



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

Кафедра геоэкологии, природопользовании и экологической безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему: Особенности влияния изменений климата на экосистему
Белого моря

Исполнитель

Ефремова Александра Сергеевна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

к.г.н, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

к.г.н, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 2023 г.

Санкт-Петербург,
2023 г

Содержание

ВЕДЕНИЕ	3
1. Физико-географические особенности Белого моря и его бассейна.....	6
1.1 Основные физико-географические характеристики.....	6
1.2 Морфометрические и ландшафтные особенности Белого моря.....	7
1.3 Гидрологические особенности	9
1.4 Современные климатические условия.....	12
1.5 Промышленное освоение	14
2. Биоценозы Белого моря.....	16
2.1 Характеристика ихтиофауны и промыслового рыболовства	19
2.2 Характеристика зоопланктонных и бентосных сообществ	21
2.3 Характеристика распределения высшей водной растительности	30
3. Изменения интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и Арктикой	33
3.1 Многолетняя динамика температуры воды и воздуха.....	35
3.2 Многолетняя динамика солености воды	40
3.3 Многолетняя динамика речного стока.....	42
4. Оценка степени и характера влияния изменений климата на компоненты морской экосистемы	44
4.1 Влияние изменений климата на температурный и ледовый режим	46
4.2 Влияние изменений климата на соленость воды и речной сток	52
4.3 Влияние изменений климата на показатели продуктивности промысловых гидробионтов	59
5. Практические рекомендации	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	67
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	69

ВЕДЕНИЕ

Одним из главных направлений научных исследований в настоящее время является изучение изменения климата на Земле. Климат является одним из ключевых факторов, определяющих состояние природных экосистем, а также оказывает влияние на жизнь людей. Ученые всего мира производят множество исследований, чтобы понять природу колебаний климата и предсказать возможные последствия этих изменений. Для этого проводятся наблюдения за изменениями температуры, осадков, уровня моря и ледников, анализируется состав атмосферы и других элементов климатической системы. В результате исследований ученые выявляют закономерности и прогнозируют, как изменится климат в будущем. Предсказанные изменения климата могут иметь серьезные последствия для природы и жизни людей. Изучение колебаний климата на планете является важным и актуальным направлением научных исследований, которое требует постоянного внимания и усилий со стороны ученых всего мира.

Белое море обладает своеобразными гидрологическими особенностями, оно принадлежит бассейну Северного Ледовитого океана. Его температурный режим изменчив, ледовитость и совокупность процессов оказывают существенное воздействие на экосистему моря. Изменения климата, интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой - выражаются в соответствующих изменениях величин тепла и влаги, переносимых с Атлантического океана в бассейны внутренних морей Европы, в том числе в регион Белого моря, что приводит к изменениям температуры поверхностных вод, объемам речного пресного стока в море, а следом и изменению солености воды. Кроме того, меняется и уровень моря - разность уровень Белое море - Баренцево, значит меняется и интенсивность водообмена, а это влияет на характеристики водных масс и биоразнообразие. В совокупности всё это оказывает существенное воздействие на экосистему моря,

а следствием и на организмы, обитающие в данной акватории. Белое море содержит разнообразную экосистему с богатой флорой и фауной, включая множество видов рыб, морских млекопитающих и других животных. Биотические компоненты Белого моря включают также микроорганизмы, водоросли и другие растительные организмы. Абиотические компоненты Белого моря включают температуру воды, соленость, давление, течения и другие факторы окружающей среды. Изменение климата может существенно повлиять на эти факторы и, следовательно, на биотические компоненты морской экосистемы.

Цель данной магистерской работы заключается в оценке степени характера влияния изменения климата на биотические и абиотические компоненты экосистемы Белого моря на основе анализа многолетних климатических, гидрологических и промысловых данных. Изучение биотических и абиотических компонентов Белого моря и их взаимодействия является важным для понимания процессов в морской экосистеме и для разработки мер по ее сохранению. Изменение климата может серьезно повлиять на биотические и абиотические компоненты Белого моря, вызывая изменения в распространении животных и растительных видов, а также в их количественном составе. Колебания климата в целом могут негативно сказаться на популяциях некоторых видов рыб, за этим фактором необходимо следить. Изучение влияния изменения климата на компоненты, позволит лучше понимать процессы, происходящие в море, и разрабатывать меры для предотвращения негативных последствий изменения климата. Также это позволит улучшить управление морскими ресурсами и сохранить богатство морской экосистемы для будущих поколений.

Задачи работы состоят в изучении биоценологических особенностей Белого моря, изменения климата, циркуляции атмосферы, многолетней динамики речного стока, динамики показателей солености воды, многолетней динамики температуры воды и воздуха и выполнение анализа степени характера влияния на компоненты экосистемы Белого моря.

1. Физико-географические особенности Белого моря и его бассейна

1.1 Основные физико-географические характеристики

Белое море принадлежит бассейну Северного Ледовитого океана и является внутренним морем Российской Федерации. По форме имеет сложную конфигурацию: множество проливов и заливов, от Баренцева моря Белое разделяет граница, которая проходит от м. Святой Нос ($68^{\circ}09'$ с.ш.) – м. Канин Нос ($68^{\circ}40'$ с.ш.). Площадь его акватории варьируется около 91 тысяча км², а площадь островов составляет 0,8 тыс.км². Максимальная глубина составляет 340 м, H_{cp} – 75 м, длина береговой линии по матерiku составляет 5093 км, самая большая протяженность проходит от м. Канин Нос до Кеми 600 км, а наибольшую ширину море имеет между г. Архангельск и г. Кандалакша 450 км.[1]. На рисунке 1.1 представлена физико-географическая карта региона Белого моря.

Белое море расположено между Кольским и Канинским полуостровами и относится к бассейну Северного Ледовитого океана. Его гидрологический режим обуславливается географическим положением, влияющими приливными течениями, а также ветрами и водообмен с Баренцевым морем. По своему географическому положению акватория является субполярным бассейном, а по содержанию и структуре пород – окраинным шельфовым морем. Протяженность моря с севера на юг составляет более 500 км. Центральная часть Белого моря – Бассейн – является самой глубоководной и обширной частью. На северо-западе Бассейна находится Кандалакшский залив, на юге – Онежский залив и Двинский залив на юго-востоке. Баренцево море соединяется с Белым морем Воронкой и Горлом. Воронка расположена между Кольским п-овом и Канинским п-овом. А далее, между Терским и Зимнем берегом, располагается пролив Горло. Он имеет протяженность 170 км и ширину – 45-55 км. Границами пролива Горла являются: на северо-востоке - линия, соединяющая м. Данилов - м. Воронов, а на юго-западе - м. Никодимский - м. Вепревский.

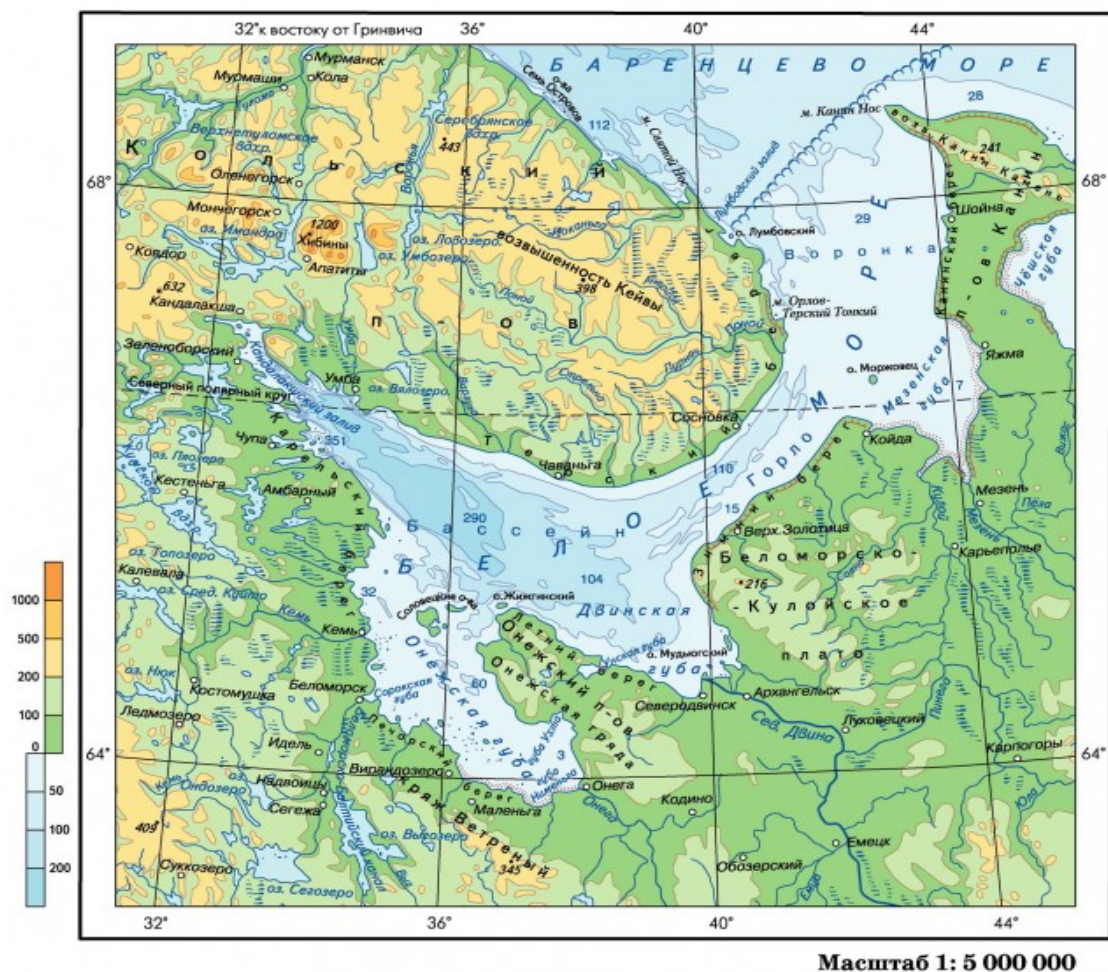


Рисунок 1.1. Физико-географическая карта региона Белого моря

1.2 Морфометрические и ландшафтные особенности Белого моря.

Белое море — является полузамкнутым бассейном с довольно сложной конфигурацией. Поскольку от соседнего моря — Баренцева, оно не отделено, например, ни грядой островов, ни резким поднятием дна, то граница условная, что является основанием о спорах его самостоятельности. Многие рассматривали море, как баренцевоморский залив. Но, как уже говорилось выше, этот вопрос был полностью разрешен в 1923 году правительством РСФСР, результат — граница проходит от мыса Канин Нос до мыса Святой Нос [39]. Обычно море разделяют на три акватории — северную, среднюю и южную,

но также можно подразделить на Воронку (вход с северной части), Горло, Бассейн, Мезенский, Кандалакшский, Двинский и Онежский заливы. Северная часть имеет схожие черты с формой конуса, открытая часть которого повернута к Баренцеву морю, а вершина направлена к устью реки Мезени: в середине – Воронка, а основная часть образует Мезенскую губу. Бассейн, Кандалакшский залив, Двинский залив и Онежская губа образуют в совокупности самую глубоководную и обширную часть Белого моря, являясь при этом самой наиболее ярко характеризующей собственно Беломорский бассейн. Онежский залив имеет среднюю глубину 16 м. В северной части Двинского залива отмечается его максимальная глубина и составляет около 100 м. Пролив Горло имеет среднюю глубину примерно 40 м, а все море целиком – 60 м.[2] Каждый залив Белого моря имеет свои физико-географические особенности и индивидуальные черты.

Восточное побережье Белого моря в геологическом плане имеет погруженную часть Русской платформы. Берег Кольского полуострова в основном ограничен сбросами. Берега северной части исследуемого моря имеют преимущественно обрывистый характер. Терский берег невысок, но вдаваясь в глубь материка, идет на повышение. Канинский берег преимущественно образован крутыми обрывами, которые прерываются песчаными низменностями в устьях рек. Северная часть Конушинского берега имеет сравнительно небольшую высоту, а в южной части берег имеет резкое повышение и становится обрывистым. Абрамовский берег состоит в основном из глинистых осыпей, имея небольшую высоту, и повышается только у м. Воронов.

Берега Горла образуют несколько небольших губ. У мыса Воронов Зимний берег высокий, обрывистый и понижается к югу до м. Инцы, а далее снова повышается до м. Зимнегорский. Терский берег горла невысокий и пологий.

В отличие от берегов средней и северной части Белого моря, берега Бассейна моря и его заливов, отличаются большой изрезанностью. Мало изрезаны лишь Терский берег и берега Двинского залива.

Оба берега Динского залива имеют преимущественно одинаковый характер пород – обрывистое побережье Летнего и Зимнего берега. Продвигаясь к устью, р. Северная Двина, побережье становится заметно низменнее, чем прилегающие к ней побережья.

Как Летний, так и Зимний берега Двинского залива обрывисты почти на всем протяжении. Побережье в районе дельты р. Северной Двины низменное. От реки Золотица, на окраине Зимнего берега, до острова Жижгин располагается Онежский берег с в основном песчано-глинистыми обрывами, которые идут на понижение, продвигаясь ближе к югу. Карельский и Приморский берега Онежского залива практически на всем протяжении неизменны. Карельский берег каменистый и сравнительно возвышенный, но к морю имеет пологий склон. Берег Кандалакшского залива возвышен и скалист, но имеет местами берег, образованный отвесными обрывами.

Соловецкие острова и о. Моржовец – самые крупные острова в Белом море. Соловецкие острова находятся на границе устья реки Кемь и Онежского полуострова и имеет площадь около 348 км². О. Моржовец имеет площадь примерно 110 км² и находится в акватории Мезенской губы. Пролив Восточная Соловецкая Салма разделяет Соловецкие острова от восточного берега Онежского залива, а со стороны западного берега – пролив Западная Соловецкая Салма.

1.3 Гидрологические особенности

На Белое море влияют приливы, климатические условия, обусловленные географическим расположением, а также рельеф дна, речной сток и соседство с Баренцевым морем. В разных частях акватории могут фиксироваться разные показатели температуры в зависимости от положения и сезона. В летний период

температура в заливах и центральной части достигает $15 - 17^{\circ}\text{C}$, но в этот момент в Онежском заливе и Горле температура не выше 9°C . Зимой температура поверхностных вод понижается до $-1,3 \dots -1,7^{\circ}\text{C}$, в заливах она достигает $-0,5 \dots -0,7^{\circ}\text{C}$. Опускаясь глубже 50 метров в большинстве частей Белого моря, мы наблюдаем постоянные слои температуры, которые не зависят от сезона, здесь значения колеблются от $-1,5^{\circ}\text{C}$ до $+1,5^{\circ}\text{C}$. Но в Горле, где имеется достаточно близкое соседство с Баренцевым морем и интенсивным вертикальным перемешиванием водных масс, температура тут распределяется однородно [1,3].

В Белом море большое количество прихода пресной воды. Это связано с речным стоком и не столь влиятельным водообменом с Баренцевым морем. Поэтому, показатели солёности поверхностных вод небольшие – 26 промилле и ниже. Однако, на глубине, как мы знаем, солёность значительно выше, примерно до 31-32 промилле. Опресненная поверхностная вода движется в Горло и попадает в Баренцево море. В то же время более солёная вода поступает ближе к западным берегам Белого моря. Таким образом вода в центре имеет несколько круговоротов, как циклонических, так и антициклонических.

Белом море формируется двухслойная структура воды: верхний слой тёплый и относительно пресный, а нижний слой холодный и солёный. Это приводит к тому, что в Белом море образуется глубинный течение, которое называется термохалинной циркуляцией. Также к особенностям можно отнести распределение температуры и солёности в Воронке и Горле, где с глубиной отмечается достаточно однородное распределение, как температуры, так и солёности. А в Бассейне, Мезенском, Двинском, Онежском и Кандалакшском заливах фиксируется стратифицированное распределение. Рассматривая рисунок 1.2, мы можем заметить будто бы слоистое распределение температуры вблизи Кандалакшского залива [51]. Температура в Горле моря распределяется довольно однородно от поверхности до дна.

Значительным фактором в гидрологии Белого моря являются его приливно-отливные течения. Скорость в отдельных районах может достигать 2,6 м/с (в Горле) и 1 м/с в Онежском заливе.

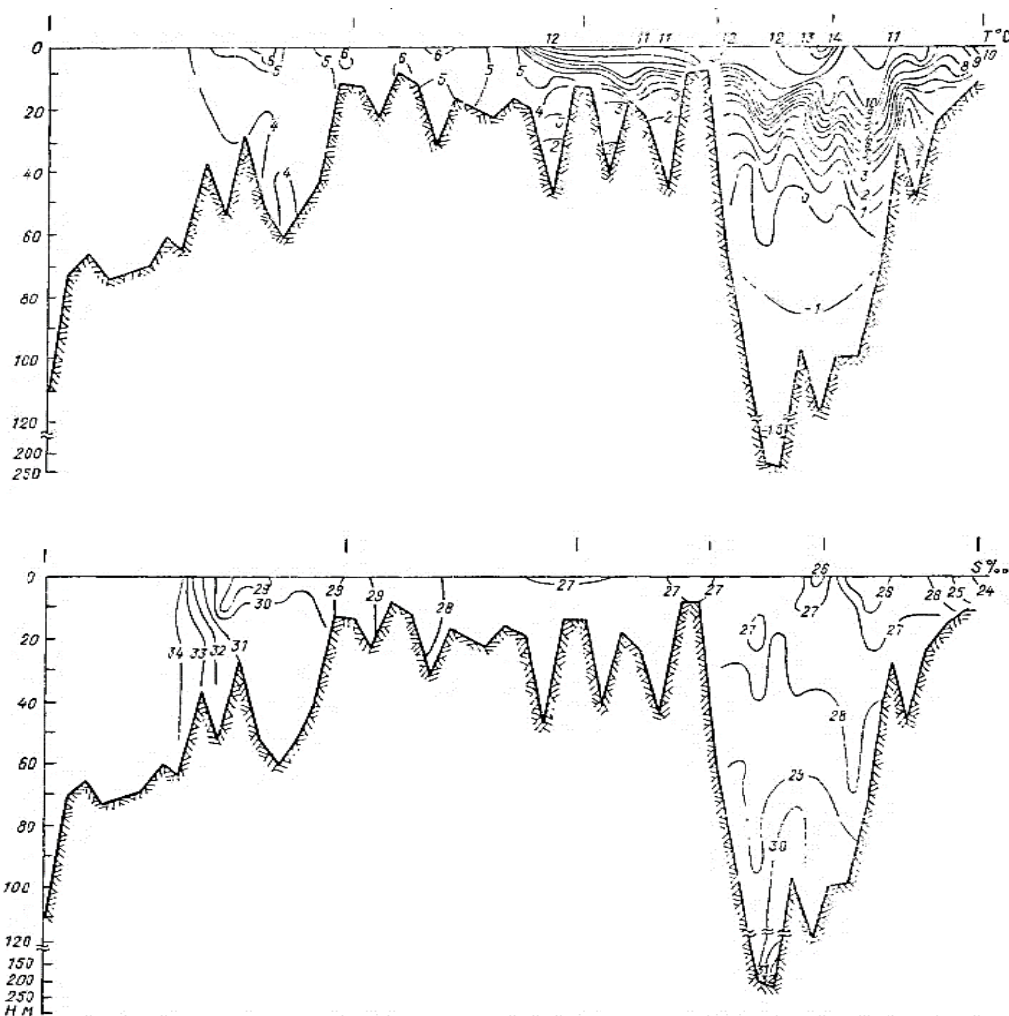


Рисунок 1.2. Распределения температуры и солёности воды в разрезе от мыса Святой нос до Кандалакши[1].

Максимум подъёма воды, который приносит приливная волна, достигает 9 м в Мезенском заливе. В Бассейне средняя величина приливов составляет 2–3 м [52]. Также следует отметить особенность влияния на гидрологический режим - обильный сток рек, к крупным относятся Северная Двина, Мезень, Онега и др. Примерно 60 % поступления речной воды в море приходится на реку Северная Двина [39].

