислородных осадков и распространенность расцвета азот-фиксации цианобактерий в основных суббассейнах Балтийского моря, - это процессы, которые замедляют восстановление после эвтрофированное состояние. [26]

Эвтрофикация является серьезной проблемой в Балтийском море. С начала 20-го века Балтийское море изменилось с олиготрофного прозрачного моря на высоко-эвтрофную морскую среду.

Общий вход питательных веществ в Балтийское море может значительно варьироваться в зависимости от того, является ли он влажным или сухим годом. Например, 2010 год был очень влажным годом в южной части водосборного бассейна Балтийского моря, и имел фактические (не нормированные) показатели поступления питательных веществ, поэтому они (фактические показатели) очень значительны для некоторых стран. Кроме того, фактическое атмосферное осаждение азота также было довольно высоким в 2010 году.

Общий вход питательных веществ в Балтийское море может значительно варьироваться в зависимости от того, является ли он влажным или сухим годом. Например, 2010 год был очень влажным годом в южной части водосборного бассейна Балтийского моря, и имел фактические (не нормированные) показатели

поступления питательных веществ, поэтому они (фактические показатели) очень значительны для некоторых стран. Кроме того, фактическое атмосферное осаждение азота также было довольно высоким в 2010 году.

В 2010 году общий объем поступлений азота и фосфора в Балтийское море в водные и воздушные ресурсы составил 977 000 тонн азота и 38 300 тонн фосфора (таблица 2.2). Отложение атмосферного азота составило 218,6 тыс. т. (22%) от общего количества азота. Отложение атмосферного фосфора, которое считается одинаковым с каждым годом (или почти 2100 т.), составляет 5% от общего объема поступления фосфора в Балтийское море.

Район	Поток (м ³ /с)	Азот (т)			Фосфор (т)		
		Переносимый по воде	Переносимый по воздуху	Общий	Переносимый по воде	Переносимый по воздуху	Общий
Ботнический залив	3,136	43,267	9,14	52,407	2,618	181	2,799
Ботническое море	2,926	46,247	26,143	72,39	1,861	394	2,255
Финский залив	4,068	108,347	13,6	121,947	6,22	150	6,37
Рижский залив	1,372	78,602	9,973	88,575	2,79	93	2,883
Центральная Балтика	4,784	395,568	122,843	518,411	19,806	1,046	20,852
Датский пролив	238	38,11	19,341	57,451	1,433	105	1,538
Каттегат	1,173	48,197	17,564	65,761	1,442	118	1,56
Общий	17,698	758,337	218,604	976,941	36,168	2,087	38,255

Таблица 2.2 Водные и воздушные поступления фосфора и азота в Балтийское море в 2010 году в суббассейнах. [27]

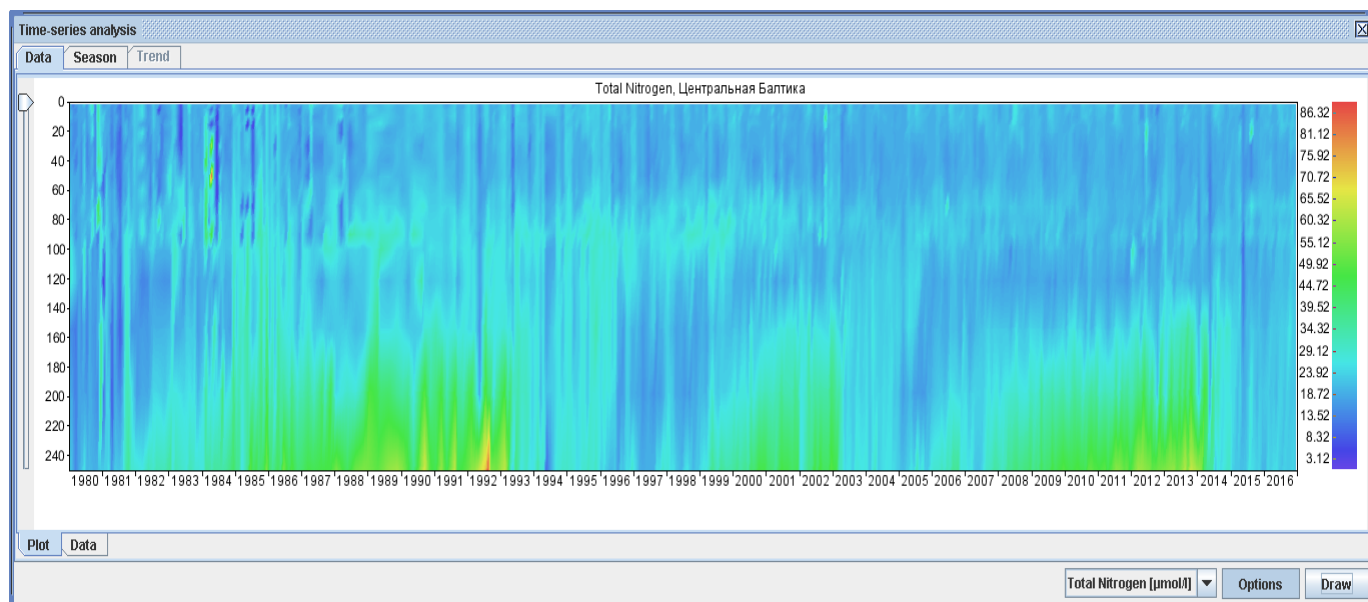


Рисунок 2.27 Среднемесячное содержание азота в Центральной Балтике с 1980 по 2016 гг.

Эвтрофикация в Балтийском море в значительной степени обусловлена антропогенными затратами питательных веществ азота и фосфора, что приводит к избыточному обогащению питательных веществ и/или изменению соотношения питательных веществ, вызывающих повышенные уровни макро-вегетации, повышенной мутности, истощению кислорода в придонных водах, изменениям в видовом составе и увеличении или неприятных расцветах микроскопических водорослей. Согласно недавно проведенной ХЕЛКОМ оценке состояния эвтрофикации в 2007-2011 годах, почти все Балтийское море, как полагают, подвержено влиянию эвтрофикации. [27]

Суб-бассейны	Цель (мкмоль/л)	Среднее 2007- 2011 (мкмоль/л)	Эвтрофикационное соотношение, ER	Статус
Каттегат	5	5,72	1,145	SubGES
Борнхольмский бассейн	2,5	2,97	1,186	SubGES
Восточный Готландский бассейн	2,6	3,44	1,321	SubGES
Гданьский бассейн	4,2	5,01	1,192	SubGES
Западный Готландский бассейн	2	2,82	1,412	SubGES
Северная часть центральной Балтики	2,9	3,75	1,293	SubGES
Рижский залив	5,2	4,86	0,934	GES
Финский залив	3,8	7,87	2,072	SubGES
Ботническое море	2,8	3,67	1,311	SubGES
Ботнический залив	5,2	6,83	1,313	SubGES

Таблица 2.3 Целевые показатели, текущая концентрация (как средний показатель 2007-2011 гг.), Коэффициент эвтрофикации (ER) и статус стандарта DIN в бассейнах открытого моря. ER - количественное значение уровня эвтрофикации, рассчитанное как отношение между целевым показателем GES и настоящей концентрацией - когда $ER > 1$, GES не достигнуто [31]

Это указывает на то, что, несмотря на принятые меры по сокращению внешних источников азота и фосфора в море, хорошего качества воды пока не достигнуто.

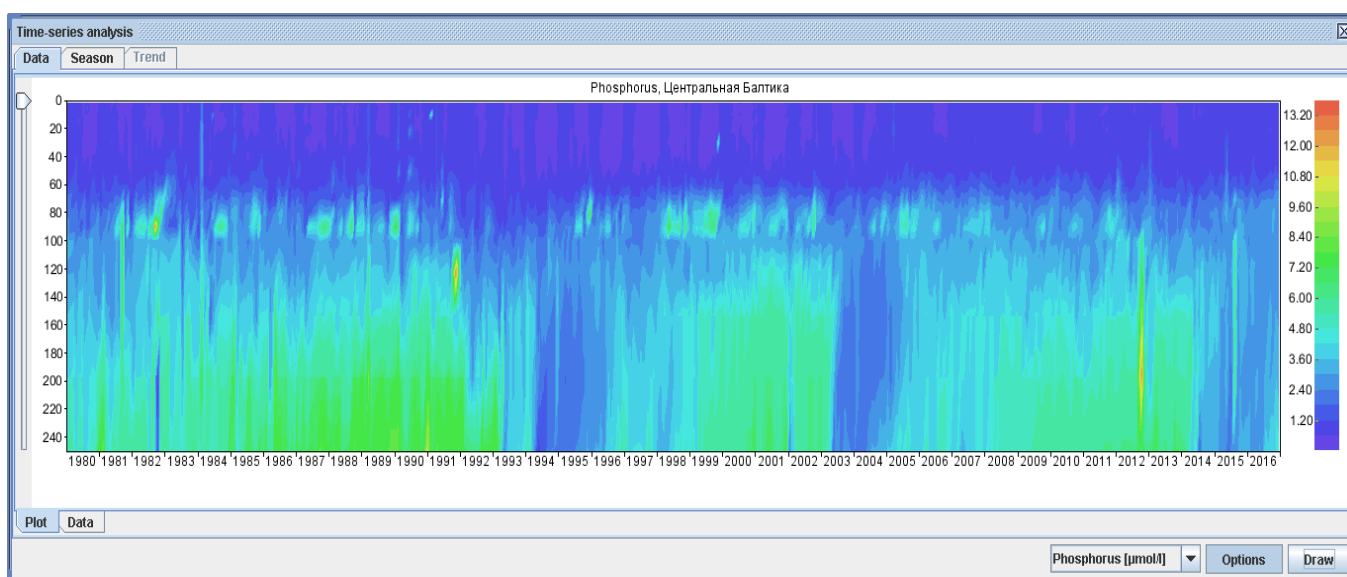


Рисунок 2.28 Среднемесячное содержание фосфора в Центральной Балтике с 1980 по 2016 гг.

Общий объем поступления питательных веществ в Балтийское море уменьшился с конца 1980-х годов и в настоящее время вводит уровни, равные уровням в начале 1960-х годов. Несмотря на сокращение объема вводимых ресурсов, концентрация питательных веществ в море не уменьшилась соответствующим образом. Длительное время пребывания воды в открытом Балтийском море, а также механизмы обратной связи, такие как выделение фосфора из бескислородных осадков и преобладание азотфиксирующих цианобактерий в суббассейнах Балтийского моря, - это процессы, которые замедляют восстановление после эвтрофированное состояние. [27]

2.2.4 Переловы трески в Балтийском море

Область распространения биологического населения Западной Балтийской тресчины является подразделением ICES 22-23 и частично SD 24. Подрайон 23 был включен в запасы Западной Балтики в 1997 году, и это пролив Sound между Данией и Швецией, граничащий с Каттегатом.

Треска в Балтийском море управляется как один запас до 2002 года. С 2003 года руководство основано на двух складах: Западная Балтийская треска (ICES SD 22 - 24) и Восточная Балтийская треска (ICES SD 25-32). Отдельная треска ранее была привязана к запасам ее происхождения, запаса Западной или Восточной Балтики, только в зависимости от района, где они были пойманы, и независимо от его биологического происхождения. Имеются многочисленные доказательства, подтверждающие разницу между двумя популяциями, основанными на методах, фенотипических различий и генетики. Тем не менее, программы также задокументировали, что запасы восточных и западных балтийских трески встречаются в бассейне Аркона (SD 24). Кроме того, качественное доказательство появления молоди трески в Борнхольмском море, но размножение в западном Балтийском море, дано исследованием, основанным на микроструктурных анализах отолитов. Различные исследования показывают, что миграция происходит в их области нереста, когда начинается развитие половых продуктов. [29]

В последние годы обилие взрослых трески в SD 24 быстро увеличилось, и генетический анализ данных за 2011 год показал, что значительная часть трески, найденная в SD 24, является генетически восточной балтийской треской. Это подтвердилось анализом формы отолитов и новым генетическим анализом как молодых, так и взрослых особей с 2014 года. Наличие восточной трески в SD 24 привело к большим пространственным различиям в изобилии трески и биологическим параметрам в блоке управления Западной Балтики, то есть между SD 22 и SD24. Это создает ряд проблем для управления рыболовством, связанных с потенциальным истощением истинной популяции западной популяции балтийской трески и неправильным пониманием эксплуатационного статуса трески, обнаруженной в этой области. [29]

Для анализа выловов трески в Балтийском море, были использованы данные из базы сайта ICES.

