

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной океанографии ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Магистерская диссертация)

«Биологическая продуктивность Норвежского моря в условиях
изменяющегося климата»

Исполнитель: Колосова Марина Вячеславовна, студентка группы ПО-М19-1-6

Научный руководитель: к.г.н., доцент, Чанцев Валерий Юрьевич

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

канд. геогр. наук

(ученая степень, ученое звание)

(фамилия, имя, отчество)

«14» сентября 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

Содержание

Введение	1
1. Физико-климатическое описание района Норвежского моря.	3
1.1 Морфология дна и границы акватории.	3
1.2 Атмосферная циркуляция и погода.....	4
1.3 Течения	7
1.4 О фазах североатлантического колебания	9
1.5 Температура и соленость	12
1.6 Планктон.....	15
2. Описание продуктивности. Фитопланктон и зоопланктон.....	17
2.1 Осадочное вещество в Лофотенской котловине Норвежского моря: сезонная динамика и роль зоопланктона.	17
2.2. Влияние увеличения температуры на продукцию яиц у <i>Calanus</i> <i>finmarchicus</i> и <i>C. Glacialis</i>	28
2.3 Влияние температуры на локомоторную активность <i>Calanus</i> <i>Helgolandicus</i>	33
3. Исходные данные и методы анализа.....	37
3.1 Исходные данные	37
3.2 Описание статистических методов	38
4. Межгодовая изменчивость продуктивности Норвежского моря.	43
4.1 Взаимнокорреляционный анализ характеристик теплозапаса и мольной концентрации фитопланктона Норвежского моря.	43
4.2 Взаимнокорреляционный анализ характеристик теплозапаса и массовой концентрации зоопланктона Норвежского моря.....	54
4.3 Кластерный анализ характеристик теплозапаса и мольной концентрации фитопланктона территории Норвежского моря.	67
4.4 Кластерный анализ характеристик теплозапаса, массовой концентрации зоопланктона и мольной концентрации фитопланктона территории Норвежского моря.....	71
Заключение	76
Список используемой литературы	79

Введение

Биологическая продукция в океане – живая материя, которая играет необходимую роль в трансформации и обмене энергии и веществ в океане. К биологической продукции в океане относятся такие группы организмов, как фитопланктон, зоопланктон, нектон, бентос, эндобионты, экзобионты. В данной работе будут рассматриваться только группы филопланктона и зоопланктона, так как они составляют основу всех следующих этапов продукционного процесса в море.

При решении некоторых вопросов промысла морских биологических ресурсов зачастую используются рассматриваемые характеристики. К таким вопросам можно отнести оценку общей биологической продуктивности водоемов, в последствии рыбная продукция; эффективность утилизации органического вещества, которое создают автотрофы и запасенная при этом энергия; оценка экологического состояния водных объектов, которая включает в себя трофический статус и качество воды. Все эти вопросы служат основой для прогноза изменений состояния водного объекта, рационального использования морских ресурсов, осуществление оптимального управления ресурсами.

Норвежское море является одним из самых обогащенных биологической продуктивностью районов, в особенности его южная часть. Здесь проводится множество исследовательских работ и экспедиций, направленных на большее изучение данного района промысла. Море является одним из основных промысловых районов, сюда мигрирует на нерест треска из вод северной Атлантики и Баренцева моря. На видовое разнообразие промысла и большую численность значительное влияние оказывает теплое Норвежское течение. Оно направленно вдоль берега Норвегии. Как и течения, на район большое влияние оказывает атмосферная циркуляция. В зонах циклонической активности наблюдается апвеллинг, в следствии чего происходит повышение концентрации биогенов. В зонах антициклонической циркуляции происходит

даунвеллинг, из-за этого зачастую происходит обеднение района биогенами, но на восточной периферии наблюдается повышение концентраций биогенов. Из-за этих особенностей основное внимание было сконцентрировано на южной части Норвежского моря. [16]

Из-за того, что рассматриваемый район Норвежского моря является промысловым, и взаимосвязь с термодинамическими параметрами может быть необходима в целях прогнозирования промысла и запаса для последующих годов, изучение данной темы является актуальной задачей. Так как в дальнейшем продукция Норвежского моря отправляется в продажу и на экспорт. Так же работа может быть актуальной со стороны поддержания видового разнообразия исследуемого района. Для мониторинга, отслеживание и дальнейшее предотвращение превосходства в больших объемах одного вида над другим.

Новизна данной работы заключается в том, что здесь используются данные параметров концентрации скоплений зоопланктона, помимо фитопланктона. В Российской Федерации очень тяжело найти данные по параметрам зоопланктона, так как, у исследовательских институтов есть свои трудности с получением таких данных. В связи с этим, в работе рассматривается зоопланктон только южной части исследуемого района.

Целью работы является выявление межгодовой взаимосвязи биологической продуктивности с термодинамическими параметрами Норвежского моря.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. Получение и анализ пространственно-временной изменчивости исходных данных фитопланктона, зоопланктона и термодинамических параметров в Норвежском море.
2. Выделение термодинамической структуры Норвежского моря.
3. Проведение анализа взаимосвязи биологической продуктивности с термодинамическими параметрами.

4. Выявление зон с характерным влиянием на биологическую продуктивность с временным сдвигом.

5. Проведение кластерного анализа с исследуемыми параметрами.

1. Физико-климатическое описание района Норвежского моря.

1.1 Морфология дна и границы акватории.

Норвежское море – считается окружным морем, оно входит в состав морей Северного Ледовитого океана. Площадь моря равна 1400 тыс.км², объем равен примерно 2325 тыс. км³. В южной части оно распространяется от Британского острова Мейнленд до Фарерских островов, от них через Фареро-Исландский порог до восточного побережья Исландии. Далее, пересекая Исландскую впадину, в северо-восточном направлении до острова Ян-Майен, и над подводным порогом Мона к острову Медвежий. Максимальная глубина моря составляет 3970м, средняя составляет 1735м. Северный бассейн моря более мелководный, по сравнению с южным бассейном.

