



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной океанографии и комплексного управления
прибрежными зонами

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

«Взаимосвязь динамики численности фито- и зоопланктона в Северо-
Европейском бассейне»

Исполнитель: Чернышова Анна Сергеевна

Руководитель: канд. геогр. наук, доцент, Валерий Юрьевич Чанцев

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

Кандидат географических наук

(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

«04» 06 2024 г.

г. Санкт-Петербург

2024

Оглавление

Введение	2
Глава 1. Район и объект исследования.....	3
1.1 Северо-Европейский бассейн	3
1.2 Физико-географическое описание Норвежского и Баренцева морей	5
1.3 Фитопланктон Баренцева и Норвежского моря.....	16
1.4 Зоопланктон Норвежского и Баренцева моря.....	17
1.5 Районы нагула промысловых рыб Северо-Европейского бассейна	19
Глава 2. Материалы и методы исследования.....	22
2.1 Ограничения района исследования	22
2.2 Исходные данные	23
2.3 Методы исследования	24
Глава 3. Результаты исследования	27
3.1 Распределение фито- и зоопланктона в Норвежском море	27
3.2 Распределение фито- и зоопланктона в Баренцевом море.....	30
3.3 Выделение области определения взаимосвязи фито- и зоопланктона...	32
3.4 Расчет взаимосвязи фитопланктона и зоопланктона.....	41
Заключение	44
Список литературы	46

Введение

Эксплуатация морских живых ресурсов является одной из ключевых проблем в океанологии. Особое место в ней занимает изучение взаимосвязей между различными трофическими уровнями и понимание механизмов, влияющих на эти взаимосвязи. Нерациональное использование морских биоресурсов приводит к тому, что численность видов океана сокращается.

Фитопланктон является важнейшим первичным продуцентом в открытом море, а его численность и биомасса определяют количество энергии, доступной для последующих уровней трофической цепи [1]

Главными потребителями микроводорослей являются организмы зоопланктона. Их избирательный отбор - один из главных факторов, влияющих на структуру фитопланктонных сообществ, которая, в свою очередь, может влиять на таксономический состав и доминирование зоопланктона [3].

В данной работе будет рассмотрена динамика численности фито- и зоопланктона в морях Северо-Европейского бассейна, а также выявлены основные факторы, влияющие на их взаимосвязь и на баланс питания в водных экосистемах данного региона.

Целью работы является выявление взаимосвязи динамики биомассы фитопланктона и зоопланктона в Норвежском и Баренцевом морях.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Получить исходные данные по биомассе зоопланктона и концентрации хлорофилла «а» в фитопланктоне.
2. Проанализировать распределение фито- и зоопланктона в выбранном районе исследования Норвежского и Баренцева моря.
3. Выявить основные закономерности взаимосвязи между биомассой фито- и зоопланктона на анализе многолетней изменчивости обеих характеристик в районе исследования.

Глава 1. Район и объект исследования

1.1 Северо-Европейский бассейн

Северо-Европейский бассейн является частью Северного Ледовитого океана и включает в себя Гренландское, Норвежское и Баренцево море. По своим географическим и климатическим особенностям это уникальный район, обладающий собственной сложной экосистемой (рис. 1.1).

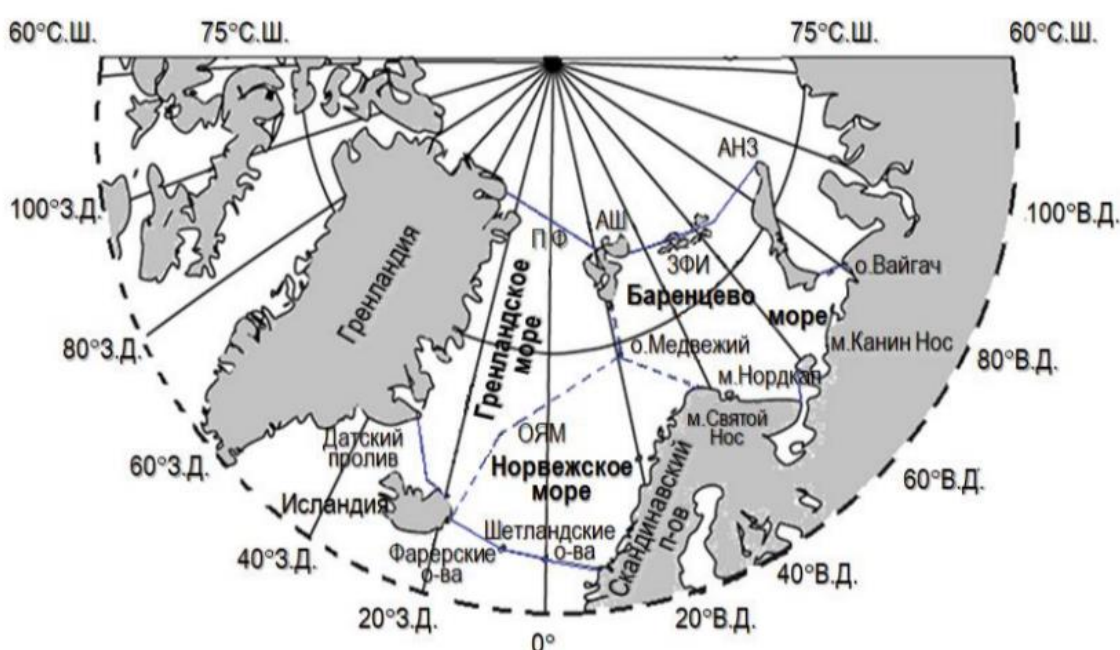


Рисунок 1.1 Схема границ морей Северо-Европейского бассейна.

Наиболее характерной особенностью региона является наличие больших температурных контрастов на поверхности. Это связано с тем, что теплые воды Северной Атлантики, поступающие с Норвежским течением, соприкасаются с охлажденными водами Арктического бассейна, которые поступают с Восточно-Гренландским течением. Такие условия формируют мощные и устойчивые гидрофронты [5].

Средняя температура поверхности океана Гренландского и Баренцева моря на севере составляет -1°C , в то время как в Норвежском море $+2,5^{\circ}\text{C}$.

Оба моря находятся за пределами полярного круга поэтому подвержены влиянию теплых североатлантических вод в меньшем количестве, чем Норвежское.

На юге Норвежского моря, в районе прохождения Северо-Атлантического течения наблюдается самая высокая температура поверхности океана, которая колеблется от 8°C до 12°C в зависимости от сезона [7].

Хребты Мона и Книповича ограничивают поступление теплых атлантических вод в Гренландскую котловину.

Юго-восточная часть района подвержена влиянию и теплых атлантических воздушных масс, и холодных (с Евразийского континента), поэтому в акватории Баренцева моря наиболее высокие градиенты температуры. Северо-Европейский бассейн отличается сильными ветрами, в основном юго-западного направления и повышенной облачностью [9].

Рельеф дна Северо-Европейского бассейна представлен системой срединно-океанических хребтов, которые являются продолжением Срединно-Атлантического хребта (рис. 1.2).

На границе с Норвежским морем располагается Медвежинский желоб, между архипелагами Земля Франца Иосифа - желоб Франц-Виктория. На границе с Арктическим бассейном – архипелаг Шпицберген, на северо-восточной границе с Карским морем - желоб Святой Анны.

На границах Баренцева моря расположены крупные желоба с глубинами до 600 м. Это способствует активному водообмену с соседними акваториями.

Наиболее крупными океаническими хребтами бассейна Норвежского и Гренландского морей являются хребет Мона (широтное расположение) и хребет Книповича (меридиональное расположение).

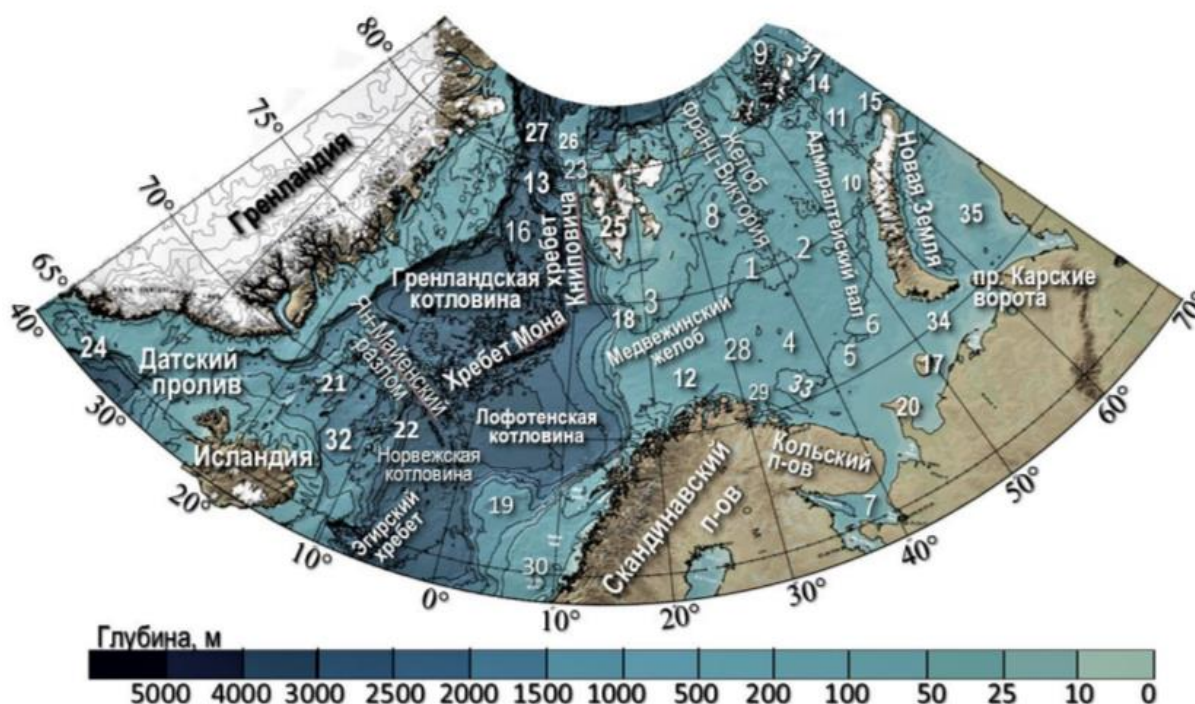


Рисунок 1.2 Рельеф дна морей Северо-Европейского бассейна

В норвежском море, между скандинавским полуостровом и хребтами, располагаются Норвежская и Лофотенская котловина (наиболее крупные в данном районе). Норвежская котловина является одним из самых глубоководных бассейнов моря со средними глубинами 3200-3600 м.

В Гренландском море расположены два основных бассейна: Гренландская котловина со средними глубинами 3400–3600 и котловина Борея со средними глубинами 3200 м [10].

1.2 Физико-географическое описание Норвежского и Баренцева морей

Норвежское море – окраинное море Северной Атлантики, является частью Северо-Европейского бассейна Северного ледовитого океана (рис. 1.3). Площадь моря составляет 1400 тыс. км², объем - примерно 2325 тыс. км³. Максимальная глубина моря достигает 3970 метров, средняя - 1735м. Соленость вод - 35 ‰.

От Шпицбергена до острова Ян-Майен проходит западная граница моря, а затем до мыса Гернир в Исландии. В южной части море распространяется от острова Мейнленд до Фарерских островов.

На востоке море ограничено берегами Норвегии, далее граница идет от мыса Нордкап до острова Медвежий и южной оконечности острова Западный Шпицберген [13].

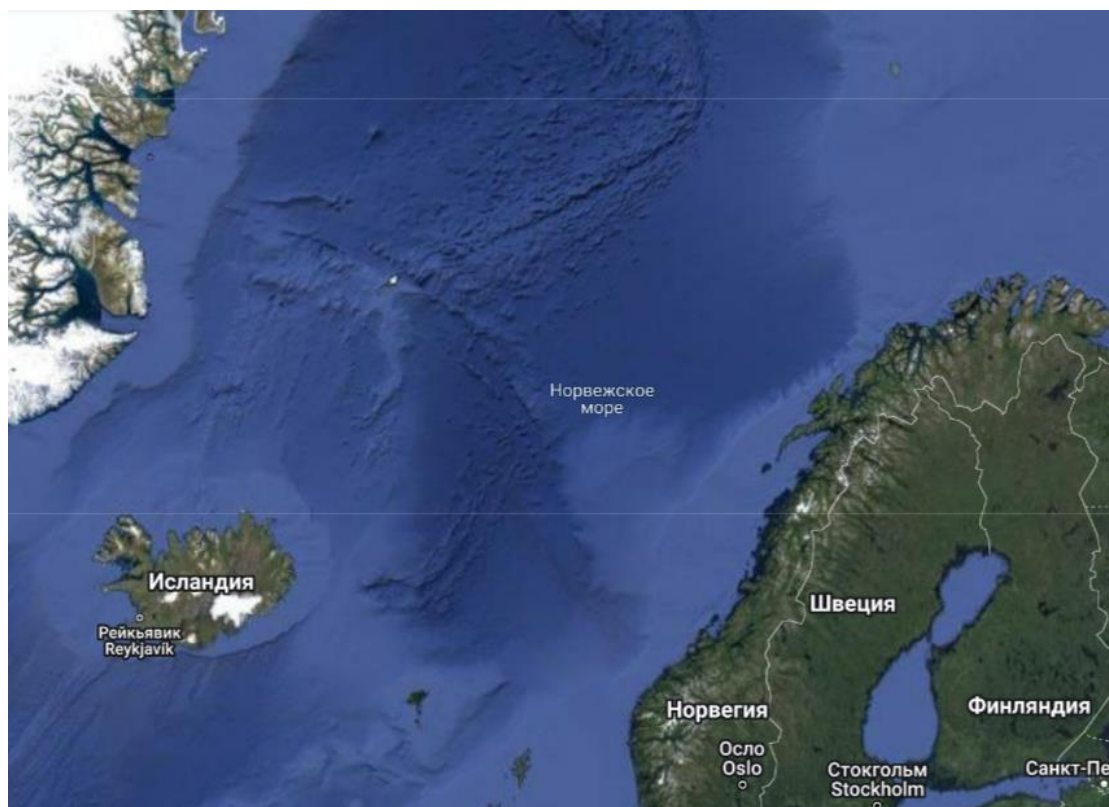


Рисунок 1.3 Карта расположения Норвежского моря

На северо-востоке море граничит с Баренцевым морем, на западе – с Гренландским морем, на юге – с Северным и на юго-западе – с Атлантическим океаном.

От Атлантического океана Норвежского море отделено хребтом, над которым расположились Шетландские и Фарерские острова. Береговая линия моря сильно изрезана, присутствует большое количество мысов и заливов.

Температура и соленость

Система постоянных течений и сезонные колебания оказывают значительное влияние на распределение температуры и солености в Норвежском море. К концу лета (с августа по сентябрь) температура поверхности воды достигает самых больших значений.

Температура поверхности Норвежского моря понижается с юго-запада к северо-востоку и круглый год имеет положительные значения в связи с влиянием теплых атлантических вод [4].

Из-за теплого Норвежского течения зимой море не замерзает. В южной части моря на поверхности наблюдается наиболее высокая температура в зимний период $6-7^{\circ}\text{C}$, в северной составляет $2-3^{\circ}\text{C}$ и отрицательная у побережья Западного Шпицбергена. Летом море достаточно хорошо прогревается, температура воды на поверхности поднимается до $12-13^{\circ}\text{C}$ на юге и до $5-7^{\circ}\text{C}$ на севере.