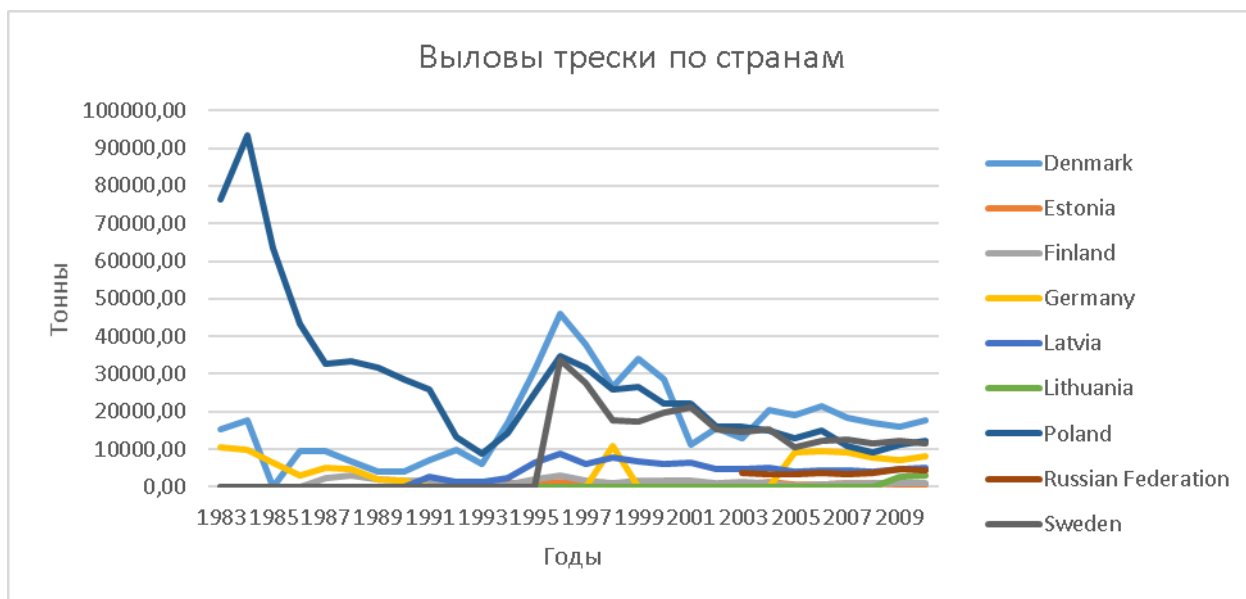


Рисунок 2.29 Выловы трески балтийскими странами с 1983 по 2010 гг.

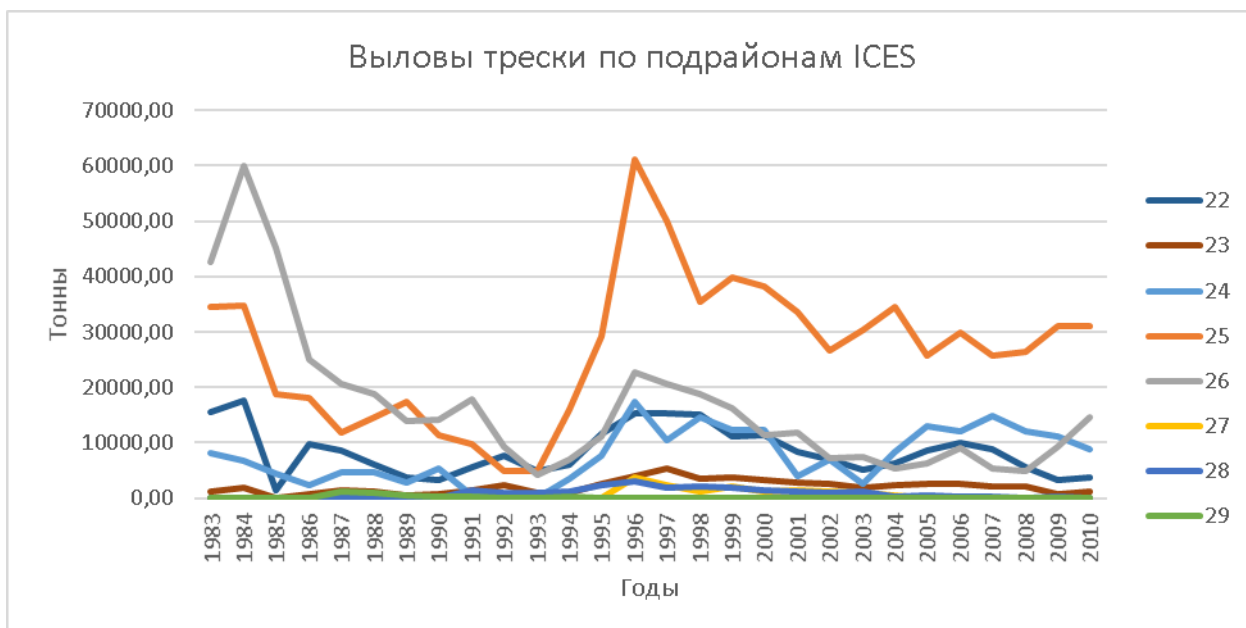


Рисунок 2.30 Распределение вылова балтийской трески по подрайонам ICES с 1983 по 2010 гг.

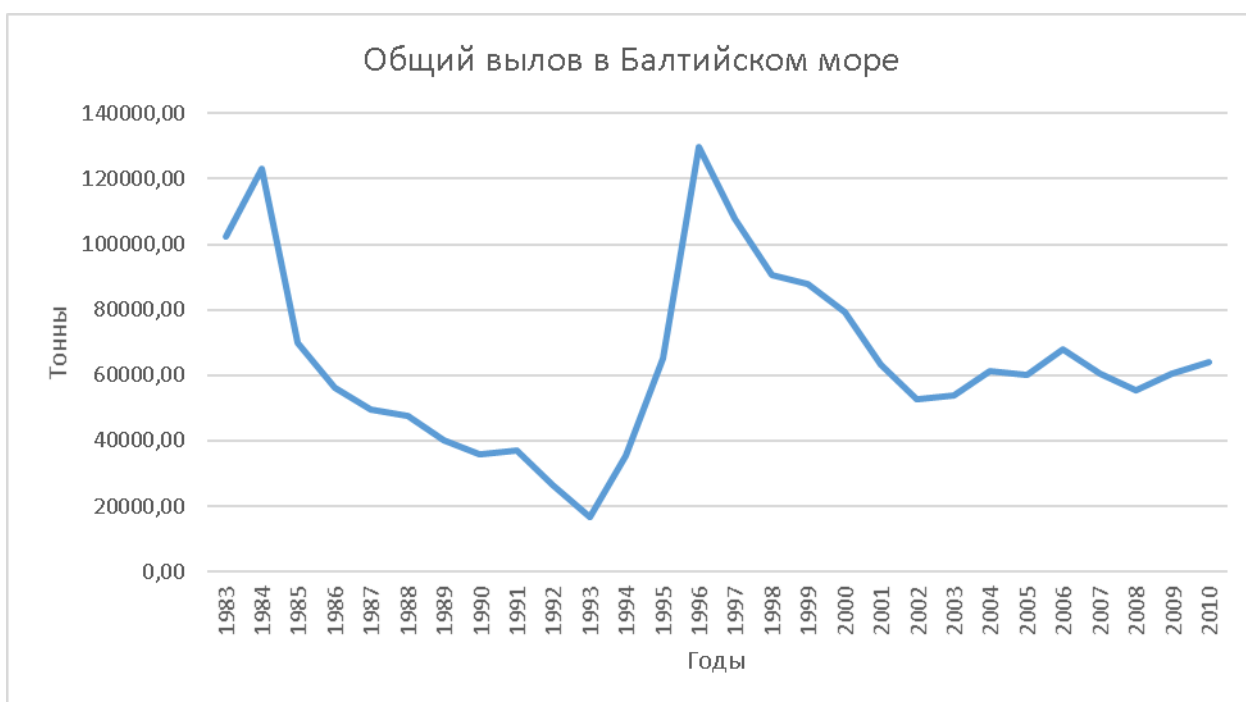


Рисунок 2.31 Общий вылов трески в Балтийском море с 1983 по 2010 гг.

Как видно из рисунка 2.29, на первом месте по выловам в Балтийском море до 1993 года стоит Poland, а в 1983 году Poland выловили 93 тыс. т. трески. И в последующие годы, Польша ловили все меньше трески, но держали первое место по выловам до 1993 года, где их вылов составил лишь 8909 тонн. Если посмотреть на графики запасов трески в Балтике (рисунок 2.10), где максимальное число запасов в 1983 году составляло 609 тыс. т., после чего запасы резко стали сокращаться и к

1993 году составляли лишь 94 тыс. т. На рисунке 33, можно более детально увидеть в каких районах Балтийского моря производились выловы трески. И, как видно из графика, основной подрайон вылова *Gadus morhua* являлся 26 (рисунок 2.11) с 1983 по 1993 гг. После 1993 года запасы трески стали расти и выросли до 1995 года до 187 тыс. т., однако вылов трески в Балтийском море (рисунок 2.31) составил 65 тыс. т. Запасы балтийской трески с 1995 года вновь начали падать, но её вылов растёт, что показывают графики, Запасы трески на 1996 год составляли 163 тыс. т., а общий вылов составлял почти 130 тыс. т. По графикам запаса мы можем далее наблюдать понижение запасов трески, вместе с понижением запасов наблюдаются и понижение выловов. Самый низкий показатель по запасам трески составляет 2005 год, однако, если взглянуть на выловы, то можно заметить, что до 2006 года вылов трески только рос. И того, запас балтийской трески на 2005 год составлял – 62 тыс. т., а её вылов – 60 тыс. т. и после 2005 года, запасы трески понемногу стали расти. Так в 2006 году запасы трески составляли – 71 тыс. т., а выловы – 68 тыс. т. До 2010 года, основной областью вылова трески являлся 25 подрайон ICES. В 25 подрайоне Балтики (рисунок 2.11) находится один из основных районов нереста трески – Борнхольмская впадина. По данным из модели экосистемы Baltic Nest и базы данных ICES, были составлены графики кислорода, температуры, солёности (рисунок 2.24-2.26, 2.16, 2.12-2.14), по которым можно сказать, что ситуация для нереста трески в Борнхольмской впадине лучше, по сравнению с остальными местами нереста (Готландской и Гданьской впадинах). Отсюда можно, также, сделать вывод, что запасы трески в 25 подрайоне значительно выше, нежели в остальных подрайонах ICES.