Ложе моря представляет собой впадины с глубинами около 3000м. Они находятся на расстоянии друг от друга и от соседних бассейнов. Разделены они подводными порогами и хребтами, которые играют очень важную роль в формировании водообмена Норвежского моря с соседними водоемами. Вблизи острова Ян-Майен от порога Мона на юг располагается Южно-Ян-Майенский хребет с глубинами 700-800м. Он отделяет Норвежскую впадину с глубиной 3000м и более от Исландской котловины с глубинами до 2200м. В западной части Норвежского плато, располагаемого от материкового склона средней части Норвегии до центральной части Норвежского моря, с глубинами около 1200-1400м, находится Гельголандский хребет. В районе Лофотенских островов наблюдается Лофотенская впадина с глубинами от 2700м до 3300м. Многочисленные фьорды, глубоко врезанные в сушу,

являются характерной чертой береговой линии Норвежского моря. Норвежское море сообщается еще с несколькими морями, с помощью проливов. Так между островом Медвежий и мысом Нордкап Норвежское море соединяется с Баренцевым морем. Пролив между Скандинавским полуостровом и Шетландскими островами связывает его с Северным морем, так же большие водные пространства связывают Норвежское море с Гренландским, и между островами Шетландскими, Фарерскими и Исландией соединяет с Атлантическим океаном (Рис.1.1). [16]



Рис. 1.1 Географическое положение Норвежского моря.

1.2 Атмосферная циркуляция и погода

Атмосферные процессы, которые определяют климат и погоду Норвежского моря нельзя рассматривать отдельно от общей системы атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и прилегающими к бассейну континентами. Так как в общей схеме атмосферной циркуляции

присутствует постоянная область пониженного давления – Исландский минимум и еще несколько постоянных центров повышенного давления. В их число входят: Азорский максимум и области высокого давления над Гренландией и над районом Шпицбергена. Поэтому, Норвежское море входит в состав энергоактивных зон Мирового Океана. В связи с соседством с зонами повышенного и пониженного давления, в определенное время здесь осуществляется передача накопленного тепла океана в атмосферу.

В зимний период наиболее сильно выражается область пониженного давления с центром, находящимся вблизи Исландии. От нее распространяется ложбина на Норвежское море. Азорский максимум теряет силу и перемещается в южную часть. Над островом Шпицберген и Гренландией формируется антициклоническая область. Результатом такого расположения центров действия воздушных масс являются воздушные потоки, которые движутся с океана с большой скоростью, вдоль побережья Норвегии, так же сформировавшиеся потоки арктического воздуха, движутся вдоль побережья Гренландии.

В летний период расположение барических областей остается такой же, за исключением главных центров действия атмосферы, они ослабевают, кроме Азорского максимума. Из-за уменьшения градиентов давления и скоростей перемещения воздушных потоков, происходит усиление Азорского максимума, вследствие этого происходит вынос тропических воздушных масс в Норвежское и Гренландское моря. Тем не менее, в летнее время года, климат формируется в основном под воздействием арктических воздушных масс, из-за ограничения влияния тропических воздушных масс только южной частью Норвежского моря.

Перемещения воздушных масс и ветровая деятельность в Норвежском море определяются циклонической деятельностью. Наиболее часто циклоны зарождаются в районе Исландии, оттуда чаще всего перемещаются в Норвежское море. Но в Датский пролив и Гренландское море они так же проникают, хоть и гораздо реже. Обычно циклоны приходят в холодный

период года, из-за этого, зимой в погоде прослеживается неустойчивость, которая характеризуется частыми продолжительными штормами, значительной облачностью и большим количеством осадков, преимущественно в южной части района. Севернее 70° с.ш. с сентября по апрель преобладают северные и северо-восточные ветра силой 6-10 м/сек. Повторяемость штормовых ветров в данной области составляет около 20%, то есть более 12м/сек, южнее повторяемость достигает 30-40%.

В летний период времени, при ослаблении атмосферной циркуляции, циклоническая деятельность ослабевает. Вследствие этого погода становится более устойчива, штормы более редкие и кратковременные, часто наблюдаются туманы. Повторяемость штормовых ветров летом в среднем составляет 5%, южнее устойчивость ветров так же мала, но в апреле и мае повторяемость штормовых ветров увеличивается до 15-20% и только с июня по август она наименьшая.

От распределения теплых атлантических, холодных полярных вод, распределения льдов, облачности и ветрового режима в значительной степени зависит температура воздуха над Норвежским морем. Вдоль побережья Норвегии в зимнее время года средняя температура воздуха наблюдается относительно высокая, около 2°C. Но в отдельные годы возможны резкие изменения температуры, как в положительную, так и в отрицательную сторону, от -26°C до +12°C. Самым холодным месяцем является февраль, средняя температура в этот период изменяется с северо-запада на юго-восток от -16°C до +4°C. Повышение температуры начинается с марта, ближе к лету, в мае, средняя температура воздуха на юге Норвежского моря равна +8°C. В июле наблюдается наиболее высокая среднемесячная температура воздуха, равная +2, +3°C в северной части бассейна и +12°C в южной части бассейна. Так же в летние месяцы наблюдаются высокие градиенты температур, на побережье Норвегии от +35°C до +6°C. [16]

1.3 Течения

Систему постоянных течений Норвежского моря можно рассмотреть на рисунке 1.2, схема, составленная Б.В. Истопиным и А.П. Алексеевым(1959г).[1]

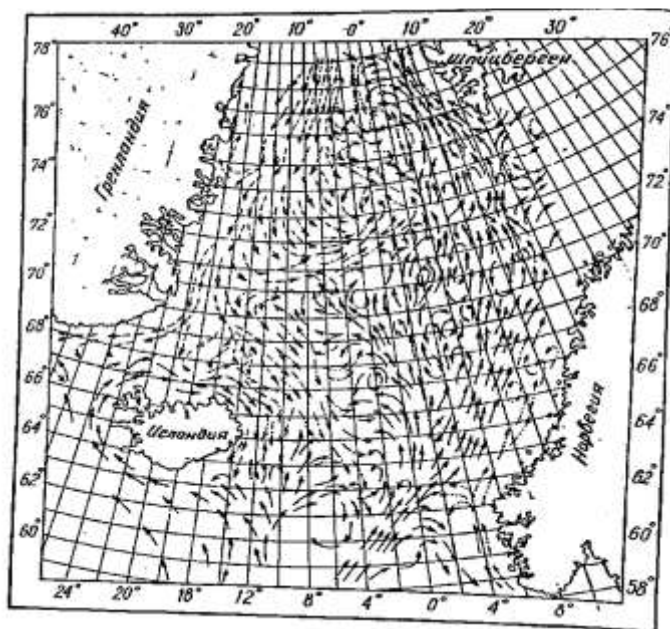


Рис. 1.2 Схема постоянных течений Норвежского моря.