До горизонта 1000 м температура остается положительной и плавно понижается с глубиной. На глубине более 1500–2000 м она становится отрицательной и достигает -1° .

Соленость воды Норвежского моря по сезонам и с глубиной в открытой части бассейна изменяется мало. Большой интенсивностью характеризуются воды только вблизи берегов и кромки льдов [7].

Атмосферная циркуляция и погода

Атмосферные процессы, которые определяют климат моря связаны с общей системой атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой. Здесь присутствует постоянная область пониженного давления – Исландский минимум, а также несколько постоянных центров повышенного давления такие как Азорский максимум и области высокого давления над Гренландией, районом Шпицбергена [2].

В теплое время года активность атмосферных процессов над Норвежским морем и прилегающими районами ослабевает поэтому сильные ветры наблюдаются не часто.

Ветровое волнение в открытых частях моря до горизонтов 25-30 м перемешивает поверхностный слой. В весенне-летний период волнение уменьшается из-за ослабления циклонической деятельности и снижения скорости ветра - преобладают умеренные и слабые волны высотой до 1–1,5 м.

Рельеф дна Норвежского моря

Ложе моря составляют впадины с глубинами около 3000 м разделенные подводными хребтами, которые играют значительную роль в формировании водообмена с соседними морями (рис. 1.4).

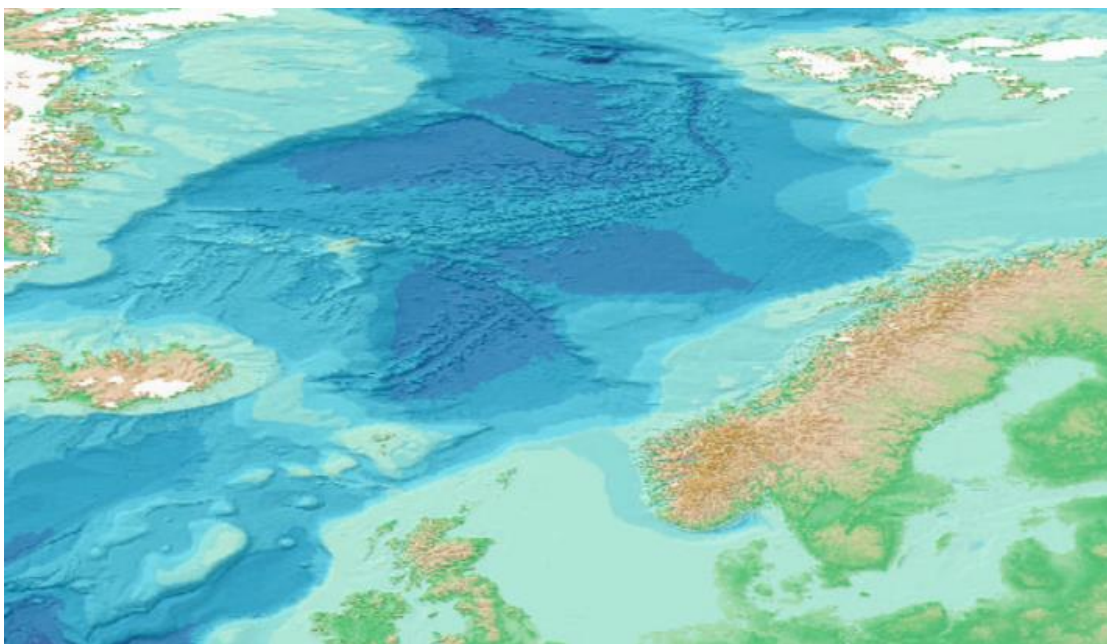


Рисунок 1.4 Карта батиметрии Норвежского моря

Норвежская впадина с глубинами 2900-3500 м занимает центральную часть моря, на северо-востоке находится Лофотенская котловина с глубинами

2800—3200 м. Норвежский и Фареро-Исландский желоба частично заходят в море.

К Норвежскому морю относится часть Медвежинской банки и плато Копытова. Южнее Норвежской впадины поднятие дна образует Норвежское плато с глубинами 650–1150 м. Дно глубоководных котловин покрыто глобигериновыми и диатомовыми илами.

В западной части моря вблизи островов Исландия и Ян-Майен присутствуют вулканические осадки, так как на этих островах есть действующие вулканы. На шельфах осадки терригенного происхождения – пески, глина, скопление окатанных валунов, вынесенных ледниками [6].

Циркуляция вод и течения Норвежского моря

Норвежское течение является основным элементом циркуляции вод моря (рис. 1.5). Оно формируется из атлантических вод, которые поступают в Норвежское море от Северо-Атлантического течения через Фареро-Шетландский канал. Между Исландией и Фарерскими островами находится небольшой участок, где сосредоточено проникновение атлантических вод в Норвежское море.

В южной части моря Норвежское течение разделяется на две ветви, первая движется через Норвежское море (вдоль изобаты 500-1000 м), а вторая протягивается вдоль восточного побережья Исландии и через Фареро-Шетландский канал (между изобатами 1500 и 2000).

Восточная ветвь включает в себя склоновое и прибрежное течения. Прибрежное течение подпитывается стоковыми пресными водами и движется вдоль побережья Норвегии, уходя при этом в Баренцево море. Оно имеет выраженную сезонную изменчивость температуры вод, скорости, ширины и глубины потока [8].

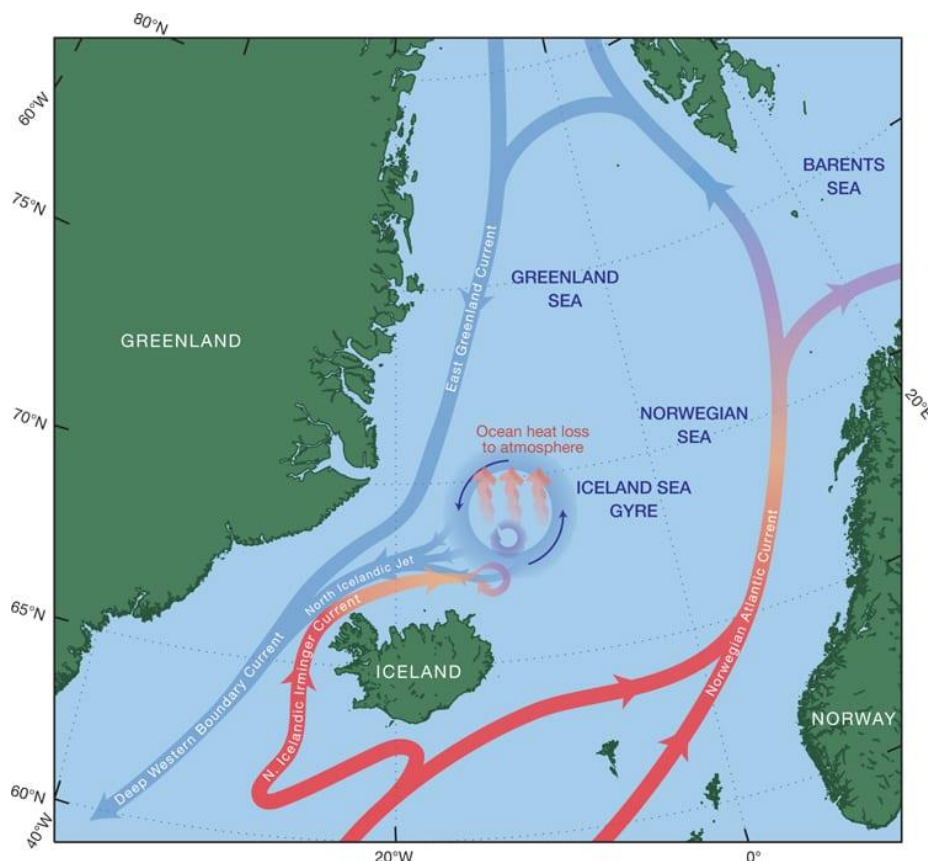


Рисунок 1.5 Карта общей циркуляции вод Норвежского моря

Зимой прибрежное течение более узкое, а летом расширяется и становится мелким. Распространяясь на север в виде клина поверх атлантических вод, оно достигает глубины до 100 метров. Это течение является более холодным и менее солёным по сравнению со склоновым, так как его воды поступает из солоноватого Балтийского моря, а также из норвежских рек и фьордов.

От склонового течения в северной части Норвегии, отделяются ветви Нордкапского и Мурманского течений, входящих в Баренцево море. Остальная часть вод движется к Шпицбергену на север и далее распространяется вдоль его западного побережья. Часть водного потока, уходящего в Баренцево море, затем возвращается обратно в Норвежское море.

Благодаря затоку атлантических вод в Норвежском море не образуется ледяной покров, и формируются благоприятные условия для развития различных видов морских организмов [4].

Восточно-Исландское течение переносит холодную воду на юг из Норвежского моря в сторону Исландии, а затем на восток, вдоль Северного полярного круга. Приливы в море полусуточные; то есть они поднимаются два раза в день на высоту около 3,3 метра.

Баренцево море – окраинное море Северного Ледовитого океана, ограниченное северным побережьем Европы, архипелагами Земля Франца Иосифа, Шпицберген и Новая Земля. Омывает северное побережье Скандинавского и Кольского полуостровов (рис. 1.6). Площадь моря составляет от 1424 тысяч км². Средняя глубина– 220 м, максимальная-600 м.

Границы Баренцева моря на западе проходят по линии архипелага Шпицберген - о. Медвежий – мыс Нордкап (граница с Норвежским морем), на юге – по берегу материка, на севере-граница определяется по южным проливам архипелага Земли Франца Иосифа и далее от мыса Мэри Хармсуорт до о. Белый по северным берегам островов Земли Франца-Иосифа [2].



Рисунок 1.6 Карта расположения Баренцева моря

Береговая линия моря достаточно изрезана и осложнена различными мысами, бухтами и заливами. Длина береговой линии составляет около 6645 км. Море расположено на шельфе Северного ледовитого океана. При этом его дно имеет равнинно-платформенное строение, а основными формами рельефа являются возвышенности и равнины.

Рельеф дна

Баренцево море является самым глубоководным из всех шельфовых морей, окружающих Северный Ледовитый океан. Наиболее глубокие районы моря находятся в его западной части.

Для рельефа дна моря характерно чередование подводных возвышенностей и желобов – пересекающих его в различных направлениях. Средние глубины дна моря колеблются от 190 до 230 м.

Крупнейшими возвышенностями (банками) в Баренцевом море являются Центральная и Персея. Глубина моря над ними 100–200 м. Шпицбергенская банка, расположенная между островами Медвежий и Надежды, тоже входит в число крупных форм донного рельефа Баренцева моря. Глубина моря здесь составляет всего 20–100 м.

Есть несколько крупных поднятий на юге Баренцева моря – это Мурманское поднятие (100– 200 м), Канинская и Гусиная банки (50–100 м). Новоземельская банка, простирающаяся параллельно Новой Земле, имеет глубины 50–200 м.

Четыре крупных желоба с глубинами 300–400 м прорезают дно Баренцева моря. Медвежинский и Зюйдкапский желоба пересекают границы Баренцева моря со стороны Норвежского[5].

Желоб Франц-Виктория находится между архипелагом Земля Франца Иосифа и о. Виктория, пересекая границу моря со стороны Арктического бассейна. Желоб Святой Анны – пересекает границу Баренцева моря на северо-востоке, со стороны Карского моря.

Циркуляция и течения Баренцева моря

На характер циркуляции вод в Баренцевом море оказывает влияние крупномасштабная атмосферная циркуляция, приток вод из соседних морей, а также рельеф дна (рис. 1.7).

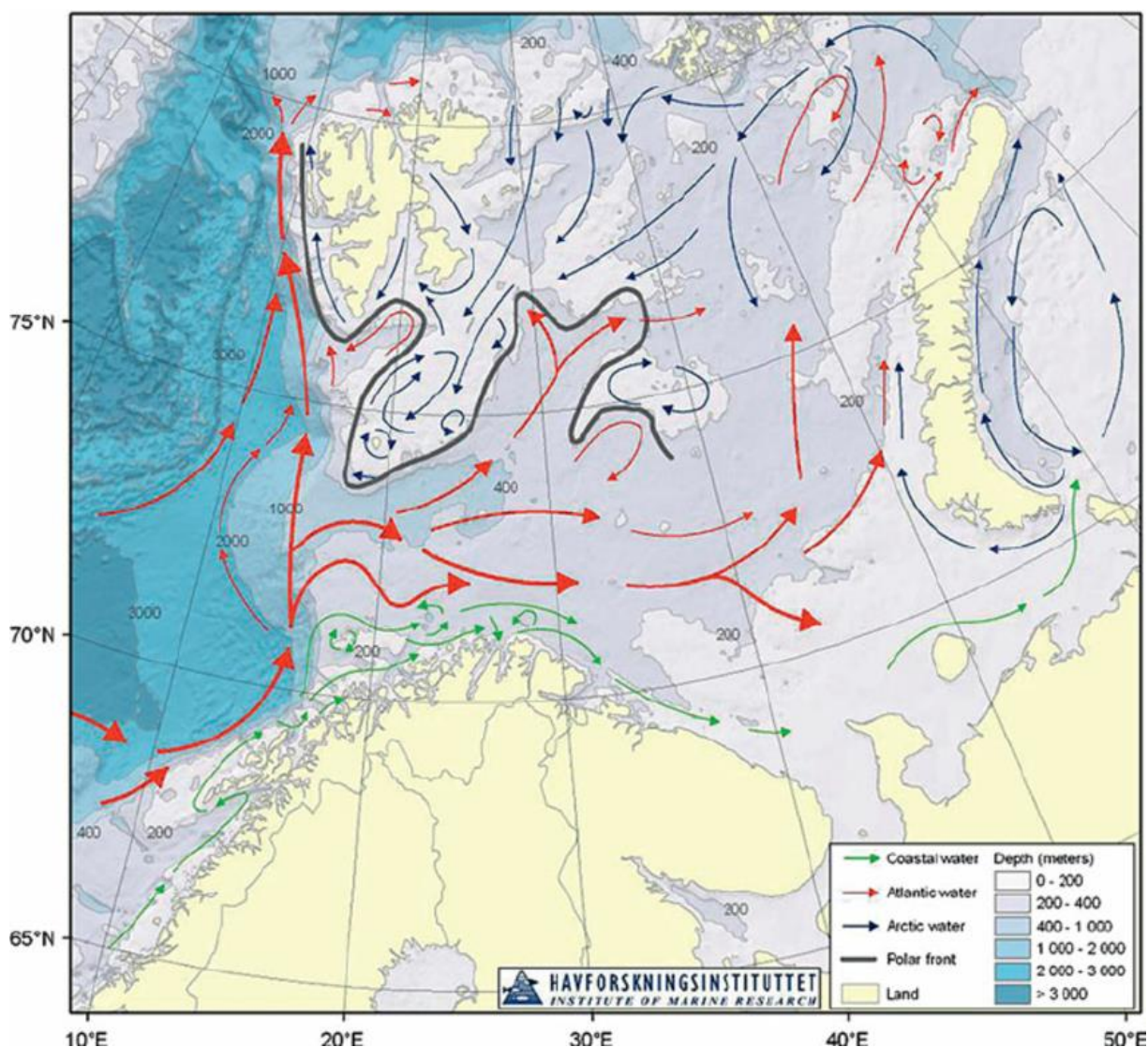


Рисунок 1.7 Карта течений Баренцева моря

Главные особенности общей циркуляции вод Баренцева моря заключаются в следующем: движение вод против часовой стрелки, трансформированные воды атлантического происхождения, ставшие баренцевоморскими, движутся на северо-восток и север в районах западнее

Новой Земли, холодные арктические воды движутся от северных границ моря на запад и юго-запад, движение подповерхностных вод в сильной степени зависит от рельефа дна.