3. Система поддержки принятия решений MARE NEST

3.1 Описание модели системы MARE NEST

Система поддержки принятия решений была первоначально разработана в рамках исследовательской программы MARE, финансируемой MISTRA, которая была завершена в 2007 году. Затем NEST была успешно использовано для разработки сегмента эвтрофикации Плана действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю (BSAP), где сокращение нагрузки на питательные вещества необходимые для достижения здорового Балтийского моря, а также распределения между странами. NEST также используется во многих исследовательских программах. Сохранение и дальнейшее развитие NEST продолжалось в Институте BAL TIC NEST. [30]

Система «NEST» связывает весь регион Балтийского моря, от водораздела до морских экосистем, посредством данных и моделей. Он доступен онлайн, бесплатно, и может работать как в экспертном, так и в стандартном режиме. Основными целевыми группами системы «NEST» являются лица, принимающие решения, и ученые из Балтийского региона, взаимодействующие с Хельсинкской комиссией (ХЕЛКОМ), а также те, кто работает над реализацией Рамочной директивы ЕС о водных ресурсах и Рамочной директивы по морской стратегии. Мы также надеемся, что это может быть полезно для студентов, заинтересованных в получении дополнительной информации о Балтийском море. Различные компоненты описывают форсирование питательными веществами и характеристиками дренажа и морских бассейнов. [30]

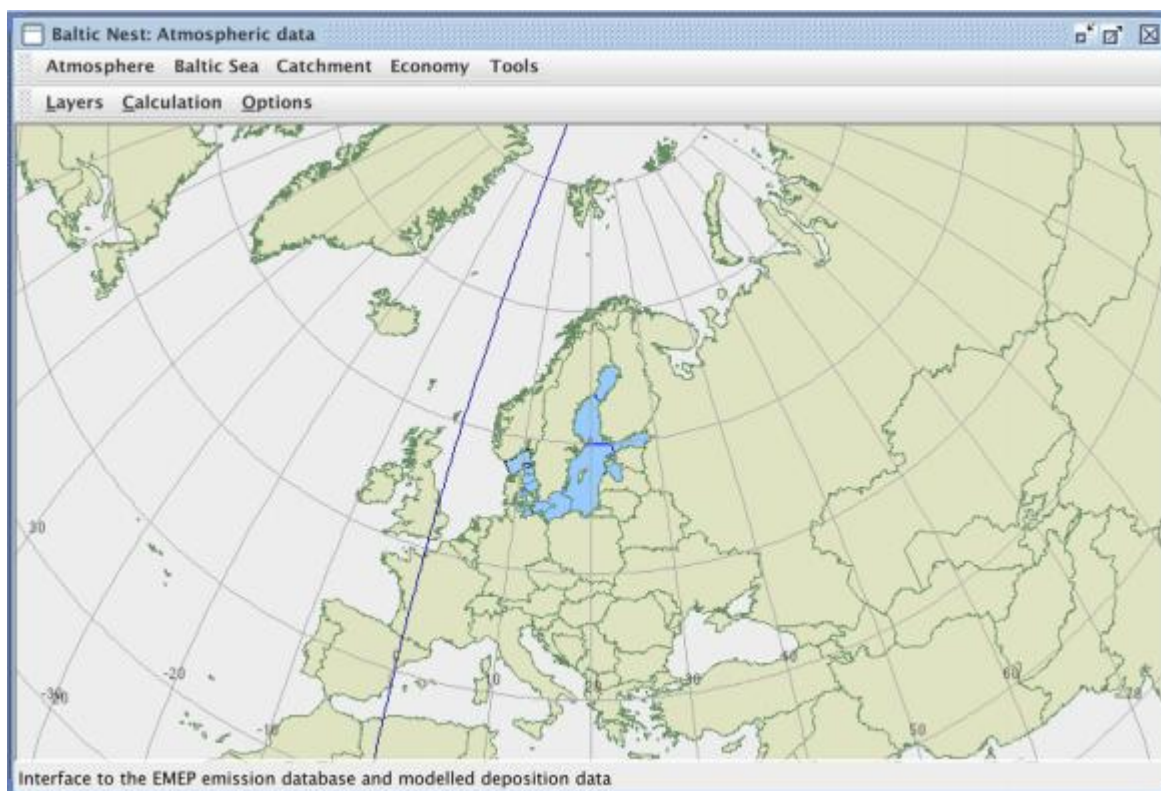


Рисунок 3.32 Модель экосистемы Baltic Nest

Морские модели описывают физику и биогеохимию моря, а также его продовольственных сетей (до уровня человека и тюленей) и используются в сценариях того, как рыболовство, эвтрофикация и изменение климата влияют на эту уникальную экосистему. Наконец, сильная взаимозависимость стран Балтии проиллюстрирована, когда рассчитываются затраты на сокращение нагрузки на питательные вещества, с или без сотрудничества.

NEST был разработан [29] как распределенная в Интернете система, и для его использования вам необходим доступ в Интернет; некоторые компоненты установлены на вашем (клиентском) компьютере, другие устанавливаются на серверах, с которыми вы общаетесь. Эксперты постоянно обновляют компоненты NEST. Каждый раз, когда вы запускаете программу, ваше клиентское программное обеспечение проверяется и обновляется, если доступна новая версия. Эта процедура гарантирует, что вы всегда используете самую последнюю версию NEST. [30]

Ввод питательных веществ, таких как азот (N) и фосфор (P) в море, является необходимым условием для жизни, а не экологической проблемой. Это становится проблемой только тогда, когда входы увеличиваются настолько, что

первоначальные свойства или функции экосистемы меняются. Тогда это стало «слишком хорошо». Естественный цикл накопления и разложения уже не находится в разумном равновесии. Полузамкнутое и солоноватоводное Балтийское море во многих отношениях особенно чувствительно к эвтрофикации, с его медленным обменом воды и встроенными естественными барьерами. [30]

Меры, принятые многими странами в течение последних десятилетий, сократили совокупные нагрузки как N, так и P, но нагрузки все еще остаются выше, чем необходимо, если эвтрофикация должна быть уменьшена до приемлемого состояния.

Эвтрофикация по-прежнему является приоритетной экологической проблемой, вызывающей серьезную озабоченность в регионе Балтийского моря. Этому есть несколько причин. Значительная часть общей загрузки водных и переносимых по воздуху питательных веществ в море исходит из диффузных источников; таких как сельское хозяйство, сектор, где национальное законодательство не так эффективно, как для точечных источников из муниципалитетов и отраслей. Тем не менее, многие меры по противодействию эвтрофикации должны быть реализованы. Имеются также значительные временные задержки между мерами, принятыми в дренажном бассейне, и заметным сокращением поступления питательных веществ в море. Длительное время пребывания питательных веществ в морских бассейнах (много лет) означает, что результаты из одного региона могут повлиять на другие регионы. Открытые прибрежные зоны затронуты не только поступлениями питательных веществ с суши, но и из открытого моря и, следовательно, также транспортом из других бассейнов. [30]

Эвтрофикация и рыболовство тесно связаны. Изменение климата, создание новых видов в море и влияние стойких токсичных веществ являются другими факторами. Чтобы разработать стратегии управления для любой экосистемы, важно понять относительную важность различных факторов, вызывающих изменения.

Поскольку последствия эвтрофикации являются результатом переноса и трансформации питательных веществ в ряде взаимосвязанных систем, руководство, не понимающее связи между системами, скорее всего, приведет к более

дорогостоящим программам смягчения, чем это необходимо. Необходим экосистемный подход. [30]

Понимание человеческого поведения и влияние человека на море также является неотъемлемым компонентом экосистемного подхода. Система поддержки принятия решений была разработана как инструмент для синтеза нашего нынешнего понимания Балтийского региона и в качестве инструмента для более эффективного управления, особенно в отношении эвтрофикации и рыболовства. [30]

3.2 Описание модели рыбных запасов

Система поддержки принятия решений BALTIC NEST объединяет и интегрирует важные характеристики экосистемы Балтийского моря и их атмосферу, и водоразделы, описывая с помощью данных и моделей различные взаимодействующие процессы: от физических переносов до биогеохимического цикла на социально-экономические параметры. Такая реализация экосистемного подхода обеспечивает адаптивное управление Балтийским регионом с наилучшими имеющимися научными данными и рекомендациями. Онлайн-доступность системы NEST делает эти данные и рекомендации понятными и анализируемыми, но также требует довольно быстрых ответов, необходимых для интерактивного использования. Поэтому основная идея развития моделей заключается в том, что простое соединение даже упрощенных представлений в целостное описание само по себе может выявить возникающие свойства взаимодействий. Например, модель SANBALTS (Simple As Required BALtic Sea) описывает состояние эвтрофикации, от гипоксии до продуктивности, в семи основных бассейнах в годовом масштабе. SANBALTS хорошо подтвержден имеющимися данными и использовался как для восстановления балтийского трофического статуса в 1900-х годах, так и в качестве компонента системы BALTIC NEST для рядов сценариев, включая План действий по Балтийскому морю. Более подробно BALTSEM (Балтийская долгосрочная крупномасштабная модель эвтрофикации), также реалистично описывающая биогеохимические циклы биогенных химикатов как в новейшей истории 1970-2006

годов, так и с середины 19-го века. [65] В настоящее время рыбный компонент Балтийской морской экосистемы представлен в системе NEST моделью, ограниченной только Центральной Балтикой и принадлежащей к семейству моделей Ecorpath с семействами Ecosim что, будучи нацелены на очень подробный анализ пищевой сети, весьма уязвимы для нехватки данных по многим переменным и взаимодействиям на более низких уровнях экосистем. Кроме того, в этих моделях пищевых продуктов уровень потребления пищи зависит от хищника, а не от биомассы добычи. Такая параметризация может стабилизировать решение обратной задачи, т. е. восстановление трофических взаимодействий из предписанных биомасс пищевых компонентов, но может препятствовать воспроизведению эффектов эвтрофикации снизу-вверх при решении прямой проблемы, т. е. имитируя динамику биомасс, обусловленную внешними воздействиями и внутренними взаимодействиями. Поэтому, учитывая, что как SANBALTS, так и BALTSEM являются правдоподобным представлением для абиотических и более низких биотических уровней экосистемы Балтийского моря, мы предлагаем использовать их результаты в качестве исходных данных для простой рыбной модели, охватывающей всю морскую зону, вместо того.

SANFish (Simple As Necessary Fish model) сформулирована в качестве ориентированного на возраст описания наиболее важных морских видов рыб на всем Балтийском море (рисунок 15), включая входную зону в заливы. Как и в модели SANBALTS. [65]

Для каждого бассейна ($i = 1, \dots, 7$) и возрастной категории рыбы (табл. 3.4) ($k = 1, \dots, K$) биомасса запасов определяется размножением и выживаемостью, включая эффекты окружающей среды, и описывается следующей системой уравнений:

$$\frac{dB_{i,k}}{dt} = \text{Рост}_{i,k} + \text{Онтоген}_{i,k-1} - \text{Онтоген}_{i,k} - \text{Размножение}_{i,k} - \text{Хищничество}_{i,k} - \text{Рыболовство}_{i,k} - \text{Смертность}_{i,k} \quad (1)$$

В уравнении (1) $B_{i,k}$ представляет собой биомассу возрастной категории рыбы k в бассейне i (тонны км⁻²); *Рост* - увеличение биомассы из-за потребления пищи (тонны км⁻² год⁻¹); *Онтоген* - это «онтогенетические передачи» между возрастными категориями рыбы $k-1$ и k (тонны км⁻² года⁻¹); *Размножение* - это передача от взрослых к молодой возрастной категории рыб (тонны км⁻² года⁻¹); *Хищничество* - это потребление возрастной категории рыбы k всеми его хищниками (тонны км⁻² год⁻¹); *Рыболовство* - это потери возрастной категории рыб k из-за работы рыбаков (тонны км⁻² год⁻¹); *Смертность* - естественная смертность из-за «других» причин (болезни и несчастные случаи, в том числе смертность взрослых из-за «возрастных ограничений») (тонны км⁻² года⁻¹). [65]

В годовом масштабе все «онтогенетические передачи» считаются обратно пропорциональными длительности жизни возрастной категории рыбы с коэффициентом пропорциональности $онтг_k$ (год⁻¹):

$$\text{Онтоген}_{i,k} = \text{онтг}_k \times B_{i,k}; \quad \text{онтг}_k = \frac{1}{\text{продолжительность } k} \quad (2)$$