Норвежское море тесно взаимодействует с Гренландским, посредством течений, связывающих эти два моря.

На схеме можно увидеть основные 2 течения, это теплое – Норвежское и холодное – Восточно-Гренландское течения. Норвежское течение входит 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. Небольшое количество вод Норвежского течения уходят в Северное море, огибая Шетландские острова с севера. Вблизи берегов Норвегии движется поток опресненных вод из Северного моря. Эти воды являются холодными в зимний период и теплыми в летний период времени.

Одно из главных теплых течений – Норвежское, делится на две ветви западную и восточную в пределах Норвежского плато. С севера от западной ветви наблюдается деление на северо-западный отрог, который в

последующем взаимосвязан с водами Восточно-Исландского течения. В направлении севера находится восточная ветвь Норвежского течения, которая движется вдоль Скандинавского полуострова. Четко прослеживается еще одна ветвь, средняя, движущаяся в сторону севера, она находится в регионе 68° с. ш. От восточной ветви, вблизи Лофотенских островов, происходит отделение Нордкапского течения.

У южной оконечности острова Шпицберген, три ветви сливаются, а именно: восточная, средняя и западная, они образуют Западно-Шпицбергенское течение. Наибольшая часть вод, которую переносит Западно-Шпицбергенское течение вливается в бассейн Арктики. Наименьшая часть, уходя на запад и северо-запад, перемешивается с полярными водами, находящимися в циклоническом круговороте центральной части Гренландского моря.

Небольшая ветвь теплого течения Ирмингера проникает в Норвежское море через Датский пролив, далее она проходит до берегов Исландии.

Восточно-Гренландское течение является холодным, так как оно несет массы холодных вод и льдов из Арктического бассейна. В районе 74° с.ш. от Восточно-Гренландского течения отходит ветвь в юго-восточном направлении, называемая Ян-Майенская. Южнее, в этом же направлении отделяется еще одна ветвь, которая пересекает западный хребет порога Мона, далее она вливается в Исландскую котловину. Здесь происходит формирование Восточно-Исландского течения, за счет переносимых полярных вод. Это течение является результатом смешения вод; полярных, вод течения Ирмингера, и донных вод Исландской котловины. Направление движения его – на юго-восток. Вблизи 5° з.д., район (66°-64° с.ш.) небольшое количество восточно-исландских вод, поворачиваясь к востоку, перемешивается с атлантическими водами.

В районах Фареро-Исландского порога, Южно-Ян-Майенского хребта и в районе порога Мона наблюдаются значительные по величине постоянные градиентные течения. Область между Фареро-Исландским и Южно-Ян-

Майенским градиентными течениями и западной ветвью Норвежского течения характеризуется слабыми неустойчивыми потоками. [16]



Рис. 1.3 Подробная схема постоянных течений Норвежского моря.

1.4 О фазах североатлантического колебания

Связь температуры поверхности океана и фаз САК

Североатлантическое колебание (САК) является наиболее важной характеристикой, которая отвечает за крупномасштабную циркуляцию атмосферы в Северном полушарии. Колебание наблюдается во все сезоны года и его масштаб влияния изменяется от нескольких суток до нескольких веков. [15]

Благодаря среднемесячным значениям индекса САК в период исследования с 1948 по 2001 гг. была сформулирована характеристика, которая отвечает за устойчивость индекса по знаку в осенне-зимний период. Было получено, что при переходе от сентября к октябрю знак индекса сохраняется в 51% случаев, от октября к ноябрю – в 49%, от ноября к декабрю – в 62%, от декабря к январю – в 60% и от января к февралю в 66%. Такие результаты говорят о необходимости рассматривать условия, которые формируют САК, с ноября.

Для декабрьских и ноябрьских индексов САК получена положительная корреляция с аномалией в юго-восточной части азорского максимума, выраженная давлением. Обратная корреляция с АТПО (температура поверхности океана Северной Атлантики) в регионе Канарского течения в июле – августе (рис. 1.4 а). Из этого может следовать, что при увеличении азорского максимума летом, которое вызывает усиление пассатов на востоке океана, происходит зарождение и развитие Канарского течения (и апвеллинга, располагающегося у северо-западного побережья Африки). Все перечисленные факторы приводят к тому, что формируется отрицательная температура поверхности в этом регионе.

Январский индекс САК самый коррелированный с АТПО сентября (рис.1.4 б). Наиболее важно, что присутствует именно прямая корреляция с АТПО в области Гольфстрима и обратная корреляция с АТПО в области Северо-Атлантического течения. Также была получена сентябрьская корреляция с АТПО и январская корреляция с индексом САК, которая оказалась прямой, в области течения Гольфстрим. Такие процессы говорят о том, что накопленное к концу лета тепло в области Гольфстрима будет формировать положительные фазы САК в январе. Такой результат соответствует условиям для формирования положительной фазы САК в ноябре – декабре: усиление азорского максимума летом способствует формированию и развитию южного переноса в атмосфере в западной части океана и нагону теплых вод в область Гольфстрима. [15]