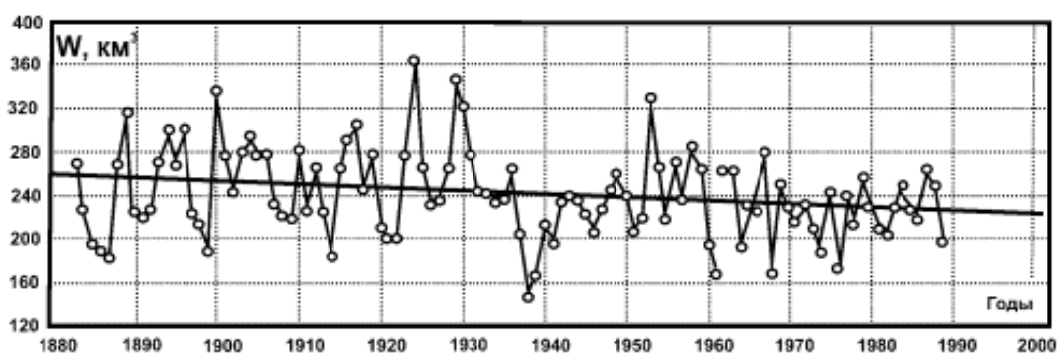


Рисунок 1.3. Динамика речного стока Белого моря и линейный тренд за период с 1882 по 1988 гг. [53]

Рассматривая рисунок 1.3, можно заметить, что максимумы речного стока наблюдались в 1900, 1924, 1929 и 1952 и оставляли от 320 до 360 км³, а минимумы с 1885 - 1887, в 1899, 1914, 1937 и составляли от 150 до 200 км³. Также следует отметить. Что за весь рассматриваемый период пресноводный сток уменьшился на 29 км³. Однако, величина тренда не выходила за пределы среднеквадратического отклонения (40,2 км³) от нормы [53].

1.4 Современные климатические условия

Белое море принадлежит бассейну Северного Ледовитого океана, что влияет на формирование его климата. Море является внутренним, поэтому процессы, происходящие на суше, также влияют на климат моря. Район моря находится в атлантико-арктической зоне умеренного пояса. Непостоянство погоды на Белом море обусловлена интенсивной циклонической деятельностью, которая иногда проявляется даже в течении суток.

Зимой сильное влияние оказывает Атлантический океан, а летом – материк. Влияние Северного Ледовитого океана эпизодическое. Для Белого моря характерно наличие плавучих льдов, и сплошной ледовый покров в бухтах. Важный показатель имеет облачность, поскольку в Беломорском районе облачность задерживает до 80% солнечной радиации. Среднегодовое

число пасмурных дней составляет от 165 дней (в южной части) до 172 (в северной части) [44].

Самым холодным месяцем над акваторией является февраль, его средняя температура – -12°C . А на береговой линии Двинского залива наблюдалась температура -14°C . Летом происходит воздействие холодных воздушных масс, которые сопровождаются пасмурной погодой с сильными ветрами и частыми дождями, средняя температура воздуха на фоне такой погоды достигает от 8 до 12°C . Самым жарким является август, где температура может доходить до 14 – 15°C .

Как видно из рисунка 1.4 максимум температуры воздуха на 1977г. приходится на июль и составляет 12°C на всех проводимых измерениях. Минимум температур для всех районов наблюдается в январе-феврале – -17°C . Небольшое повышение температуры в ноябре связано с ростом циклонической активности.

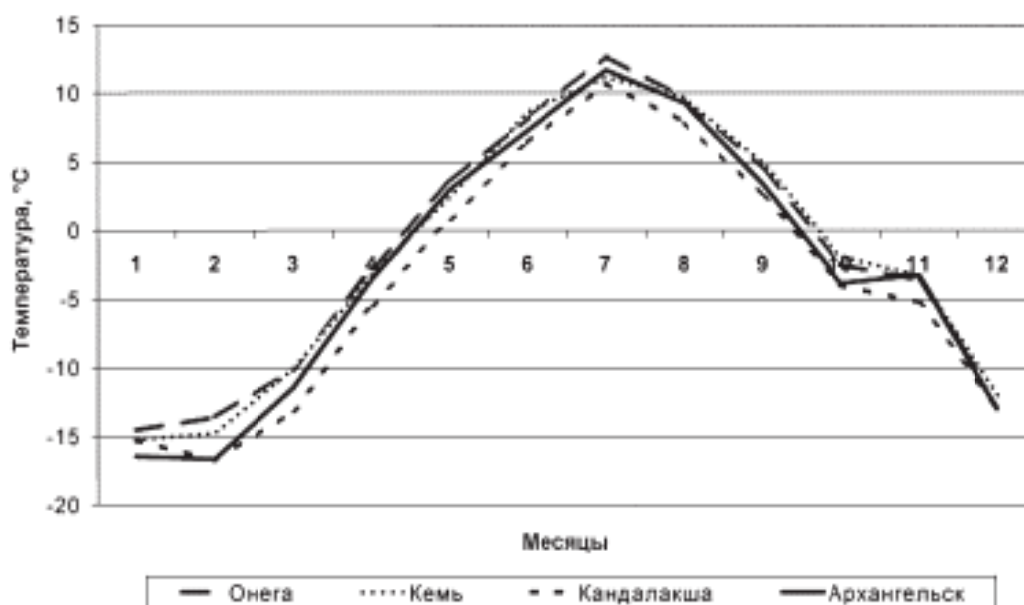


Рисунок 1.4. Среднемесячная температура воздуха за 1977 г (измерения проводились в городах Онега, Кемь, Кандалакша, Архангельск) [44]

1.5 Промышленное освоение

Белое море обладает крупными природными ресурсами и рыбным промыслом. Архангельская область богата значительными запасами известняков, доломитов, цементного сырья, марганца, медных руд и т.д. В Республике Карелии расположено более 50 видов полезных ископаемых: железная руда, никель, благородные металлы, алмазы и др. Мурманская область знаменита дерево добывающей промышленностью, крупными запасами горно-химического, медно-никелевого и железорудного сырья. Также через Белое море осуществляется транспортировка природного газа с одного из самых крупнейших газоконденсатных месторождений в мире (Штокмановского месторождения). На рисунке 1.5 показана схема размещения полезных ископаемых в субъектах Российской Федерации, входящих в водосбор Белого моря. И конечно, Белое море славится своим промыслом – навагой, треской, беломорский сельдь и семга. Все это пользование благами акватории и примыкающей к ней территории должно подкреплять за собой правила и рекомендации рационального использования и охраны моря. Для оценки состояния моря и его водосбора должны внедряться новые современные средства изучения, такие как дистанционные, а также моделирование в сочетании с наблюдательными экспериментами.

В беломорском регионе находится большое количество судостроительных предприятий, вносящих свою антропогенную нагрузку на воды Белого моря. Известно и о расположениях крупных портов – Кандалакша, Мезень, Архангельск, Онега, Беломорск, Кемь, Витино.



Рисунок 1.5. Схема размещения полезных ископаемых в субъектах Российской Федерации, входящих в водосбор Белого моря.

2. Биоценозы Белого моря

Особенно хорошо изучены закономерности распределения биоценозов в прибрежных акваториях Белого моря. Однако, есть организмы межгодовая динамика которых практически не исследована, например, структуры обычных беломорских биоценозов, такие как *Arctica islandica* (океанический венус—двустворчатый моллюск). Двустворчатые моллюски *A. islandica* относятся к массовым представителям инфауны Белого моря и часто доминируют в биоценозах мягких грунтов верхней сублиторали. Они являются объектом питания рыб и даже промысла отличаются большой выносливостью к дефициту кислорода и присутствию сероводорода [39].

В составе биоценоза отмечено более 40 видов беспозвоночных при полном отсутствии макрофитов. Основу биоценоза составили двустворчатые моллюски (90% общей биомассы). причем на долю доминирующего вида приходится в среднем 85% биомассы и 12% численности. [7]

Межгодовое смещение величины суммарной биомассы биоценоза составляет всего 5% и обусловлено главным образом статистически недостоверным увеличением средней биомассы доминирующего вида с 640 до 700 г/м. Общая численность животных возросла на 50 %, что связано с очевидным изменением численности многощетинковых червей и офиур.

Была создана карта донных биоценозов центральной части Белого моря на основе собранных материалов. Определено количество донных беспозвоночных, а также подсчитано и взвешено. Для каждой станции были составлены списки животных, которые встречались, и их биомассы были расположены в порядке убывания. Обычно первые 5 – 6 видов составляют более 80% от общей биомассы всех животных на станции. Эти виды называются значимыми по биомассе, и в дальнейшем сравнение станций по их населению проводилось главным образом по таким видам. Рисунок 2.1 показывает карту донных биоценозов центральной части Белого моря.

В центральной части исследуемого района, в тектоническом желобе, располагается портландиевая зона, состоящая из единственного биоценоза *Portlandiaarctica*[60]. В данной зоне распространены двустворчатые моллюски, а именно такие виды, как *Portlandiaarctica* и *Nuculanapernula*, а также сходный состав сопутствующих видов: *Leionuculabelottii*, *Tharixmarioni*, *Cylichnaoccultai* др. (табл. 2.1)

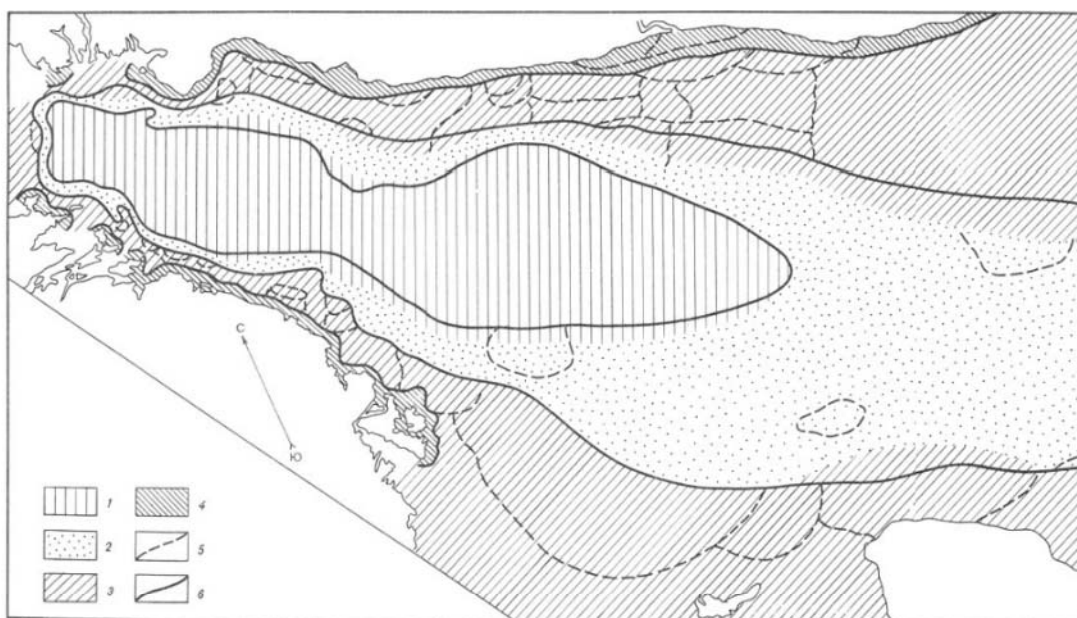


Рисунок 2.1. Карта распределения фаунистических зон. 1 – портландиевая зона, 2 – переходный горизонт, 3 – астартидно-полихетная зона, 4 – зона мелководий, 5 – границы биоценозов, 6 – границы водных масс.

Таблица 2.1 Состав и структура портландиевой зоны

Виды	Плотность, экз/м ²	Биомасса, г/м ²	Встречаемость, %
<i>Portlandia arctica</i>	112	19,70	100,0
<i>Nuculana pernula</i>	19	5,66	97,0
<i>Pectinaria hyperborea</i>	4,6	0,63	37,0
<i>Nucula tenuis</i>	3,1	0,28	40,0
<i>Ophiacanta bidentata</i>	0,5	0,21	20,0
<i>Tharix marioni</i>	15	0,20	73,0
<i>Thiasira gouldi</i>	9,5	0,13	67,0
<i>Prionospio cirrifer</i>	23	0,10	93,0
<i>Chaetoderma nitidulum</i>	0,8	0,09	47,0
<i>Scoloplos armiger</i>	9,5	0,08	73,0

Примечание. Число станций – 41, средняя плотность – 260 экз/м², средняя биомасса – 33 г/м², всего видов – 83.

На склонах желоба располагается астартидно-полихетная зона. На этой зоне часто встречаются такие виды двустворчатые моллюсков, как *Elliptica elliptica*, *Nicania montagui*, *Nuculana pernula*, *Yoldia mygdalea hyperborea*, и полихеты, такие как *Galathea oculata*, *Lumbrineris fragilis*, *Laonice cirrata*, *Pectinaria hyperborea* (табл. 2.2) [60].

Таблица 2.2 Состав и структура астартидно-полихетной зоны

Виды	Плотность, экз/м ²	Биомасса, г/м ²	Встречаемость, %
<i>Elliptica elliptica</i>	12	6,61	45,0
<i>Nicania montagui</i>	30	5,40	78,8
<i>Lumbrineris fragilis</i>	13	1,87	95,0
<i>Laonice cirrata</i>	17	1,76	81,2
<i>Galathea oculata</i>	162	1,65	86,2
<i>Nuculana pernula</i>	41	1,28	95,0
<i>Pectinaria hyperborea</i>	10	1,03	56,2
<i>Ophiacanta bidentata</i>	3	0,99	57,5
<i>Lepeta coeca</i>	9	0,89	42,5
<i>Ophiura robusta</i>	20	0,55	33,8

Примечание. Число станций – 81, средняя плотность – 548 экз/м², средняя биомасса – 38 г/м², всего видов – 169.

Между портландиевой и астартидно-полихетной зонами располагается переходный горизонт, в котором в большом количестве встречаются двустворчатые моллюски видов *Nuculana pernula*, *Ophiacanta bidentata* и *Lepetacoeca* [60]. На рисунке 2.1 можно увидеть, как распределяется данная зона в Белом море (Кандалакшский залив), чем ближе к береговой зоне вглубь Кандалакшского залива, тем уже зона распространения. Свою силу набирает, отдаляясь от береговой зоны, двигаясь в сторону Бассейна (табл. 2.3) [60].

Таблица 2.3 Состав и структура переходного горизонта

Виды	Плотность, экз/м ²	Биомасса, г/м ²	Встречаемость, %
<i>Nuculana pernula</i>	35	8,11	100,0
<i>Portlandia arctica</i>	22	3,26	78,9
<i>Pectinaria hyperborea</i>	3	0,53	31,6
<i>Ophiacanta bidentata</i>	1,5	0,41	42,1
<i>Galathowenia oculata</i>	41	0,38	94,7
<i>Laonice cirrata</i>	5	0,38	68,4
<i>Elliptica elliptica</i>	0,9	0,37	26,3
<i>Lumbrinereis fragilis</i>	5	0,28	73,7
<i>Maldane sarsi</i>	13	0,27	81,6
<i>Lepeta coeca</i>	2,6	0,26	7,9

П р и м е ч а н и е. Число станций – 38, средняя плотность – 230 экз/м², средняя биомасса – 20 г/м², всего видов – 94.

В зоне мелководий можно встретить различные виды, такие как *Balanus balanus*, *Modiolus modiolus*, *Arctica islandica*, *Serripes groenlandicus*, *Ciliatocardium ciliatum* и другие. На каждой станции можно наблюдать доминирование разных видов. Таблица 2.4 содержит среднюю характеристику зоны мелководий [60].

Таблица 2.4 Состав и структура зоны мелководий

Виды	Плотность, экз/м ²	Биомасса, г/м ²	Встречаемость, %
<i>Balanus balanus</i>	7	19,76	50,0
<i>Ophiopholis aculeata</i>	36	12,37	72,2
<i>Chlamis islandicus</i>	0,8	10,79	11,1
<i>Arctica islandica</i>	0,9	8,06	27,8
<i>Hemithyris psittacea</i>	12	6,00	61,1
<i>Ciliatocardium ciliatum</i>	2	5,88	27,8
<i>Elliptica elliptica</i>	13	5,79	33,3
<i>Ophiura robusta</i>	245	4,88	94,4
<i>Modiolus modiolus</i>	1,3	4,02	5,5
<i>Macoma calcarea</i>	14	2,68	66,7

П р и м е ч а н и е. Число станций – 18, средняя плотность – 846 экз/м², средняя биомасса – 94 г/м², всего видов – 151.

2.1 Характеристика ихтиофауны и промыслового рыболовства

Беломорская сельдь (*Clupea pallasimaris-albi Berg*) долгое время занимала одно из наиболее важных мест в вопросе рыбного промысла Белого моря. Ее внутривидовая структура обсуждалась в течение многих лет. Миграция обусловлена распределением кормовой основы в период нагула. Летом основным местом обитания, где происходит откормка сельди, является Бассейн, затем мигрирует зимовать в Кандалакшский залив и губу Чупа [46]. Вторая

миграция, которая приходится на октябрь месяц, происходит вблизи Соловецкой Салмы. В ноябре достигает вод в Сорокской губе, остаётся на все месяцы зимы. С наступлением биологической весны сельдь покидает места зимовки и направляется ближе к нерестилищам. Половой зрелости беломорская сельдь достигает к 2–4 годам жизни. Плодовитость варьируется от 12 до 60 тыс. икринок [47]. Откладывает икринки сельдь на литоральные и сублиторальные бурые водоросли – фукоиды.

В разных районах Белого моря нерест происходит в разное время. В Кандалакшском заливе в апреле-мае, когда море еще покрывает ледяной покров, температура воды около 0°C . В этот период происходит нерест мелких рыб (10 – 20 см в длину). Нерест сельди, имеющей длину 20 – 30 см, происходит тогда, когда температура воды достигает $5 - 12^{\circ}\text{C}$. Сельдь, обитающая в Онежском заливе, нерестится ближе к лету – в мае-июне, когда температура достигает $4-5^{\circ}\text{C}$. В Мезенском заливе нерест происходит также в мае-июне, когда температура воды составляет $4 - 12^{\circ}\text{C}$ [48].

Навага *Eleginusnavaga* (Pall.) — это одна из наиболее распространенных промысловых рыб в Белом море. Ее можно найти в разных частях акватории, но она наиболее распространена в крупных заливах Белого моря, а также в Воронке, где она руководствуется поиском мелководных, но обширных зон для откорма. Навага предпочитает неглубокие прибрежные районы и ведет придонный образ жизни, не совершая дальних миграций[49]. Навага в возрасте 2-4 года составляет основу популяции в Онежском и Двинском заливе. В этих районах средняя масса рыб составляет 60-95 г, а длина варьируется от 18 до 24 см. Возраст рыб, которые обычно составляют основу уловов в Мезенском заливе и Воронке, составляет от 2 до 5 лет, а их средняя длина варьируется от 21 до 25 см, а масса от 65 до 115 г [46]. Живет навага при хороших условиях обитания до 15 лет, длина колеблется от 30 до 40 см, а иногда достигают 50 см, средняя масса – 700-800 г.

Нерест происходит в середине января и продолжается до середины февраля. Предпочитает прибрежные не глубокие районы на глубине 10–15 м. Опасным

для развития личинок наваги являются резкие повышения температуры воды (примерно больше 6 °C), благоприятные условия развития икринок – низкая температура, когда еще на море есть ледяной покров. Навага выбирает для нереста прибрежные районы Мезенского залива, Двинского и Онежского [39].

Семга, также известная как атлантический лосось *Salmosalar L.*, также невозможно оставить без внимания, поскольку она относится к традиционным элементам рыбной промышленности в Белом море, особенно в северной России. Она мигрирует для нереста во многие реки беломорского бассейна, включая Северную Двину, Мезень, Варзугу, Онегу, Кереть, Колвицу и другие, причем, следует отметить, что Северная Двина и ее притоки являются наиболее значимыми местами для нереста семги. Основой кормовой базы являются мелкие рыбы, крупные ракообразные и моллюски. Семга мечет икру при температуре от 0 до 6°C [45].

Треска *Gadusmorhua L.* является одним из основных объектов рыбных промыслов в Белом море, хоть и имеет не такое интенсивное вылавливание, как семга и сельдь. Она обитает в теплых водах Кандалакши, часто встречается в Онежском заливе. Но тем не менее она играет важную роль в беломорских экосистемах, а также является источником пищи для местного населения. Она не встречается в Двинской и большей части Онежского залива [50]. Летом мурманская треска заходит в Мезенский залив и Воронку, а зимой она откочевывает обратно в Баренцево море. Нерест происходит в прибрежных районе Кандалакшского залива, а также в северной части Онежского залива. Он начинается в марте подо льдом при температуре от -1.6° до -1.4°C и продолжается до конца мая, когда температура воды возрастает до 0.4°C [39]

2.2 Характеристика зоопланктонных и бентосных сообществ

Бактериобентос – это организмы, которые обитают на дне водоемов. Бактериопланктон – это организмы, обитающие в толще воды они составляют важный структурный элемент моря. Планктон является кормовой базой для

различных обитателей водоема, занимает важное место в балансе вещества и энергии.

Первые исследования о беломорском бактериопланктоне были проведены в 1977г. во время анализа активности бактерий, обеспечивающих очищение воды [57]. Но уже конкретные данные и исследования начали накапливаться с начала 1980-х годов, когда был основной ориентир на детальное исследование отдельных видов [15]. Н.М.Книповичем было положено начало изучение бентических организмов с уклоном на исследования факторов их среды обитания. Исследования в 60-70 годах дали нам представления о механизмах адаптации литоральных организмов к адаптации колебаний факторов среды[15, 16].