Для простоты нерестовая, рыболовная и естественная смертность также предполагается пропорциональной текущей биомассе с заданными константами возрастной категории рыбы и бассейна:

$$\text{Размножение}_{i,k} = \text{размн}_{i,k} \times B_{i,k}, \quad (3)$$

$$\text{Рыболовство}_{i,k} = \text{рыбол}_{i,k} \times B_{i,k}, \quad (4)$$

$$\text{Смертность}_{i,k} = \text{смерт}_{i,k} \times B_{i,k}, \quad (5)$$

где *размн*, *рыбол*, и *смерт* соответствуют определенным скоростям процессов (год⁻¹). В частности, естественная смертность молоди трески в Центральной Балтике усиливается ухудшением условий кислорода:

$$\text{Смерт}_{i,k} = \text{Смерт}_{i,k} + r_1 \times \text{ГипЗон} / (r_2 + \text{ГипЗон}), \quad (6)$$

где *ГипЗон* - это площадь (км²), ограниченная концентрацией кислорода 2 мл L⁻¹, которая ограничивает гипоксические глубокие воды и расположенные ниже зоны аноксии; $r_1 = 0,3 \text{ год}^{-1}$ и $r_2 = 20000 \text{ км}^2$ являются подходящими константами. [65]

Рост биомассы рыбы представляет собой постоянную долю $g_{i,k}$ нормы потребления пищи $ПотребПищ_{i,k}$:

$$Рост_{i,k} = g_{i,k} \times ПотребПищ_{i,k} \times B_{i,k}, \quad (7)$$

который, определяется доступной пищевой биомассой $ДоступПищ_{i,k}$:

$$ПотребПищ_{i,k} = \frac{R_{i,k}^{max} \times ДоступПищ_{i,k}}{K_{i,k}^{af} + ДоступПищ_{i,k}}, \quad (8)$$

где $R_{i,k}^{max}$ - максимальная («насыщенная») скорость, а $K_{i,k}^{af}$ - константа полунасыщения. [65]. Общая биомасса продовольствия, доступна для каждой возрастной категории рыбы в каждом бассейне, и рассчитывается из бассейновых продуктов питания, таких как строения зоопланктона, бентоса и кормовой рыбы в соответствии с алгоритмом «переключения выбора», где динамические предпочтения $ДинамПредп_{j,k}$ изменяются как функция относительной пищевой биомассы в бассейне i :

$$ДинамПредп_{j,k} = \frac{Предп_{j,k} \times P_j}{\sum_j Предп_{j,k} \times P_j}, \quad (9)$$

В уравнении 9, индекс j присутствует во всех источниках пищи, причем $j = 1$ обозначает общий зоопланктон ZOO, $j = 2$ - бентос, обитающий в отложениях во всех бассейнах, включая нижние днища Балтийского моря с глубиной воды от 0 до 60 м ВТ, $j = 3$ - бентос, живущий на балтийском основании, глубже 60 м, т.е. потенциально подверженный окислительно-восстановительным изменениям ВД, $j = k + 3$ ($k = 1, \dots, K$) перечисляет все модельные возрастные категории рыбы. В уравнении 9, $Предп_{j,k}$ - предполагаемое номинальное предпочтение жертвы P_j для возрастной категории рыбы k , когда биомассы всех жертв равны. Затем пища, доступная для возрастной категории рыбы k в бассейне i , рассчитывается следующим образом:

$$ДоступПищ_{i,k} = \sum_j \frac{Предп_{j,k} \times P_{i,j} \times P_{i,j}}{\sum_j Предп_{j,k} \times P_{i,j}} \quad (10)$$

Соответственно, интегральное хищничество продовольственного пункта j в бассейне i всеми его хищниками k является:

$$Хищничество_{i,j} = \sum_k \left[\frac{ПотребПищ_{i,k}}{ДоступПищ_{i,k}} \times \frac{Предп_{j,k} \times P_{i,j} \times P_{i,j}}{\sum_j Предп_{j,k} \times P_{i,j}} \right] \quad (11)$$

В отличие от питания без отбора (т.е. источники пищи потребляются в тех же пропорциях, что и в окружающей среде) и пассивного отбора (т. е. Состав диеты определяется только заданными постоянными предпочтениями $Пред_{j,k}$), такая формулировка изменения отбора позволяет увеличить потребление предпочтительных источников пищи, в ситуациях, когда более предпочтительная пища недостаточна. [65]

Бассейн*:	БЗ	БМ	ЦБ	ФЗ	РЗ	ДП	КТ
Область, км ²	36,260	79,256	211,803	29,600	16,330	20,121	22,000
Возрастная категория рыбы **							
Шпрот молодь 0-1 года		н.д.	644±291	87±39	н.д.	н.д.	н.д.
Шпрот взрослая 2-4 лет		н.д.	850±372	115±50	н.д.	н.д.	н.д.
Сельдь молодь 0-2 лет	11±5	136±52	494±219	67±29	41±17	43±19	
Сельдь взрослая 3-6 лет	21±10	421±173	821±136	111±45	79±23	71±31	53±26
Треска молодь 0-1 года			136±98			31±18	3±3
Треска половозрелая 2-4 лет			н.д.			н.д.	н.д.
Треска взрослая 5-8 лет			239±173			35±10	12±9
Потери рыболовства ***							
Шпрот			207±129 ^{L)}	28±17 ^{L)}			23±20 ^{C)}
Сельдь	6±2.4 ^{C)}	47±26 ^{L)}	183±74 ^{L)}	25±10 ^{L)}	26±9 ^{C)}	47±23 ^{C)}	53±26 ^{C)}
Треска			158±96 ^{T)}			34±13 ^{T)}	8±6 ^{L)}

Таблица 3.4 Переменные SANFish в бассейнах Балтийского моря

* БЗ – Ботнический залив, БМ –Ботническое море, ЦБ – Центральная Балтика, ФЗ – Финский залив, РЗ –Рижский залив, ДП - Датский пролив, КТ - Каттегат;

** оценки биомассы (10^3 тонны) для всех оценочных лет (среднее $\pm$ sd), биомасса взрослой трески показана в старшей стразе; н.д. показывает, что данные не найдены для типовой стразы в конкретном бассейне; «Сосредоточенные» запасы от оценок ICES разделяются пропорционально районам бассейна;

*** Потери в рыболовстве за все оценочные годы (среднее $\pm$ sd) были указаны как посадки (L), уловы (C) и посадки плюс выбросы (T)

4. Математическое моделирование

4.1 Условия проведения экспериментов

Для проведения расчетов в Балтийском море, была использована система поддержки принятия решений BALTIC NEST, а именно модули SANBALTS и Fish modelling results.

SANBALTS (Simple As Necessary BALTic Sea) - это физико-биогеохимическая модель, описывает эффекты изменения нагрузки на питательные вещества в экологическом состоянии в семи основных морских бассейнах. В NEST модель SANBALTS реализована в стационарном режиме, который показывает, какое трофическое состояние будет в конечном итоге установлено из изменений в питательных входах. SANBALTS используется для разработки сегмента эвтрофикации Плана действий Балтийского моря, где он использовался для расчета максимально допустимых входов азота и фосфора, который обеспечивал бы защиту морских сред, «не затронутых эвтрофикацией» во всем Балтийском море.

В модуле Fish modelling results можно изучить влияние различных стратегий рыболовства на будущие запасы и урожайность трех основных промысловых видов рыб в самой Балтике: треска, сельдь и шпрот. Утверждалось, что резкие изменения, произошедшие в рыболовстве, вызваны не только промыслом, а с помощью этой модели мы также можете изучить влияние хищничества тюленей и изменений в первичной продуктивности.

Суть расчетов заключается в том, чтобы сравнить результаты по данным за 2000 год, усредненные 2003-2007 года, данные, используемые в плане действий по Балтийскому морю (ПДБМ)[69] в Балтийском море. Расчеты проводились на модели SANBALTS. Сравнивались следующие параметры:

1. Общий азот
2. Общий фосфор
3. Прозрачность
4. Молодь трески
5. Половозрелая треска
6. Взрослая треска

Также проведено сравнение расчетов гипоксической зоны по данным, используемым в плане действий по Балтийскому морю и по данным за 2000 год и усредненным 2003-2007 годам.

Выполнены расчеты на модели Fish modelling results, где показано, как промысел сельди, шпротов и трески влияет на динамику запасов трески в Балтийском море.

4.2 Численные эксперименты по исследованию запасов Балтийской трески

Были проведены расчеты по выявлению влияния биогенных нагрузок, при различных речных нагрузках на экосистему Балтийского моря, рассчитанных для 2000 г, 2003-2007 гг. и по ПДБМ. По результатам численных экспериментов по исследованию запасов Балтийской трески, можно сказать, что при речных нагрузках, используемые в плане действий по Балтийскому морю (ПДБМ), численность запасов трески значительно выше, чем при речных нагрузках в 2000 г. и в 2003-2007 гг.

Состояние Балтийского морского рыбного сообщества, смоделированного с помощью SANFish, формируется внутренними трофическими взаимодействиями и внешними воздействиями на промысел и эвтрофикацию. Эффекты эвтрофикации вводятся с помощью предписанных пищевых биомасс (зоопланктона и бентоса) и гипоксической зоны, которые производятся на основе моделирования сценариев SANBALTS. Поскольку средние поступления питательных веществ в период 1997-2003 годов практически такие же, как и в период 1950-2006 годов, в целом рассматривается трофическое состояние, моделируемое SANBALTS в сценарии «2000». Репродукция SANFish современного состояния морской рыбы в Балтийском море представлена в таблице 4.4.

Выполнены расчеты на модели Fish modelling results, где показано, как промысел сельди, шпротов и трески влияет на динамику запасов трески в Балтийском море.

Расчеты выполнены в системе поддержки принятия решений BALTIC NEST, а именно в модели SANBALTS и Fish modelling results.

1. Результаты расчетов по выявлению влияния биогенных нагрузок, поступающие с речным стоком на экосистему Балтийского моря и запасы трески за 2000 год, рассчитанные на модели SANBALTS

Таблица 4.5 Результаты расчетов по выявлению влияния биогенных нагрузок, поступающие с речным стоком на экосистему Балтийского моря и запасы трески за 2000 год, рассчитанные на модели SANBALTS

	Общий N [мкмоль/л]	Общий P [мкмоль/л]	Прозрачность [м]	Молодь трески [10 ³ тонн]	Половозрелая треска [10 ³ тонн]	Взрослая треска [10 ³ тонн]
Центральная Балтика: 0 - 60 м	18,9	0,8	7,7	207,694	275,391	261,712
Датский пролив	19,7	0,7	7,2	20,927	20,292	13,461
Каттегат	18	0,7	8,2	12,859	12,383	8,217
Центральная Балтика: 60 м и ниже	21,6	2,1				

2. Результаты расчетов по выявлению влияния биогенных нагрузок, поступающие с речным стоком на экосистему

Балтийского моря и запасы трески за усредненные 2003-2007 года, рассчитанные на модели SANBALTS

Таблица 4.6 Результаты расчетов по выявлению влияния биогенных нагрузок, поступающие с речным стоком на экосистему

Балтийского моря и запасы трески за усредненные 2003-2007 года, рассчитанные на модели SANBALTS

	Общий N [мкмоль/л]	Общий P [мкмоль/л]	Прозрачность [м]	Молодь трески [10 ³ тонн]	Половозрелая треска [10 ³ тонн]	Взрослая треска [10 ³ тонн]
Центральная Балтика: 0 - 60 м	17	0,7	9	218,9	287,137	269,824
Датский пролив	18,2	0,7	8,1	17,088	16,489	10,886
Каттегат	17,7	0,7	8,5	12,48	12,01	7,965
Центральная Балтика: 60 м и ниже	19,7	1,9				

3. Результаты расчетов по выявлению влияния биогенных нагрузок, поступающие с речным стоком на экосистему Балтийского моря и запасы трески по данным, используемым в плане действий по Балтийскому морю, рассчитанные на модели SANBALTS [69]

Таблица 4.7 Результаты расчетов по выявлению влияния биогенных нагрузок, поступающие с речным стоком на экосистему Балтийского моря и запасы трески по данным, используемым в плане действий по Балтийскому морю, рассчитанные на модели SANBALTS