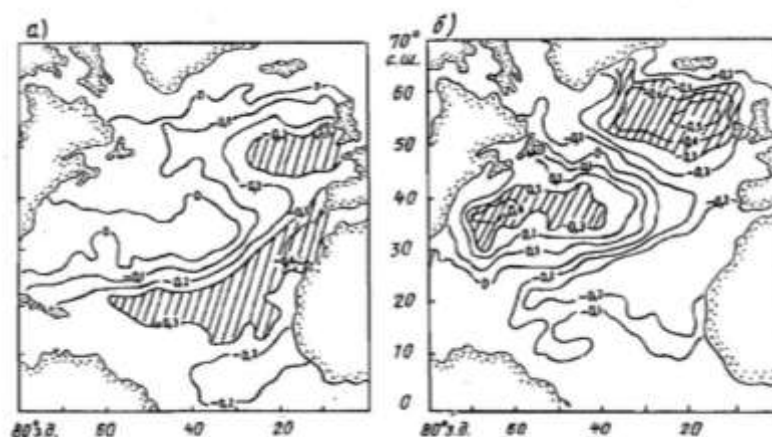


Рис. 1.4 Изменение коэффициентов корреляции между АТПО в июле и индексом САК в ноябре (а) и между индексом САК в январе и АТПО в сентябре (б) за период с 1948 по 2000гг.[15]

Значения коэффициентов корреляции, о которых было сказано выше, говорят о том, что существует влияние некоторых процессов теплонакопления в океане на атмосферную циркуляцию зимой. Аномальный теплозапас вод Гольфстрима, который формируется из-за влияния нехарактерного развития азорского максимума, говорит о том, что он является основным влияющим процессом теплонакопления.

Роль синоптических процессов формирующие отрицательную фазу САК.

При смене фазы североатлантического колебания (изменении знака индекса) изменяется циркуляция атмосферы в атлантико-европейском регионе. Зимой наблюдаются наиболее сильные и важные изменения в том случае, когда значения индекса САК достаточно велики (более 1 – 2 абсолютной величине) до и после смены фазы.

Наблюдаются случаи, когда фазы САК резко меняются, это происходит из-за того, что происходит смена преобладающего режима циркуляции атмосферы. Под этими изменениями принимается квазиустойчивое состояние циркуляции с определенным временным масштабом от нескольких суток до нескольких недель.

Прежде чем сформируется взрывной циклон, вначале произойдет вынос охлажденного воздуха с суши на Гольфстрим. Так как именно потоки тепла, которые возникают во время выноса, позволяют превратиться обычному циклону в «бомбу». Для сравнения, в зоне выноса суммарный поток скрытого и явного тепла достигает примерно $1000 - 1500 \text{ Вт/м}^2$, а в так называемой «бомбе» он может достигать 3000 Вт/м^2 .

В качестве примера рассмотрим, разбитие блока над Северной Атлантикой 17 – 30 декабря 1978г. Оно началось из-за формирования на востоке побережья США взрывного циклона. Было проведено моделирование

этого блока. Оно показало, что для поддержания блока не столь сильно важен температурный контраст суша – вода, но он необходим для зарождения этого блока. В феврале 1986 г. наблюдалось зарождение и эволюция блока, который определил минимальную температуру в феврале Европе за последние 300 лет. В течение периода существования этого блока были зафиксированы 8 циклонов, которые «подпитывали» блок. Один из появившихся циклонов, сформировавшийся 17 февраля 1986 г., представлял из себя «бомбу».

Таким образом, из всего вышесказанного можно заключить, что при определенных условиях может возникнуть определенная схема процессов: вынос охлажденного воздуха с суши на океан – взрывной циклон – блокирующий режим – отрицательная фаза САК. Также можно говорить о том, что осуществление последовательности «вынос – взрывной циклон – блокирующий режим» еще не означает, что среднеемесячное значение индекса будет отрицательным (отрицательная фаза САК). Это может не произойти из-за недолгой длительности блокирующего режима. Таким образом, формирование отрицательной фазы САК может происходить в результате осуществления определенной последовательности синоптических процессов, но эта последовательность без видоизменений наблюдается редко. Во время формирования фаз колебания значительное влияние оказывает характер пространственного распределения потоков тепла из океана в атмосферу.

1.5 Температура и соленость

На распределение температуры и солености в Норвежском море значительное влияние оказывает система постоянных течений. Так же на температуру поверхностного слоя оказывают влияние сезонные колебания. Самых больших значений температуры поверхности воды достигает к концу лета, то есть с августа по сентябрь. В атлантических водах поверхностная температура изменяется в пределах: 12-14°C в районе Фарерских островов; 8-9°C у острова Ян-Майен.

Осенью наблюдается охлаждение поверхностных слоев моря, в следствии чего, их плотность увеличивается. Далее, из-за повышения плотности воды, до величины большей, чем в нижележащих слоях, происходит возникновение конвекции, которая охватывает толщу в несколько сотен метров атлантических вод к концу зимы. Самое интенсивное охлаждение происходит в октябре, а в феврале-марте температура поверхностной воды становится самой низкой по всему бассейну. При осеннем охлаждении верхнего прогретого слоя смешанных вод в области холодных течений идет значительно быстрее. Плотность тонкого слоя из-за перемешивания быстро становится равной плотности нижележащих слоев воды. Для этого может быть достаточно сильного шторма. Прогрев воды начинается в конце марта, в апреле, но с наибольшей интенсивностью происходит в июне. [16]

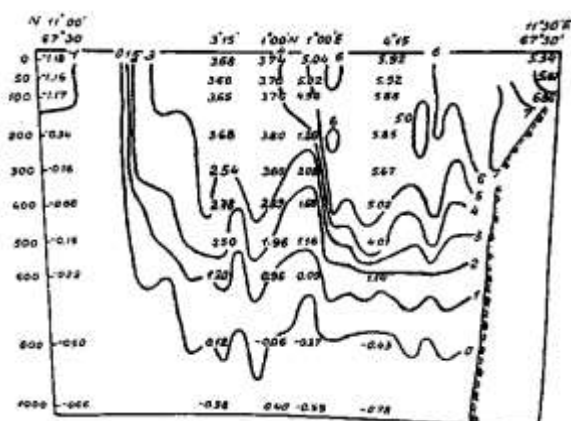


Рис. 1.5 Температура на разрезе по 67°30' с.ш. 27 января – 2 февраля 1968г.