Наиболее мощный и устойчивый поток, обуславливающий гидрологический режим моря, образует теплое Нордкапское течение.

Оно входит в море с запада и по мере продвижения на восток разделяется на несколько ветвей: на Прибрежное, шириной 20-30 миль и скоростью на поверхности около 40 см/с, и Северное, шириной около 60 миль и скоростью 13 см/с.

Особую группу составляют Беломорское и Печорское стоковые течения, которые отличаются пониженной соленостью. Северная ветвь Нордкапского течения, встретив повышение дна на 73°с.ш. и 30°в.д., поворачивает на северо-восток. Однако часть ветви движется на восток и юго-восток, где включается в циклонический круговорот.

Основная масса вод северной ветви Нордкапского течения поворачивает на запад и юго-запад. Холодные течения из Арктического бассейна направлены к югу от Земли Франца-Иосифа и вдоль восточного берега Шпицбергена [3].

Одной из главных особенностей динамики вод Баренцева моря являются приливные течения. Вызванные приливными колебаниями уровня они имеют такую же периодичность, но смена направлений приливных течений в разных районах моря происходит неодинаково.

Вдоль Мурманского берега и в западной части Печорского моря течение, возникающее при приливе, меняется на прямо противоположное при отливе.

Скорость приливных течений превышает скорость постоянных, особенно в поверхностном слое, где они достигают 150 см/с. Большими скоростями характеризуются приливные течения вдоль Мурманского берега, при входе в воронку Белого моря, в Канинско-Колгуевском районе и на Южно-Шпицбергенском мелководье.

В открытой части моря скорости приливных течений составляют 10-20 см/с, на юго-востоке 30-40 см/с, на западной границе моря - 30-50 см/с. Приливные течения захватывают всю толщу вод Баренцева моря. Скорости течений с глубиной, как правило, постепенно уменьшаются, особенно в тех районах, где на поверхности они значительны.

Однако на глубинах 20-50 м в слое скачка плотности при ярко выраженном сезонном термоклизе скорости приливных течений увеличиваются.

Температура и соленость

Общий температурный режим Баренцева моря определяют два основных фактора – адвекция вод из соседних водоемов и теплообмен с атмосферой.

Температура воды Баренцева моря на поверхности снижается с запада на восток и с юга на север во все сезоны года. В юго-западной и центральной частях моря температура остается положительной в течение всего года. В северной части существует холодный промежуточный слой с температурами ниже -1°C , который подстиляет теплая вода.

В течение зимы температура в верхних 200–300 м в юго-западной части Баренцева моря составляет около $4-5^{\circ}\text{C}$, в то время как в центральной части она уменьшается до 0°C .

Летом температура воды на поверхности близка к температуре воздуха, но существование большого температурно-соленостного градиента на горизонтах 20–50 м затрудняет вертикальное перемешивание и объясняет большие различия температур на разных глубинах летом.

Соленость в Баренцевом море определяется адвекцией и перемешиванием прибрежных, атлантических и арктических водных масс, процессами образования и таяния льда, испарением и осадками, а также речным стоком.

На поверхности наибольшая соленость наблюдается в западной части моря, а к востоку происходит ее уменьшение.

Самая низкая соленость наблюдается в юго-восточной части моря вследствие значительного речного стока в этом районе.

1.3 Фитопланктон Баренцева и Норвежского моря

Основная масса органического вещества в океане производится фитопланктоном, который является начальным автотрофным звеном трофической цепи морского сообщества. Фитопланктон представляет собой свободноплавающие в толще воды микроводоросли и сосредоточен в эвфотическом слое (верхний освещенный слой, где происходит фотосинтез).

Видовой состав фитопланктона в районе изменяется вместе с изменениями условий среды: как только на поверхность поступает достаточное количество фотосинтетической активной радиации (ФАР), начинается весеннее «цветение». В этот период, когда в воде достаточно кремния и азота, в сообществе доминируют диатомовые водоросли и лишь частично – кокколитофоры и динофлагелляты.

За последние 20 лет с изменением климата в арктические моря начали проникать новые виды фитопланктона, обычно встречаемые в Атлантических водах; с каждым годом широты их встречаемости проникают глубже на север.

В Баренцевом и Норвежском морях хорошо известны два сезонных периода цветения - весенний и поздний летне-осенний [7,8].

Весной количество солнечного света увеличивается, что позволяет фитопланктону потреблять питательные вещества, поступающие в верхние слои во время зимних штормов и через стоки наземных рек (в прибрежных водах).

Летом или осенью поверхностные воды истощаются из-за потребления питательных веществ водорослями во время весеннего цветения. Реминерализация, подъем воды и речной сток снова насыщают поверхностные

воды питательными веществами, что приводит к вторичному цветению, называемому летним или осенним.

Весеннее цветение фитопланктона Норвежского моря начинается в марте вдоль береговой линии, и в нем преобладают распространенные весенние виды диатомовых водорослей (например *Chaetoceros* и *Thalassiosira*).

В Баренцевом море цветение начинается в середине апреля — середине мая, и его интенсивность может значительно отличаться от года к году. Обычно цветение продолжается 3-4 недели, и за ним следует уменьшение биомассы фитопланктона преимущественно из-за истощения питательных веществ и выедания зоопланктоном.

Позднее осенью, когда усиливающиеся ветра начинают перемешивать верхний слой и поднимать питательные вещества к поверхности, может наблюдаться короткое осеннее цветение. Тем не менее, сроки развития фитопланктона могут отличаться в разных районах.

Весеннее цветение в акватории с атлантическими водами (не имеющими ледового покрова) вызывается перепадом температур, тогда как в арктических водах (имеющих сезонный ледовый покров) цветение определяется стабильностью таяния льда.

Таким образом, весеннее цветение у кромки льда иногда может происходить ранее, чем в южных районах Баренцева моря благодаря более ранней стратификации, вызываемой таянием льда.

1.4 Зоопланктон Норвежского и Баренцева моря

Зоопланктон — это ключевой компонент пелагических экосистем, обеспечивающий передачу энергии от первичных продуцентов к более высоким трофическим уровням. Зоопланктон составляет важную часть питания промысловых рыб в арктических морях.

Количество и состав зоопланктона в Баренцевом и Норвежском море контролируются несколькими факторами: температурой, адвекцией атлантической воды, пищевыми условиями и прессом хищников. Эти факторы, в свою очередь, находятся во взаимодействии друг с другом и значительно варьируют в зависимости от сезона и региональных условий.

Зоопланктон Норвежского моря в основном представлен копеподами *Calanus finmarchicus* и *Calanus hyperboreus*, где первые встречаются примерно в четыре раза чаще вторых и в основном в атлантических водах, тогда как *C. hyperboreus* доминирует в арктических водах, они являются основным рационом большинства морских хищников [13].

В Норвежском море наблюдается значительное присутствие известнякового планктона (Кокколитофора и Глобигериниды). Креветки вида *Pandalus borealis* играют важную роль в питании рыб, особенно трески и голубого беляка, и в основном встречаются на глубинах от 200 до 300 метров.

Пространственное распределение биомассы зоопланктона по Баренцеву морю показывает высокие уровни в юго-западных и северных регионах и относительно низкими в центральных областях. В эту фракцию в основном входят относительно крупные копеподы, например *Calanus finmarchicus* на поздних стадиях развития (рис. 1.8).

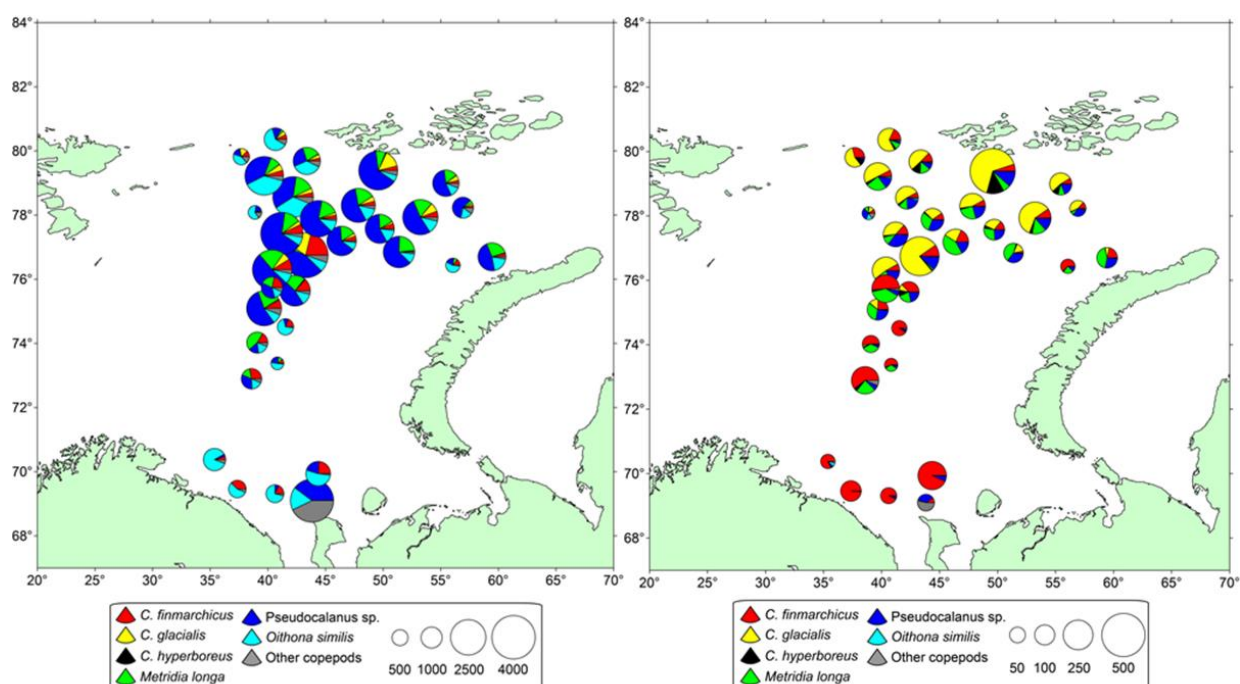


Рисунок 1.8 Распределение зоопланктона Баренцева моря по видам

1.5 Районы нагула промысловых рыб Северо-Европейского бассейна

Наиболее распространенными видами промысловых рыб Северо-Европейского бассейна является северная путассу, атлантическая сельдь, атлантическая скумбрия, пикша, мойва, корюшка и др. Большинство промысловых видов обитает на глубине от 0 до 200 м [15].

Молодые кормовые рыбы, такие как сельдь, в основном питаются зоопланктоном. Особую роль в их питании играет рачок *Calanus Finmarchicus*, размером 3 мм. Атлантическая сельдь — стайная рыба, постоянно кочующая в поисках пищи (рис. 1.9).

Хищничество со стороны планктоноядных пелагических видов рыб (сельди, сайки и путассу) и пелагической молоди придонных видов рыб (трески, пикши, сайды и морского окуня), а также более крупных форм планктона (например, щетинкочелюстные, криль и бокоплавы) может влиять на состояние мезозоопланктона в Баренцевом и Норвежском море [14].

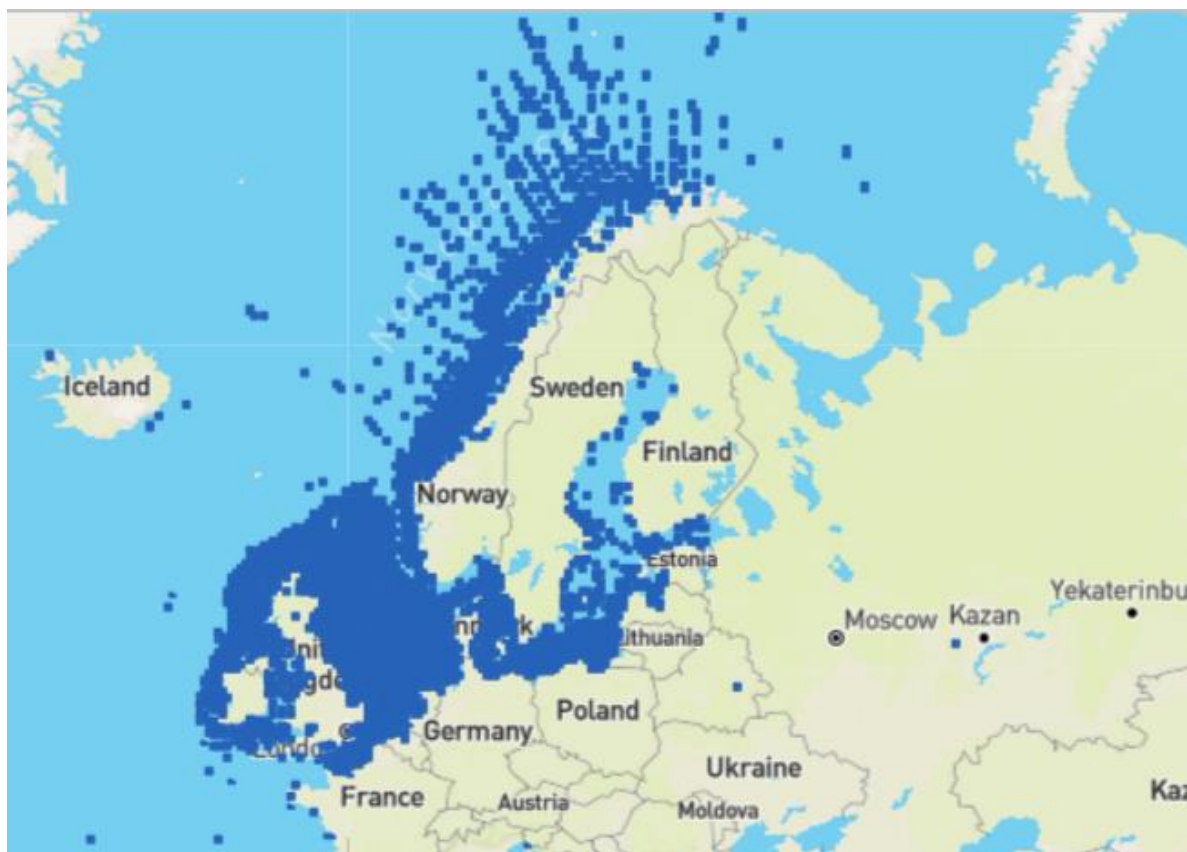


Рисунок 1.9 Район обитания атлантической сельди

По рисунку видно, что район распространения атлантической сельди охватывает все побережье скандинавского полуострова, полностью Северное море, Ирландское и Шотландское побережье. Частично захватывает северные районы Баренцева моря и побережье Исландии.

Также можно отметить, что ареал распространения атлантической сельди сосредоточен в основном у берегов.