	Общий N [мкмоль/л]	Общий P [мкмоль/л]	Прозрачность [м]	Молодь трески [10 ³ тонн]	Половозрелая треска [10 ³ тонн]	Взрослая треска [10 ³ тонн]
Центральная Балтика: 0 - 60 м	18,5	0,5	8,1	235,888	304,331	281,274
Датский пролив	18,9	0,6	7,7	10,379	9,929	6,506
Каттегат	17	0,6	9	7,854	7,501	4,945
Центральная Балтика: 60 м и ниже	20,9	1,5				

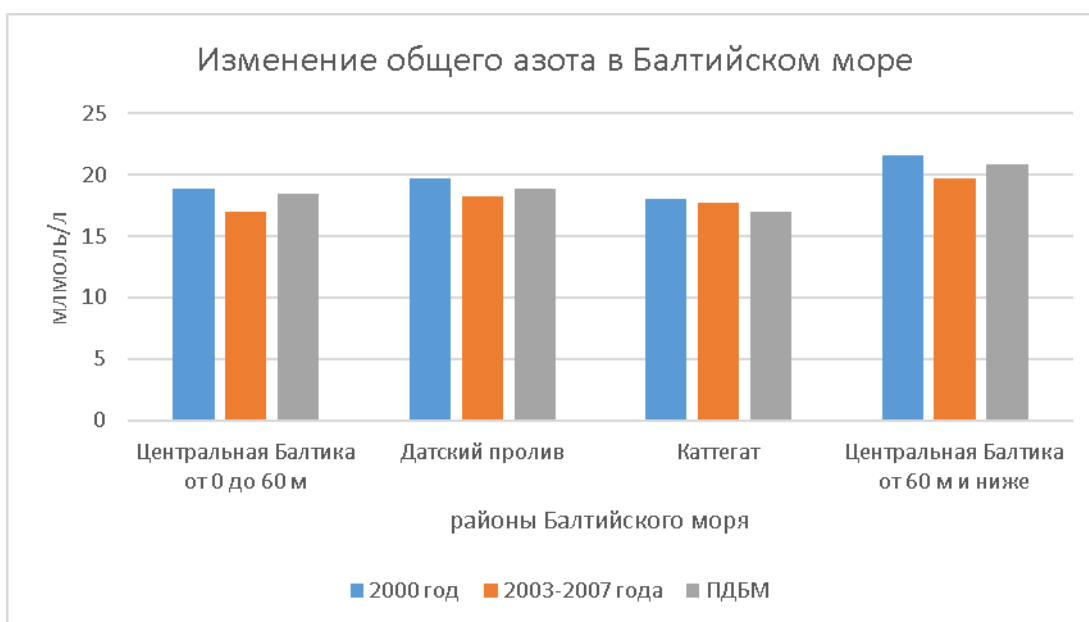


Рисунок 4.33 Изменение общего азота при различных речных нагрузках, рассчитанных для 2000 г, 2003-2007 гг. и по ПДБМ

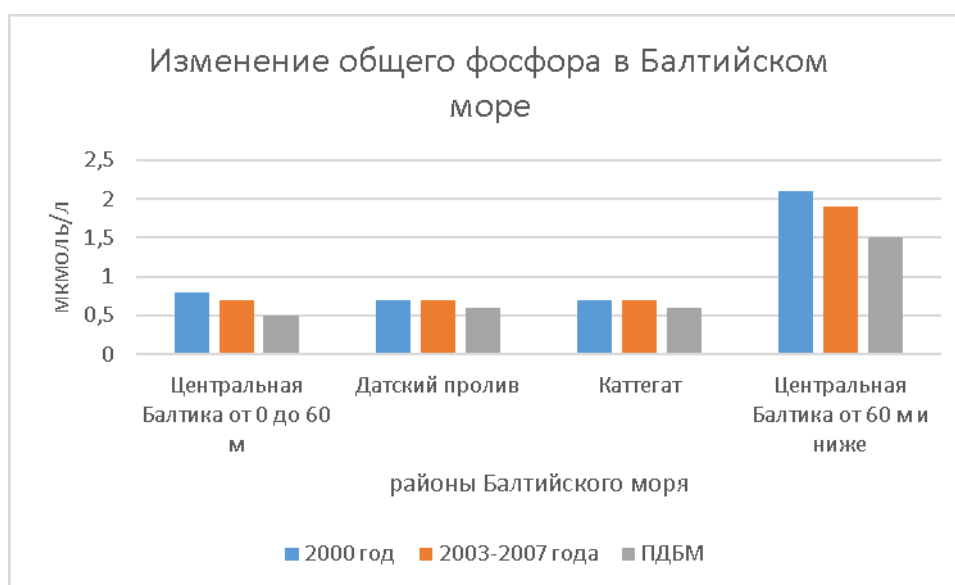


Рисунок 4.34 Изменение общего фосфора при различных речных нагрузках, рассчитанных для 2000 г, 2003-2007 гг. и по ПДБМ

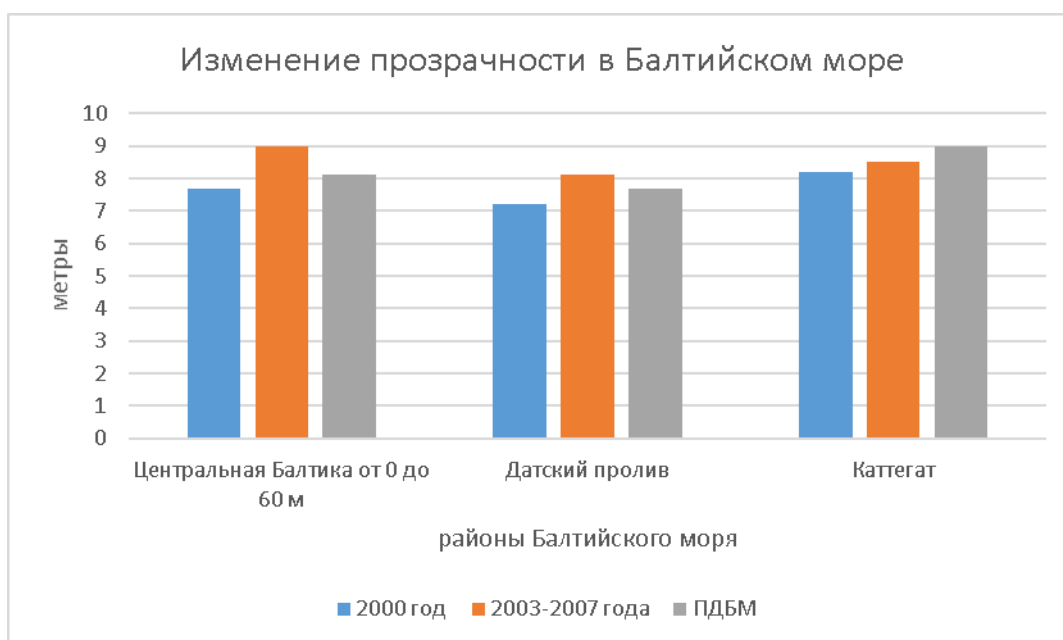


Рисунок 4.35 Изменение прозрачности при различных речных нагрузках, рассчитанных для 2000 г, 2003-2007 гг. и по ПДБМ

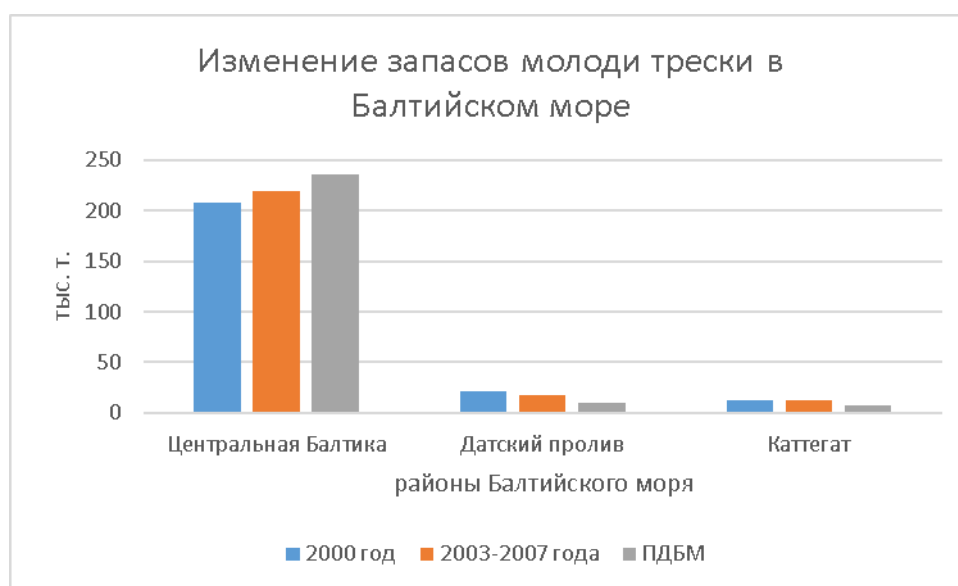


Рисунок 4.36 Изменение запасов молоди трески при различных речных нагрузках, рассчитанных для 2000 г, 2003-2007 гг. и по ПДБМ

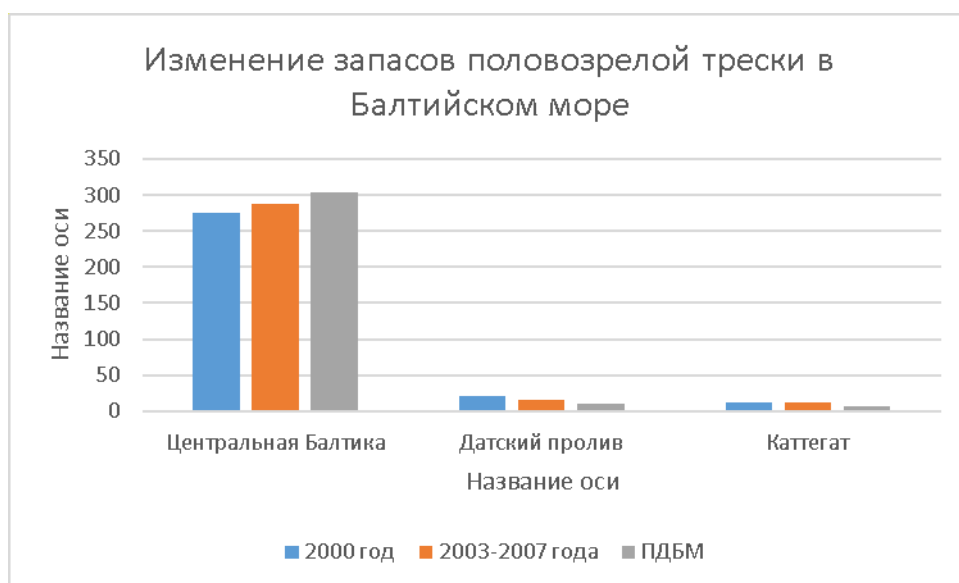


Рисунок 4.37 Изменение запасов половозрелой трески при различных речных нагрузках, рассчитанных для 2000 г, 2003-2007 гг. и по ПДБМ