[3]

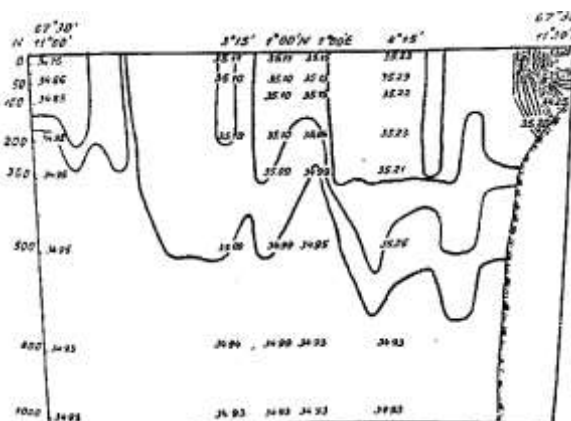


Рис. 1.6 Соленость на разрезе по 67°30' с.ш. 27 января – 2 февраля 1968г. [3]

С глубиной годовая амплитуда температуры уменьшается. В следствии этого максимум температуры сдвигается на более поздние месяцы. В смешанных водах южной части Норвежского моря изменение температуры на нижележащих горизонтах (50, 100 и 200м) начинается с запаздыванием по сравнению с поверхностью на 2, 3 и даже 4 месяца. То есть температура становится максимальной на глубине 50м в октябре, на глубине 100м - в ноябре, и на глубине 200м – в декабре, на глубине 500м температуры воды в течение года изменяется незначительно. В атлантических водах изменение температуры воды на нижележащих горизонтах запаздывает, но меньше, чем в смешанных водах. Колебания температуры воды от года к году сравнительно невелики. В Норвежском море, вблизи 63° с.ш. эти колебания в слое 0-200м в период с июня по июль не превышают 1°C, а около 65°с.ш. они возрастают незначительно около 1,4-1,6°C.

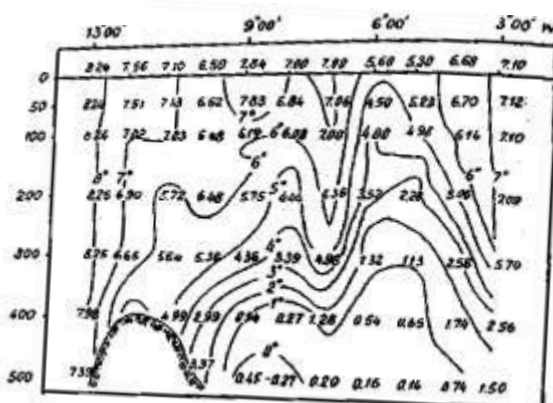


Рис. 1.7 Температура на разрезе по 63° с.ш. 14-16 ноября 1966г. [3]

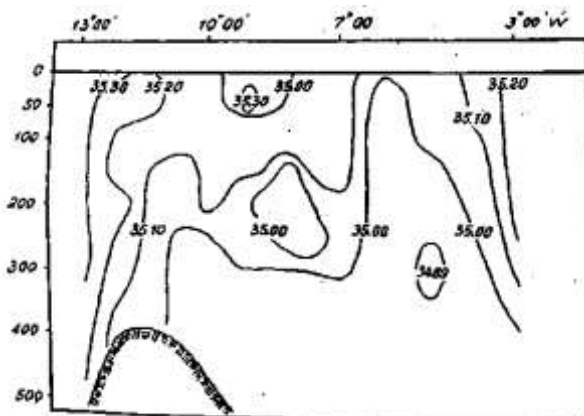


Рис. 1.8 Соленость на разрезе по 63° с.ш. 14-16 ноября 1966г. [3]

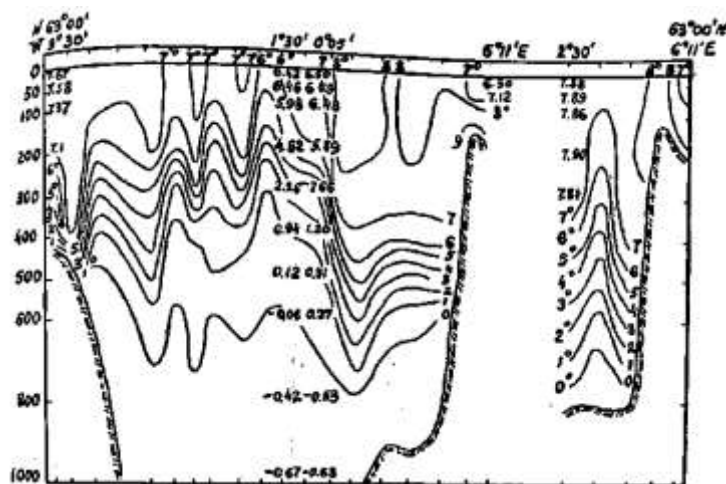


Рис. 1.9 Температура на разрезе по 63° с.ш. в январе 1968г. [3]

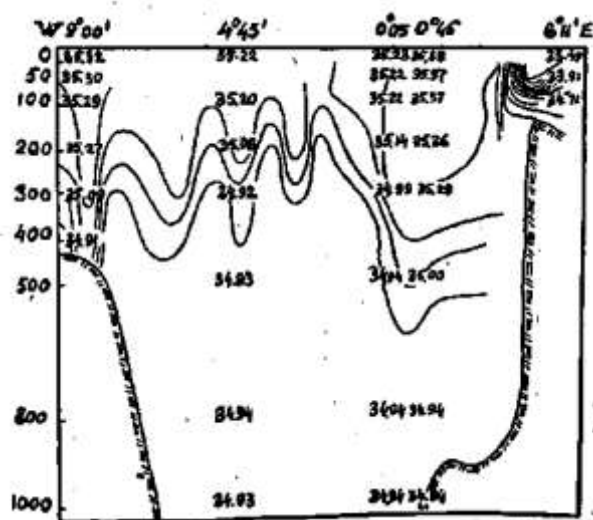


Рис. 1.10 Соленость на разрезе по 63° с.ш. в январе 1968г. [3]

Соленость воды по сезонам и с глубиной в открытой части бассейна изменяется мало. Большой интенсивностью характеризуются воды только вблизи берегов и кромки льдов. [16]

1.6 Планктон

Основной частью массы зоопланктона Норвежского моря занимают веслоногие рачки (Copepoda), высшие рачки (Euphausiacea и Hyperiidae), моллюски, черви и медузы.