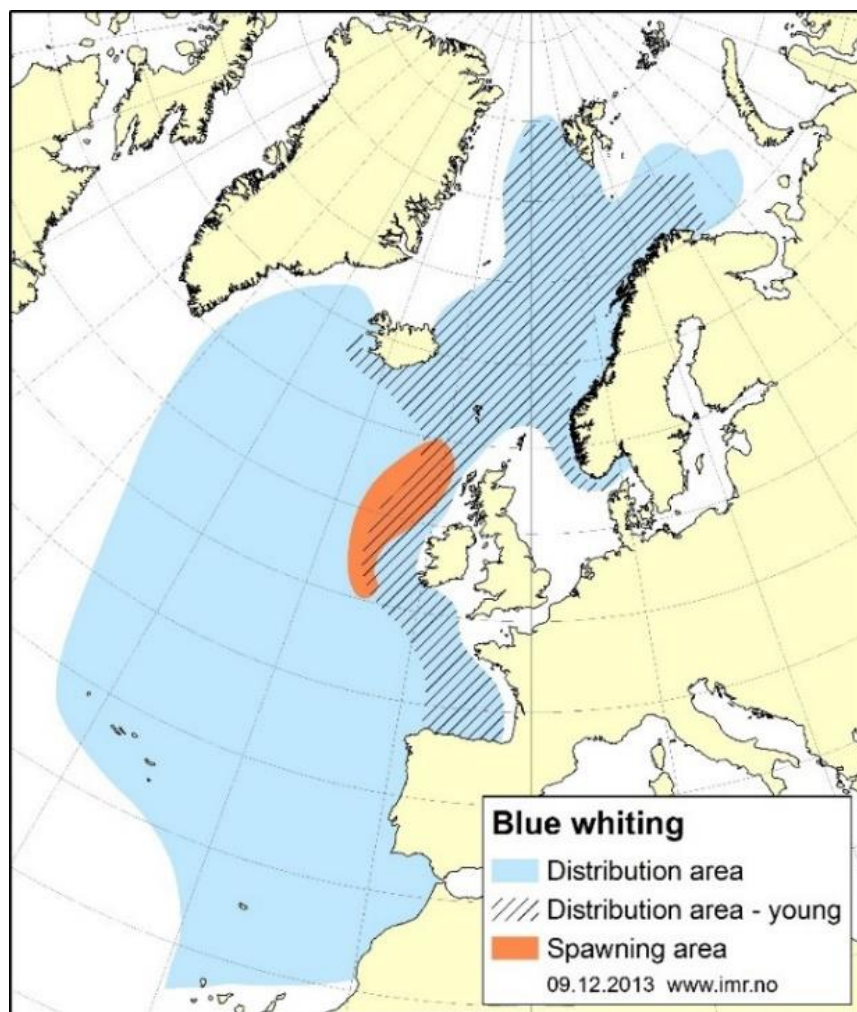


Рисунок 1.10. Район нагула северной путассу в акватории Северо-Европейского бассейна

По карте можно заметить, что зона распространения северной путассу охватывает практически всю акваторию Норвежского моря и частично захватывает Баренцево море (в юго-западной части).

Оранжевым цветом обозначена зона нереста, штрих — зона распространения молоди.

Глава 2. Материалы и методы исследования

2.1 Ограничения района исследования

Районом исследования послужили юго-западные части Баренцева и Норвежского морей Северо-Европейского бассейна (рисунок 2.1 и 2.2):

1. Норвежское море- широта в диапазоне $61,5^{\circ}$ - $65,5^{\circ}$ с.ш; долгота в диапазоне от 0° до 8° з.д

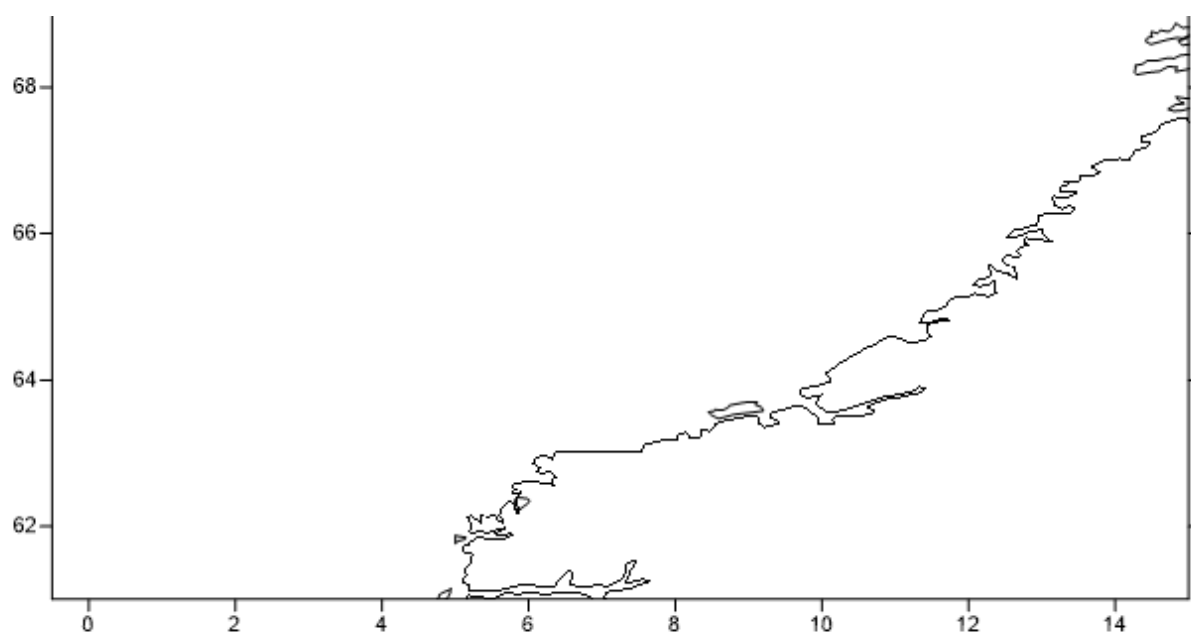


Рисунок 2.1 Район исследования Норвежского моря

2. Баренцево море - широта в диапазоне 68° - $74,5^{\circ}$ с.ш.; долгота в диапазоне -15° - 28° з.д.

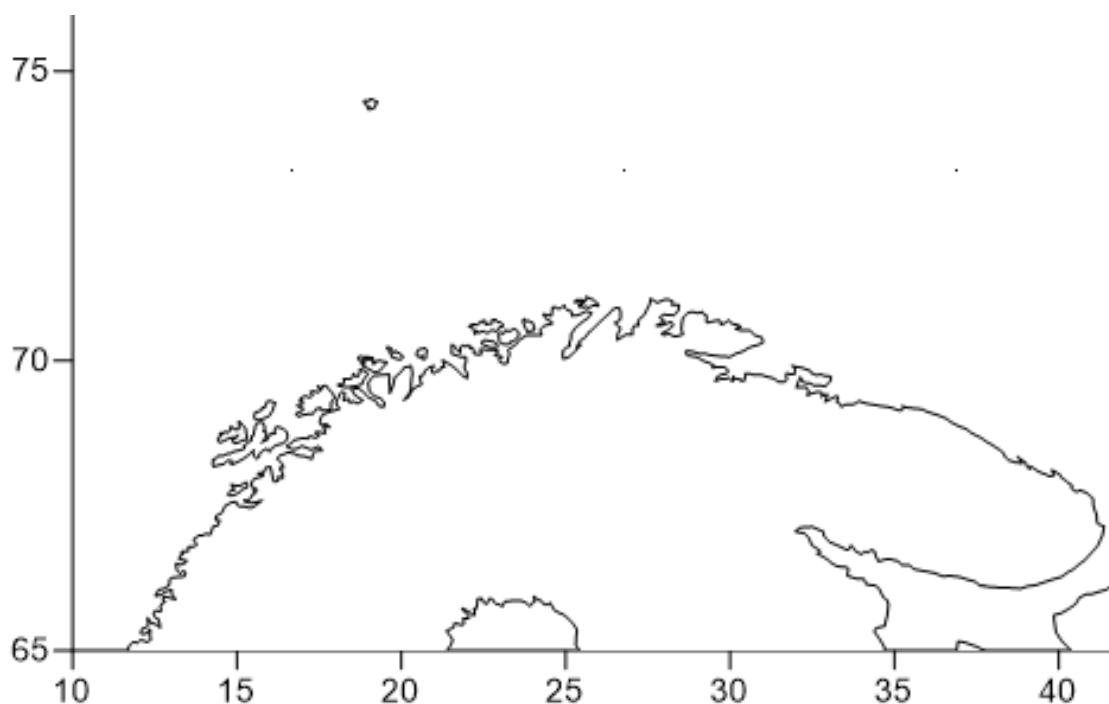


Рисунок 2.2 Район исследования Баренцева моря

2.2 Исходные данные

В данной работе использовались две основные базы данных. Данные взяты за период с 1 января 2006 года по 1 января 2016 года.

Исходными данными по численности зоопланктона Норвежского и Баренцева моря послужила европейская информационная система о биоразнообразии океана EurOBIS, Института Морских исследований (IMR); Норвегия (<https://obis.org/dataset/55fdf3b0-744a-4a29-a81e-7d9884be1a91>).

Для исследования фитопланктона были выбраны данные о массовой концентрации хлорофилла «а». В качестве базы данных использовался сервис Copernicus (<https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus>) - программа Европейского союза по наблюдению за Землей.

2.3 Методы исследования

В качестве основных методов исследования был использован взаимнокорреляционный анализ, метод расчета среднеквадратичного отклонения генеральной совокупности и метод интерполяции кубическими сплайнами.

Взаимнокорреляционный анализ (кросскорреляция)

Взаимная корреляция (кросскорреляция) – это корреляция двух статистических рядов друг с другом при разных сдвигах во времени.

Принцип расчета: взяты два исходных ряда X и Y. Между парой этих рядов рассчитывается коэффициент корреляции r_0 . Далее ряд X сдвигается относительно ряда Y на 1 число вперед, а длины рядов Y и X уравниваются при этом ряд Y обрезается на 1 число с начала, а ряд X i - с конца.

После этого снова рассчитывается коэффициент корреляции между этими рядами r_1 .

Таким способом можно сдвигать ряды далее, на каждом сдвиге уравнивая их длины и рассчитывая коэффициенты корреляции.

Взаимнокорреляционная функция (ВКФ) является несимметричной поэтому ряд нужно сдвигать и в обратную сторону на такое же количество сдвигов.

Коэффициент взаимной корреляции $r(x)$ на каждом сдвиге также можно рассчитать по формуле:

$$r(\pm\tau) = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y (N-1-|\tau|)} \sum_{i=1}^{N-|\tau|} [(x_{i\oplus\tau} - \bar{x})(y_{i\pm\tau} - \bar{y})] \quad (2.1)$$

где N — длина реализации;

τ - сдвиг, который меняется от $-\tau_{\max}$ до $\tau_{\max}$

ВКФ представляет собой совокупность коэффициентов корреляции и их можно проверить на значимость или рассчитать уровень значимости взаимнокорреляционной функции на каждом сдвиге.

Все значения ВКФ, превышающие (по модулю) уровень значимости, являются значимыми, а значения ВКФ между уровнями значимости статистически равны нулю.

Метод расчета среднеквадратичного отклонения от генеральной совокупности (СКО)

Среднеквадратичное отклонение (или стандартное отклонение)- это показатель рассеивания случайной величины относительно ее матожидания. СКО генеральной совокупности рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \sqrt{(\sum (x - \mu)^2 / N)} \quad (2.2)$$

где Σ - это сумма;

x - одно значение из выборки;

μ - среднее арифметическое;

N — количество элементов в выборке.

В данной работе среднеквадратичное отклонение (СКО) было рассчитано для исследования межгодовой изменчивости численности зоопланктона и биомассы фитопланктона.

Метод интерполяции кубическими сплайнами

Кубическим сплайном на сетке x_i , $i = 0...n$, отрезка $[a, b]$ называют функцию $S(x)$, дважды непрерывно-дифференцируемую на отрезке и представляющую собой полином степени не выше 3 на каждом его участке.

Уравнение кубического сплайна на отдельном участке имеет вид:

$$S = a + b(x - x_0) + c(x - x_0)^2 + d(x - x_0)^3 \quad (2.3)$$

где x_0 – координата начала интервала

a, b, c и d – неизвестные коэффициенты

Для того чтобы построить кубический сплайн необходимо задать коэффициенты, которые единственным образом определяют кубический многочлен в промежутке между данными точками.

На рисунке 2.3 представлен пример записи коэффициентов кубического сплайна.

№	x	y
0	1	2
1	2	3
2	4	1
3	7	4

Рисунок 2.3. Пример коэффициентов для расчета

Глава 3. Результаты исследования

По рассчитанным данным были построены карты сезонного распределения численности зоопланктона и концентрации хлорофилла «а» в фитопланктоне для Норвежского и Баренцева моря.

3.1 Распределение фито- и зоопланктона в Норвежском море

Из рисунков 3.1-3.4 видно, что максимальная концентрация хлорофилла «а» в фитопланктоне и численность биомассы зоопланктона наблюдалась в весенний период в апреле.

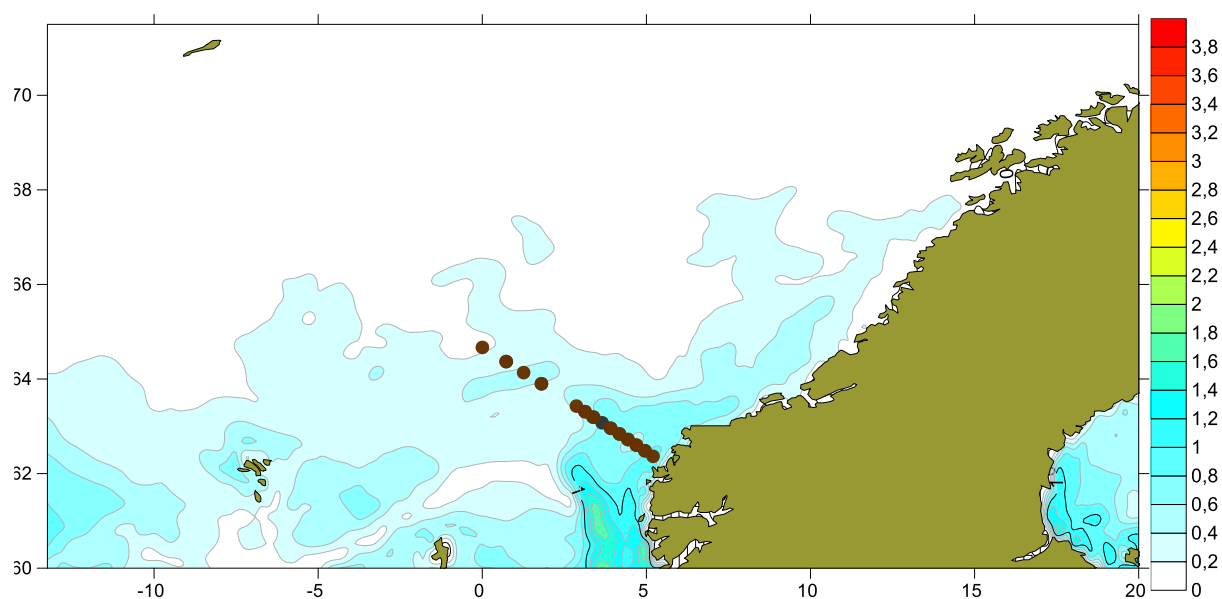


Рисунок 3.1 Карта распределения фито-и зоопланктона в Норвежском море в январе (цветом обозначено расположение фитопланктона, точками – зоопланктон)