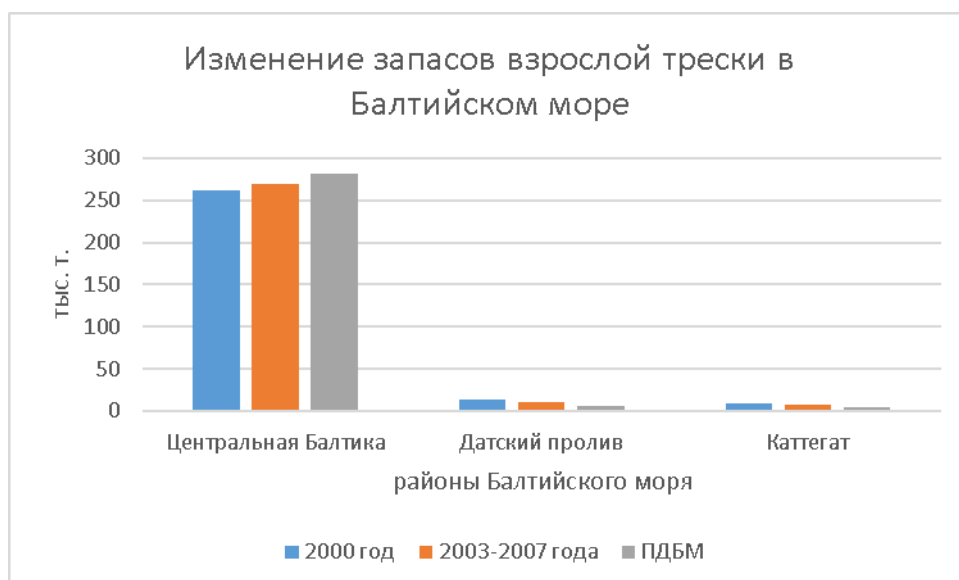


Рисунок 4.38 Изменение запасов взрослой трески при различных речных нагрузках, рассчитанных для 2000 г, 2003-2007 гг. и по ПДБМ

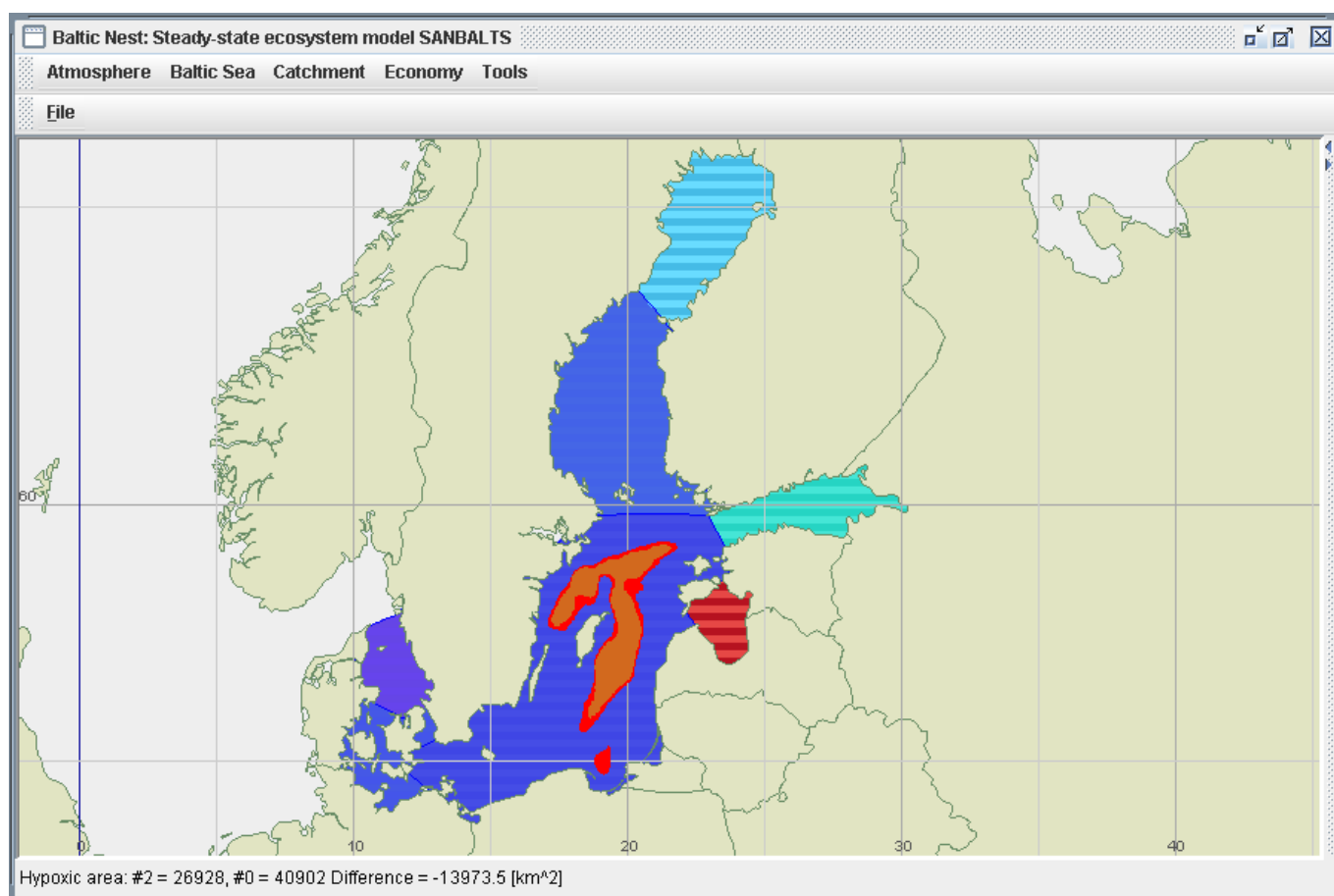


Рисунок 4.39 Результат изменения гипоксиейной зоны между данными, которые используются в плане действий по Балтийскому морю (ПДБМ) [69] и 2000 годом в Балтийском море. #2 – данные, используемые в ПДБМ, #0 – данные за 2000 год. Разница данных по гипоксиейной зоне, #2 = 26928 км², #0 = 40902 км², составляет - 13973.5 км², что означает уменьшение гипоксиейной зоны на 13973.5 км². Красным отмечены зоны 2000 года, коричневым зоны ПДБМ.

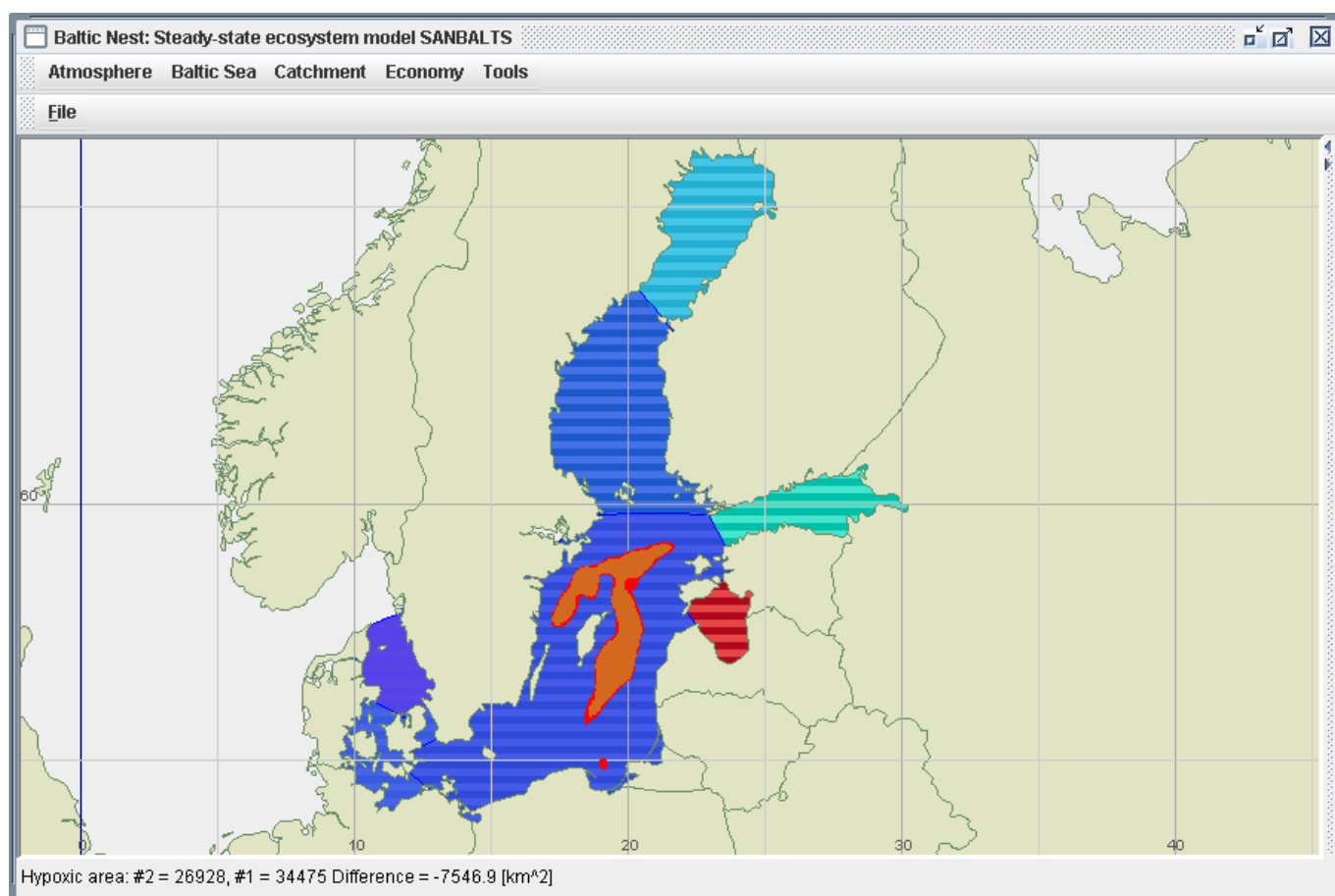


Рисунок 4.40 Результат изменения гипоксиейной зоны между данными, которые используются в плане действий по Балтийскому морю (ПДБМ) [69] и усредненными данными за 2003-2007 года в Балтийском море. #2 – данные, используемые в ПДБМ, #1 – данные за усредненные 2003-2007 года.

Разница данных гипоксиейных зон, #2 = 26928 км², #1 = 34475 км², составляет -7546.9 км², что означает уменьшение гипоксиейной зоны на 7546.9 км². Красным отмечены зоны усредненных 2003-2007 годов, коричневым зоны ПДБМ. При сравнении рисунков 4.49 и 4.48 можно сказать, что в 2000 году гипоксиейная зона была на 6000 км² больше чем в усредненных 2003-2007 годах, а также в 2000 году гипоксиейная зона покрывала всю Гданьскую впадину, одно из мест нереста балтийской трески. Соответственно судя по данным 2000 года, можно сказать, что треска нерестилась в Борнхольмской впадине, исходя из того, что Гданьская и Готландская впадины были не пригодны для ее нереста, и запасов трески в 2000 году было 93 тыс. т. (рисунок 2.16), в 2005 году запасы уменьшились до минимальной отметки, учитывая что молодь идет на нерест с 4-5 лет, можно сказать, что икринок было выметано в 2000 году мало исходя из большой площади гипоксиейной зоны.

Результаты расчетов биомассы балтийской трески с помощью модуля модели экосистемы BALTIC NEST - Fish modelling results.