Во время вегетации, в основе участвуют три группы водорослей: диатомовые, золотистые и перидиниевые. По интенсивности развития и

продолжительности вегетационного периода самую значительную роль имеют диатомовые водоросли. [1]

Изменения биомассы в зависимости от сезона, взвешенных в воде, органо-минеральных частиц и планктонных организмов на акватории Норвежского моря зависят от прохождения двух основных волн, которые образуются массовым развитием различных по происхождению видов.

Первая волна зарождается в пределах Норвежского моря за счет образования преднерестовых скоплений, далее происходит усиленное развитие зародышей местных весенних форм. Волна зарождается в шельфовых водах Норвегии, затем продвигается в северо-западном направлении, и к осени достигает границ Восточно-Гренландского течения. Продвижение этой волны связано с наступлением весеннего биологического сезона, который можно рассмотреть на рисунке 1.11.

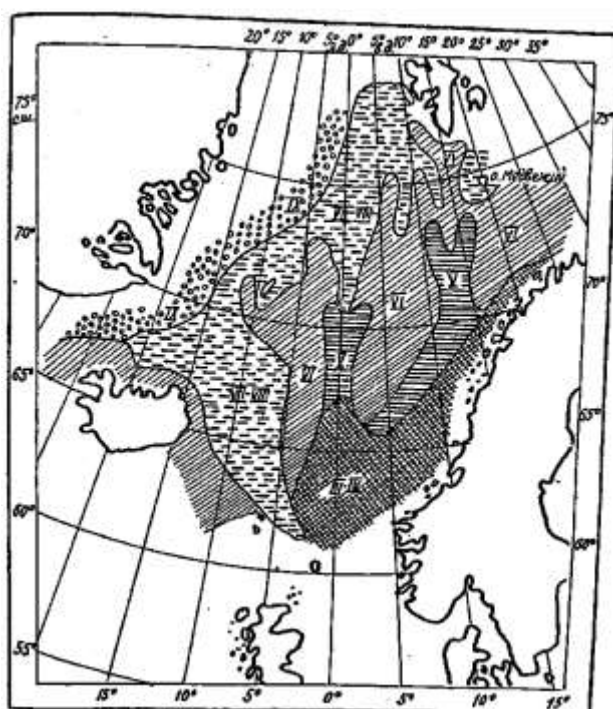


Рис. 1.11 Схема продвижения биологической весны по акватории Норвежского моря. Римскими цифрами обозначены месяцы.

Появления этой волны влияет на формирование местоположений наиболее богатых районов, по продуктивности, в первую половину года. В повышении биомассы участвуют главным образом *Calanus finmarchicus* III – V

стадий, молодь Euphausiidae и Hyperiididae, а также происходит интенсивное «цветение» вод за счет развития весенних форм диатомовых водорослей.

Что касается второй волны, можно сказать, что она появляется раньше всего на юге Норвежского моря, в теплых атлантических водах, она состоит из массы летних приносных видов. Затем она продвигается на север и северо-восток, до момента, когда она достигнет центральных районов моря, это зачастую происходит в октябре, после чего исчезает. Лидирующими организмами, определяющими высокие биомассы сестона в это время, являются *Acartia clausi*, *Limacina retroversa* и *Temora longicornis*. Наименьшие значения имеют летние формы фитопланктона, представленные диатомовыми и перидиниевыми водорослями. Так как у организмов, являющимися ведущими, наблюдаются небольшие размеры, из-за этого биомасса сестона в таких районах не достигает величин, которые наблюдаются в период развития массовых весенних видов. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что волны в количественном развитии планктона приводят к существованию во вторую половину года двух основных зон с повышенным количеством организмов. [1]

2. Описание продуктивности. Фитопланктон и зоопланктон.

2.1 Осадочное вещество в Лофотенской котловине Норвежского моря: сезонная динамика и роль зоопланктона.

Одной из задач седиментологии является изучение схем процессов осадочного вещества от формирования до оседания на дно. Материал, который является формирующим донные осадки и породы, называется рассеянное осадочное вещество. Оно является взвешенным и находится в огромной толще воды. Потоки осадочного вещества – это одна из основных количественных характеристик осадкообразования. Эта характеристика позволяет в динамике

изучать процессы осаждения осадочного вещества, наблюдать за его преобразованием при прохождении водной толщи, оценивать количество и состав вещества, которое поступает на дно. Согласно биоседиментационной концепции «живого океана»[6] осадочный материал, который поступает в океан из разных источников, например, с речным стоком, аэрозолями, эндогенными веществами, и затем трансформируется под влиянием морской биоты. Без живых организмов не может происходить седиментационный процесс. Так как благодаря ним в морях и океанах формируются вертикальные потоки осадочного материала. Эти процессы контролируют вертикальный транспорт взвешенного вещества. Вместе с этим количественная характеристика этих процессов имеет большое значение для того, чтобы понимать глобальный цикл углерода в океане и процессы современного осадкообразования. Предоставление информации об изменчивости, интенсивности седиментации, сезонной динамике структуры, функционирование экосистем эпипелагии, можно получить из исследований потоков и составов осадных материалов в течение года. [5]

Норвежское море является стыковочной зоной. В нем осуществляется перенос теплой и соленой Атлантической воды из Северной Атлантики в Северный Ледовитый океан. Лофотенская котловина служит основным тепловым «сберегательным сосудом» субарктических морей и одновременно энергоактивной зоной. В свою очередь которая напрямую влияет на климат Европы и дальнейшее поступление Атлантических вод в Баренцево море и пролив Фрама. Из-за увеличения теплосодержания Атлантических вод, в последнее время существует тенденция к повышению температуры воды в Норвежском море. Для того, чтобы достаточно точно оценить возможное влияние на количественные характеристики процессов осаждения в этом районе, необходимо непрерывное поступление современных данных о потоках осадочного вещества, его составе и масштабе сезонной изменчивости.