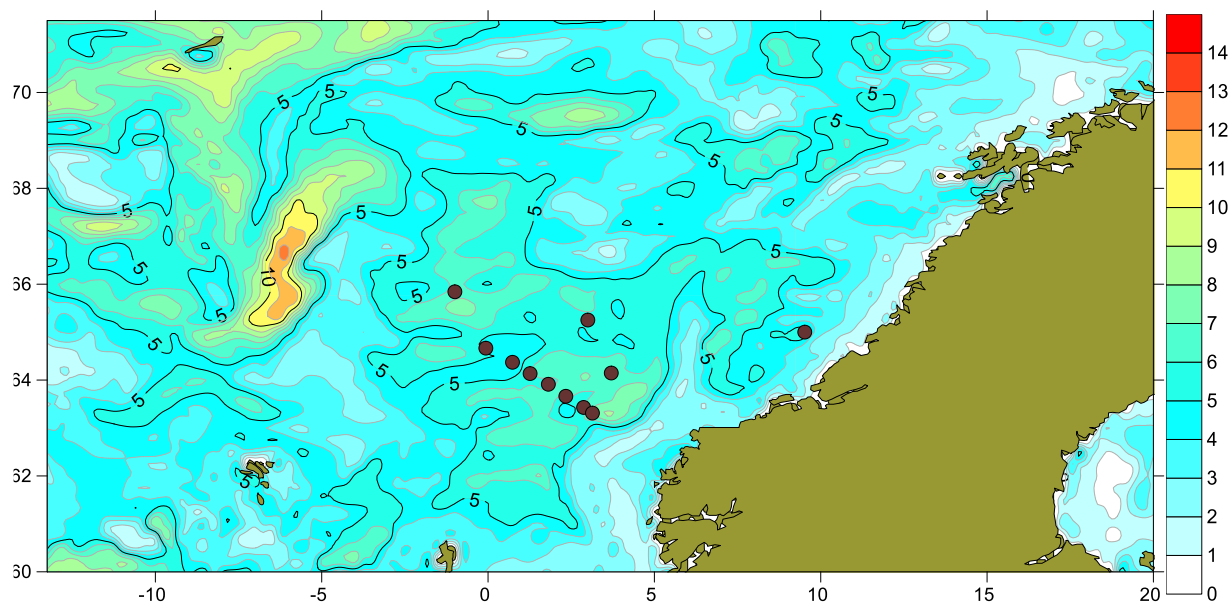


Рисунок 3.2 Карта распределения фито-и зоопланктона в Норвежском море в апреле
(цветом обозначено расположение фитопланктона, точками – зоопланктон)

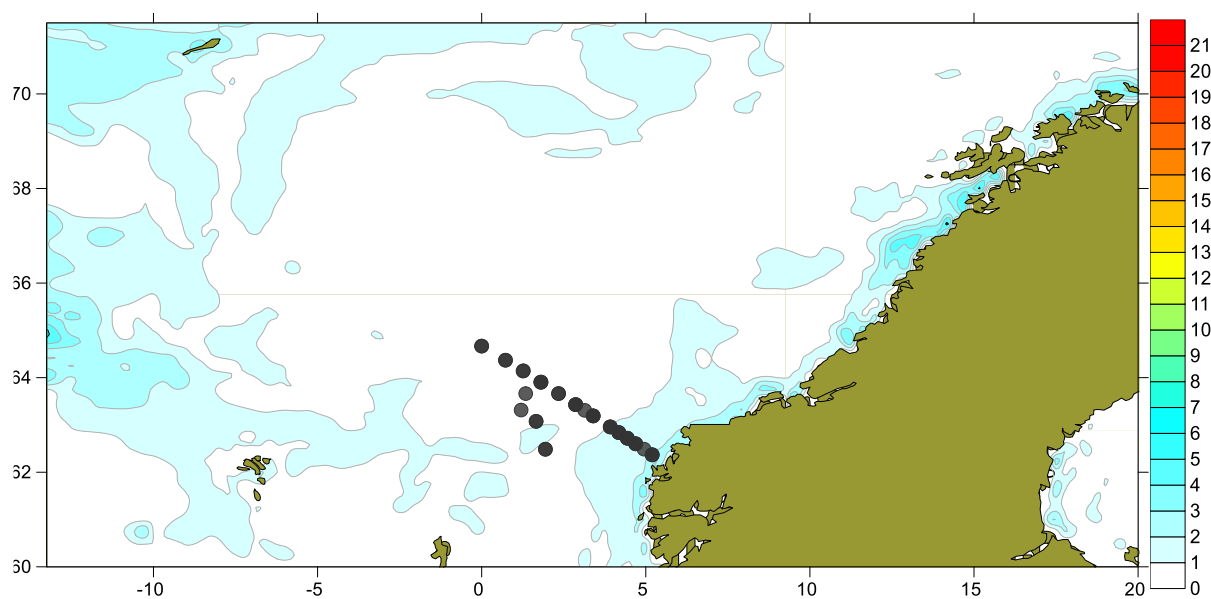


Рисунок 3.3 Карта распределения фито-и зоопланктона в Норвежском море в июле
(цветом обозначено расположение фитопланктона, точками – зоопланктон)

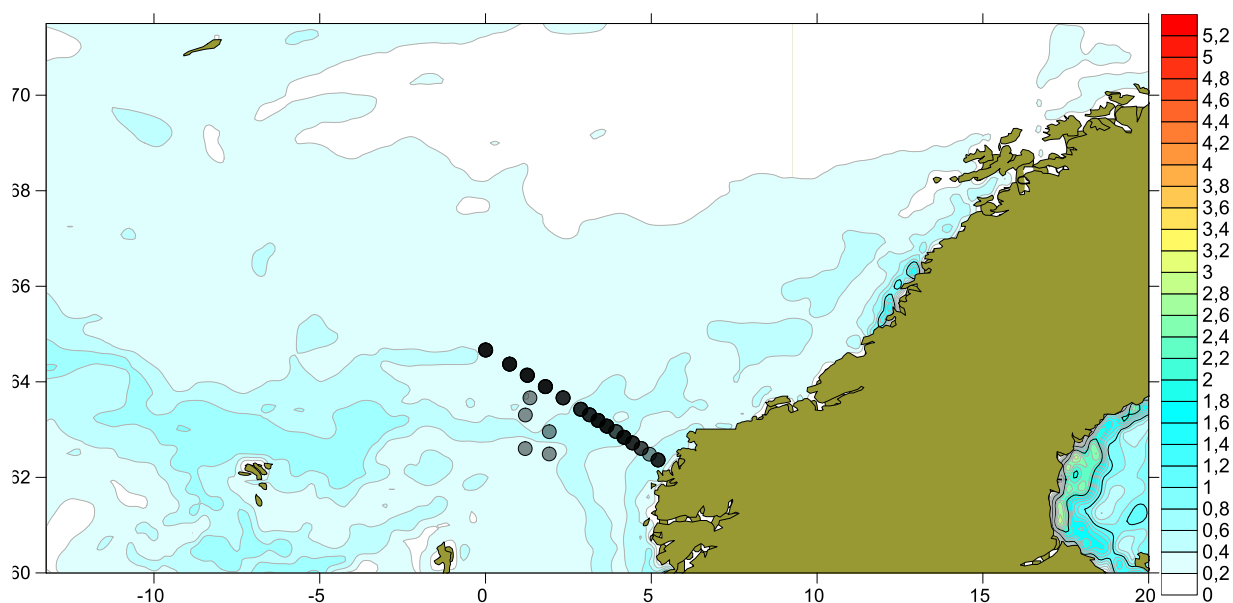


Рисунок 3.4 Карта распределения фито-и зоопланктона в Норвежском море в ноябре
(цветом обозначено расположение фитопланктона, точками – зоопланктон)

На всех картах основным местообитанием первичной продукции является южная и юго-восточная часть моря, а также прибрежная часть скандинавского полуострова.

В зимний период в январе преобладающая часть фитопланктона сосредоточена на краю скандинавского полуострова, а с приходом весны она смещается на север и северо-запад вместе с зоопланктоном. К июлю достигает своих максимальных значений, что в свою очередь связано с повышением температуры поверхности океана в летний период.

В ноябре концентрация хлорофилла «а» в фитопланктоне снова постепенно снижается и перемещается обратно в юго-восточную часть Норвежского моря.

Распределение биомассы зоопланктона по сезонам мало отличается и в основном сосредоточено в южной части.

3.2 Распределение фито- и зоопланктона в Баренцевом море

На рисунках 3.5-3.8 видно, что максимальная концентрация хлорофилла «а» в фитопланктоне и численность биомассы зоопланктона наблюдалась в летний период в июле.

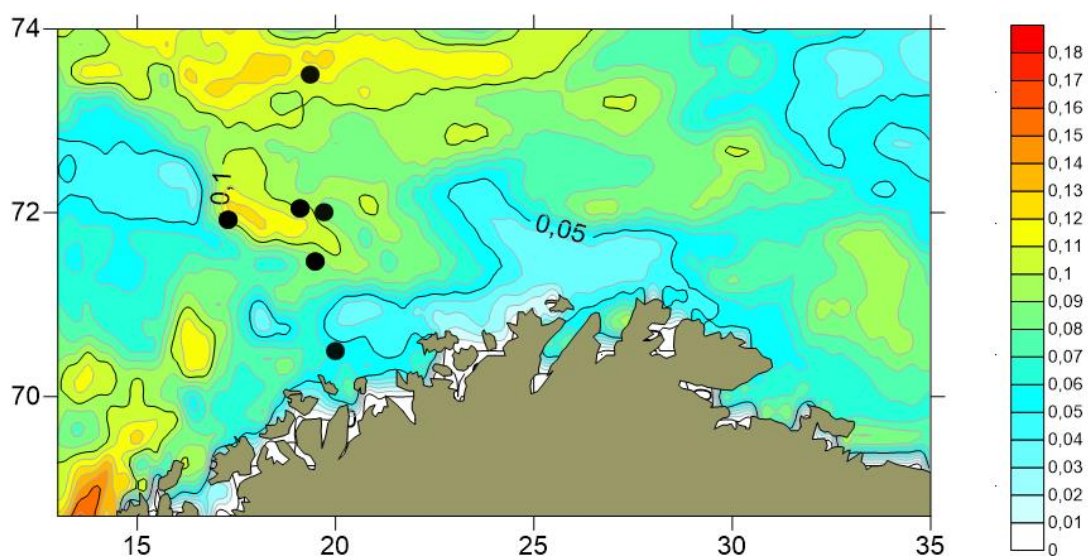


Рисунок 3.5. Карта распределения фито-и зоопланктона в Баренцевом море в январе (цветом обозначено расположение фитопланктона, точками –зоопланктон)

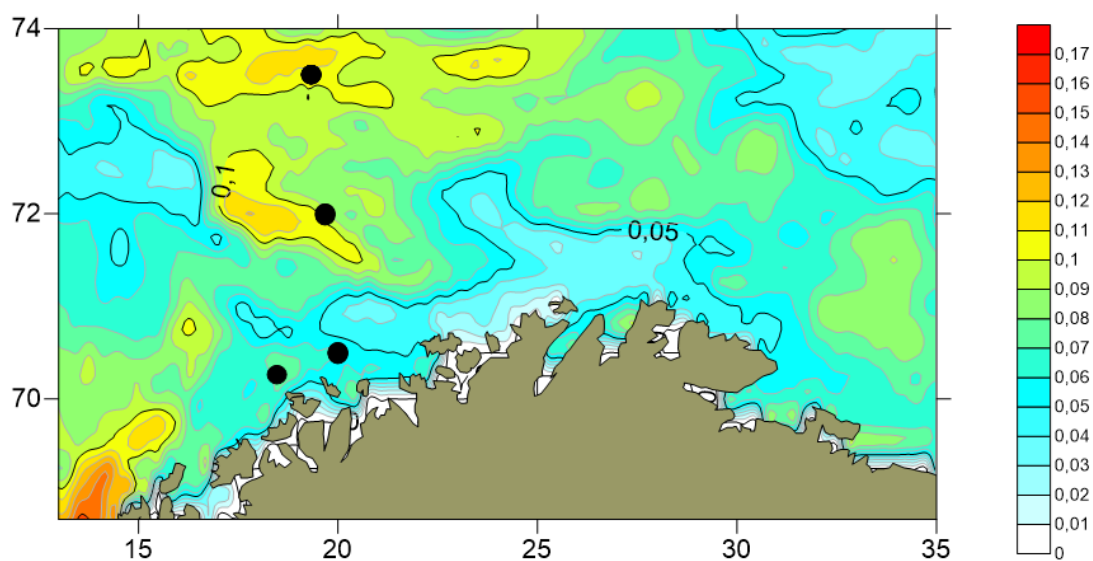


Рисунок 3.6. Карта распределения фито-и зоопланктона в Баренцевом море в апреле (цветом обозначено расположение фитопланктона, точками –зоопланктон)

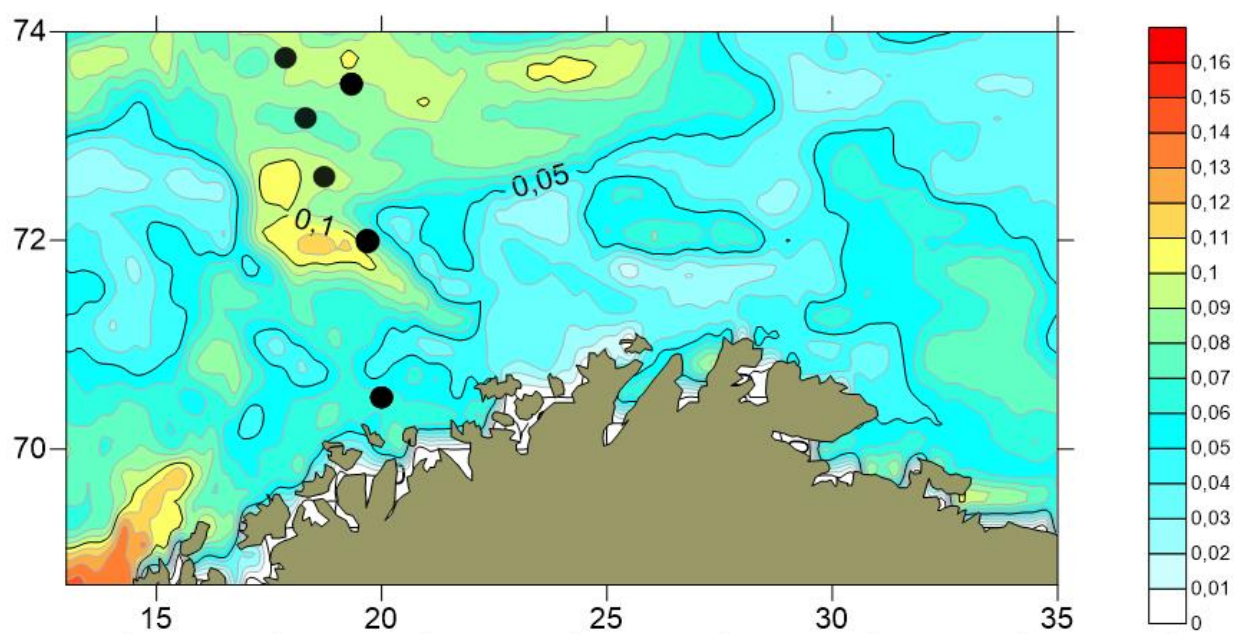


Рисунок 3.7. Карта распределения фито-и зоопланктона в Баренцевом море в июле
(цветом обозначено расположение фитопланктона, точками –зоопланктон)