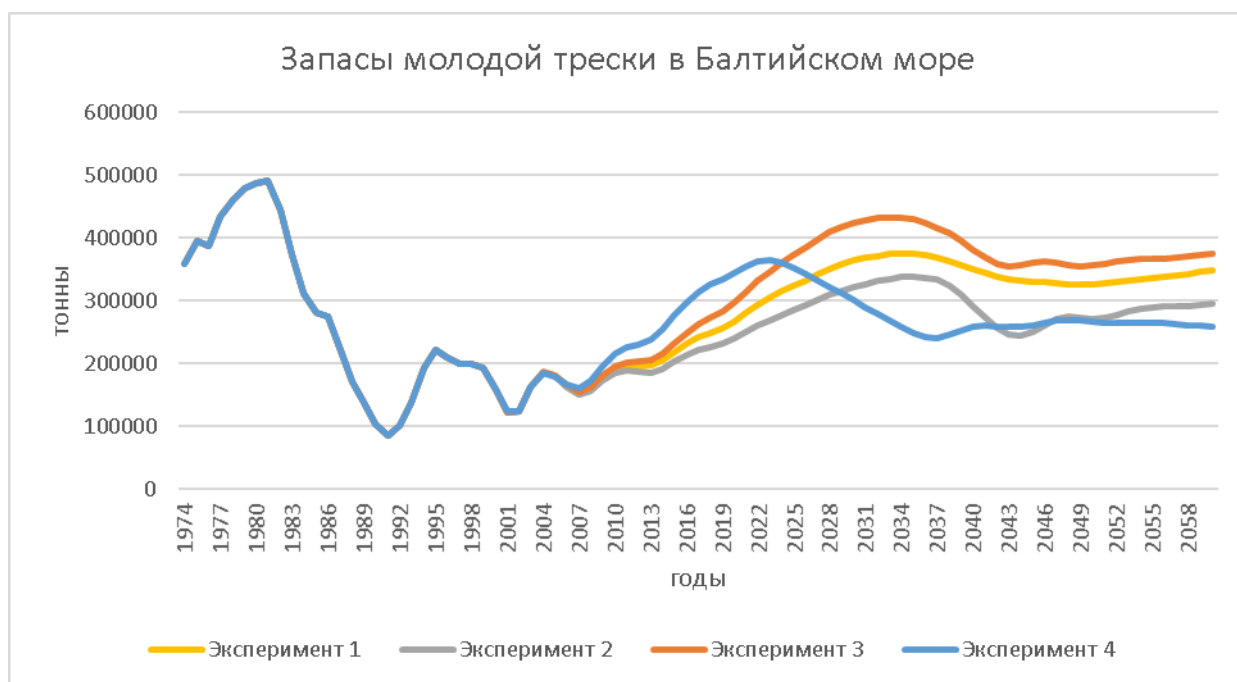


Рисунок 4.41 Результат расчетов по изменению запасов молоди трески в Балтийском море с 1974 по 2060 гг.

Эксперименты по изменению запасов трески в Балтийском море проводились при следующих условиях:

Эксперимент 1 - интенсивность промысла (смертность) шпротов не изменяется с 2000 года; интенсивность промысла (смертность) сельди уменьшается на 64%; интенсивность промысла (смертность) трески уменьшается на 44%;

Эксперимент 2 - интенсивность промысла (смертность) шпротов увеличивается на 18%; интенсивность промысла (смертность) сельди неизменна с 2000 года; интенсивность промысла (смертность) трески уменьшается на 44%;

Эксперимент 3 - интенсивность промысла (смертность) шпротов уменьшается на 41%; интенсивность промысла (смертность) сельди уменьшается на 64%; интенсивность промысла (смертность) трески уменьшается на 44%;

Эксперимент 4 - интенсивность промысла (смертность) шпротов уменьшается на 41%; интенсивность промысла (смертность) сельди уменьшается на 64%; интенсивность промысла (смертность) трески уменьшается на 44%; Фитопланктон

предполагается как он был приблизительно в 1900 году; Нерестовые условия трески улучшаются в 2.22 раза чем есть на данный момент (более глубокий кислород);

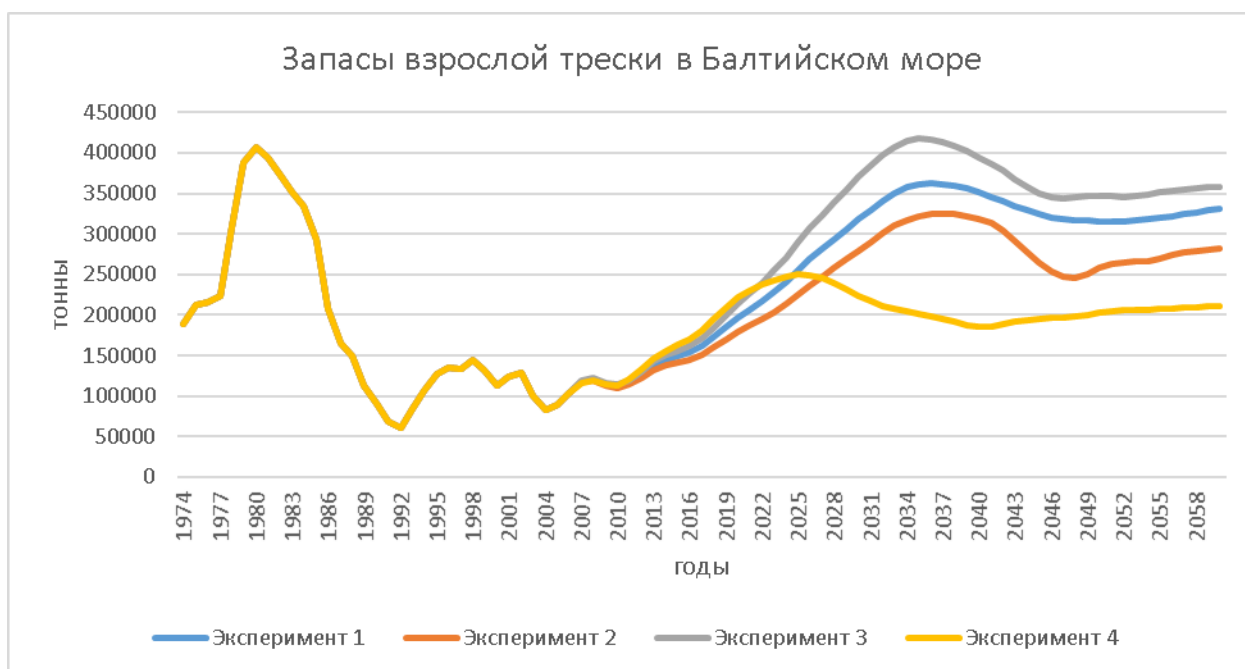


Рисунок 4.42 Результат расчетов по изменению запасов взрослой трески в Балтийском море с 1974 по 2060 гг.

Как видно из рисунков 4.54 и 4.55, при уменьшении интенсивности промысла или ее неизменности по отношению к шпротам и сельди, запасы трески увеличиваются во много раз, даже выше пика 1982 года, это связано с тем, что шпрот и сельдь является пищей для трески, и соответственно, чем больше пищи, тем быстрее будут расти ее запасы.

4.3 Анализ результатов

Несколько расчетов биомассы балтийской трески в модуле модели BAL TIC NEST – Fish modelling results и составлены прогнозы до 2060 года. На Fish modelling results было выполнено 4 эксперимента, отражающие динамику биомассы трески в Балтийском море:

Результаты расчетов экспериментов биомассы балтийской трески можно увидеть на рисунках 4.54 (биомасса молодой трески) и 4.55 (биомасса взрослой трески). По результатам расчетов видно, балтийская треска растет и к 2060 году достигает биомассы 1998 года, взрослая, в то время как молодь трески достигает уровня 1987 года, что является не плохим показателем для балтийской трески.

Самым большим показателем роста биомассы молоди трески является эксперимент 3, начиная с 2000 года биомасса растет и уже к 2033 года достигает отметки в 432 тыс. т., но к 2060 году биомасса молоди все же немного снизится. Однако эксперимент 1 напротив, сравнивается с экспериментом 3 по биомассе молоди трески. В эксперименте 4 происходили улучшение нерестовых условий при уменьшении интенсивности промысла, так, на рисунке 50 (биомасса молоди трески) можно увидеть, что после 2000 года биомасса трески растет до 2021 года, где достигает 364 тыс. т., после чего она уменьшается до 2037 года и далее до 2060 года остается практически неизменной. Судя по графику молоди трески довольно мало, по сравнению с остальными 3-мя экспериментами. Не смотря на улучшение нерестовых условий для трески, а также уменьшение интенсивности промысла, биомасса молоди трески начинается снижаться до 2037 года. Биомасса взрослой трески, как и биомасса молоди при эксперименте 4, также имеет малые показатели в сравнении с 3-мя экспериментами, однако, если на рисунке 50, молодь трески с 2037 года остается неизменной, то взрослая треска напротив с 2040 года растет (хоть и незначительно) и к 2060 году показывает результат в 238 тыс. т., что немного меньше чем в 2023 году (249 тыс. т.).

В эксперименте 2, где интенсивность промысла сельди не изменяется с 2000 года, но при этом увеличивается интенсивность промысла шпротов, видим, что не

изменчивость биомассы взрослой трески начинается уже с 2054 года, однако до 2047 года, было увеличение и уменьшение биомассы трески, хотя уменьшение биомассы у молоди трески куда более резкое, нежели чем у взрослой трески.

По результатам экспериментов, можно сказать, что улучшение кислородных нерестовых условий трески очень слабо влияют на повышение биомассы трески. Видны высокие показатели биомассы как взрослой, так и молоди трески при эксперименте 3, где интенсивность промысла на шпроты, сельдь, теску уменьшены.

Заключение

В работе было проведено исследование влияния антропогенной нагрузки на динамику запасов трески в Атлантических морях.

Для достижения поставленной цели в работе решились следующие задачи:

1. Рассмотрены факторы, определяющие динамику популяции трески в Северном и Балтийском морях
2. Проведены модельные расчеты по выявлению влияния биогенной нагрузки, поступающей с речным стоком на экосистему Балтийского моря и запасы трески с помощью модели SANBALTS
3. Проведены исследования динамики запасов трески в Балтийском море в результате переловов.

В результате данной работы было выяснено, что такие параметры как, температура воды, содержание кислорода, содержание азота, содержание фосфора и промысел очень сильно влияет на запасы трески в Северном и Балтийском морях. В Северном море, на запасы трески влияет в основном температура воды, а также очень сильные выловы трески, таким образом с 1971 по 2006 года запасы трески упали с 274 тыс. т. до 44 тыс. т., однако на данный момент ситуация с запасами трески в Северном море стабилизируется и весьма успешно. В Балтийском море, на треску влияют не только переловы, но и эвтрофикация и, что самое главное, гипоксические и аноксические зоны. Были проведены модельные расчеты, где сравнивались данные за 2000 год, усредненные 2003-2007 года и данные, используемые в плане действий по Балтийскому морю. Минимальная отметка в запасах балтийской трески находится в 2004 году, в 2000 году, исходя из модельных расчетов, можно увидеть, что гипоксия была не только в Готландской впадине, но также и в Гданьской впадине (эти впадины служат для трески местами нереста), принимая во внимание, что треска идет на нерест в 4 года, можно сказать что в 2000 году местом нереста была Борнхольмская впадина (эта впадина всегда служила для трески основным местом для нереста, при условиях, либо численность трески не высокая, либо остальные нерестовые места не подходят для нереста (высокая температура, низкая соленость или низкое содержание кислорода)). И

соответственно, можно сказать что 2000 году было выметано малое число икринок, и в последствии в 2004 году было мало половозрелой трески. Однако в последующие года наблюдается рост запасов, что связано с ограничением вылова трески в Балтийском море, а так же уменьшением влияния биогенных нагрузок на экосистему Балтийского моря и соответственно распространением трески на север моря.

Список используемой литературы

1. А. Д. Добровольский, Б. С. Залогин. 1982. «Моря СССР». Издательство Московского университета. Москва. 190.
2. [archive.li/bdTk0](#)
3. О. А. Дмитриева. 2017. «Исследование закономерностей пространственно-временных измерений структурных и количественных показателей фитопланктона в различных районах Балтийского моря». ФГБНУ «АтлантНИРО». Калининград. 309.
4. В. М. Бондек. 1953. «Зоопланктон средней и южной части Балтийского моря и Рижского залива». Труды Всероссийского научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО). Том XXVI.
5. В. М. Наумов и Д. В. Радаков. 1953. «Распределение трески в Балтийском море». Труды Всероссийского научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО). Том XXVI.
6. ICES Advice 2013, Book 8. «Multispecies considerations for the central Baltic stocks: cod in Subdivisions 25–32, herring in Subdivisions 25–29 and 32, and sprat in Subdivisions 22–32»
7. Л. С. Берг, Б. С. Ильин, И. И. Казанова, Т. С. Раса, А. Н. Световидов. 1949. «Промысловые виды СССР» Пищепромиздат. 787.
8. «ICES report on ocean climate 2015»
9. Baltic Fisheries Assessment Working (WGBFAS). 2015. «Stock Annex: Cod (*Gadus morhua*) in subdivisions 25–32, eastern Baltic stock (eastern Baltic Sea)».
10. ICES Coop. Res. Rep. No. 236. 2003. «Answer to special request from IBSFC concerning a closed area/closed period in the Gdansk Deep and the Gotland Deep in order to protect cod spawning.».
11. Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). 2015. «Stock Annex: Cod (*Gadus morhua*) in subdivisions 22–24, western Baltic stock (western Baltic Sea)»
12. Солдатов В.К. 1928. «Рыбы и рыбный промысел». Государственное издательство. Москва. 318.