В результате проведенных исследований в Кандалакшском заливе удалось выяснить размер бактериопланктона, обитающих в Белом море, он составляет в пределах 0.18–0.26 мкм³ (в губе Чупа) [11]. БОльшого объема бактериопланктона удалось отметить в проливе Великая Салма - 0.62 мкм³, что в практически в 2,5 раза больше, чем фиксировалось в губе Чупа[12]. Исследования касающиеся сезонных изменений количества бактериопланктона проводились в 1995 году, и выяснили, что в летний период плотность бактерий в толще воды составляет в среднем около 0.9–1.2 млн. клеток в 1 мл [13]. Наибольшая концентрация планктонных бактерий наблюдалось в прибрежных районах. По мере отдаления от прибрежной зоны в открытую часть залива концентрация снижалась. Осенью максимум общей концентрации приходится на приповерхностный слой и уменьшение плотности при отдалении от береговой линии в открытую часть моря. Общая плотность составляет 1 млн клеток в 1 мл воды.

Влияние обилия бактериопланктона в осенний период связано с изменением водных масс во время приливов и отливов, к сожалению, корреляция с изменением солености и температуры отсутствует. Максимальное развитие бактериопланктона обычно наблюдается в поверхностном слое воды, на глубине до 2 метров, где происходит максимальное развитие фитопланктона

[13 –14]. Изменения численности и биомассы показывают, что отмершие клетки фитопланктона, образующие детрит, служат субстратом для массового развития бактерий. Прибрежные районы моря содержат большую плотность планктонных бактерий, а также более высокие показатели биомассы и продуктивности, чем открытые части моря (табл. 2.5). Исследования в районе Сон-острова (Кандалакшский залив) показали, что продукция бактериопланктона была наибольшей в июле-сентябре (340-400 мг/м³ в сутки), и не опускалась ниже 58-70 мг/м³ в сутки в другие сезоны. Суточная продукция планктонных бактерий варьировала в течение исследованного периода от 5.8 до 40.0 мг С /м³. (табл. 2.6)[21, 26].

Таблица 2.5 Характеристики летнего бактериального планктона в проливе Великая Салма в слое 0–15м [15–17]

**Характеристики летнего бактериопланктона
Кандалакшского залива в слое 0–15м**
(по: Галкина, 1985; Галкина и др., 1988; Галкина, Кулаковский 1993)

Район исследования	Плотность, 10 ⁶ кл./мл	Биомасса, мг/м ³	Суточная продукция, мг/м ³
<i>Открытые участки моря: на выходе из губы Чупа вблизи Сон-острова</i>	1.1 0.30	190 26	220 30
<i>Прибрежные участки: мыс Картеш Сон-остров Оборина Салма</i>	0.34–1.97 0.22–0.47 0.50–0.80	128 260 126	140 380 325

Таблица 2.6 Изменения продукции бактериопланктона в районе Сон-острова [16]

Месяц	Суточная продукция, мг С/м ³
Апрель	5.8 ± 2.4
Июнь	8.3 ± 3.5
Июль	40.0 ± 10.7
Август	34.0 ± 9.0
Сентябрь	40 ± 6.0
Октябрь	7.0 ± 5.0

На основе радиоуглеродных данных рассчитана среднегодовая бактериальная продуктивность в прибрежных и открытых зонах трех Кандалакшских заливов Белого моря (залив Чупа, Сальминский пролив Оборина и акватория у острова Сон). Оказалось, что он равен 4,5 г С/м³, что эквивалентно *45 ккал/м³.

Бактериопланктон также является важной частью рациона не только планктонных, но и многих грунтовых животных: двустворчатых моллюсков, губок, гидроидов, аппендикулярных гидроидов, полихет, асцидий и даже личинок рыб[20–23]. Для питания животных, сконцентрированных в Белом море, данной концентрации достаточно – от 0,5 – 2 г сырой биомассы на 1 м³ в устройствах тонкой фильтрации (ракообразные, губки, сабеллиды, аппендикулярии) до 3-4 г / м³ в устройствах грубой фильтрации, которые способны отфильтровывать бактерии в основном за счет скоплений. К таковым относятся асцидии, моллюски с веслоногими ногами, эвфаузиды, гидроиды и моллюски. Такие концентрации бактериопланктона характерны для мезотрофных и эвтрофных водоемов, а в олиготрофных районах океана они встречаются в зонах с максимальной плотностью бактериального планктона [21].

До исследований, проведенных в 1992 году, считалось, что разнообразие фитопланктона в Белом море значительно уступает Баренцевому. Сейчас же доказано обратное – видовой состав фитопланктона достаточно разнообразен, что можно проследить в таблице 2.7[18].

Таблица 2.7 Сравнение состава планктонной флоры Баренцева и Белого морей [14]

Показатель	Весь состав фитопланктона	Диатомовые
<i>Количество видов:</i>		
общих	184	104
только баренцевоморских	49	16
только беломорских	107	61
<i>Индекс сходства:</i>		
Жаккара	0.54	0.58
Сьеренсена	0.70	0.73

6

Можно отметить, что в Белом море важнейшее звено в микрофлоре Белого моря – это диатомовые водоросли.

Для сезонного показателя предложили использовать отношение величин обилия фито- и зоопланктона [58]. В биологическую весну фитопланктон по численности и биомассе значительно превосходит зоопланктон, этот показатель достигает максимальных значений, существенно (на 1-2 порядка) превышающих единицу. В течение биологического лета этот сезонный показатель приближается к единице и остается на этом уровне в течение осени. В период зимы концентрация планктона низкая, что является естественным процессом, но стоит отметить, что численность зоопланктона на порядок выше. В результате сезонное число меньше единицы. Развитие беломорского фитопланктона начинается с периода таяния льда и снега, повышения освещенности, и высокогосодержания биогенных элементов. Основную массу фитопланктона в это время составляют диатомовые и жгутиковые. Доминирующий вид – *Fragillaria oceanica* [39]. В начале лета, когда наступает фаза снижения биогенных веществ и повышается температура воды, количество фитопланктона снижается, это обусловлено недостатком минеральных соединений азота. В следствие этого из его состава исчезают многие диатомовые микроводоросли и развивается новый комплекс растений,

где в основном преобладает вид золотистых водорослей *Dinobryonpallidum*[39].

Преимущественно в начале-середине лета в третьем комплексе видов фитопланктона преобладают диатомовые водоросли *Skeletonema costatum* и виды рода *Chaetoceros*, с количеством до 1-2 миллионов клеток/л. Массовое развитие приходится на начало-середину лета. [22].

Снижение концентрации фитопланктонного происходит в начале биологической осени (середина августа), когда в Белом море развивается новый планктонный водорослевый комплекс – динофлагелляты (*Ceratium fusus*), а затем диатомовые водоросли (*Skeletonema costatum*).

Вегетационный период фитопланктона заканчивается в конце октября, общая его масса существенно снижается, а фотосинтетическая активность уменьшается практически до нуля. В этот момент в воде присутствуют только массовые виды динофлагеллят, а диатомовые водоросли почти полностью исчезают. В этих условиях роль гетеротрофного компонента резко возрастает. В зимние месяцы, при низких температурах и высокой концентрации биогенных элементов, в планктоне преобладают быстро размножающиеся мелкие водоросли *Fragillaria oceanica* и *Nitzschia frigida*, а также роды *Navicula* и *Thalassiosira*[39].

В целом, сезонные изменения численности фитопланктона обычно носят характер кривой с двумя пиками, хотя в некоторые годы может наблюдаться один или три пика развития микроводорослей. Также производство фитопланктона зависит от сезона и колеблется в очень значительных пределах в течение года: весной оно варьируется от 800 до 850 мг/м², а поздней осенью и в начале зимы падает почти до нуля. В то же время максимумы производства фитопланктона в разные годы и в разных точках акватории различаются по количеству, амплитуде отклонений от среднего уровня и их срокам (рис. 2.2)

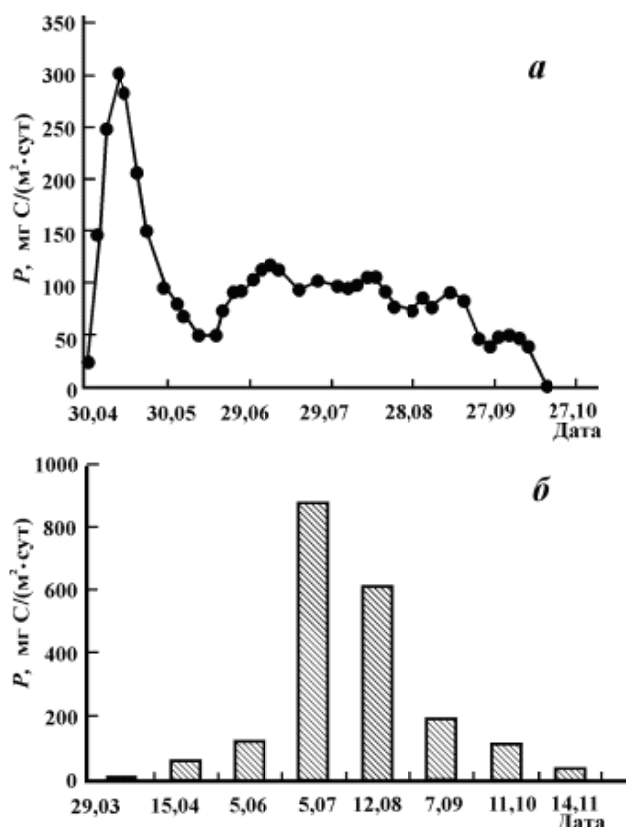


Рисунок 2.2.Сезонная динамика первичной продукции планктона [14]а) пролив Великая Салма, 1970 г.; б) Губа Чупа, 1987 г.

Видовой разнообразие зоопланктона значительно скуднее состава Баренцева моря, как показали исследования прошлого столетия. Однако, наибольшее его скопление фиксируется в Кандалакшском заливе, а меньше всего в Горле и Мезенском заливе. Исследования, проводимые для познания зоопланктона в Белом море, имели лишь общий характер на протяжении многих лет. Сначала ученых привлекала перспектива узнать о качественном составе планктона, такие исследования впервые были выполнены вблизи Соловецких островов на Соловецкой биологической станции русским зоологом Н.П. Вагнером и ученым Д.Д. Педашенко. Ученые получили большой материал, содержащий состав зоопланктона и сведения о его сезонных изменениях. Далее другими исследователями были получены данные, которые давали примерное представление количества зоопланктона в отдельных районах данного моря, также его распределение и жизненный цикл. Начиная с 1960-х годов мы имеем больше данных: большую часть биомассы зоопланктона

составляют *Copepoda*, в различных источниках сообщают о примерно 35 видов, они являются источником пищи для рыб, медуз и гребневиков [39].

Всего фиксируется 81 вид зоопланктона в Белом море (многоклеточного-метазойного). В большинстве своем преобладают ракообразные, их насчитывают 44 вида, где в основном превалируют веслоногие рачки копеподы (25 видов), также книдарии или стрекающие по подсчетам составляют 21 вид, далее отмечено 6 гребневиков и 4 коловраток, также 2 крылоногих моллюсков и 3 вида аппендикулярий. это).

Что касается динамики развития зоопланктона, были проведены круглогодичные исследования различными учеными и показали, что динамика развития меняется в зависимости от температуры воды. Преимущественно изменения в численности носят полициклический характер, пик происходит в июле и августе. На рисунке 2.3 можно рассмотреть пример того, если наблюдается очень теплый год, здесь первый пик численности приходится в начале июня, а второй в сентябре. Если сезон выдался холодным, то наращивание концентрации зоопланктона происходит медленно, а максимум достигается в августе лишь единожды за год.

Анализируя рисунок 2.4, можно заметить значительные межгодовые колебания с выраженными максимумами и минимумами плотности зоопланктона. Максимум плотности приходились на 1964, 1985, 1988-1991 и составляли от 10 000 экз/м³. Наблюдались и небольшие скопления в разные годы, но в целом за весь рассматриваемый период по полиномиальному тренду среднегодовые показатели не имеют практически никаких изменений.

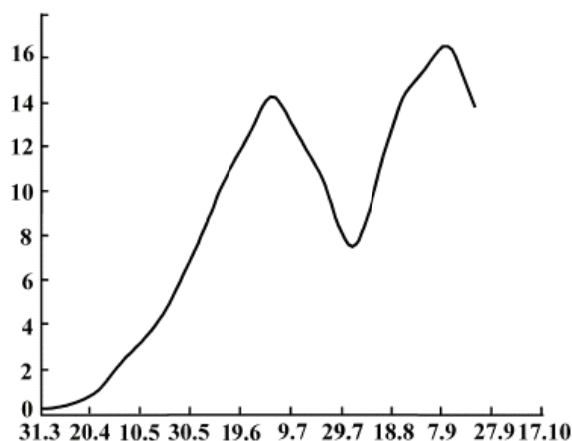


Рисунок 2.3.Сезонная динамика первичной продукции планктона [14]а)
пролив Великая Салма, 1970 г.; б) Губа Чупа, 1987 г.

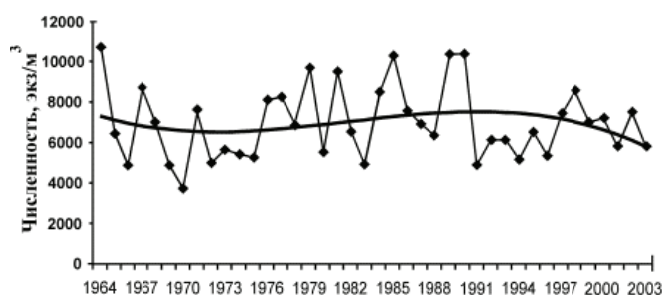


Рисунок 2.4.Многолетние изменения средних за лето значений численности
зоопланктона (с июля по сентябрь) в устьевой части губы Чупа [39]. Жирной
линией обозначен полиномиальный тренд третьей степени.

Также известно, что концентрация зоопланктона с глубиной уменьшается и в различных акваториях Белого моря концентрация также будет разной. Исследования, проводившиеся с целью изучения сезонной динамики зоопланктона в пределах Кандалакшского залива, показали, что средняя биомасса зоопланктона в летнее время на поверхности до 10 метров в глубину составляла 356 мг/м^3 [39]. А на глубине уже от 100 до 300 м она составляла уже 115 мг/м^3 [23].

К сожалению, изучение зоопланктона проводилось лишь в некоторых районах Белого моря, поэтому можно отметить, что наибольшее скопление зоопланктона отмечается в заливах, губах, вблизи островов и в прибрежных

зонах, в открытой же части (Бассейне и отдаленных районах заливов) концентрация значительно меньше[24]. Но этот итог ограничивается недостаточными исследованиям в отдаленных от побережья районах Белого моря.

На рисунке 2.5 показана плотность и биомасса бактериобентоса и, как можно заметить, показатели обилия в Белом море - высоки. В открытой части моря показатели колеблется от 100-3000, что выше показателей в Норвежском и Гренландском морях. Прибрежье можно сравнить с плотностью бактериобентоса Баренцевого моря.

Район	Плотность, млн. кл./ г сырого грунта	Биомасса, мг/см ² /м ²
<i>Норвежское море:</i>		
у берега	40-5000	11000
открытая часть	100-1000	400-10000
<i>Гренландское море:</i>		
центр	100-4000	200-10000
<i>Баренцево море:</i>		
северная часть	83-569	5000
восточная часть	100-500	400-10000
прибрежье	1000-5000	800-15000
<i>Белое море:</i>		
открытая часть	100-3000	400-10000
прибрежье	340-5000	600-12000
<i>Карское море:</i>		
прибрежье	86-3046	—

Рисунок 2.5. Плотность и биомасса бактериобентоса в поверхностном слое донных отложений северных морей [39]

2.3 Характеристика распределения высшей водной растительности

Макрофиты Белого моря разнообразны и обильны, зона их обитания приходится на слой глубины до 40 метров. Максимальное разнообразие и плотность видовой разнообразия и концентрации располагается на глубине до 15 метров. На глубине до 35 метров встречаются водоросли *Coccolithus truncatus*, *Phaeodactylum rubens* др. Морские травы (*Zostera marina*), которые обитают на грунтах от нижней литорали до глубины 5 метров, в Белом море располагаются в основном в эстуарных районах (Двинский залив, Онежский, Кандалакшский). Биомасса *Zostera marina* колеблется от 40- 415 г/м² (сухая масса). Плотность – 6656

побегов/м², продукция колеблется от 0.2 до 8 г С/м²[54]. Благодаря скоплению *Zosteramarina* на мелководьях снижается гидродинамическая активность и прогревается вода, что является благоприятными условиями для созревания икры, прежде всего, множества видов рыб и нагула их молоди. Больше всего такие условия привлекают беломорскую сельдь, поскольку его листья служат основным нерестовым субстратом. К сожалению, взморник практически весь исчез из-за инфекционной болезни в 1960 году, что привело к существенному снижению вылова рыбы. Но также следует отметить, что в 60-е был перелов рыб, что также повлияло на снижение численности рыбы.

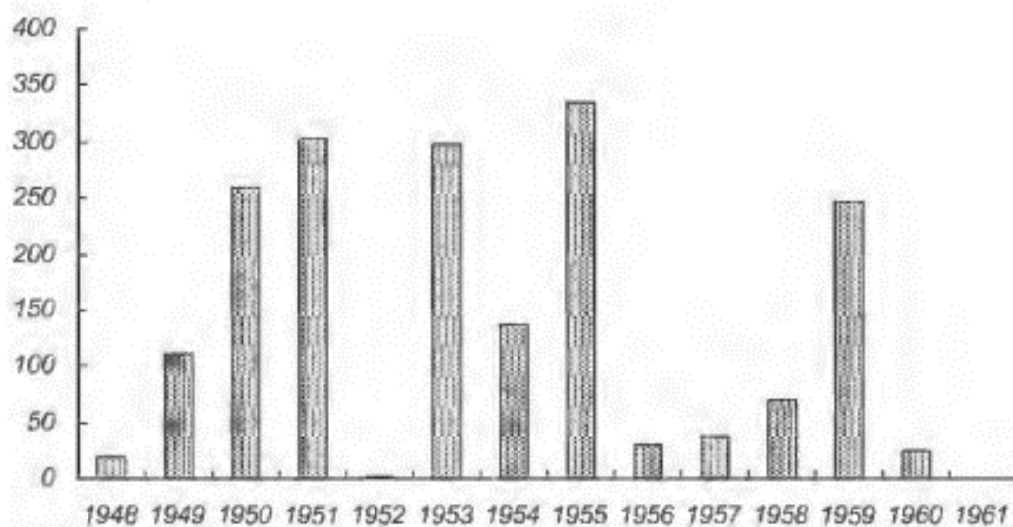


Рисунок 2.6. Динамика добычи взморника *Zosteramarina* в Белом море до эпифитотии 1960-1961 годов. [55]

В Белом море также большую продукционную роль занимают эвгалофиты-солянки – это цветниковые растения, которые в основном обитают в осушенной зоне Белого моря, периодически покрываемые водой при действии приливов. Наиболее распространенные виды в литорали Белого моря – солерос *Salicornia europea*, *S. Pojarkovae* – беломорский эндемик, морская астра – *Aster tripolium*, *Plantago maritima* – морской подорожник, *Glaux maritima* с ярко-розовыми цветами и др.

Море	Число видов	Источник данных
Баренцево	194	А. Зинова, 1962
Белое	133	Е. Зинова, 1929
Белое	134	Зенкевич, 1947
Белое	191	А. Зинова, 1962
Белое	194	Калугина, 1962
Белое	188	Зенкевич, 1963
Белое	183	Возжикская, 1986
Карское	90	Виноградова, 1999
Лаптевых	30	Виноградова, 1999
Восточно-Сибирское	64	Виноградова, 1999
Чукотское	73	Виноградова, 1999
Бофорта	141	Wilce, 2011 (personal comm.)

Рисунок 2.7. Число видов макроводорослей в арктических морях[55]

Вертикальное распределение донной растительности зависит прежде всего от уклона дна и степени прибойности местообитания, а также от глубины проникновения света, что зависит от прозрачности воды. Для Беломорского макрофитобентоса характерна выраженная поясность распределения донной растительности, которая определяется особенностями приливов.

Выше сизигийного прилива (макс) располагается супралиторальная зона. Которая подвергается увлажнению только при нагонных ветрах, брызгами. Эта зона заселена амфибиотными видами. Литоральная зона располагается между линией сизигийных прилива и отлива и является зоной верхней литорали, время осушения которой максимально. Увлажняется за счет брызг. Средняя литораль увлажняется водами Белого моря дважды в сутки. Фукоиды, обитающие на этой зоне, - *Fucus vesiculosus*, а в прибойных местах - *Ascophyllum nodosum*. В нижней литорали обитают *A. Nobosum*, а также *F. Distichus*. В верхней сублиторали присоединяются ламинариевые *Chorda filum* и *Halosiphonia tomentosus*, красные водоросли становятся более разнообразными и обильными. До глубины 2-2 метра продолжают доминировать фукоиды, а дальше обитают в основном ламинариевые водоросли – *Laminaria digitata*, *Saccharina latissima* и др.