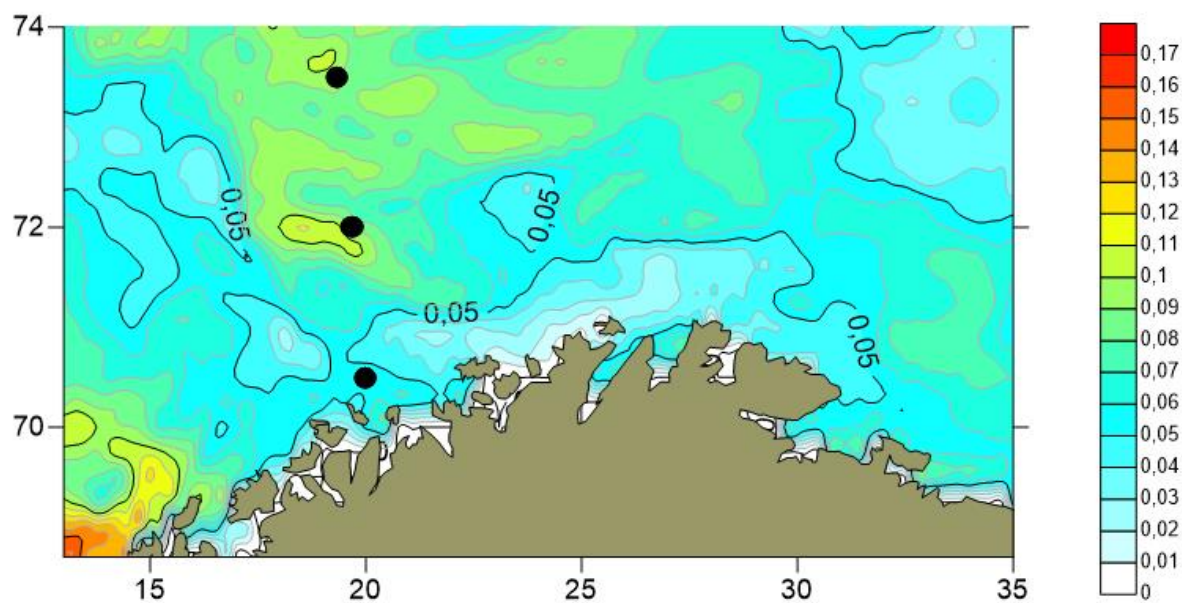


Рисунок 3.8. Карта распределения фито-и зоопланктона в Баренцевом море в ноябре
(цветом обозначено расположение фитопланктона, точками –зоопланктон)

На всех приведенных картах основным местообитанием фитопланктона и зоопланктона является юго-западная часть моря, ближе к Шпицбергену.

В данном районе хорошо выражена сезонная изменчивость обеих характеристик. В период весеннего цветения концентрация хлорофилла «а» в фитопланктоне достигает своих максимальных значений в апреле и понижается к январю.

Распределение биомассы зоопланктона по сезонам мало отличается и по большей части сосредоточено в районах с наибольшей концентрацией хлорофилла «а» в фитопланктоне.

На всех рисунках отчетливо видно, что вне зависимости от сезона, зоопланктон обитает в прибрежной части скандинавского полуострова.

3.3 Выделение области определения взаимосвязи фито- и зоопланктона

Для выявления взаимосвязи фито- и зоопланктона выбрана область определения, в которой наблюдалась наибольшая концентрация зоопланктона и фитопланктона для Норвежского и Баренцева моря (рис 3.5 и 3.6).

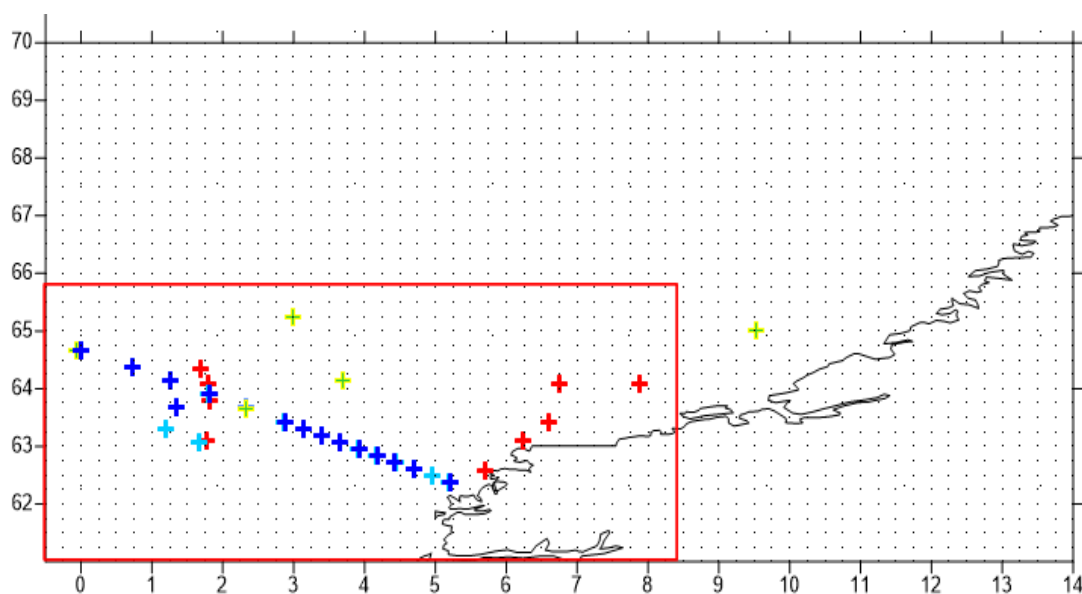


Рис 3.9 Выбранная область определения для Норвежского моря

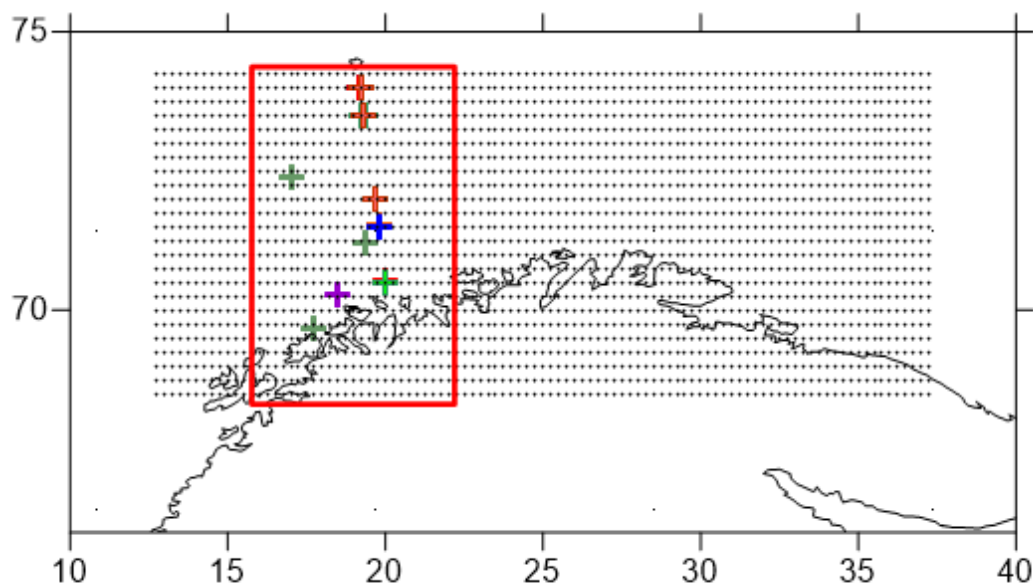


Рис 3.10 Выбранная область определения для Баренцева моря

В исходных данных по численности видов зоопланктона за каждый год с 2006 по 2016 полностью отсутствовали данные за некоторые месяцы, а именно: в Норвежском море это июнь и декабрь, в Баренцевом море - декабрь.

Помимо этого, за каждый год в исходных данных были данные не за все 12 месяцев, поэтому проведено восстановление исходных данных методом кубического сплайна в excel.

Сам метод более подробно описан в главе 2 «Материалы и методы исследования». Результаты интерполяции данных представлены ниже.

Норвежское море

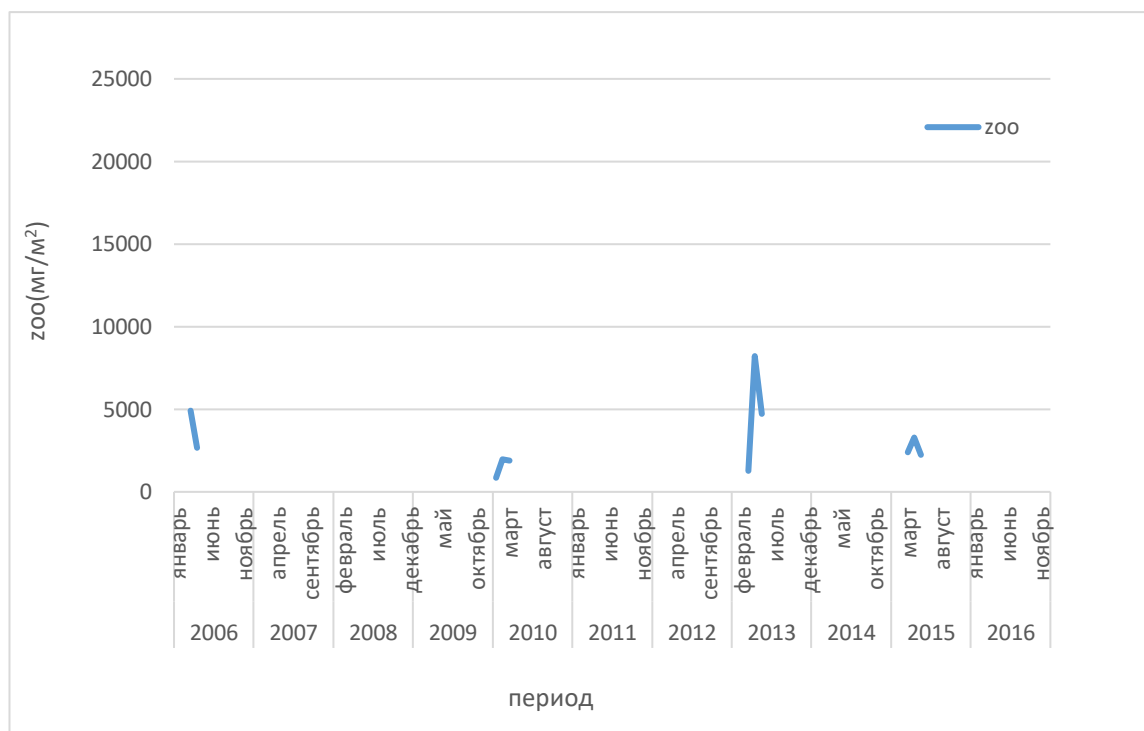


Рисунок 3.13 Исходные данные по численности зоопланктона за выбранный период в Норвежском море

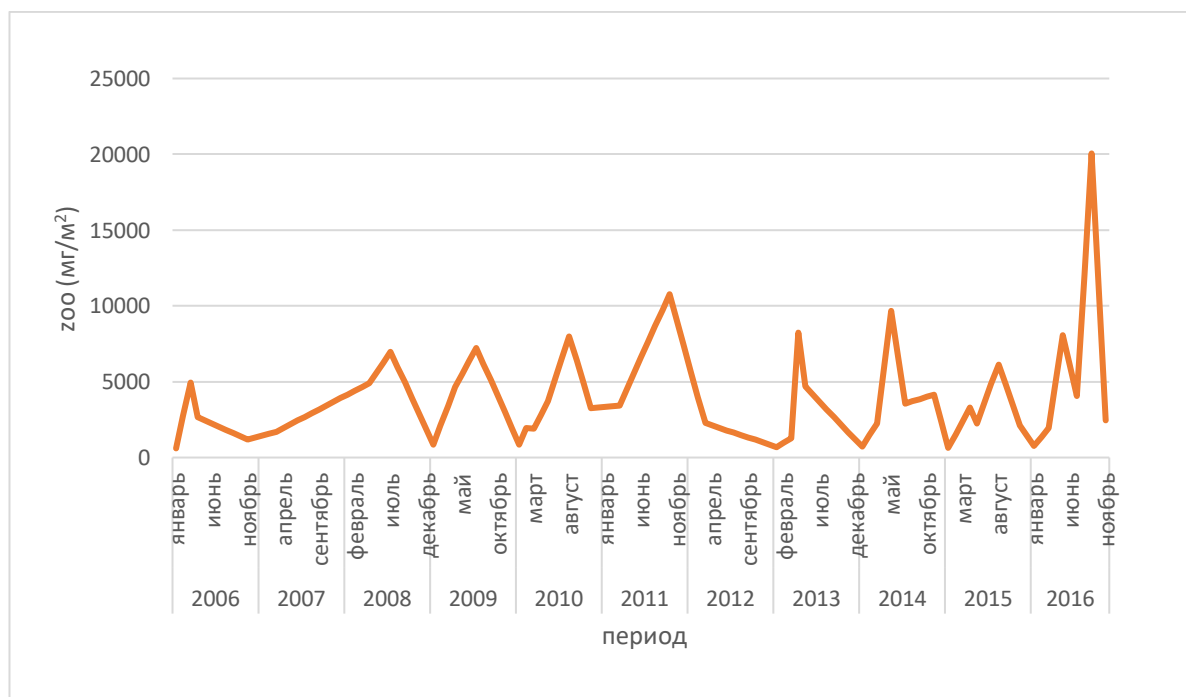


Рисунок 3.14 восстановленные данные по численности зоопланктона за выбранный период в Норвежском море

Баренцево море

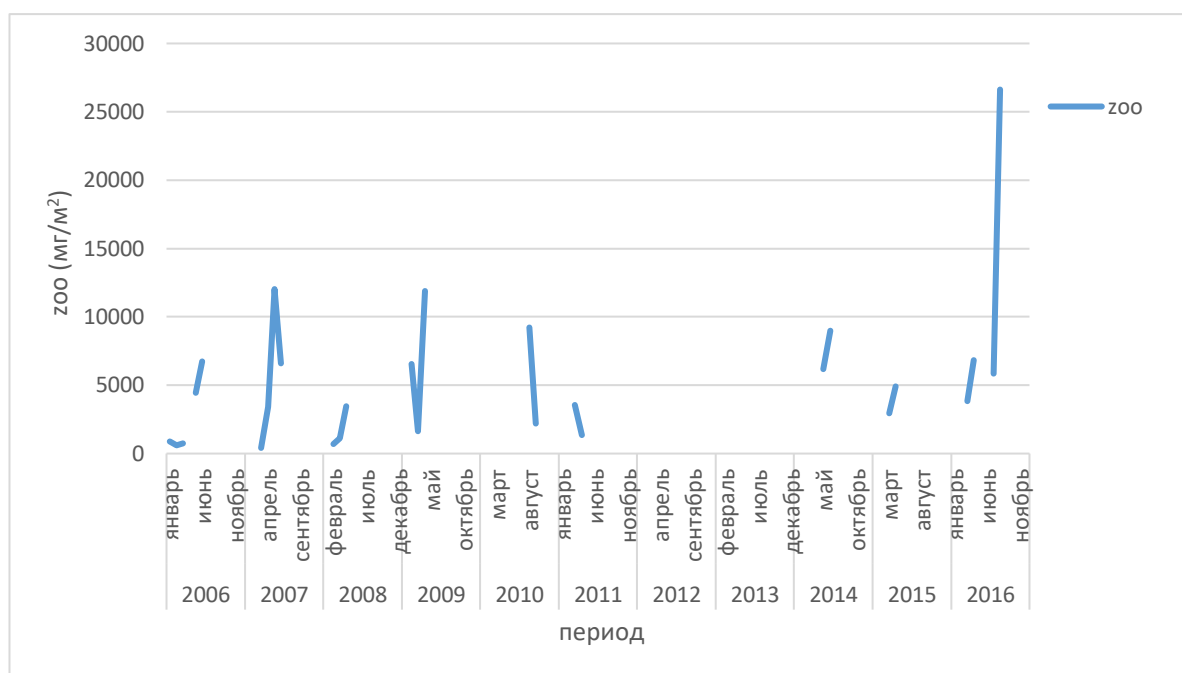


Рисунок 3.15 Исходные данные по численности зоопланктона за выбранный период в Баренцевом море