Гидрологические условия, концентрация взвеси и хлорофилла «а»:

На рисунке 2.1 показано вертикальное распределение солёности, температуры, хлорофилла «а», концентрации взвеси в толще воды.

На рисунке отображено, что слой Лофотенской котловины толщиной 625-695 м занимает теплая и соленая атлантическая вода. Солёность Атлантических вод этого слоя изменяется в пределах от 34,95 до 35,13 ‰. Слой вблизи поверхности (около 0-20 м) обычно несколько опреснен. В слое 0-50 м за два рассмотренных года выделяется двухступенчатый сезонный термоклин. Рассматривая температуру Атлантических водных масс в исследуемый период, можно заметить, что она изменялась от 9,7-10,7°C. Вблизи поверхности до 2,0°C на границе с холодной промежуточной водной массой.

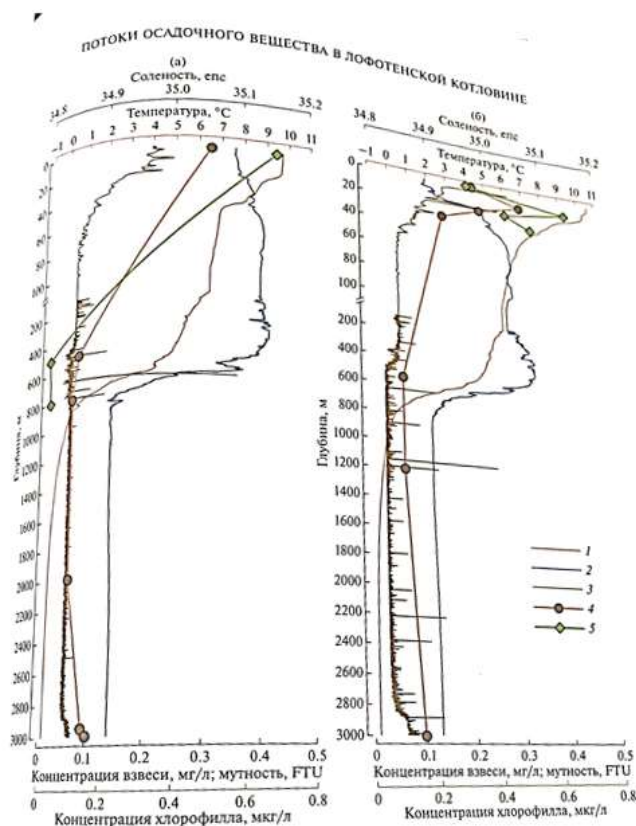


Рис. 2.1 Вертикальное распределение параметров среды (температура, мутность, солёность, кислород) по данным CTD-зондирования и концентрации водной взвеси и хл «а» на станции АГОС в момент постановки (а) и подъема (б) ловушек. (1 - температура, 2 – солёность, 3 – мутность, 4 – концентрация взвеси, 5 – концентрация хлорофилла). [5]

Концентрация взвеси в слое 0-5 м составила 0,31 мг/л и 0,23 мг/л. Концентрация хлорофилла «а» изменялась от 0,69 до 0,34 мкг/л. Ближе к придонному нефелоидному слою, отмечается, что концентрация взвеси постепенно уменьшалась с глубиной. Мощность нефелоидного слоя по данным CTD-зондирований с использованием нефелометра варьировала от 150 м до 350 м.

На рисунке 2.2 можно увидеть, что максимальное количество концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое Лофотенской котловины в конце лета – осени 2017 г. В отличие от осени 2018 г, в этот период концентрации хлорофилла в районе были значительно ниже.

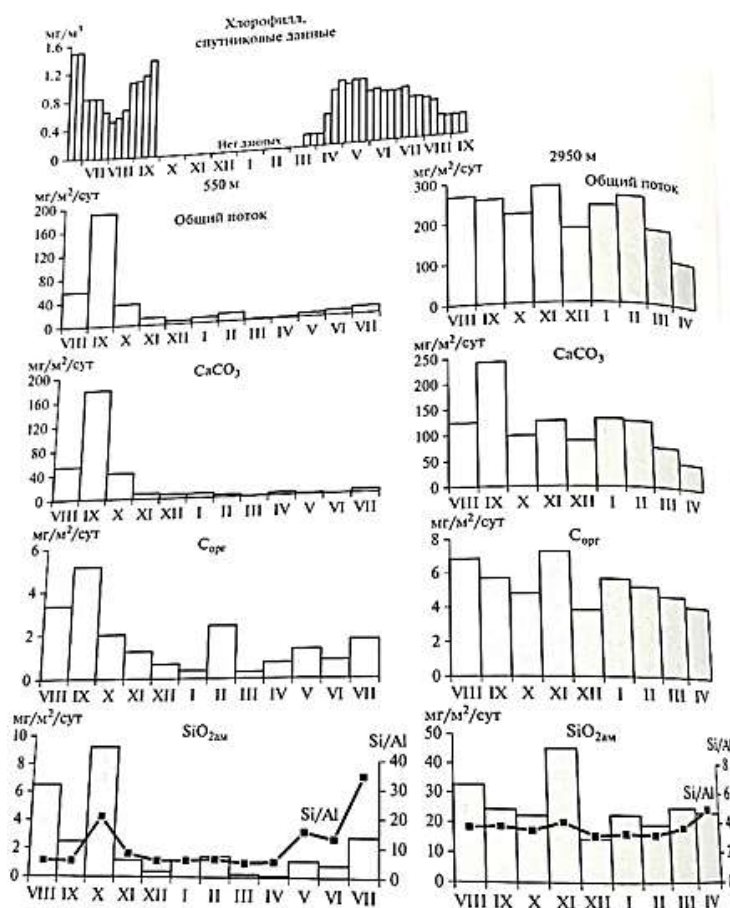


Рис. 2.2 Внутригодовая изменчивость концентрации хлорофилла в поверхностном слое, вертикальных потоков общего осадочного вещества, карбоната кальция, органического углерода, аморфного кремния, отношения общего кремния к алюминию в осадочном веществе. [5]