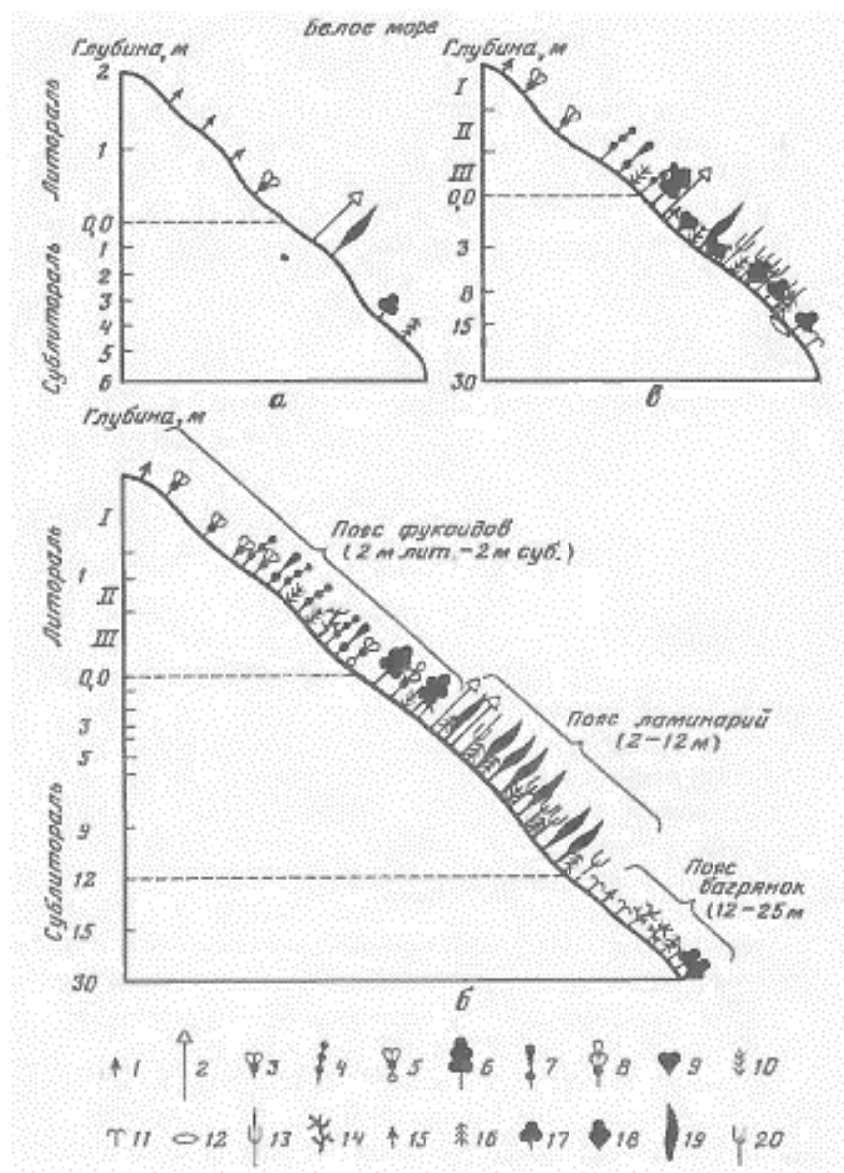


Рисунок 2.8.Вертикальное распределение донной растительности в Кандалакшском заливе, гдеа) кутовые части бухт, б) открытые берега, в) защищенные берега[56]

1 – галофиты, 2 – *Chordafilum*, 3 – *Fucusvesiculosus*, 4 – *Ascophyllumnodosum*, 5 – *F. serratus*, 6 – *Palmariapalmata*, 7 – *Zosteramarina*, 8 – *F. vesiculosusf. giganteus*, 9 – *Corallinaofficinalis*, 10 – *Ahnfeltiapplicata* + *Ptilotaspp.*, 11 – *Coccotylustruncates*, 12 – корковые багрянки, 13 – *Descmatestiaaculeata*, 14 – *Furcellariafasttigata*, 15 – *Cladophorarupestris*, 16 – *Odonthaliadentata* + *Euthoracristata* + *Fimbrifoliumdichotomum*, 17 – *Vetebrataspp.*, 18 – *Devaleraeatamentaea*, 19 – *SaccharinaLatissima*, 20 – *Laminariadigitata*.

3.Изменения интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и Арктикой

Изменение атмосферной циркуляции над Атлантикой в северном полушарии зависит от разницы давлений между Азорским максимумом и

Исландским минимумом. ИМД – это Исландский минимум давления, называемая также Исландской депрессией, характеризуется центром циклонической системой низкого плавения и располагается не далеко от острова Исландия. Период наибольшей активности приходится на зиму и является причиной мягкого климата в западной части Европы. Противоположной стороной Исландского минимумам является Азорский максимум АзМД – это область высокого давления, которая располагается вблизи Азорских островов. От этих двух противоположных давлений сильно зависят районы, прилегающие к ним – Северная Америка и Европа. Показатель, характеризующий степень влияния на близлежащие районы, выражается в гПа и соответствует разности давлений АзМД и ИМД – индекс NAO.Северо-Атлантическое колебание — это разность атмосферного давления на станциях вблизи климатических центров действия, определяемая в среднем за зимние месяцы [36].

В зависимости от положения центров давления будет рассчитываться индекс NAO выделяют также NAO1, NAO2, NAO3 и NAO4. NAO1 – это разность между высоким и низким давлением, среднее значение которых рассчитывается за декабрь, январь и февраль. NAO2 – это разность давления между Лиссабоном и Стиккисхоульмюром. NAO4 – это разность давления между центрами действия атмосферы и разности давления на меридиане, между точками с координатами 45° с.ш., 30° з.д. и 60° с.ш., 30° з.д., соответственно. Все индексы используются для характеристики Северо-Атлантического колебания. На базе четырех индексов разработан обобщающий индекс – NAOоб, он отражает динамику колебаний поля давления, перенос воздушных масс и параметры центров давления [37].

Труды положенные в основу изучения долгосрочных прогнозов в арктических морях, были совершены ученым метеорологом Вангенгеймом А.Ф., где он разработал типизацию для долгосрочных прогнозов. И выделил три основных типа атмосферной циркуляции: западная, восточная и меридиональная.

Изменчивость гидрометеорологического режима соответствует определенному типу циркуляции.

Типизация Б.Л. Дзердзеевского использует данные по всем широтам и долготам северного полушария, не ограничиваясь каким-либо конкретным регионом, и учитывает сезонные изменения атмосферной циркуляции. Эта классификация рассматривает комплексные процессы всего Северного полушария: от полюса до экватора. Таким образом, можно обобщенно оценить ход развития крупномасштабных климатообразующих процессов, включая динамику и взаимодействие между различными центрами действия атмосферы и соответствующими воздушными массами.

3.1 Многолетняя динамика температуры воды и воздуха

В 1970-80-х гг. прошлого века проводилось достаточно много программ по освоению ресурсов Белого моря такие, как «Мировой океан», «Изучение океанов и морей Арктики и Антарктики», «Моря СССР» и др., которые повлекли за собой создание обобщающих монографий и атласов [59]. На основе исследований, которые проводились с 1981 г., можно сделать выводы, что немало труда было вложено в разработку научных основ повышения биопродуктивности моря. Также выяснилось, что Белое море обладает чистой и пригодной для развития марикультуры водой.

Белое море относится к арктическим холодным морям, климатические изменения могут повлечь за собой ряд значительных воздействия на функционирование экосистемы Белого моря. Необходимо провести анализ многолетней динамики температуры воды и воздуха в различных районах Белого моря.

На рисунке 3.1 представлено расположение гидрометеорологических станций наблюдений Белого моря, по которым имеются ряды долговременных наблюдений [32]

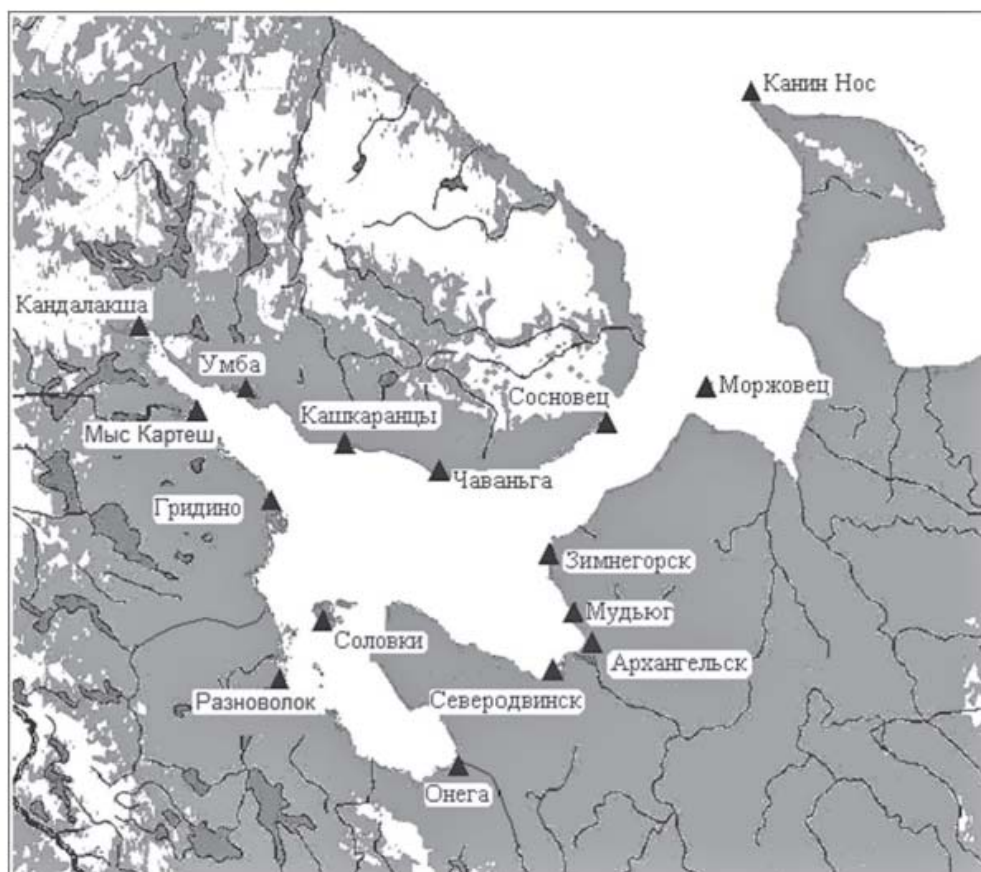


Рисунок 3.1. Расположение гидрометеорологических станций наблюдений
Белого моря[32]

На основе полученных данных были построены графики многолетней динамики среднегодовых значений температуры воздуха [33].

Анализируя рисунок 3.2 – многолетней динамики среднегодовых значений температуры воздуха на станциях Белого моря, можно четко проследить, что на всех станциях наблюдается положительный тренд температуры. У графиков прослеживается ярко выраженный максимум и минимум среднегодовой температуры, так для станциях Архангельск и Кемь-Порт самые низкие значения были в 1903 г. и в начале 1940-х г. и составляли – от $-1,9^{\circ}\text{C}$ до $-2,5^{\circ}\text{C}$. На станции Мезень самые низкие температуры отмечались в конце 60-х годов и составляли свыше -3°C . Резкое понижение температуры отмечалось с 1959 г. по 1965 г. Общее повышение температуры наблюдалось с середины 1960-х годов

по 2022 год – примерно на 3°C. Максимальные значения температуры воздуха в Мезени отмечались в 1967, 1974, 1990, 2007 и 2022 гг. и составляли – от 1°C до свыше 3°C. Общее повышение температуры воздуха со значения 1°C до свыше 3°C произошло на станции Кемь-Порт с начала 1980-х г. по 2022 г. Низкие значения наблюдались в середине 60-х и 80-х годов и составляли – от -1,5°C до -2°C. Максимальные значения температуры воздуха на ст. Кемь-Порт отмечались в 1920, 1939, 1942, 1974, 1989 и с 2010-2022 и составляли – от 3°C до свыше 4°C. В Архангельске максимальная температура воздуха колеблется от 2,5°C до 4°C. тенденция повышения значений температуры воздуха наблюдается 1979 по 2022 год. На ст. Онега имеется общий плавный положительный тренд повышения температуры воздуха с 1886 г. по 2022 г. Максимум значений температуры воздуха колеблется от 3°C до 4, 5°C.

Обобщая анализ данных, тенденция изменения значений температуры воздуха прослеживается на всех рассмотренных станциях Белого моря и имеют общие черты.

Увидев тенденцию повышения температуры воздуха, необходимо проанализировать и исследовать также графики температуры воды Белого моря.

Изменение температуры воды влечет за собой ряд изменений, влияющих на жизнедеятельность и биопродуктивность компонентов экосистемы – планктона, который является основой питания большинства видов рыб, а вследствие и на промысловых рыб.

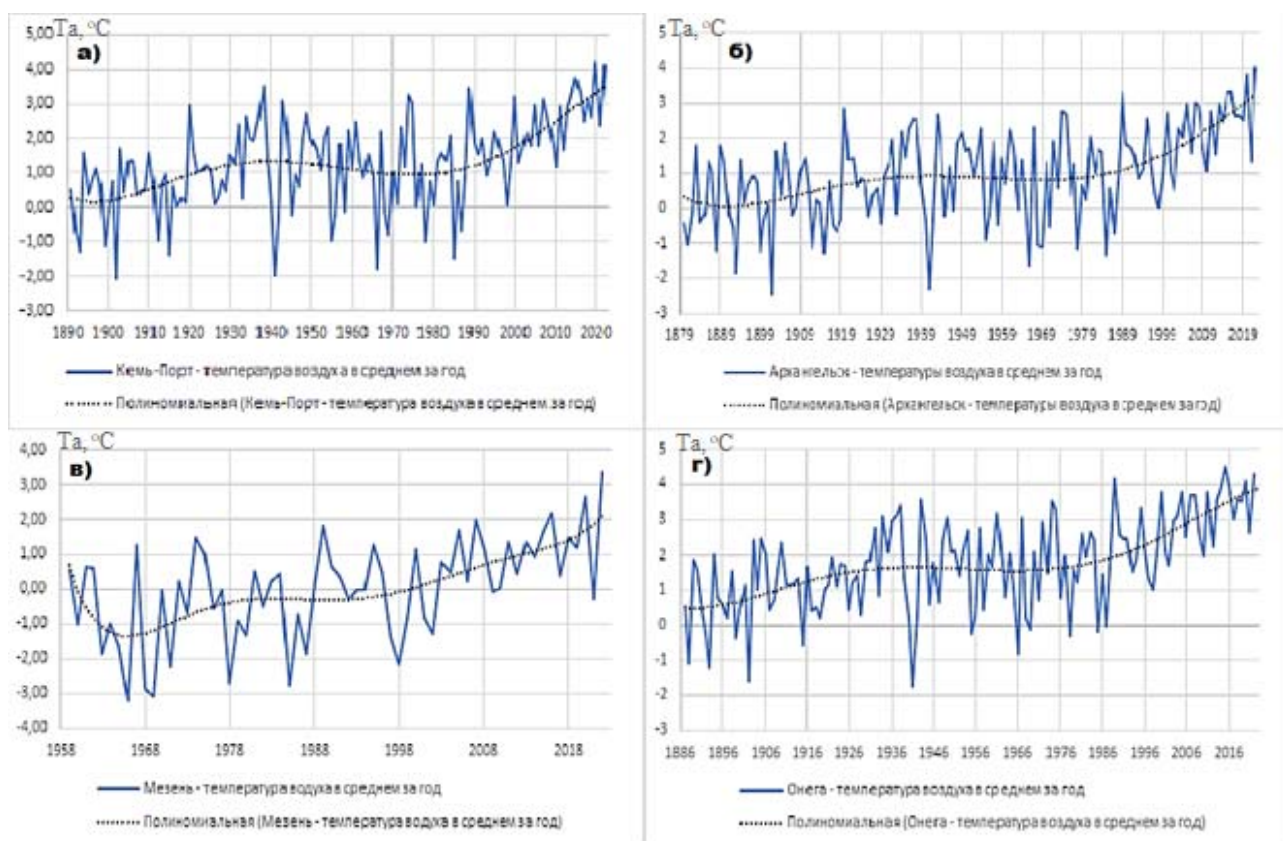


Рисунок 3.2. Многолетняя динамика среднегодовых значений температуры воздуха на береговых станциях Белого моря:
а) Кемь-Порт; б) Архангельск; в) Мезень; г) Онега;

На рисунке 3.3 представлена многолетняя динамика средних за год значений температуры воды в период с 1975 г. по 2005г[33]. На всех графиках можно заметить общее повышение температуры воды. Особенно это хорошо прослеживается на станциях Мудьюг и Северодвинск и Кандалакша. На каждой станции зарегистрирован пик максимума значений температуры воды в 1989 году. На ст. Северодвинск температуры возросла до 5,5 °С, на ст. Мудьюг до 6,5 °С, на ст. Онега практически до 7 °С. На ст. Соловки пик максимума температур пришелся на 1997 год и составил свыше 7 °С. Динамика среднегодовой температуры воды на станциях Сосновец и Чаваньга имеет положительный тренд. Наименее выраженные среднегодовые изменения за рассматриваемый период регистрируются на станциях Умба и Гридино.

Как уже отмечалось, в 1989 году на всех станциях было зафиксировано аномальное повышение температуры воды, что связано с усилением атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой в этот период. Из этого можно сделать вывод, что северо-запад Белого моря подвергается меньшему влиянию переноса тепла с Атлантического океана за счет циклонической деятельности. Вероятно, в периоды усиления Северо-Атлантического колебания циклоны перемещаются на северо-восток и проходят через Норвежское и Баренцево моря, что сопровождается значительным потеплением на станциях в северной части Белого моря (Канин Нос, Сосновец, Моржовец). Ослабление NAO приводит к смещению путей перемещения циклонов к юго-востоку, что оказывает большое влияние на соответствующие районы Беломорского региона (Северодвинск, Мудьюг, Онега) [34–35].

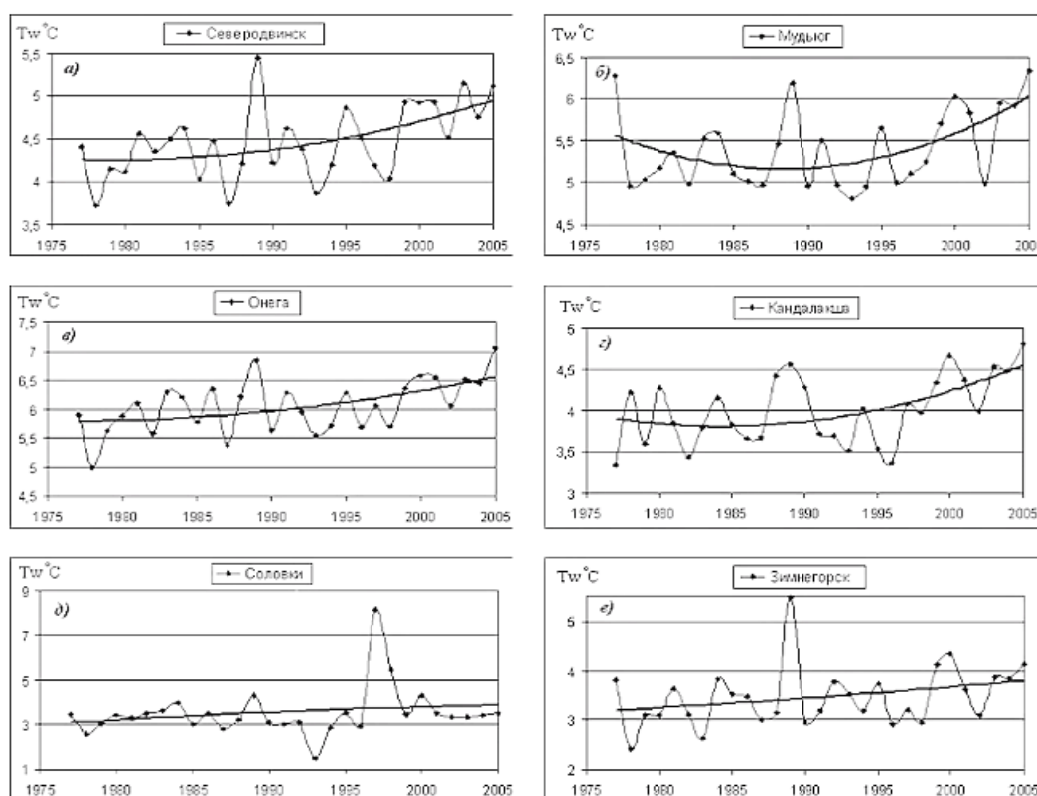


Рисунок 3.3. Многолетняя динамика средних за год значений температуры воды на береговых станциях Белого моря: а) Северодвинск; б) Мудьюг; в) Онега; г) Кандалакша; д) Соловки; е) Зимнегорск

3.2 Многолетняя динамика солености воды

Воды Белого моря сильно опреснены из-за влияния стока крупных рек и имеют показатели солености в среднем на 15% ниже океанической. Вблизи устьев рек соленость составляет – 24 ‰, а в отдаленных районах, близких к Балтийскому морю – 29-30 ‰. Значения солености могут быть подверженным значительным колебаниям за счет сезонной изменчивости. Опреснение за счет таяние льда и снега могут давать соленость до 10 – 12 ‰. Но тем не менее, наиболее опреснённые районы Белого моря — это зоны устьев рек. Обычно это предпочитаемые района нереста лососёвых и карповых рыб. Снижение солености наблюдается на глубинах от 5 до 10 метров, после чего она резко увеличивается до глубин 20 – 30 метров, а затем постепенно повышается к дну. С наступлением осени показатели солености возрастают в связи с уменьшением речного стока и началом льдообразования. В заливах Белого моря опреснение происходит в основном в пределах 5 метров поверхностного слоя воды. Рассмотрим сезонную и межгодовую изменчивость динамики солености воды, представленные рисунке 3.4, данные были получены в районе мыса Картеш с 1999 по 2001 г. Как видно из рисунка 3.4 изменение солености на глубине 65 м в Чупинской губе происходит незначительно. Заметное колебание наблюдается на поверхности моря [5–6].