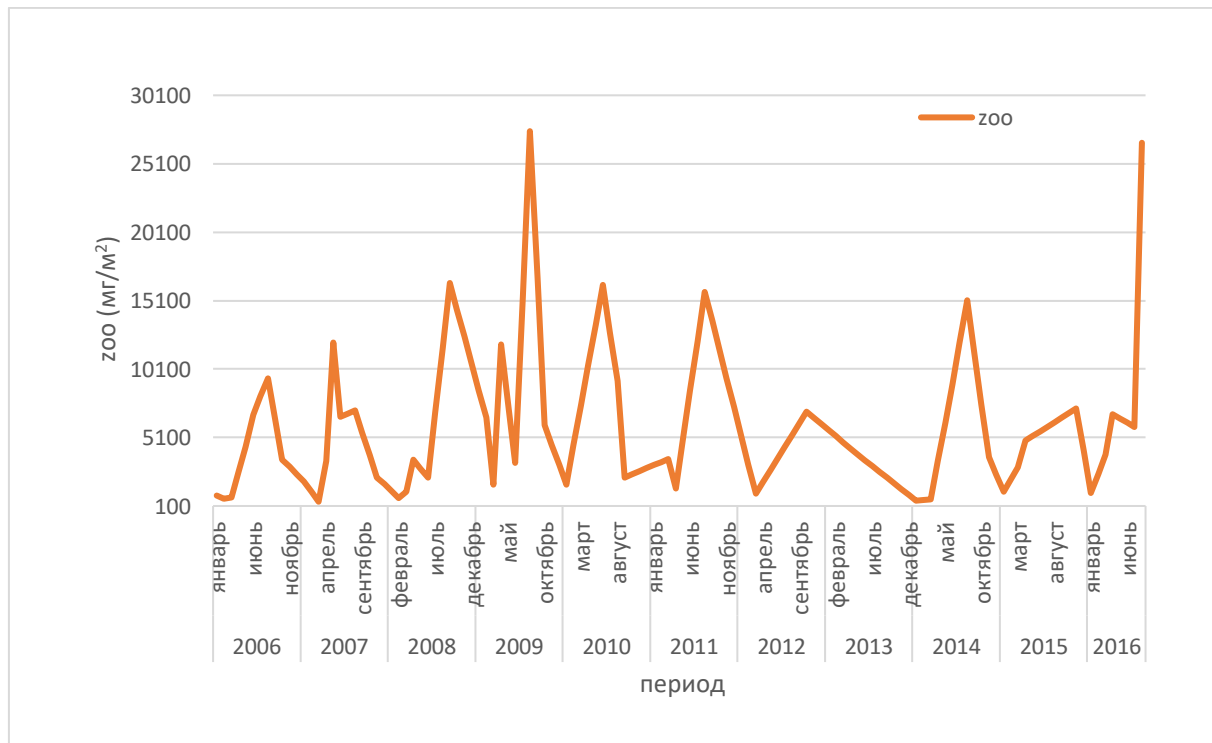


Рисунок 3.16 Восстановленные данные по численности зоопланктона за выбранный период в Баренцевом море

Как видно по графикам, исходные данные по численности фито- и зоопланктона Норвежского и Баренцева моря удалось полностью восстановить (рис 3.15 – 3.18).

Для Норвежского моря характерна незначительная амплитуда колебания численности зоопланктона и максимальные значения наблюдаются в июне 2016 года (рис 3.16).

Баренцево море имеет более ярко выраженную амплитуду колебаний численности зоопланктона. Максимум приходится на май 2009 года и июнь 2016 (рис 3.18).

Можно сделать вывод о том, что за весь выбранный период с 2006 по 2016 год, лето 2016 года оказалось наиболее продуктивным периодом для зоопланктона в обоих морях.

Далее для каждой области были рассчитаны среднемесячные значения численности зоопланктона (количество видов на м^2) и концентрации хлорофилла «а» в фитопланктоне ($\text{мг}/\text{м}^3$) за все годы с 2006 по 2016 с января по декабрь.

На рисунках 3.11 и 3.12 представлен результат расчета межгодовой изменчивости среднемесячных значений численности зоопланктона и биомассы фитопланктона соответственно для Норвежского моря.

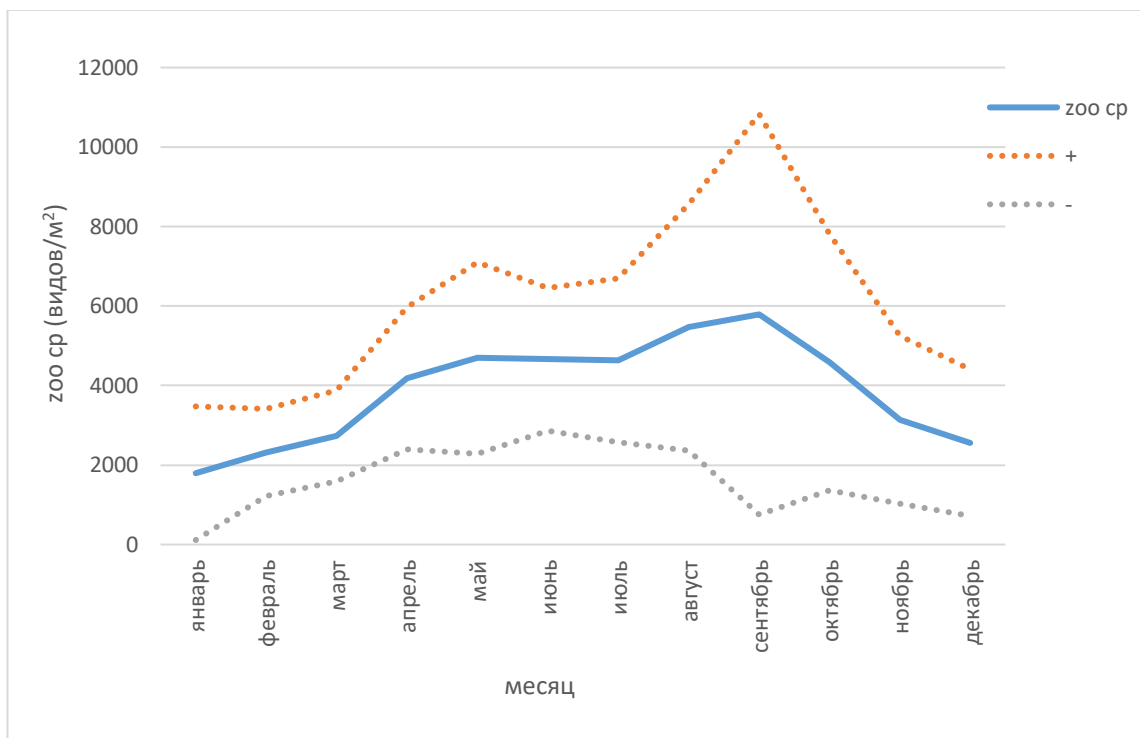


Рисунок 3.11 Межгодовая изменчивость среднемесячных значений численности зоопланктона в Норвежском море (пунктирными линиями обозначено среднее квадратическое отклонение)

На графике отчетливо видно, что за выбранный временной промежуток (10 лет) наибольшие среднемесячные значения численности зоопланктона Норвежского моря наблюдаются в сентябре и составляют 5790, 28 особей на м^2 .

Среднее квадратическое отклонение также более сильно выражено именно в этом месяце. Это говорит о проявлении неустойчивости значений численности зоопланктона в августе в разные годы. Минимальные значения приходятся на зимние месяцы декабрь/январь.

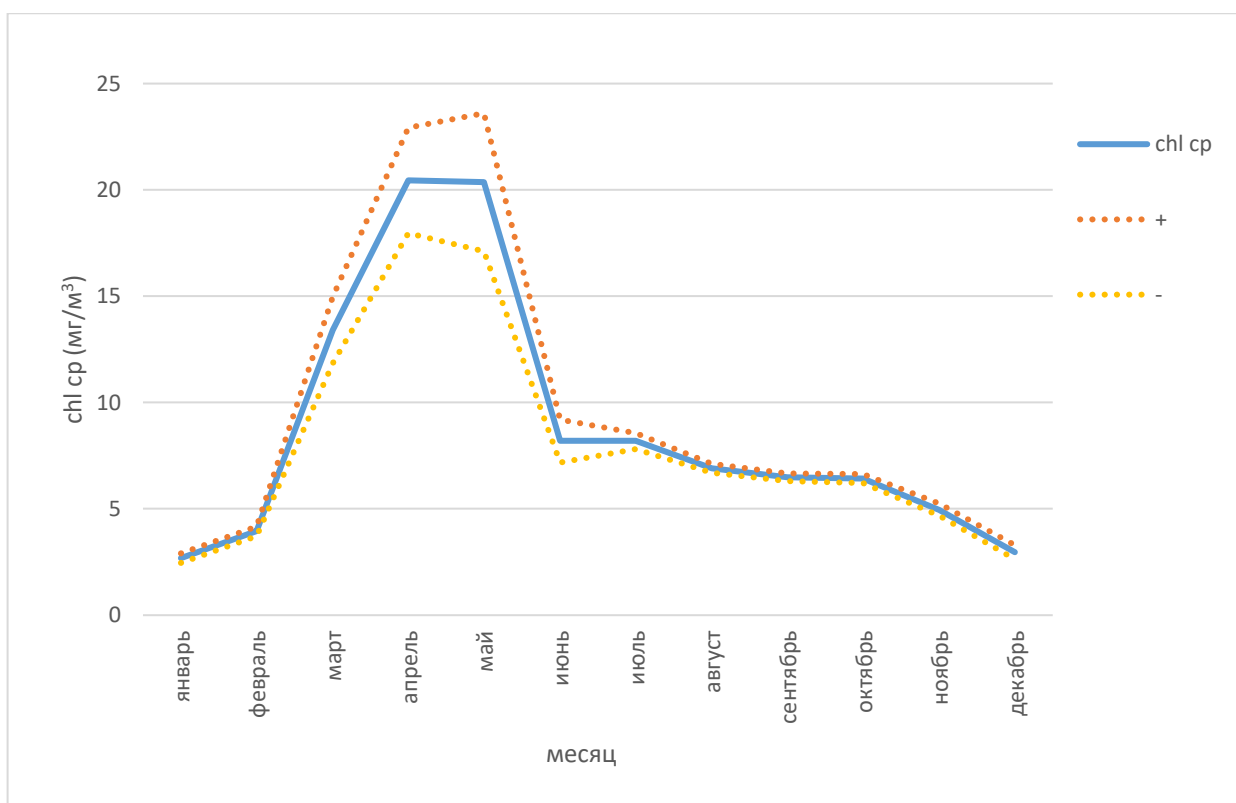


Рисунок 3.12. Межгодовая изменчивость среднемесячных значений биомассы фитопланктона в Норвежском море (пунктирными линиями обозначено среднеквадратичное отклонение)

Для фитопланктона на графике межгодовой изменчивости максимальные среднемесячные значения концентрации хлорофилла «а» в фитопланктоне и наибольший разброс среднеквадратичного отклонения характерны для весеннего сезона и составляют 20,35 мг/м³ в апреле (рис 3.6).

Это говорит о проявлении межгодовой неустойчивости биомассы фитопланктона в этом месяце. Также как и с зоопланктоном минимальные значения приходятся на зимние месяцы декабрь/январь.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в Норвежском море за весь выбранный период (10 лет) самым «продуктивным» месяцем для фито- и зоопланктона был апрель.

На рисунках 3.13 и 3.14 представлен результат расчета межгодовой изменчивости среднемесячных значений численности зоопланктона и биомассы фитопланктона соответственно для Баренцева моря.

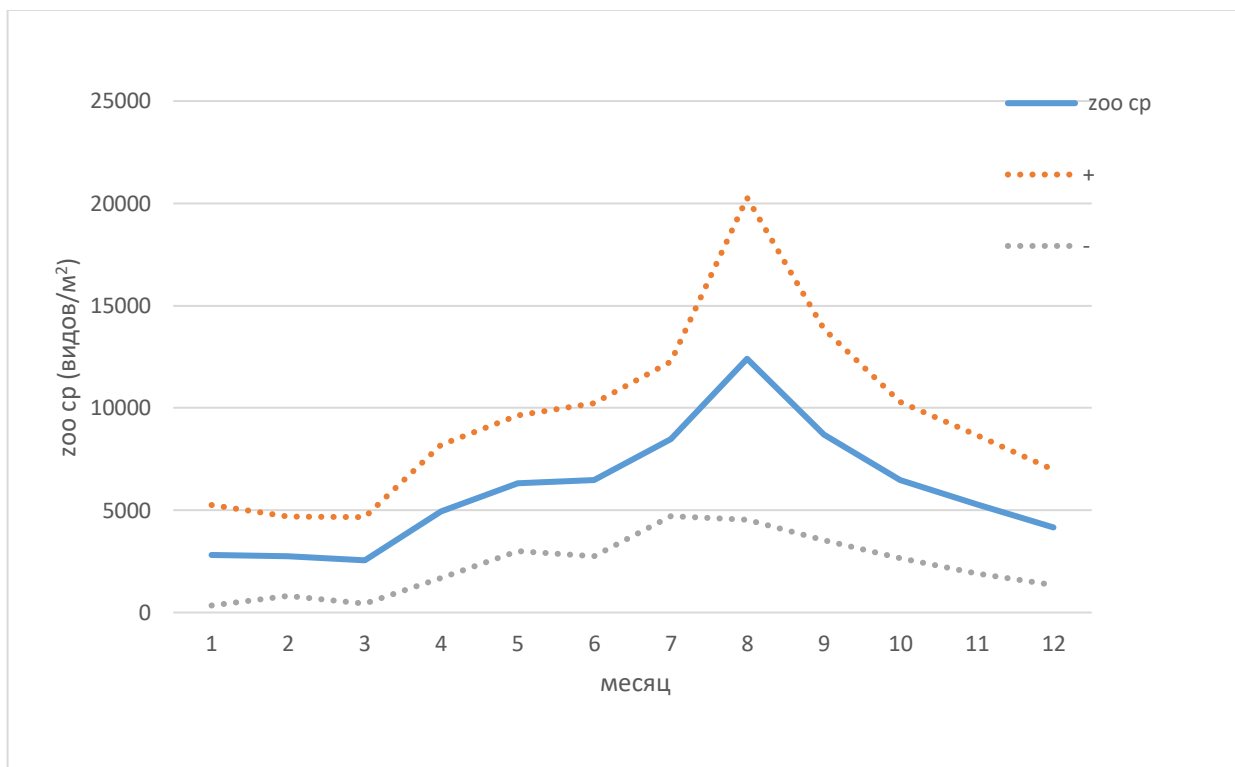


Рисунок 3.13 Межгодовая изменчивость среднемесячных значений численности зоопланктона в Баренцевом море (пунктирными линиями обозначено среднее квадратичное отклонение)

По графику межгодовой изменчивости среднемесячных значений численности видов зоопланктона Баренцева моря видно, что максимальные значения характерны для августа и составляют 12403 особи на м² (рис 3.13).