13. Е. М. Карасева. 2013. «Численность и типы пространственного распределения икры и личинок восточно-балтийской трески в 1931-1996 гг». Вопросы ихтиологии, том 53, №2. 189-199.
14. ICES Advice 2008, Book 8. «The Baltic Sea». 12.
15. ICES WGBFAS Report. 2014. «Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS)». ICES HQ, Copenhagen, Denmark. 919.
16. bluebird-electric.net/oceanography/Ocean_Plastic_International_Rescue/Plankton_Zooplankton_Fish_Microplastics.htm
17. zoofirma.ru/knigi/gidrobiologija/9449-organizmy-bentosa.html
18. udimribu.ru/news/item/f00/s02/n0000268/index.shtml
19. aqua-product.ru/fish/sprot.html
20. chtoestchto.ru/product-info/opredelenie-49
21. Л. Ю. Бугров. 2012. «Разработка рекомендаций по адаптации рыбохозяйственной деятельности к изменениям климата на основе сценарных расчетов на эко-гидродинамической модели Балтийского моря». Научно-технический отчет. Санкт-Петербург. 28.
22. Keith Brander. 2005. «Spawning and life history information for North Atlantic cod stocks». ICES Cooperative Research Report. No. 274.
23. web.snauka.ru/issues/2012/03/10613
24. smhi.se/en/theme/acidification-of-the-sea-1.12272
25. ICES Advice 2006, Book 8. «The Baltic Sea». 10.
26. Elżbieta Łysiak-Pastuszek³, Marina Carstens⁴, Juha-Markku Leppänen⁵, Wera Leujak⁶. 2014. «Eutrophication status of the Baltic Sea 2007-2011». HELCOM Katajanokanlaituri 6 B FI-00160 Helsinki, Finland. 40.
27. Lars M. Svendsen (Project Manager), Jerzy Bartnicki, Susanne Boutrup, Bo Gustafsson, Waldemar Jarosinski, Seppo Knuuttila, Pekka Kotilainen, Søren E. Larsen, Minna Pyhälä, Tuija Ruoho-Airola, Lars Sonesten, Håkan Staaf. 2015. «Updated Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-5.5)». HELCOM Katajanokanlaituri 6 B FI-00160 Helsinki, Finland. 142.

28. WGBFAS. 2015. «Stock Annex: Cod (*Gadus morhua*) in Subdivisions 22–24 (Western Baltic Sea)». ICES Stock Annex. 17.
29. mare.su.se
30. Fredrik Wulff, Alexander Sokolov and Oleg Savchuk. 2013. «Nest – a decision support system for management of the Baltic Sea». Stockholm University Baltic Sea Centre, Stockholm University. Sweden. 70.
31. Vivi Fleming-Lehtinen and Minna Pyhälä, Maria Laamanen, Elżbieta Łysiak-Pastuszek, Marina Carstens, Juha-Markku Leppänen, Wera Leujak Günther Nausch. 2015. «HELCOM core indicator report». HELCOME. 16.
32. Backer, H., Leppänen, J.-M., Brusendorff, A. C., Forsius, K., Stankiewicz, M., Mehtonen, J., Pyhälä, M., Laamanen, M., Paulomäki, H., Vlasov, N. and Haaranen, T., 2010. HELCOM Baltic Sea Action Plan—A regional programme of measures for the marine environment based on the Ecosystem Approach. *Mar. Poll. Bull.* 60, 642–649.
33. Eero, M., 2012. Reconstructing the population dynamics of sprat (*Sprattus sprattus balticus*) in the Baltic Sea in the 20th century. *ICES J. Mar. Sci.* 69, 1010–1018.
34. Eero, M., Köster, F. W. and MacKenzie, B. R., 2008. Reconstructing historical stock development of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in the eastern Baltic Sea before the beginning of intensive exploitation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65, 2728–2741.
35. Fasham, M.J.R., Ducklow, H.W. and McKelvie, S.M., 1990. A nitrogen-based model of plankton dynamics in the oceanic mixed layer. *J. Mar. Res.* 48, 591–639.
36. Fennel, W., 2010. A nutrient to fish model for the example of the Baltic Sea. *J. Mar. Syst.* 81, 184–195.
37. Gustafsson, B. G., Schenk, F., Blenckner, T., Eilola, K., Meier, H. E. M., Müller-Karulis, B., Neumann, T., Ruoho-Airola, T., Savchuk, O. P. and Zorita, E., 2012. Reconstructing the development of Baltic Sea eutrophication 1850-2006. *Ambio* 41, 534–548.
38. Gårdmark, A., Lindgren, M., Neuenfeldt, S. Blenckner, T. Heikinheimo, O., Müller-Karulis, B., Niiranen, S., Tomczak, M. T., Aro, E., Wikström, A. and Möllmann C., 2013. Biological ensemble modeling to evaluate potential futures of living marine resources. *Ecol. Appl.* 23 (4), 742-754.

39. Hansson, S., Hjerne, O., Harvey, C., Kitchell, J.F., Cox, S.P. and Essington, T.E., 2007. Managing Baltic Sea fisheries under contrasting productions and predation regimes—ecosystem model analyses. *Ambio* 36, 265–271.
40. Harvey, C.J., Cox, S.P., Essington, T.E., Hansson, S. and Kitchell, J.F., 2003. An ecosystem model of food web and fisheries interactions in the Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science* 60, 939–950.
41. Heikinheimo, O., 2011. Interactions between cod, herring and sprat in the changing environment of the Baltic Sea: A dynamic model analysis. *Ecol. Mod.* 222, 1731–1742.
42. HELCOM, 2007. HELCOM Baltic Sea Action Plan (BSAP). HELCOM Ministerial Meeting. Adopted in Krakow, Poland, 15 November 2007.
43. ICES, 2013. Report of the ICES Advisory Committee 2013. ICES Advice, 2012. Book 8, 167 pp.
44. ICES, 2014a. Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS), 3-10 April 2014, ICES HQ, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2014/ACOM:10. 919 pp.
45. ICES, 2014b. Report of the Benchmark Workshop on Sprat Stocks (WKSPRAT), 11–15 February 2013, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2013/ACOM:48. 220 pp.
46. ICES, 2015. Report of the Herring Assessment Working Group for the Area South of 62°N (HAWG), 10-19 March 2015, ICES HQ, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2015/ACOM:06. 850 pp.
47. Johansson, S., Wulff, F. and Bonsdorff, E., 2007. The MARE research program 1999–2006: reflections on program management, *Ambio* 36 (2-3), 119-122.
48. Margonski, P., Hansson, S., Tomczak, M. T., Grzebielec, R., 2010. Climate influence on Baltic cod, sprat, and herring stock–recruitment relationships. *Progress in Oceanography* 87, 277–288.
49. Nest—a decision support system for management of the Baltic Sea, 2001. Available at: <<http://nest.su.se/nest/>> (access date January 31, 2016)
50. Plagányi, É.E., 2007. Models for an ecosystem approach to fisheries. FAO Fisheries Technical Paper, No 477. Rome, FAO, 108pp.
51. Savchuk, O.P., 2010. Large-Scale Dynamics of Hypoxia in the Baltic Sea. In E.V. Yakushev (ed.). *Chemical Structure of Pelagic Redox Interfaces: Observation and*

Modeling, Hdb Env Chem, DOI 10.1007/698_2010_53, Springer Verlag Berlin Heidelberg.

52. Savchuk, O.P., Eilola, K., Gustafsson, B.G., Rodríguez Medina, M. and Ruoho-Airola, T. 2012. Long-term reconstruction of nutrient loads to the Baltic Sea, 1850-2006. Baltic Nest Institute Techn. Rep. Ser. 6, 9 pp.

53. Savchuk, O. P., Gustafsson B. G. and Müller-Karulis, B., 2012. BALTSEM - a marine model for decision support within the Baltic Sea Region. Baltic Nest Inst. Techn. Rep. Ser. 7, 55 pp.

54. Savchuk, O. P. and Wulff, F., 2007. Modeling the Baltic Sea eutrophication in a decision support system. *Ambio* 36, 141–148.

55. Savchuk, O. P. and Wulff, F., 2009. Long-term modeling of large-scale nutrient cycles in the entire Baltic Sea. *Hydrobiologia* 629, 209–224.

56. Savchuk, O. P., Wulff, F., Hille, S., Humborg C. and Pollehne, F., 2008. The Baltic Sea a century ago - a reconstruction from model simulations, verified by observations. *J. Mar. Syst.* 74, 485-494.

57. Steele, J.H., 2009. Assessment of some linear food web methods. *J. Mar. Syst.* 76, 186–194.

58. Stigebrandt, A. and Liljebladh, B., 2011. Oxygenation of large volumes of natural waters by geo-engineering: with particular reference to a pilot experiment in Byfjorden. V. Badescu V. and R. B. Cathcart (eds.), *Macro-engineering Seawater in Unique Environments*, Environmental Science and Engineering, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 303-315

59. Tien, R.C., 2006. Toward standard parameterizations in marine biological modeling. *Ecol. Mod.* 193, 363–386.

60. Tomczak M. T., Niiranena, S., Hjerne, O. and Blenckner, T., 2012. Ecosystem flow dynamics in the Baltic Proper — Using a multi-trophic dataset as a basis for food-web modelling. *Ecol. Mod.* 230, 123-147.

61. Vahtera, E., Conley, D. J., Gustafsson, B. G., Kuosa, H., Pitkänen, H., Savchuk, O. P., Tamminen, T., Viitasalo, M., Voss, M., Wasmund, N. and Wulff, F., 2007. Internal

- ecosystem feedbacks enhance nitrogen-fixing cyanobacteria blooms and complicate management in the Baltic Sea. *Ambio* 36(2-3), 186-194.
62. Walters, C., Christensen, V., Pauly, D., 1997. Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass balance assessments. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 7, 139–172.
63. Wulff, F., Savchuk, O. P., Sokolov, A., Humborg, C. and Mörtz, C.-M., 2007. Management options and effects on a marine ecosystem: assessing the future of the Baltic. *Ambio* 36, 243 – 249.
64. Меншуткин В. В., 2010. Искусство Моделирования (Экология, Физиология, Эволюция). Петрозаводск — Санкт-Петербург. 416.
65. Savchuk O. P., 2018. Simple as necessary fish model for the decision support system Baltic Nest. Baltic Nest Institute, Baltic Sea Centre, Stockholm University. 18-23.
66. Matti Lepparanta, Kai Myrberg. 2009. Physical Oceanography of the Baltic Sea. Praxis Publishing Chichester, UK. 334-371.
67. factruz.ru/world_ocean_2/images/north-sea-2.jpg
68. Oleg P. Savchuk, Bo G. Gustafsson, Miguel Rodríguez Medina, Alexander V. Sokolov & Fredrik V. Wulff. 2012. External nutrient loads to the Baltic Sea, 1970-2006. Stockholm Resilience Centre, Stockholm University. 15-18.
69. HELCOM Ministerial Meeting. 2007. HELCOM Baltic Sea Action Plan. Krakow, Poland. 75-100.
70. - ICES Advice 2008, Book 6
71. - ICES Advice on fishing opportunities, catch, and effort North Atlantic
72. Working Group on the Assessment of Demersal Stocks in the North Sea and Skagerrak (WGNSSK). 2015. Stock Annex: Cod (*Gadus morhua*) in Subarea 4 and divisions 7.d and 20 (North Sea, eastern English Channel, Skagerrak). ICES. 30-36.