Рассмотрим рисунок 3.5, здесь также наблюдаются существенные межгодовые, а также сезонные изменения. Самые низкие значения солености на поверхности воды наблюдались с 1977-1979, 1984–1988 и 1991-1992 гг. и составляли примерно 4– 5‰.

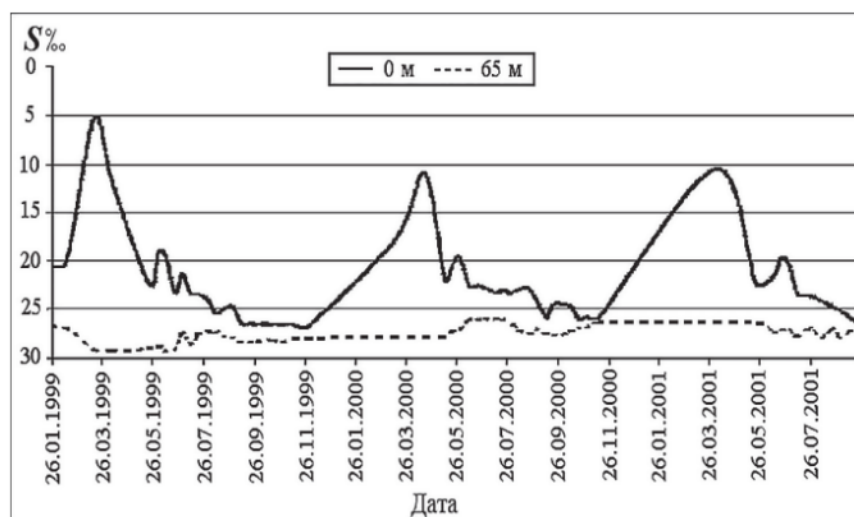


Рисунок 3.4.Сезонная и межгодовая динамика солености в поверхностных и глубинных водах в губе Чула Белого моря (район мыса Картеш)

Низкие значения наблюдались в весенние периоды, что связано с таянием льдов и увеличением речного стока. Такая динамика снижения солености является естественной. Весна 1999 года показывает снижение солености до 5 ‰, а в 2001г. падение солёности менее выражено - уже до 10 ‰.

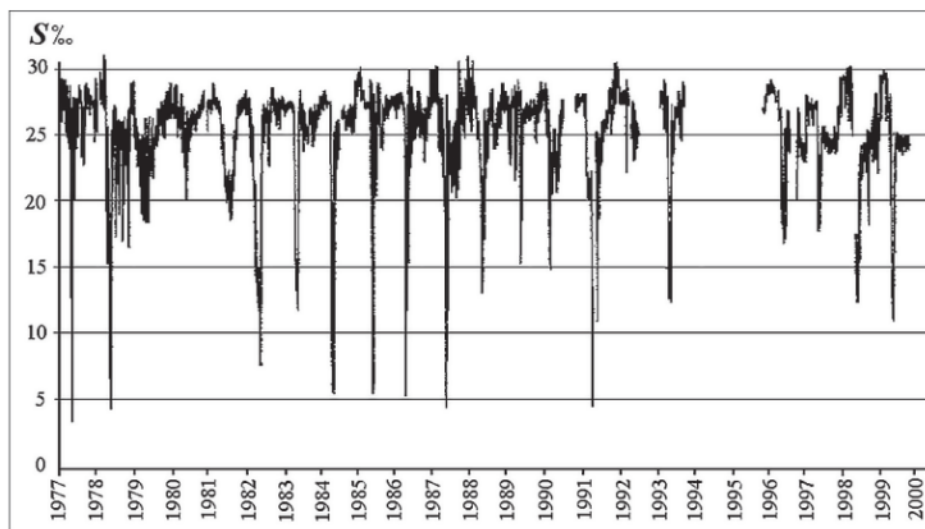


Рисунок 3.5.Сезонная и многолетняя динамика поверхностной солености на Соловецкой гидрометеорологической станции [3].

Обобщая рассмотренные данные и представленные многолетние тенденции, а также океанологические данные, можно прийти к выводу о том, что значения солености Белого моря меняется на поверхности, в промежуточных и глубинных горизонтах, но не более чем на 5‰. При этом на фоне изменения

водообмена с Баренцевым морем, соленость на глубине более 50 метров увеличивается на 1– 2‰ за последние 40 –50 лет. Изменение водообмена связано с изменением атмосферной циркуляцией над морем, которая влечет за собой увеличение речного стока и изменение циркуляции вод Белого. Если рассматривать соленость, как фактор, влияющий на организмы, обитающих в Белом море, то можно сказать о регионах, в которых оказывается большее влияние, например, в мелководьях и эстуарных районах, где также идет значительное воздействие речного стока. Показатели солености влияют на рост молоди, ареалы распространения промысловых рыб и также на воспроизводство икры. В большинстве своем сезонная амплитуда колебания солености воды на поверхности Белого моря связана с таянием ледового покрова и динамикой речного стока - колеблется в пределах от 15 до 20 ‰. Таким образом, столь резкие изменения солености затрагивают основной видовой состав и продуктивность фито- и зоопланктонного сообщества, которые являются основой кормовой базы молоди всех рыб Белого моря, а также большинства сельдевых рыб во взрослой стадии развития.

3.3 Многолетняя динамика речного стока

Речной сток имеет важнейшую роль в влиянии на гидрохимический и гидрологический режим морей. От величины речного стока зависит соленость в прибрежной устьевой зоне, а также в некоторых отдаленных от береговой линии районах. Необходимо обратить свое внимание на особенности многолетней динамики речного стока крупных рек Белого моря. Реки являются источником биогенных веществ, влияющих на биопродуцирования фито- и зоопланктона, которые в свою очередь являются основой кормовой базы для молоди рыб.

Общая площадь водосборасоставляет 720 000 км². К крупным рекам, влияющим на поступление речной воды Белого моря, относятся – Северная Двина, Мезень, Онега, Кемь, Нижний Выг и Ковда с площадью водосбора – 357 000 км², 78 000

км², 56 000 км², 27 700 км², 27 100 км², 26 100 км² соответственно. Самой крупной рекой является Северная Двина, ее годовой сток около 110 млрд м³. Всего в Сев. Двину впадает более 600 рек, к крупным относятся – Вычегда, Пинега и Вага. На рисунке 3.6 можно рассмотреть динамику среднегодового стока крупных рек Белого моря, по данным [42–43]. На графика отражены полиномиальные тренды, которые показывают тенденцию к увеличению расходов рек. Тренд р. Онега и р. Мезень имеет схожий характер к сокращению расходов после максимума,приходящегося на период 1960-х – 70-х годов.

Связь многолетних расходов между крупными реками Белого моря хорошо прослеживается между коэффициентами корреляции: между реками Онега и Мезень $r = 0,46$ при $P = 99 \%$, между расходами Северной Двины и Онеги $r = 0,65$ при $P = 99 \%$, между расходами Северной Двины и Мезени $r = 0,52$ при $P = 99 \%$.

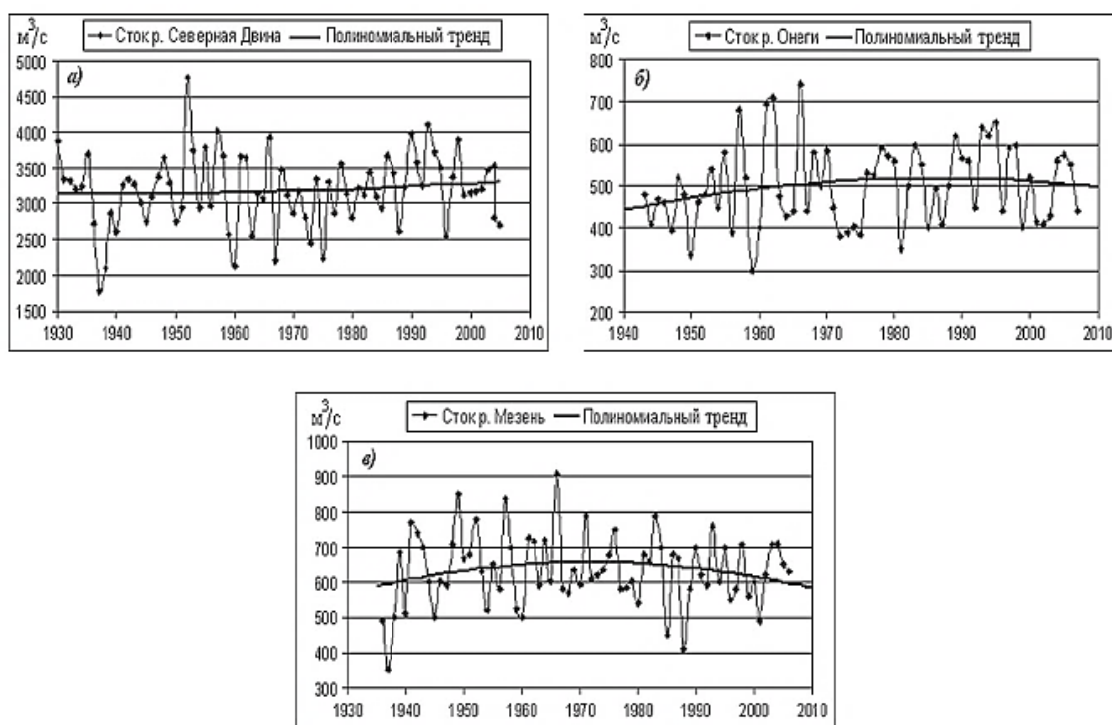


Рисунок 3.6. Многолетняя динамика средних годовых расходов крупнейших рек бассейна Белого моря. Жирной линией показан полиномиальный тренд. а)–р.

Северная Двина; б)–р. Онега; в)– р. Мезень

4. Оценка степени и характера влияния изменений климата на компоненты морской экосистемы

Изменение климата оказывает серьезное влияние на Белое море. Это касается температурного режима, ледяного покрова, показателей солености, уровня воды и других факторов, в совокупности влияющих на компоненты экосистемы. Одно из самых наиболее заметных последствий является изменение температурного режима, что влечет за собой изменение состава воды и как следствие потеря жизненного пространства для многих видов рыб и основы их питания. В Белом море встречается множество видов рыб, которые используются для промышленной добычи, к ним относятся: беломорская сельдь, навага, атлантический лосось, треска, различные виды камбалы и другие. Изменения климата могут приводить к изменению миграционных путей рыб, а также к изменению их распределения в море. Важным критическим фактором является период эмбрионального развития и первого года жизни рыб. Экологические факторы, влияющие на степень благополучного прохождения критического периода, являются главными.

Если сравнить динамику Северо-Атлантического колебания с площадью ледового покрова, заметим, что ряды отрицательно коррелированы. Коэффициент корреляции $r = -0,48$ при уровне значимости $P = 99\%$. С конца 1980-х годов заметно увеличение интенсивности атмосферной циркуляции, что приводит к перемещению теплых воздушных масс на северо-восток Европы и как следствие влияет на снижение площади ледового покрова.

Увеличение температуры воды может привести к увеличению скорости роста и размножения некоторых видов планктона. Это может повлечь за собой увеличение численности популяции некоторых видов, что может иметь влияние на пищевые цепи морской экосистемы. Однако, изменение температуры воды может также привести к изменению распределения некоторых видов планктона,

что может повлиять на пищевые цепи и биоразнообразие морской экосистемы. Изменение уровня солености воды также может повлиять на планктон Белого моря. Увеличение количества осадков может привести к уменьшению солености воды, что может повлиять на многие виды планктона. Например, диатомовые водоросли – морские водоросли, которые являются важным источником пищи для зоопланктона. Они могут страдать от снижения солености воды, так как их клетки не способны сохранять воду и легко разрушаются. Кокколитофориды – другие типы морских водорослей, которые также являются важным источником пищи для животных. Они также могут страдать от снижения солености воды. Кальциферы – виды планктона, которые используют кальций, чтобы создавать свои панцири и защищаться от хищников. Изменение солености воды может привести к изменению pH воды, что может привести к разрушению панцирей этих видов планктона. Потенциальные расстройства в экосистеме моря могут привести к последствиям для рыб и других морских животных, которые питаются планктоном. В целом, изменение климата может оказать значительное влияние на планктон Белого моря.

На рисунке 4.1 можно увидеть, как интенсивность атмосферной циркуляции влияет на численность зоопланктона в устьевой части губы Чупа. При увеличении интенсивности атмосферной циркуляции наблюдается снижение численности зоопланктона, данный вывод подтверждает статистически достоверная отрицательная корреляционная связь между численностью зоопланктона и индексом NAO1, где коэффициент корреляции равен $-r = -0,37$, $P = 95\%$. Таким образом при перемещении теплых воздушных масс на северо-восток Европы отрицательно сказывается на численности зоопланктона холодных морей.

Проведение мониторинга и исследований может помочь установить связь между климатическими изменениями и планктоном, и принять необходимые меры для защиты и сохранения морской экосистемы.

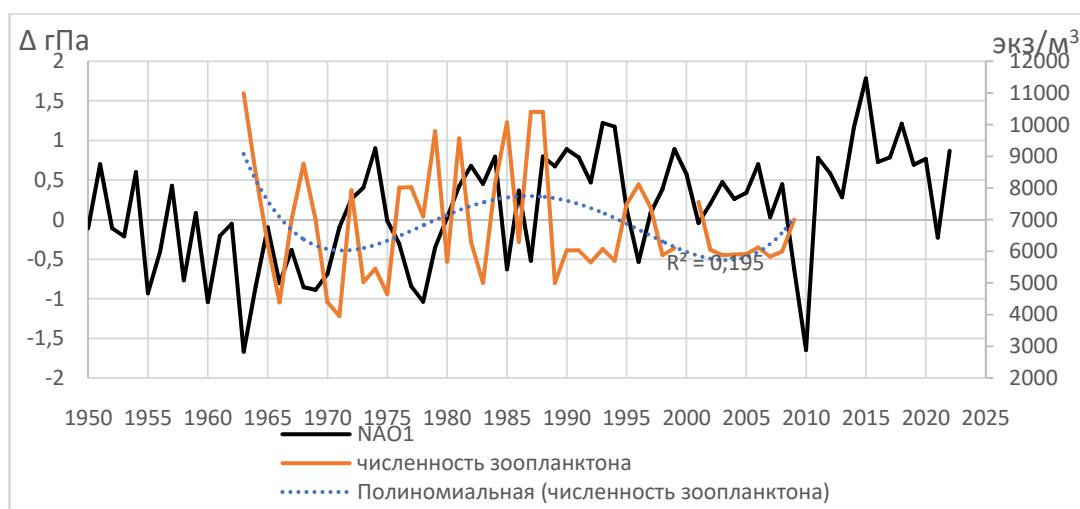


Рисунок 4.1. Многолетняя динамика средних за лето значений численности зоопланктона (с июля по сентябрь) в устьевой части губы Чупа в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO1.

4.1 Влияние изменений климата на температурный и ледовый режим

На рисунке 4.2 наблюдается статистически достоверная корреляционная связь между динамикой значений индекса интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой NAO 1 и значениями температуры воды за зиму на станции Мезень. Заметно, что при увеличении интенсивности циркуляции атмосферы повышается температура воды. Коэффициент корреляции $r = 0,53$, при $P = 99 \%$.



Рисунок 4.2. Многолетняя динамика среднегодовой температуры на поверхности воды на станции Мезень (за 3 зимних месяца) в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO1 с 1959 по 2022 гг.

На рисунке 4.3 можно заметить статистически достоверную корреляционную связь между динамикой значений индекса интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой NAO 1 и значениями температуры воды за зиму на станции Сосновец ($r = 0,55$). На рисунках 4.2 – 4.6 представлено сравнение многолетней динамики температурные поверхностного слоя воды на различных береговых станциях со значениями индекса NAO 1.

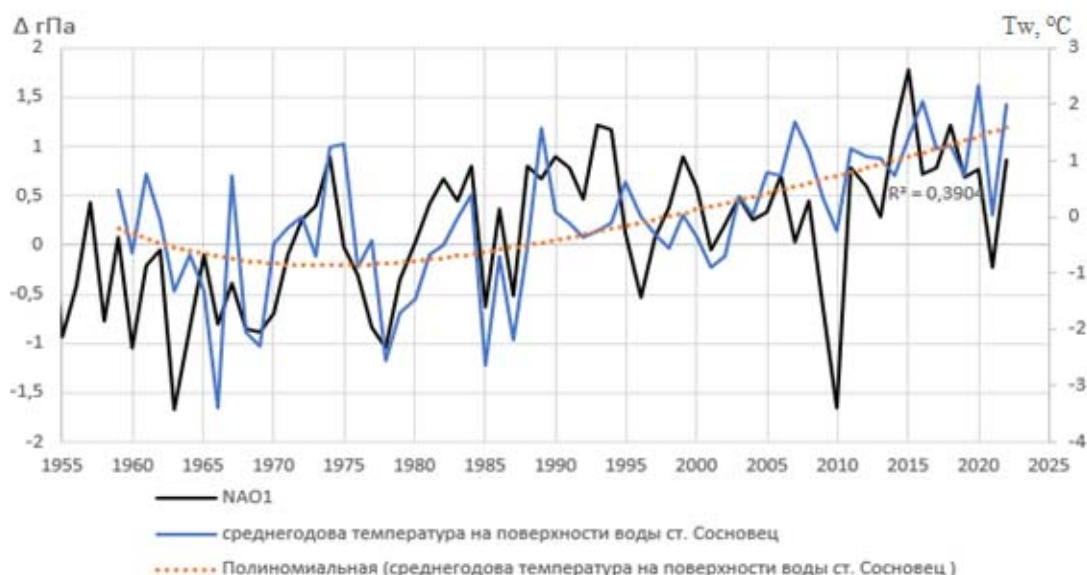


Рисунок 4.3. Многолетняя динамика среднегодовой температуры на поверхности воды на станции Сосновец в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO1 с 1959 по 2022 гг.



Рисунок 4.4. Многолетняя динамика температуры на поверхности воды в среднем за год на станции Умба в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO1 с 1950 по 2022 гг.



Рисунок 4.5. Многолетняя динамика температуры поверхности воды в среднем за год на станции Жижгин в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO1 с 1950 по 2022 гг.



Рисунок 4.6. Многолетняя динамика среднегодовой температуры на поверхности воды на станции Кандалакша в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO1 с 1950 по 2022 гг.

На станции Кандалакша тенденция повышения температуры наблюдается с 1912 г. по 1935 г., затем идет тенденция снижения температуры воды, а с начала 1970-х годов и по 2022 г. вновь фиксируется повышение примерно на

2,5°C. Максимальные значения температуры фиксировались со значения 1,5°C до 3°C

Установлена статистически достоверная корреляционная связь между изменчивостью индекса интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантики NAO 1 и значениями температуры воды, коэффициенты корреляции варьируются от $r = 0,55$ до $r = 0,62$.

На рисунке 4.7 представлена многолетняя динамика площади ледового покрова Белого моря. Анализируя данный график, можно сказать о наблюдаемом общем снижении площади ледяного покрова с 1900 г по 1955г. Максимум распространения морских льдов было зарегистрировано в 1917 г., затем наблюдалось резкое снижение с последующей небольшой тенденцией повышения с 1925 г по 1930 г. Минимум ледяного покрова было в 1954г., а также в 1984 году.