Среднеквадратичное отклонение также наиболее заметно выражено именно в этом месяце, что говорит о проявлении межгодовой неустойчивости значений численности зоопланктона в августе.

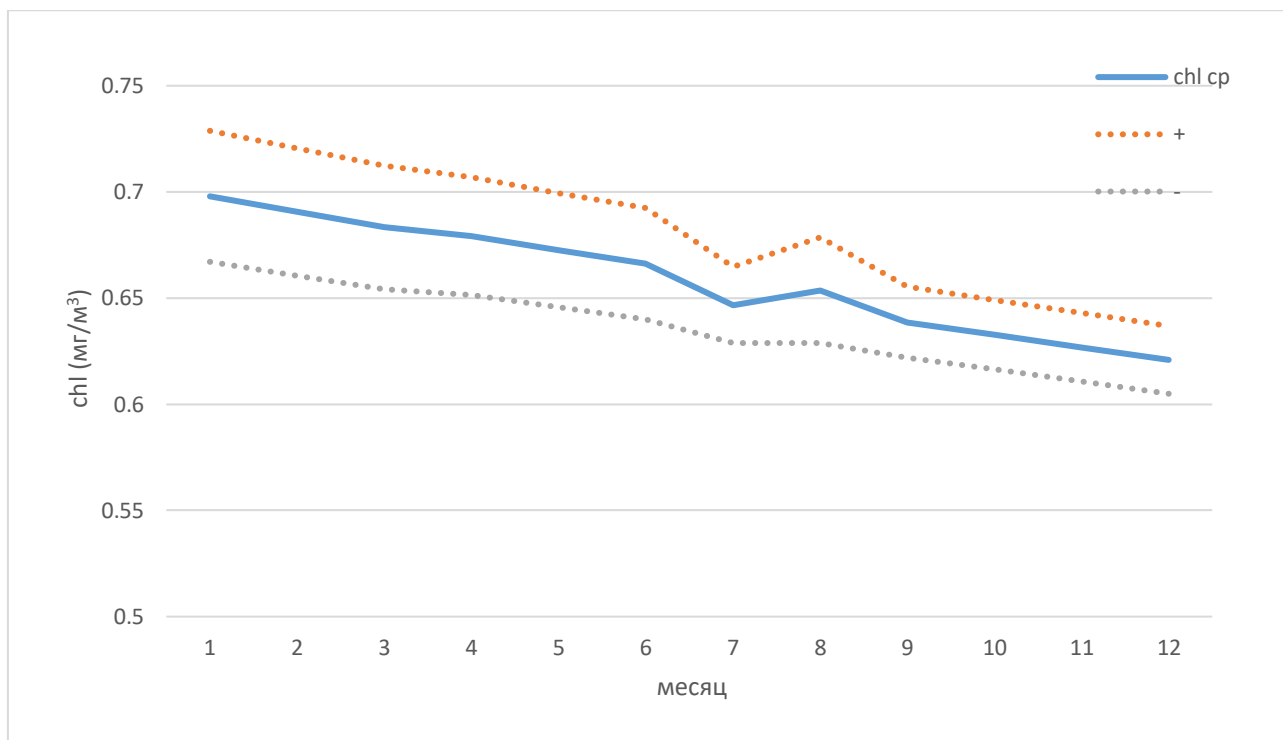


Рисунок 3.14 Межгодовая изменчивость среднемесячных значений биомассы фитопланктона в Баренцево море (пунктирными линиями обозначено среднеквадратичное отклонение)

Также как и для зоопланктона, для фитопланктона Баренцева моря на графике межгодовой изменчивости максимальные значения концентрации хлорофилла «а» в фитопланктоне и наибольший разброс среднеквадратичного отклонения характерны для летнего сезона и составляют $0,65 \text{ мг/м}^3$ в августе (рис 3.14).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в Баренцевом море за весь выбранный период самым «продуктивным» месяцем для фито- и зоопланктона был август.

3.4 Расчет взаимосвязи фитопланктона и зоопланктона

Для дальнейшего исследования взаимосвязи динамики фито- и зоопланктона Норвежского моря была рассчитана взаимнокорреляционная функция. Чтобы рассчитать ВКФ проведено осреднение биомассы фито- и зоопланктона по месяцам за все 10 лет (с 2006 по 2016 год).

Взаимнокорреляционная функция для обоих морей рассчитывалась при сдвиге во времени 7 месяцев и длине ряда $N=131$. Коэффициенты ВКФ проверены на значимость. Результаты расчетов представлены ниже:

Для Норвежского моря

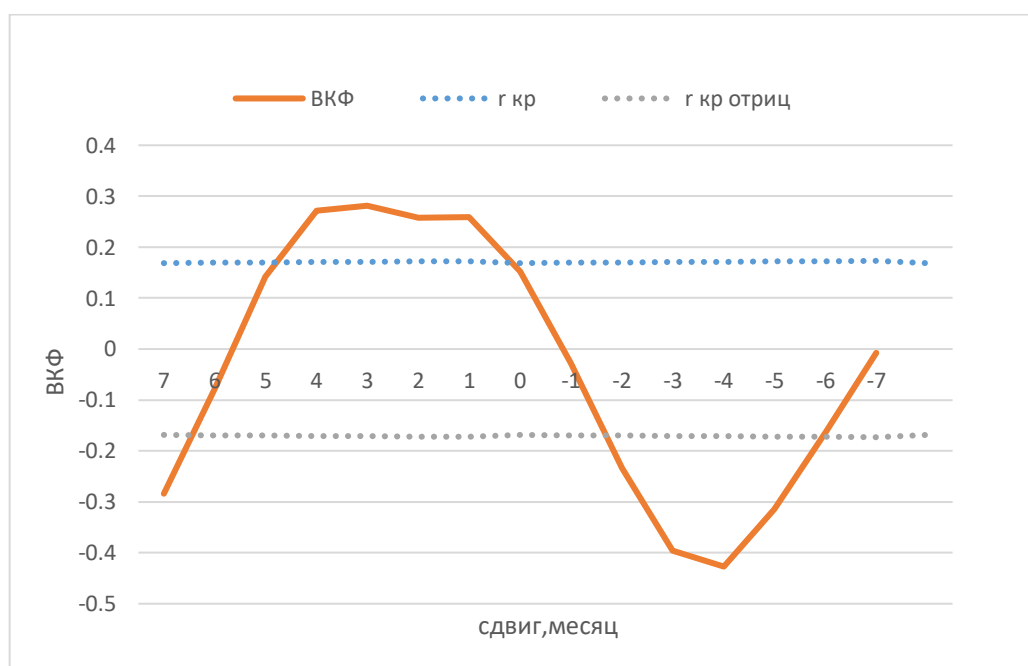


Рисунок 3.17. Результаты расчета ВКФ и уровней значимости для Норвежского моря

В данном случае на ВКФ присутствуют несколько значимых коэффициентов корреляции на сдвигах, отличных от нуля поэтому характеристики (фитопланктон и зоопланктон) связаны асинхронно.

На сдвиге 3 месяца ВКФ достигает максимума и наблюдается обратная зависимость: концентрация хлорофилла «а» в фитопланктоне растет, а численность зоопланктона падает (рис 3.17).

На сдвиге - 4 месяца – прямая зависимость: при росте концентрации хлорофилла «а» в фитопланктоне, численность зоопланктона также повышается.

Для Баренцева моря

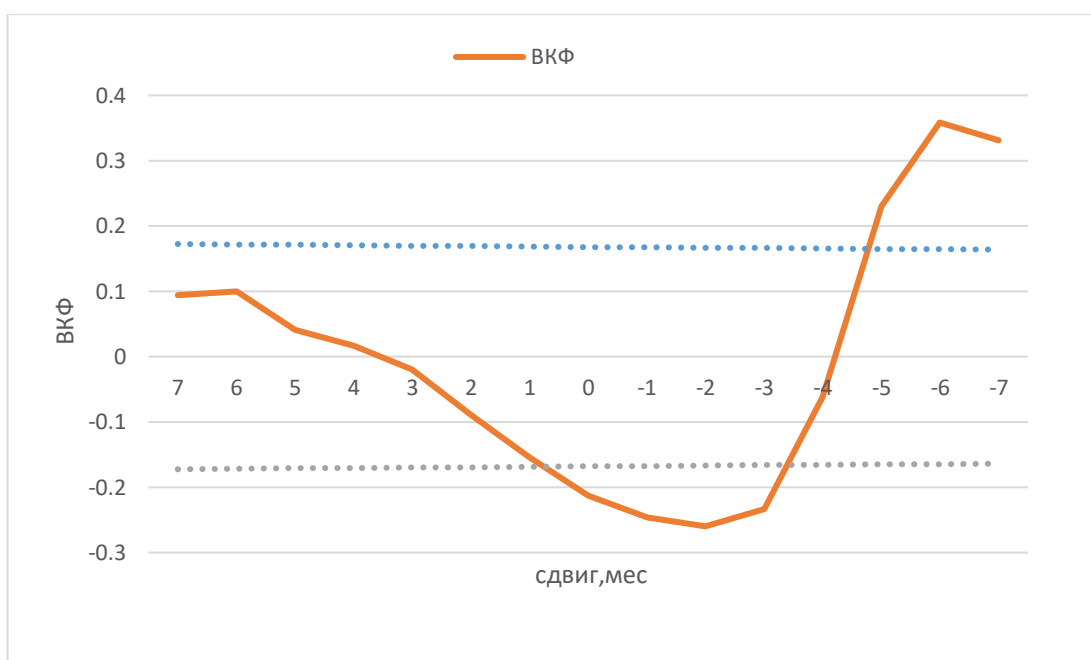


Рисунок 3.18. Результаты расчета ВКФ и уровней значимости для Баренцева моря

По результатам расчета ВКФ на -2 и -6 сдвигах коэффициенты оказались значимыми.

На сдвиге - 2 мес. ВКФ достигает минимальных значений и здесь наблюдается противофаза: при увеличении концентрации хлорофилла «а» в фитопланктоне, уменьшается биомасса зоопланктона (рис 3.18)

На - 6 сдвиге мы наблюдаем положительную корреляцию, где при увеличении одной характеристики (концентрация хлорофилла «а» в

фитопланктоне), другая тоже увеличивается (численность видов зоопланктона).

Помимо этого, стоит отметить влияние ограничивающих факторов, таких как выедание зоопланктона высшими трофическими уровнями, так как район является основным местом нагула промысловых видов рыб Норвежского и Баренцева моря.

Заключение

В результате исследования удалось выяснить, что основным ареалом распространения фитопланктона и зоопланктона в выбранном районе Норвежского и Баренцева моря является южная и юго-восточная часть морей, а также прибрежные районы скандинавского полуострова.

Хорошо выражена сезонная изменчивость – максимальные значения продукции фито- и зоопланктона приходятся на период весеннего и летнего цветения фитопланктона в апреле в Норвежском море и в августе в Баренцевом море.

Анализ межгодовой изменчивости среднемесячных значений численности видов зоопланктона и концентрации хлорофилла «а» в фитопланктоне показал, что при максимальном значении характеристики наблюдается наибольшая неустойчивость и разброс среднеквадратичного отклонения.

Благодаря расчету взаимнокорреляционной функции получилось выявить основные закономерности взаимосвязи между биомассой фито- и зоопланктона: для Норвежского моря на положительном сдвиге 3 месяца и для Баренцева на сдвиге -2 месяца отмечалась обратная зависимость: при увеличении концентрации фитопланктона, численность зоопланктона падала. Данная ситуация может быть связана с влиянием ограничивающих факторов, таких как выедание зоопланктона высшими трофическими уровнями.

Как уже упоминалось выше, район нагула промысловых видов рыб Норвежского и Баренцева моря совпадает с местом продукции фито и зоопланктона.

Прямая зависимость характерна для сдвига -6 и 4 месяца для Баренцева моря и Норвежского моря соответственно: при увеличении концентрации фитопланктона, численность видов зоопланктона также повышается.

Таким образом, все поставленные в работе задачи были решены, а именно: получены исходные данные по биомассе зоопланктона и концентрации хлорофилла «а» в фитопланктоне, проанализировано распределение фито- и зоопланктона в выбранном районе исследования Норвежского и Баренцева моря и выявлены основные закономерности взаимосвязи между биомассой фито- и зоопланктона на анализе многолетней изменчивости обеих характеристик в районе исследования.

Величина суммарного потребления фитопланктона зоопланктоном изменяется по мере развития и затухания весеннего цветения.

Список литературы

1. Колесников В.Г. Океанологические основы рыбопромысловых прогнозов в Норвежском море. / Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО). / Калининград 1967г
2. Шушкина Э.А. Функционирование планктонных сообществ эпипелагиали океана. М.: Наука, 1987. 244 с.
3. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологических процессов. Учебник. – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 405 с. 24
4. Дворецкий В.Г. Продукция кормового зоопланктона в Баренцевом море в летний период // Изв. ТИНРО. 2012. Т. 168. С. 165–171.
5. Моисеев, П.А. Биологические ресурсы мирового океана. – М.: ВО «Агропромиздат», 1989. – 369 с.
6. Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Экология зоопланктонных сообществ Баренцева моря и сопредельных вод. Санкт-Петербург: Реноме, 2015. 72 с.
7. Kahru, A. Leeben Size structure of planctonic particles in relation to hydrographic structure in the Skagerrak / Institute of Ecology and Marine Reseaech / Tallin/ 1991. P. 11
8. M. Fossheim, M. Zhou, K.S. Tande, O. Pedersen, Y.Zhu Interactions between biological and environmental structures along the coast of northern Norway / Norwegian college of Fishery Science/147-158. P. 21
9. BARENTSPORTAL: Barents Sea Environmental Status, A Norwegian-Russian collaboration [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.barentsportal.com/barentsportal/index.php/en/>

10. COPEPOD: a global plankton database. [Электронный ресурс]. Режим доступа: NOAA. – <https://www.st.nmfs.noaa.gov/plankton/atlas/index.html>
11. European ocean biodiversity information system database [Электронный ресурс]. Режим доступа: Eurobis. - <https://www.eurobis.org/> (дата обращения: 07.05.2024)
12. Copernicus database [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/> (дата обращения: 07.05.2024)
13. Wassmann, P., Slagstad, D. & Ellingsen, I. Primary production and climatic variability in the European sector of the Arctic Ocean prior to 2007: preliminary results // Polar Biol., 2010. V. 32, P. 1643–2
14. M.M. McBride, A. Filin, O. Titov, and J.E. Stiansen Editors, The current situation for climate, phytoplankton, zooplankton, fish, and fisheries during 2012-13 //IMR/PINRO, P. 13-25
15. Lísá Anne Libungan; Hildur Pétursdóttir; Guðmundur J. Óskarsson Ástþór Gíslason. Climate change effects on the linkages between environmental factors, zooplankton and pelagic fish in the Norwegian Sea//Marine research institute, Iceland.,2002.,p 12.