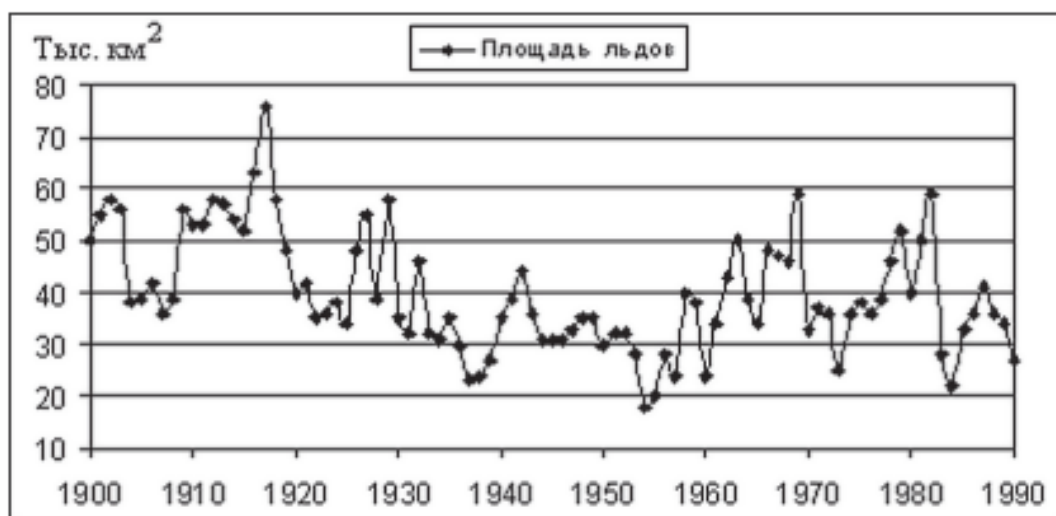


Рисунок 4.7. Многолетняя динамика площадей ледового покрова Белого моря

Такая многолетняя динамика изменчивости ледового покрова свойственна значительная межгодовая изменчивость на фоне многолетних изменений, которые согласуются с динамикой параметров крупномасштабной атмосферной циркуляции и зависят от географического расположения конкретного района.

Как было упомянуто ранее, изменение атмосферной циркуляции ведет к изменению факторов, которые тесно с ней взаимодействуют, включая

температуру, которая оказывает быстрое влияние на жизнедеятельность организмов. В соответствие с этим был проведен анализ многолетней динамики температуры воздуха на 12 станциях наблюдений вдоль побережья Белого моря, а также температуры воды в поверхностном, промежуточном и глубинных слоях в ряде районов, где расположены основные популяции промысловых рыб. Установлена статистически значимая корреляционная связь между изменчивостью индекса интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой NAO 1 и значениями температуры воздуха за зиму ($r =$ от 0,53 до 0,58 при $P = 99\%$) и в среднем за год ($r =$ от 0,51 до 0,55 при $P = 99\%$). [32]

В целом, как видно из рисунка 4.8 с начала 1990-х годов на станциях побережья Белого моря возникла тенденция к потеплению, что подтверждается значимыми полиномиальными трендами. Установлена статистически достоверная корреляционная связь между изменчивостью индекса интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой NAO 1 и значениями температуры воздуха за зиму ($r =$ от 0,53 до 0,58 при $P = 99\%$) и в среднем за год ($r =$ от 0,51 до 0,55 при $P = 99\%$). [32]

На рисунке 4.9 приведено сравнение многолетней изменчивости обобщенного индекса атмосферной циркуляции NAO с динамикой температуры воды в поверхностном слое Белого моря (*а, б*). Установлен статистически достоверный положительный характер связи между значениями индекса интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и температурой воды на поверхности Белого моря ($r =$ от 0,42 до 0,52 при P от 95 до 99 %) [32]

Таким образом, можно сказать о том, что при увеличении индекса атмосферной циркуляции (NAO) происходит увеличение ледовитости отдельных районов акватории Белого моря, поскольку наблюдается усиление приточной оставляющей водообмена с Баренцевым море, а также уменьшение оттока водных масс и дрейфующего льда беломорского происхождения. Но также стоит отметить, что в периоды экстремального возрастания и резкого

повышения температуры воздуха наблюдается снижение скорости ледообразования в осенне-зимнее период и приводит к их ускоренному весеннему таянию.

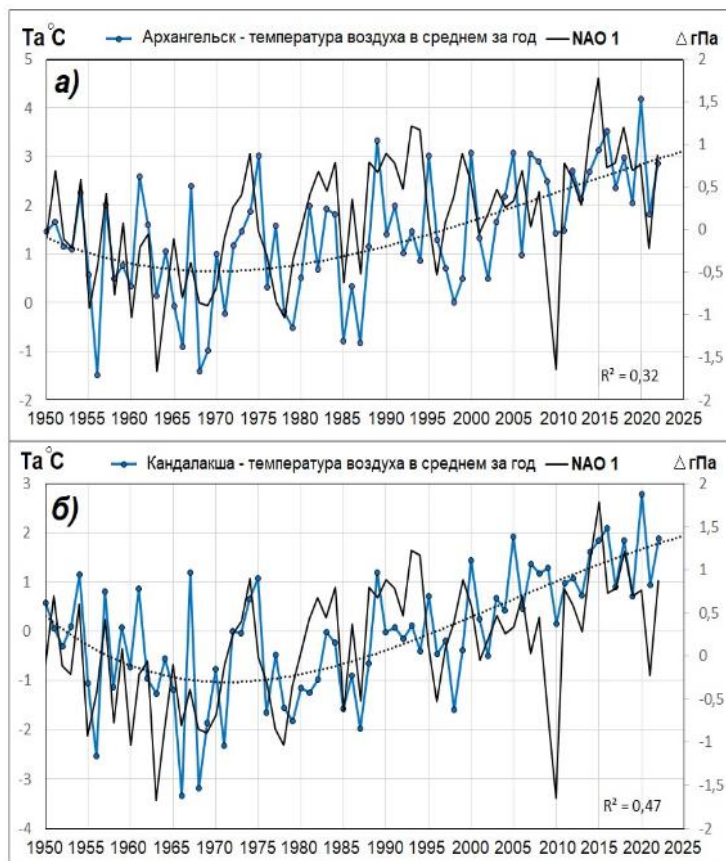


Рисунок 4.8. Многолетняя динамика температуры воздуха на станциях на побережье Белого моря в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO 1. Пунктирной линией показан полиномиальный тренд по 4-летиям.

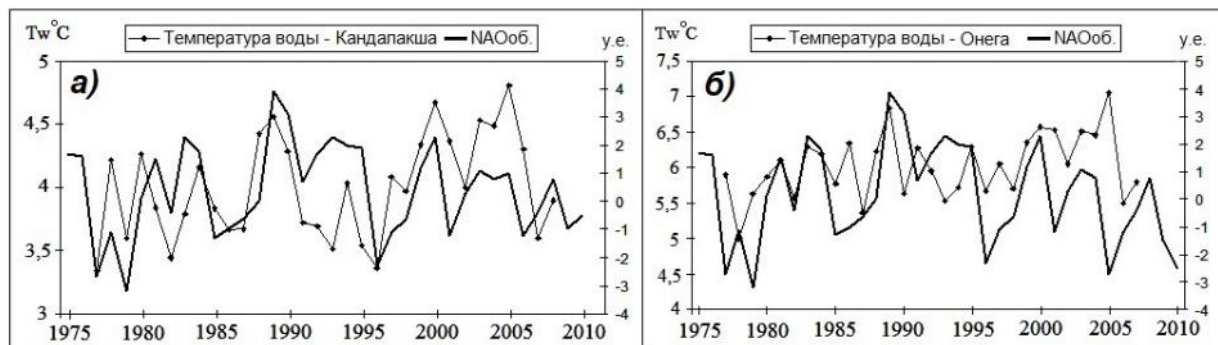


Рисунок 4.9. Сравнение многолетней изменчивости обобщенного индекса атмосферной циркуляции NAOоб. с динамикой температуры воды в поверхностном слое Белого моря (а, б).

4.2 Влияние изменений климата на соленость воды и речной сток

На рисунке 4.10 красными треугольниками отмечены станции, на которых осуществляются долговременные наблюдения за соленостью воды на поверхности Белого моря. Данные о солености были взяты с сайта ЕСИМО.[61]

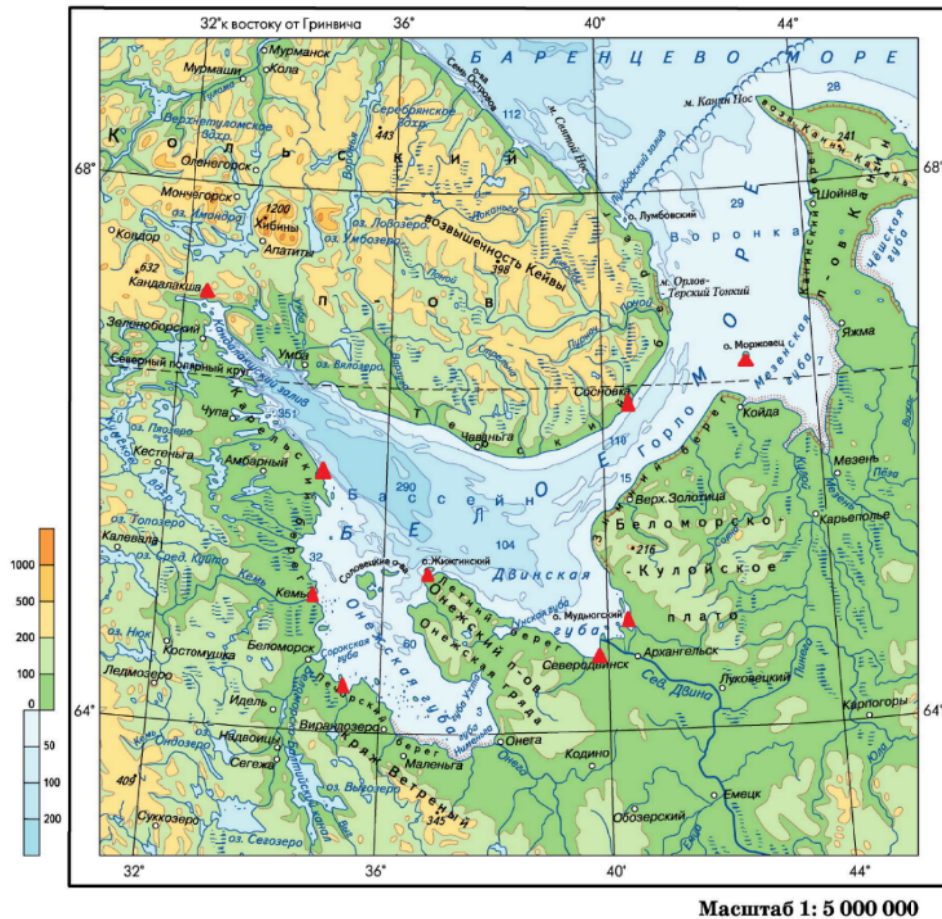


Рисунок 4.10. Гидрометеорологические станции на побережье Белого моря, на которых производятся наблюдения за солёностью воды на поверхности.

Многолетние данные солёности воды представлены на рисунках 4.11 – 4.19. На станции Моржовец, как показано на рисунке 4.11, отмечается достаточно выраженный характер снижения солёности в период с 1977 по 2001 гг. с $>30,00\%$ до $28,00\%$. Имеется общее снижение солёности на 1,5 промилле, это может быть связано с влиянием стока реки Мезень. Для стеногалийных

обитателей северных участков Белого моря такое снижение может оказаться неблагоприятным.



Рисунок 4.11. График солёности воды, станция о.Моржовец, период 1977-2006 гг. Красная линия – среднее значение солёности воды, зелёная линия – линейный тренд.

На станции Сосновец на рисунке 4.11 имеется общее снижение солёности. Аномальное понижение солёности в 1997 году ($<24,5 \text{ ‰}$) может быть связано с тем, что через пролив Горло заносится Баренцевоморский лёд и начинает массово таять, что приводит к опреснению воды на поверхности.

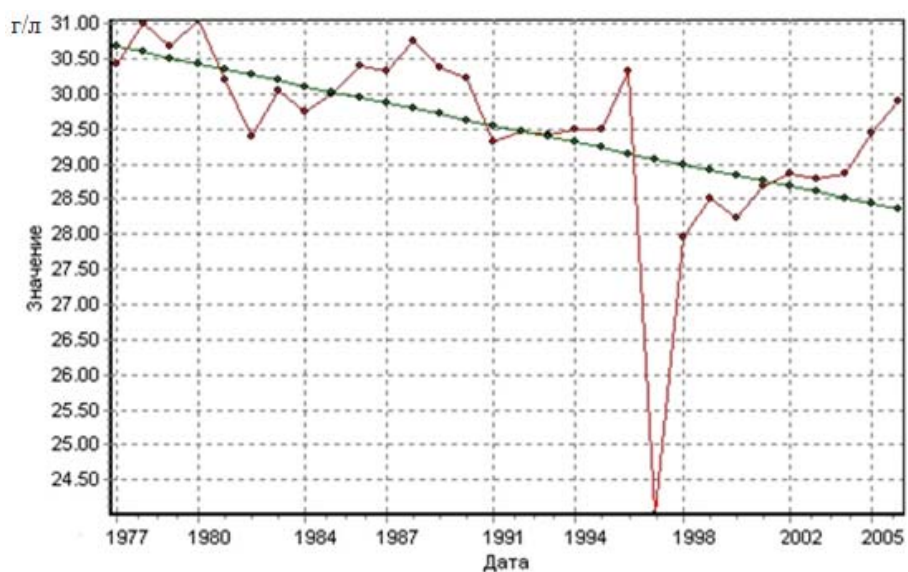


Рисунок 4.12.График солености воды, ст. Сосновец, период 1977-2006 гг.
Красная линия – среднее значение солености воды, зеленая линия – линейный тренд.

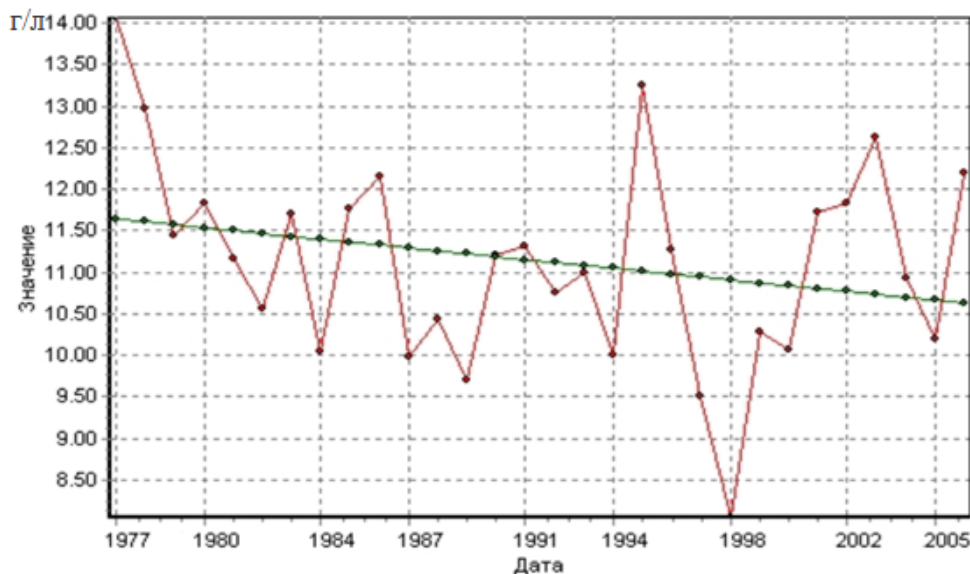


Рисунок 4.13.График солености воды, станция Кандалакша, период 1977-2006 гг. Красная линия – среднее значение солености воды, зеленая линия – линейный тренд.

Также на станции Кандалакша можно заметить общее снижение солености с 14,00‰ до 10,12‰. Минимум значения солености приходится на 1998 г. и составляет – 8,00 ‰.

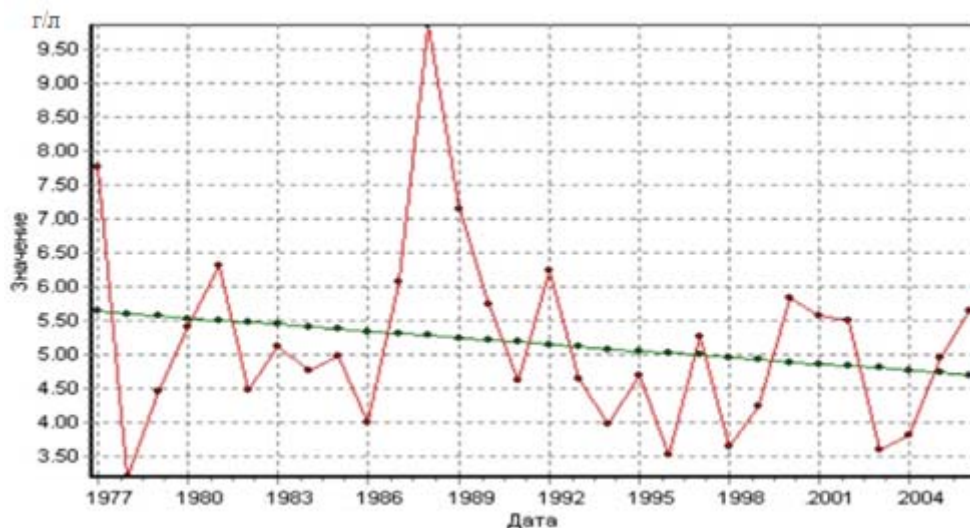


Рисунок 4.14.График солености воды в промилле, ст. Мудьюг, период 1977-2006 гг. Красная линия – среднее значение солености воды, зеленая линия – линейный тренд.

На станции Мудьюг максимум значения солености приходится на 1987 г. и составляет – 10,00‰. Также наблюдается общее снижение по линейному тренду, что может объясняться влиянием стока р. Северная Двина.

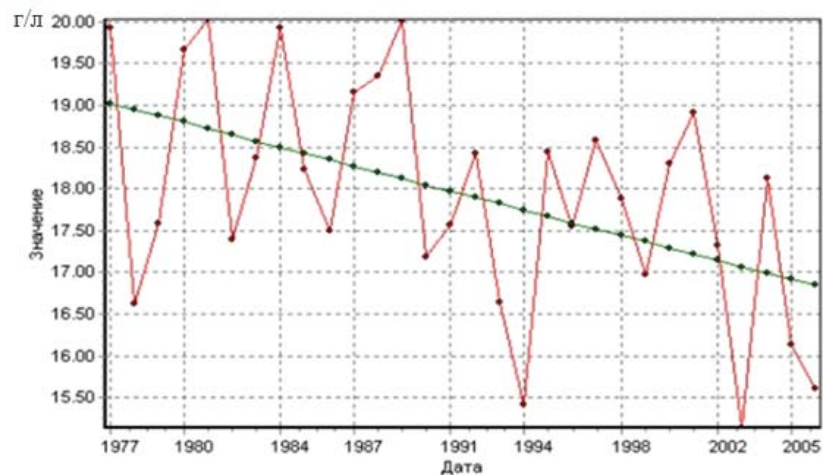


Рисунок 4.15. График солености воды в промилле, станция Северодвинск, период 1977-2006 гг. Красная линия – среднее значение солености воды, зеленая линия – линейный тренд.

График солености воды на станции Северодвинск имеет характерное изменение с резко выраженным возрастанием и падением значений солености. Это может быть обусловлено увеличением речного стока р. Северная Двина. Пик минимума солености приходится на 2003 год и составляет – 15,00‰

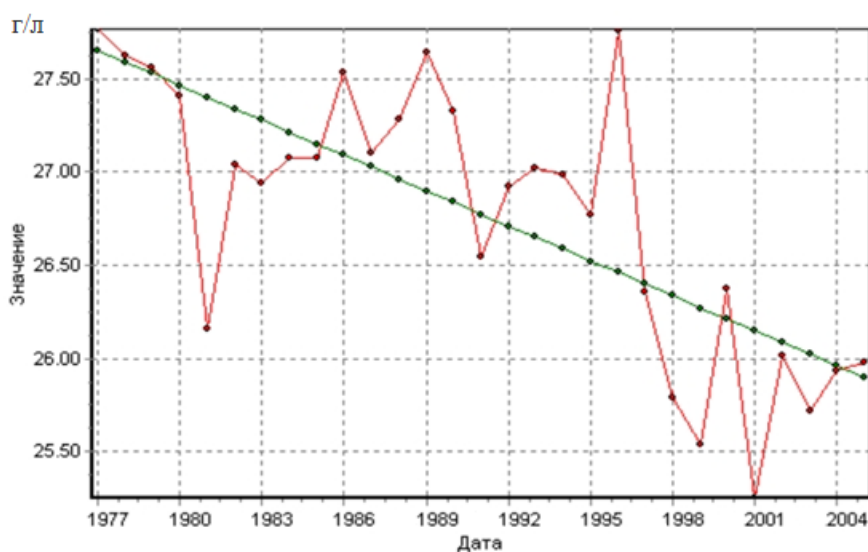


Рисунок 4.16. График солености воды в промилле, станция Жижгин, период 1977-2006 гг. Красная линия – среднее значение солености воды, зеленая линия – линейный тренд.

У острова Жижгинский наблюдается общее снижение показателя солености воды, минимум составляет 25,00‰.

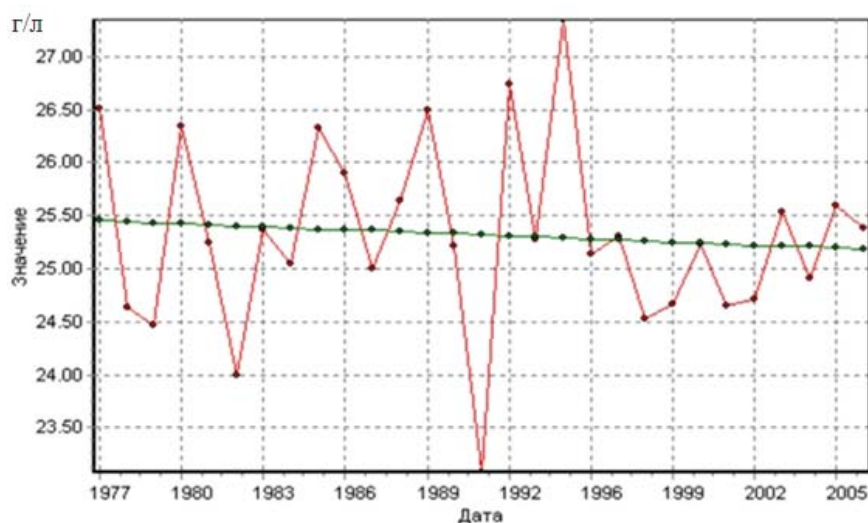


Рисунок 4.17.График солености воды в промилле, станция Гридино, период 1977-2006 гг. Красная линия – среднее значение солености воды, зеленая линия – линейный тренд.

Около станции Гридино наблюдается не такой сильный характер уменьшения солености воды, как на танциях выше, это может быть связано с чем, что по близости нет крупных рек, которые бы влияли на солености воды.

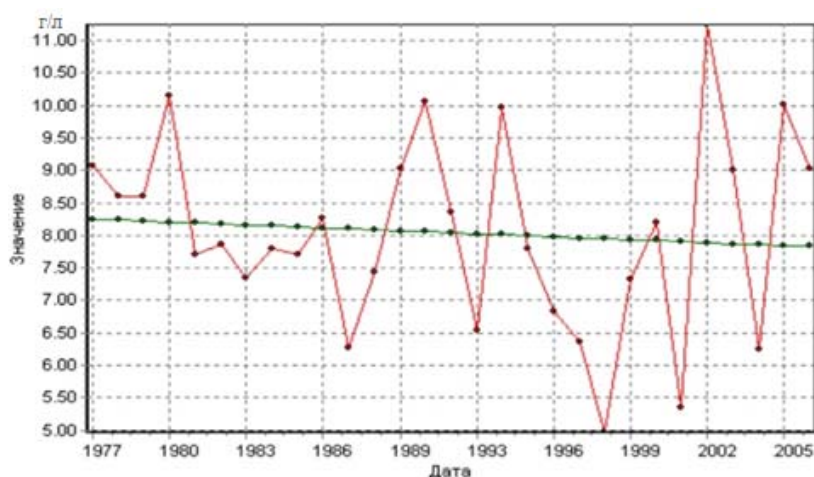


Рисунок 4.18.График солености воды в промилле, станция Кемь-порт, период 1977-2006 гг. Красная линия – среднее значение солености воды, зеленая линия – линейный тренд.

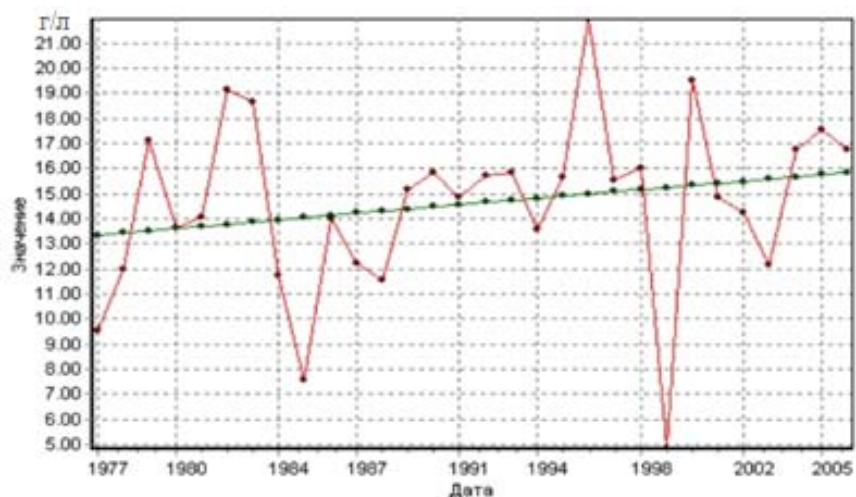


Рисунок 4.19. График солёности воды в промилле, станция Разноволок, период 1977 – 2006 гг. Красная линия – среднее значение солёности воды, зелёная линия – линейный тренд.

На станции Разноволок по линейному тренду наблюдается повышение значения солёности, имеются также выраженные минимумы и максимумы значений: 5,00‰ и 21,00‰ соответственно.

Проанализировав рисунки 4.11–4.19 можно заметить систематическое снижение солёности воды на различных станциях по периметру Белого моря. Это также может быть связано с увеличением объемов речного стока. Во всех районах Белого моря отмечались пониженные значения солёности, приходящиеся на период конца XX – начала XXI века. Наибольшее снижение солёности наблюдалось в Двинской губе и Горле. На рисунке 4.20 представлено сравнение динамики средних годовых значений стока реки Северная Двина в нижнем течении (створ Усть-Пинега) со значениями индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO 1. Рассматривая рисунок 4.20, можно заметить увеличение речного стока к концу 1980-х – началу 1990-х годов. Вдоль Карельского берега наблюдается незначительное уменьшение солёности, а на Печорском берегу у станции Разноволок небольшое увеличение. Предположительно это связано с не столь сильным влиянием р. Онега.

На рисунке 4.20 представлено сравнение динамики средних годовых значений стока реки Северная Двина в нижнем течении (створ Усть-Пинега) со

значениями индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO 1.

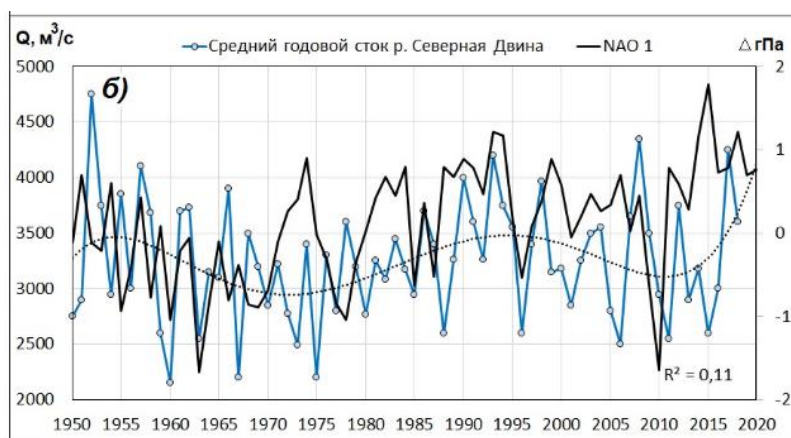


Рисунок 4.20. Сравнение динамики средних годовых значений стока р. Северная Двина (б) в нижнем течении (створ Усть-Пинега) со значениями индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO 1.

Увеличение речного стока влияет на показатели солёности воды, а также и на показатели распределения и биологическое продуктивности организмов морского и пресноводного комплексов. Как мы видим на рисунке 4.21, увеличение речного стока наблюдалось за период с конца 1970-х годов до середины 90-х гг., а затем резко возросло в 2010 гг. и продолжает увеличиваться по сей день.



Рисунок 4.21. Изменение среднегодовых расходов воды половодья р. Онега – с. Порог за 1943-2020 гг. со значениями индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO 1.

Рассматривая рисунок 4.21, можно заметить, что среднегодовой сток увеличивался с начала 1970-х годов до начала 1990-х. выраженный максимум приходится на 2018 год.

4.3 Влияние изменений климата на показатели продуктивности промысловых гидробионтов

Климатический режим Белого моря можно отнести к переходному от морского к континентальному и принадлежит к атлантико-арктической зоне со свойственными данному региону климатом. Для климата Белого моря характерна не устойчивая погода с влиянием воздушных масс. Значения температуры воздуха, воды, показателей солености, речного стока и осадков в совокупности оказывает влияние продуктивность размножения, воспроизведение живых организмов – биопродуктивность. (Экология сообществ «Продуктивность экосистемы»)

Биологическая продуктивность связана с созданием живыми организмами биомассы. Она определяет скорость производства биомассы в единицу времени. Первичная продукция — это скорость образования биомассы первичными продуцентами (растениями). Этот показатель определяет общий поток энергии через биотический компонент экосистемы и количество организмов, которые могут существовать в ней. Чистая первичная продуктивность — это энергия, которую могут использовать организмы следующих трофических уровней. Вторичная продукция — это скорость образования биомассы консументами (животными), потребляющими растительную или животную пищу. Анализ показателей вторичной биологической продуктивности, в частности, морских рыб планктонофагов и хищников, позволяет получить результирующую геоэкологическую оценку состояния всей экосистемы и ее устойчивости.

За последние два десятилетия рыболовство в Белом море столкнулось с существенным снижением эффективности. Ухудшение ситуации связано не только с природными климатическими и биопродукционными процессами, но и с изменением социально-экономических условий.

В ихтиофауне Белого моря насчитывается около 60 видов рыб, но лишь около 10 из них имеют промысловое значение. Беломорская сельдь,

беломорская корюшка, треска, навага, пинагор, полярная и речная камбала являются основными объектами промысла. Тресковые и сельдь являются важнейшими породами в водах Северной Атлантики в целом. (*Clupeapallasimaris-albi* Berg, *Osmerus eperlanus eperlanus* n. *divinensis*, *Gadus morhuamaris-albi*, *Eleginusnavaga* Pallas, *Cyclopteruslumpus* L., *Liopsetta glacialis* Pallas, *Pleuronectes flesus* L.)[33]

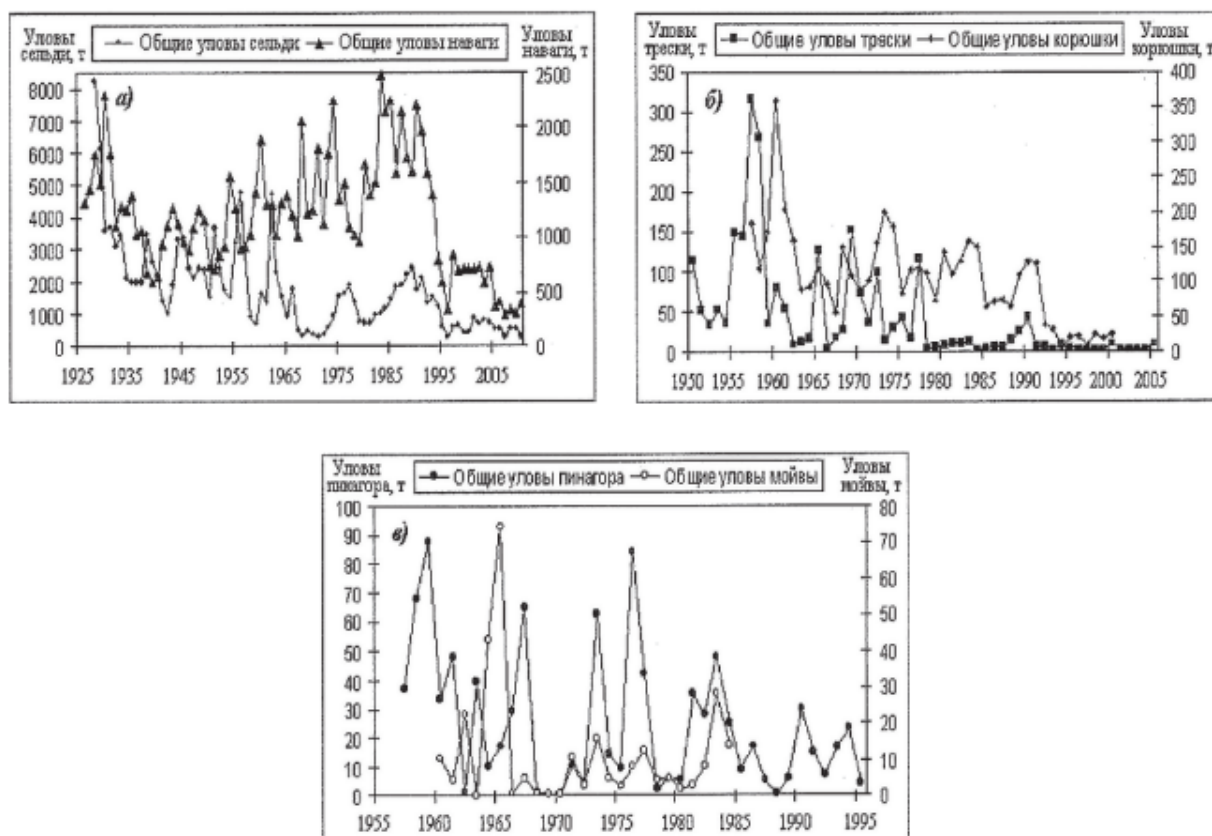


Рисунок 4.22. Многолетняя динамика уловов промысловых видов рыб Белого моря
а) – уловы сельди и наваги; б) – трески и корюшки; в) – пинагора и мойвы.[33]

Рассматривая рисунок 4.22, можно заметить, что максимальные значения вылова сельди были зафиксированы в середине 1920-х годов и составляли 8 тыс. т в год. Затем они начали снижаться и достигли отметки 1 тыс. т в год, но в период с 1950-х и 1960-х годов уловы вновь начали повышаться и составляли примерно 4 тыс. т в год. Минимальное значение улова сельди было достигнуто с 1968 по 1973 годы и составляло около 0,5 тыс. т в год. Этот период соответствует периоду ослабления атмосферной циркуляции, который к

образованию холодных воздушных масс в северной Европе и также в Белом море, что привело к уменьшению уловов промысловой рыбы. А также в 60-е, как уже отмечалось ранее, произошло вымирание взморника, которое также негативно сказалось на численности сельди. Далее в конце 1980-х годов можно заметить небольшое увеличение уловов сельди, что также соответствует интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой. На сегодняшний день уловы сельди продолжают оставаться изменчивыми. В 80-х годах фиксировались также рекордные выловы наваги за рассматриваемый период. Значения достигали практически 3 тыс. тонн. Высокие ее уловы были совершены с 1935 по 1995 года. Однако на рисунке уловов сельди отмечается, наоборот, интенсивное снижение уловов с 1935 по 1985 года. Данный период характеризуется снижением интенсивности атмосферной циркуляции и понижением температуры в регионе Белого моря. Где навага чувствует себя благоприятно в холодных водах, а сельдь, которая предпочитает теплую воду значительно сократила свое воспроизводство. Соответственно, при увеличении циркуляции атмосферы, которая приводит к потеплению, уловы беломорской сельди возрастают, что наблюдается с середины 80-х годов. В это же время происходит резкое снижение численности уловов наваги и мойвы. В целом же, беломорская треска и корюшка, занимавшие ранее существенные позиции в качестве объектов промысла, после 1995 г. их утратили, что связано прежде всего со снижением активности работы рыбопромысловой отрасли.

По последним данным на 2010 год, на побережье Белого моря действует более 40 компаний и индивидуальных предпринимателей, занимающихся морским промыслом. Общий улов за год составил около 800 тонн. В 1950-х годах суммарные уловы только одного вида рыбы - сельди - составляли 4-4,5 тысячи тонн, а в начале 1980-х годов общие уловы наваги достигали 2,5 тысячи тонн.

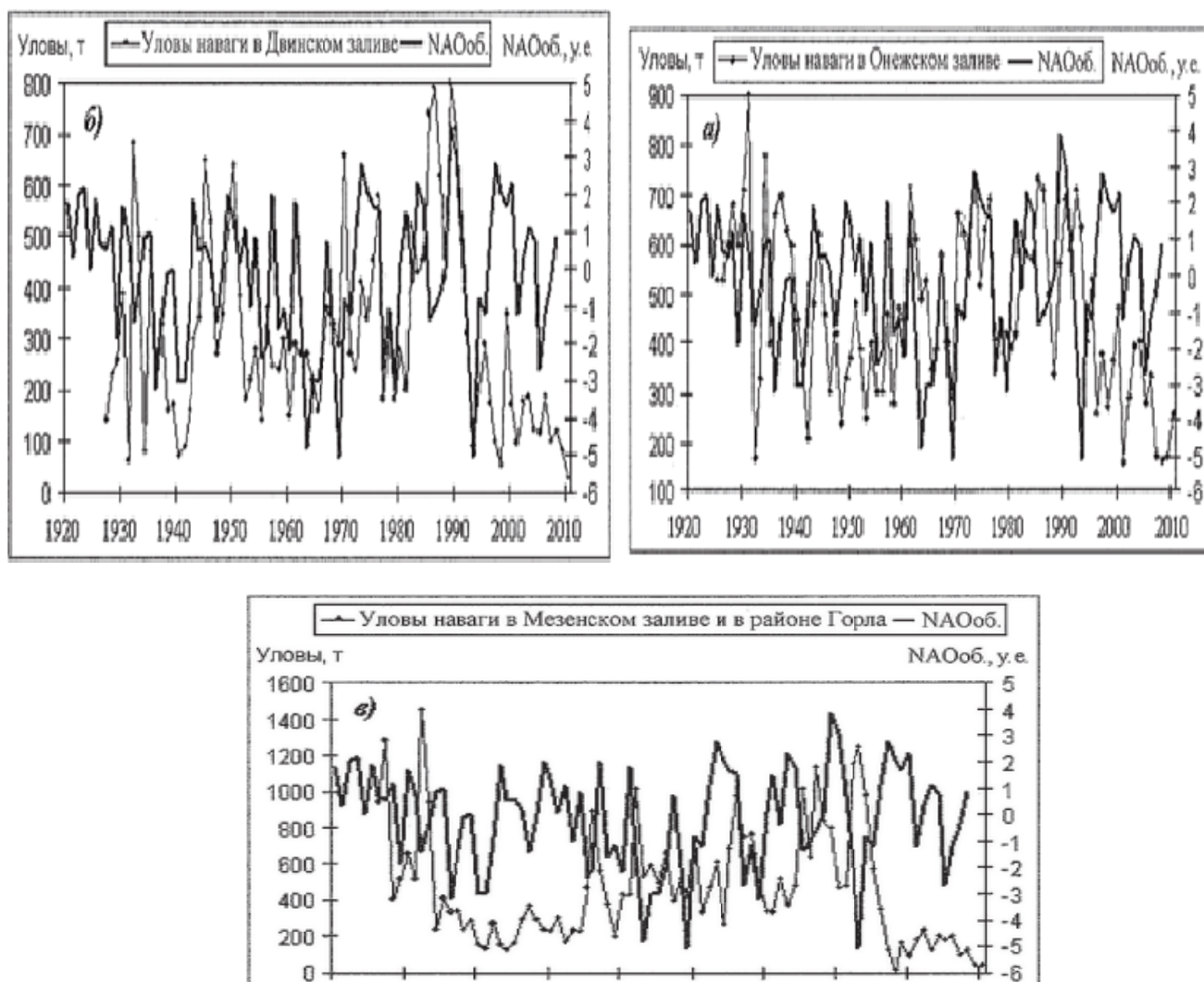


Рисунок 4.23. Сравнение многолетней динамики значений обобщенного индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой с уловами беломорской наваги в Онежском (а), Двинском (б) и Мезенском заливах (в). Временной сдвиг значений уловов относительно NAOоб составляет 2 года [33]

На рисунке 4.23 представлено сравнение многолетней динамики значений обобщенного индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой с уловами беломорской наваги в Онежском, Двинском и Мезенском заливах. На рисунке 4.24 показана многолетняя динамика уловов промысловых рыб в сравнении с многолетней динамикой давления в центре Арктического антициклона.

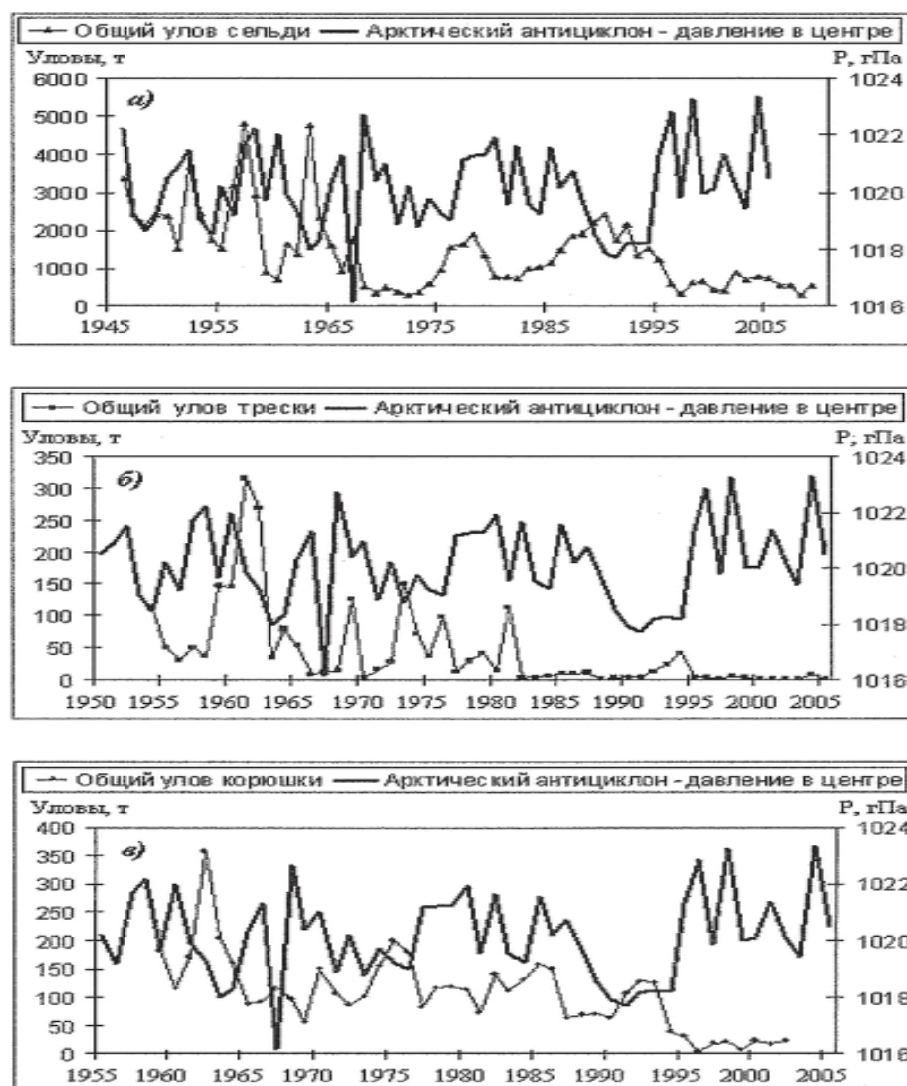


Рисунок 4.24. Многолетняя динамика уловов промысловых рыб в сравнении с многолетней динамикой давления в центре Арктического антициклона. Временной сдвиг значений уловов относительно давления в антициклоне составляет для трески – 5 лет, для сельди 2 года, для корюшки – 2 года[33]

Анализируя рисунок 4.24, имеется обратный статистический характер, который обуславливается тем, что на многие виды рыб рост давления в центре Арктического антициклона, сопровождающийся похолоданием в Арктическом регионе, сказывается отрицательно на воспроизводстве трески, корюшки и сельди. Следует отметить, что весьма резкое падение величин уловов рыб во второй половине 1990-х гг. произошло на фоне экстремального увеличения давления в центре Арктического антициклона и снижения температуры воды и воздуха в Беломорском регионе.

5. Практические рекомендации

Изучив литературу, посвященную изменениям климата в Белом море, сложилось четкое представление о недостаточном фокусе на данной проблеме. Все исследования, которые проводились для получения представления влияния климата на биоразнообразие моря, были не систематизированы и шли не по единой программе. Первое, что хотелось бы отметить, для совершенствования оценок по влиянию наблюдаемого изменения климата на морскую экосистему необходима оптимизация работы ФГБУ «Северное УГМС» в отношении осуществления мониторинговых работ на большем количестве станций, в том числе и на станциях в удалении от берега на основе экспедиционных исследований.

Поскольку исследований вдоль побережья, а также в открытой акватории Белого моря проводились достаточно редко. Имеются некоторые данные за короткий период времени, что не позволяет составить графики среднегодовых колебаний и сделать соответствующие выводы. Или размещаются лишь данные, проводимые в некоторых регионах. ФГБУ «Северное УГМС» необходимо собирать метеорологические, гидрологические, океанологические и другие виды данных, на основе которых будут собраны сведения для совершенствования планов адаптации к изменению климата на биотические компоненты экосистемы Белого моря.

Беломорский регион имеет антропогенную нагрузку, исходя из этого можно разработать стратегию для уменьшения выброса и сброса в регионе для поддержания экологически чистых технологий и решений. Администрация Карелии, Архангельской и Мурманской областей должны оказать воздействие и регулировку внедрения новых технологий, снижающих выбросы и сбросы в водосбор беломорского региона. Также финансировать рейсы для проведения работ в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды в Белом

море. Привлекать финансирование из федерального бюджета для развития аквакультуры в водах Белого моря и поднятия промысла в регионе.

Бассейновому совету Северо-Карельского побережья необходимо проводить более обширные исследования вдоль вод Карельского берега для сохранения биоразнообразия, а также обеспечения устойчивого развития региона.

Следующее, что хотелось бы отметить, регион подвержен колебаниям климата, его температура зависит от атмосферной циркуляции, как и речной сток, а также меняются биоресурсы, исходя из этого следует ввести на регулярной основе наблюдение за планктоном по всей акватории моря. Филиалу СевПИНРО необходимо оснащение научно-исследовательскими судами нового поколения, для выполнения исследований, цель которых оценка биомассы и численности неполовозрелой молодежи рыб Белого моря. (Полученные данные позволят объективно спрогнозировать перспективы пополнения и состояния промыслового запаса рыб на ближайшие 3-5 лет.) В ходе этой экспедиции выполняется изучение условий среды обитания рыб, оценка пространственного распределения и биомассы зоопланктона, анализ питания пелагических рыб, осуществляется сбор данных по видовому составу, распределению и численности морских млекопитающих и птиц. Итоги этих наблюдений важны для мониторинга состояния морской экосистемы. Проведение этих экспедиций должно проходить регулярно.

Необходимо финансирование и развитие Института водных проблем Севера КарНЦ РАН для привлечения специалистов и повышения кадров работников с целью изучения управления водными ресурсами Белого моря и поднятия рабочих мест для трудоустройства местного населения. Необходимо провести исследования для понимания функционирования водной экосистемы и прогнозирования ее поведения. А также финансирование для разработки математических моделей.

Белом море имеет высокий промысловый потенциал поэтому следует возобновить исследования в данной области, как это было в 60-70 года. Для

сохранения видового разнообразия морских и прибрежных биоценозов необходимо проводить мониторинг климата и его воздействия на экосистемы Белого моря, а также предпринимать меры по защите и восстановлению местообитаний для уязвимых видов. Необходимо привлечь федеральное агентство по рыболовству для изучения, сохранения, воспроизводства водных биологических ресурсов и среды их обитания, а также рыбоводства (аквакультуры). А также финансирование для проведения исследований и оснащением необходимым оборудованием.

Необходимо дооснащение базы Картеш, на которой сотрудники занимаются изучением сезонной динамики и жизненных циклов беломорских организмов, поскольку нет возможности собирать данные без необходимого научного судна и нового оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение и анализ собранных материалов и данных позволили сформулировать следующие основные выводы:

1. Наблюдается зависимость влияния динамики атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой на динамику температуры воздуха в Белом море. При увеличении интенсивности атмосферной циркуляции наблюдается повышение температуры воздуха и также наоборот, температура воздуха уменьшается при ослаблении индекса NAO1. Этот вывод подтверждает корреляционная связь между значениями на различных станциях, расположенных вдоль побережья Белого моря.
2. При росте интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой наблюдается потепление над акваторией Белого моря и увеличение объемов речного стока в бассейн моря. Существенный вклад в увеличение речного стока дает р. Северная Двина и р. Онега. С 2010 года по сегодняшний день наблюдается интенсивное увеличение стока пресных вод в акваторию Белого моря. Кроме того, увеличение или уменьшение количества осадков может повлиять на уровень воды и ее температуру, что может привести к изменению жизненных условий для многих видов рыб и других морских животных.
3. Имеется зависимость температуры на поверхности воды Белого моря от динамики индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, что подтверждает данный вывод коэффициент корреляции, рассчитанный между этими значениями. А также общее повышение температуры воды с середины 1970-х годов на различных станциях на побережье Белого моря.
4. Тенденция увеличения температуры воды и воздуха приводит к значительному уменьшению площади ледового покрова моря.
5. С увеличением речного стока происходит значительное снижение показателей солености воды, что негативно сказывается на некоторых

промысловых видах рыб (треска и навага), а также стеногалинных морских животных. Икринки наваги могут нормально развиваться только в соленых водах, снижение солености или резкие колебания оказывают губительное воздействие на икру.

6. При уменьшении интенсивности атмосферной циркуляции, понижается температура воды и наблюдается снижение уловов сельди в Белом море. Однако, в тот же период уловы наваги, наоборот, возрастают, что объясняется различной реакцией на климатические изменения. Беломорская сельдь успешно нерестится при более высокой температуре воды, чем холодолюбивая навага арктического происхождения. Также наблюдается зависимость производства трески и корюшки от температурного режима. В период снижения интенсивности атмосферной циркуляции на Северной Атлантике наблюдается повышение уловов рыб. А при увеличении интенсивности и вследствие повышения температуры воды и воздуха наблюдается уменьшение вылова промысловых рыб белого моря.
7. При увеличении интенсивности атмосферной циркуляции наблюдается снижение численности зоопланктона. Таким образом, перемещение теплых воздушных масс на северо-восток Европы отрицательно сказывается на численности зоопланктона холодных морей. Также повышение температуры воды приводит к изменению состава планктона, его распределения и количества. Изменение температуры и солености воды влияет на жизнь планктона, который является важным источником пищи для многих видов рыб и других морских животных.

Колебание климата затрагивает все климатические, экологические и гидрологические режимы Белого моря. Это может привести к серьезным последствиям для рыболовной отрасли в Белом море и ухудшению экономического положения рыбных сообществ в регионе, а также к

сокращению видового разнообразия промысловых рыб и кормовой базы Белого моря.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гидрометеорология и гидрометеорология морей СССР. Том 2 Белое море, Выпуск 1 Ленинград Гидрометеоздат 1991. Терзнев Ф.С., Гоптарев Н.П.стр. 14
2. Бабков А.И., Голиков А.Н. Гидробиокомплексы Белого моря.1984. 104с.
3. Филатов Н.Н., Тержевик А.Ю. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. — 349 с
4. Дроздов В.В. Влияние колебаний климата на динамику экосистем Балтийского и Белого морей. Монография. – СПб.: Изд. РГГМУ. 2015 – 230 с.
5. Усов Н. Зоопланктон в губе Чупа (Белое море). // Proc. Zool. Inst. Russ. Acad. Sci., 2003, vol. 299, pp. 181–186.
6. Усов Н., Мартынова Д. Динамика зоопланктона в зимний период в замерзающем море на примере прибрежной зоны Белого моря» 2011 г. Гидробиология, 2013, vol. 706, pp. 11–33.
7. Герасимова А.В. Об организации поселений двустворчатых моллюсков в белом море СПбГУ 2020г.
8. Стасенков В.А., И.И. Студенов, А.П. Новоселов и др. Поморские рыбные промыслы. – Архангельск: Изд-во СевПИНРО, 2011. – 264 с.
9. Комплексные исследования экосистемы Белого моря: Сб. научных трудов. – М.: ВНИРО, 1994. – 123 с
10. Электронный ресурс Энциклопедия рыб 2008-2023 справочник рыбной тематики «Беломорская сельдь»
11. Галкина В.Н. «Микрофлора донных отложений бассейна Белого моря» Зоологический институт РАН, Спб, 2000г. с 35-40.

12. Теплинская Н.Г, Дударенко О.Н, Бактериопланктоне в Баренцевом море 1984. Vol. 4. P. 1–18.
13. Теплинская Н.Г. Бактериопланктон // Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. – СПб.: ЗИН РАН, 1995. Ч. 1. С. 63–78.
14. Ильяш Л.В., Житина Л.С., Федоров В.Д. Фитопланктон Белого моря. – М.: Янус–К, 2003. 168 с.
15. Галкина В.Н. Роль массовых видов животных в круговороте органических веществ в прибрежных водах северных морей: Автореф. дис. канд. биол. наук. – Л.: ЗИН АН СССР, 1985. 23 с.
16. Галкина В.Н., Буряков В.Ю., Рура А.Д. Количественное распределение фито- и бактериопланктона в районе Сон-острова Белого моря // Гидробиологические особенности юго-восточной части Кандалакшского залива в связи с марикультурой мидий на Белом море. – Л.: ЗИН АН СССР, 1988. С. 40–45.
17. Галкина В.Н., Кулаковский Э.Е. Влияние мидиевых хозяйств на окружающую среду в Белом море. Бактериопланктон. // Труды ЗИН РАН, 1993. Т. 253. С.101–109.
18. Макаревич П.Р., Ларионов В.В. Таксономический состав фитопланктона и история изучения фитопланктона Баренцева моря // Фитопланктон Баренцева моря. – Апатиты: КНЦ РАН, 1992. С. 17–51.
19. Михеев В.П., Сорокин Ю.И. Количественное исследование питания дрейссены радиоуглеродным методом //Журн. общ. биол., 1966. Т. 27. 467–471 стр.
20. Пономарева Л.А., Цихон-Луканина Е.А., Сорокин Ю.И. О потреблении фитопланктона и бактерий тропическими эвфаузидами // Функционирование пелагических сообществ тропических районов океана. – М.: Наука, 1971. С. 81–89.

21. Сорокин Ю.И. Бактериальная продукция в водоемах // Итоги науки и техники (общая экология, гидробиология, биоценология). – М.: ВИНТИ АН СССР, 1973 б. С. 47–101.
22. Смирнов Н.А., Федоров В.Д., Федоров В.В. Функционально-экологическое описание сезонного развития фитопланктона Белого моря // Журн. общ. биол, 1989. № 3. С. 22–35.
23. Прыгункова Р.В. Об исследованиях зоопланктона на Беломорской биологической станции Зоологического института АН СССР // Гидробиологические и ихтиологические исследования на Белом море. – Л.: ЗИН АН СССР, 1987 а. С. 30–50.
24. Перцова Н.М., Прыгункова Р.В. Зоопланктон // Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. – СПб.: ЗИН РАН, 1995. Ч. 1. С. 115–141.
25. Бондарчук Л.Л. Диатомовые водоросли прибрежных грунтов Кандалакшского залива Белого моря // Донная флора и продукция краевых морей СССР. – М.: Наука, 1980. С. 63–73.
26. Бондарчук Л.Л. Микрофитобентос // Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. – СПб.: ЗИН РАН, 1995. Ч. 1. С. 142–145.
27. Возжинская В.Б., Коренников С.П., Пронина О.А. // Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. – СПб.: ЗИН РАН, 1995. Ч. 1. С. 146–154.
28. Гемп К.М. Разведение анфельции в Белом море // Отчет СевПИНРО. – Архангельск: СевПИНРО, 1969. 164 с.
29. Вехов В.Н. Современное состояние zostеры в Белом море // Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. – СПб.: ЗИН РАН, 1995. Ч. 1. С. 176–187.
30. Денисов Н.Е., Денисова Н.И. Изучение пространственной структуры и скорости восстановления зарослей макрофитов Кандалакшского

залива Белого моря // Морская альгология и макрофитобентос. – Киев: Наукова думка, 1979. С. 42–43.

31. Наумов А. Д. Двустворчатые моллюски Белого моря. Опыт экологофаунистического анализа. – СПб.: ЗИН РАН, 2006. 367 с

32. National Aeronautics and Space Administration. Goddard Institute for Space Studies (GISS). Official site. — Электронный ресурс: [<http://www.giss.nasa.gov/>].

33. Дроздов В.В. Влияние колебаний климата на динамику экосистем Балтийского и Белого морей. Монография. — СПб.: РГГМУ, 2015. — 235 с.

34. Дроздов В.В. Влияние крупномасштабных параметров циркуляции атмосферы на уровненный режим Белого моря. // Проблемы Арктики и Антарктики, 2011, № 1(87), с. 65–73.

35. Дроздов В.В., Смирнов Н.П. Влияние крупномасштабных циркуляционных процессов в атмосфере на температурный режим Беломорского региона. // Проблемы Арктики и Антарктики, 2011, № 3(89), с. 78 — 88.

36. Североатлантическое колебание и бюджета тепла верхнего слоя Северной Атлантики – NAO (Нестеров, 2013, Official site. University of East Anglia, 2022; Official site. Program CLIVAR, 2022. – 68-70с.

37. Смирнов Н.П., Воробьев В.Н. Северо-Тихоокеанское колебание и динамика климата в северной части Тихого океана. СПб. Изд. РГГМУ, 2002. 122 с.

38. Вангенгейм Г.Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики //Труды ААНИИ. 1952. – Т. 34. – 314 с.

39. Бергер В.Я. Продукционный потенциал Белого моря. Т. 60 (68). – СПб: ЗИН РАН, 2007. 292 с.

40. Наумов А.Д. Двустворчатые моллюски Белого моря. Эколого-фаунистический анализ: Автореф. дис. докт. биол. наук. – СПб.: ЗИН РАН, 2004. 48 с.

41. Фролов С.Б., Зубов В.И., Носов М.А. Состояние запасов и перспективы использования беломорской сельди // Вопросы рыболовства. 2022. Т. 23 № 2. С. 143 – 154.
42. Проект «Моря». Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 2. Белое море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. — Л.: Гидрометеоиздат, 1991. — 241 с.
43. Филатов Н.Н., Тержевик А.Ю. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. — 349 с
44. Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы / Отв. ред. Н.Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 224 с.
45. Изменение температуры поверхностного слоя Белого моря, Толстиков А.В. 2016 стр. 30-33
46. Лепская В.А., Зеленков В.М., Стасенков В.А. Современное состояние запасов промысловых рыб Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. — СПб.: ЗИН РАН. 1995. С. 133.
47. Марти Ю.Ю. Семейство сельдевых // Промысловые рыбы Баренцева и Белого морей. — Мурманск: ПИНРО, 1952. С. 42–75
48. Сидоров М. О китоловстве и влиянии его на рыбную ловлю у берегов Архангельской губернии. — СПб., 1879. 165 с. (Цит. по: Кузнецов, 1960).
49. Кудерский Л.А., Скарлато О.А. Эколого-географические и исторические факторы, определяющие фаунистическую и промысловую обедненность Белого моря // Сб. научн. тр. ГосНИОРХ. — Л., 1986. Вып. 252. С. 19–30.
50. Алтухов К.А., Михайловская А.А., Мухомедьяров Ф.Б., Надежин В.М., Новиков П.И., Паленичко З.Г. Рыбы Белого моря. — Петрозаводск: Госиздат КАССР, 1958. 162 с.

51. Филиппов А.А., Каганский А.С. Физико-статическая оценка суточного, месячного и сезонного хода температуры воздуха в океанических районах 1967 Вып. 45.
52. Бабков А.И. Гидрология Белого моря. – СПб.: ЗИН РАН, 1998. 96 с
53. Филатов Н.Н., Тержевик А.Ю., Литвиненко А.В., Дружинин П.В., Неелов И.А., Савчук О.П. Исследования Белого моря и его водосбора как социо-эколого-экономической системы // Водные ресурсы европейского севера России: итоги и перспективы исследований. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 436–462.
54. Вехов В.Н. Зостера морская (*Zosteramarina* L) Белого моря Издательство Московского университета 1992 г – стр 57-60.
55. Букина М.В., Иванов М.В., Шатских Е.В. Восстановление морской травы *Zosteramarina*Linnaeus в Белом море: современный этап // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: материалы XI Всерос. конференции с междунар. участием. СПб. 2010. – С. 28–30.
56. Система Белого моря Том 4, Процессы осадкообразования, геология и история 2017 год, Москва стр. 395-396
57. Пилипас Н.И. Гетеротрофные микроорганизмы Белого и Баренцева морей и их биохимическая активность. // Вопросы загрязнения и самоочищения Белого и Баренцева морей. – Апатиты, 1977. С. 29–39.
58. Богоров В.Г. Биологические сезоны полярного моря // Докл. АН СССР, 1938. Т.19. № 8. С. 639–642.
59. Смирнова А.И., Терзиев Ф.С., Арсенчук М.О. и др. Общие закономерности изменчивости гидрометеорологического режима Балтийского и Белого морей. // Метеорология и гидрология, 2000, № 11, с. 62–72.
60. ЩербаковФ.А., СеменоваН.Л. Типы донных осадков и биоценозов центральной части Белого моря М.: Наука. 1990. С. 126 – 135.

61. Единая система информации об обстановке в Мировом океане,
Атлас «Климата морей России и ключевых районов Мирового океана» -
Электронный ресурс