Общий поток осадочного вещества

Из анализа материала ловушек было выделено, что значительная изменчивость общих потоков вещества в течение года наблюдается в подповерхностном слое (горизонт 550м) и относительную однородность потоков в придонном слое (горизонт 2950 м), это можно увидеть на рисунке 2.2

В подповерхностном слое годовой ход потоков характеризуется распределением с одним экстремумом, в котором максимумом наблюдается в сентябре 2017 г. (191 мг/м²/сут). Начиная с ноября, величина потока сильно снижается и достигает минимальных значений (2,6 мг/м²/сут) в марте – апреле 2018 г. С мая по июль поток возрастает с 7,0 до 12,9 мг/м²/сут.

Средняя величина вертикального потока придонного слоя в семь раз выше, чем в подповерхностном слое (221,0 и 30,6 мг/м²/сут соответственно). Несмотря на это изменчивость потоков в течение года не столь значительно выражена по сравнению с верхним слоем. Минимальные величины потока в придонном слое (107 мг/м²/сут) наблюдаются в апреле. Это совпадает со значением минимума потока в подповерхностном слое.

Поток ведущих биогенных компонентов:

Во время изучения проб с помощью сканирующего электронного микроскопа было выявлено, что в составе осадочного вещества подповерхностного и придонного горизонтов в августе – октябре присутствует большое количество крупных (до 700 мкм) раковин птеропод *Limacina retroversa* (Рис. 2.3) В подповерхностном слое этих месяцев отмечены высокие величины потока $CaCO_3$ с наибольшим значением (178 мг/м²/сут) в сентябре (Рис. 2.2). В этот период поток $CaCO_3$ составлял более 90% от всего осадочного вещества. В остальное время года максимальный поток $CaCO_3$ варьировал от 0,3 до 9,3 мг/м²/сут. В придонном слое максимальный поток $CaCO_3$ наблюдался также в сентябре (240 мг/м²/сут), и затем оставался достаточно высоким (до 129 мг/м²/сут) с августа по февраль.

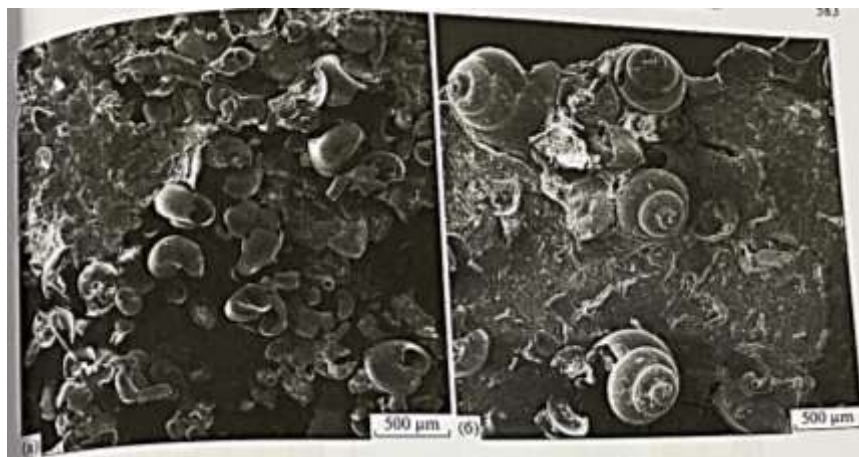


Рис. 2.3 Микрофотографии ловушечного вещества в августе, показывающие преобладание раковин *Limacina retroversa* (а) горизонт 550 м и (б) горизонт 2950 м.[5]

Преобладающий поток $C_{орг}$ в подповерхностном слое (2,0-5,2 мг/м²/сут) наблюдался в августе – сентябре (Рис. 2.2). В остальное время года поток $C_{орг}$ не был выше значения 1-2 мг/м²/сут. В придонном слое поток $C_{орг}$ на протяжении всего года изменялся незначительно от 3,8 до 7,2 мг/м²/сут.

Поток $SiO_{2ам}$ в подповерхностном слое наблюдался в октябре и достигал наибольших величин 9,1 мг/м²/сут. В остальное время года поток не превышал 2,7 мг/м²/сут. В придонном слое поток был более высоким и варьировал в течение года в диапазоне от 14,5 до 45,0 мг/м²/сут.

Отношение Si/Al в подповерхностном слое большую часть года колебалось в интервале 5,0 - 6,2, резко возрастая в октябре (20,9) и в мае – июле (13,2-34,6). Увеличение доли биогенного кремния в составе потока может быть обосновано обогащением осадочного вещества валовым Si по отношению к Al. Содержание Si в осадочном веществе придонного слоя (12,4 – 19,9%) становится наиболее близким к его среднему содержанию в пелагических донных осадках океана (19,6%). Отношение Si/Al в придонном слое составляет 3,1 – 4,0, эти значения наиболее близки к среднему значению отношения этих элементов в земной коре. Июль отличается от всех остальных месяцев тем, что здесь Si/Al возрастает до 4,9 незначительно обогащая осадочное вещество придонного слоя биогенным Si.

Оседание компонентов планктонного происхождения:

Птероподы *Limacina retroversa*. Вся популяция лимацин, которые были обнаружены в материале ловушек представлена скоплением молодежи со средним размером диаметром раковины $0,49 \pm 0,19$ мм (550 м) и $0,48 \pm 0,12$ мм (2950 м). У большей части материала раковины были пустыми с небольшим количеством органического вещества. Сезонный ход седиментации рассматриваемых моллюсков можно охарактеризовать сентябрьским максимумом (13000 – 15000 раковин/м²/сут) на глубине 550 м, так же высокие значения характерны и для сентября – октября на 2950 м. (Рис. 2.4) К ноябрю можно увидеть, что вертикальный поток птеропод начинает резко уменьшаться, а в оставшийся период приближается к нулю.[7]

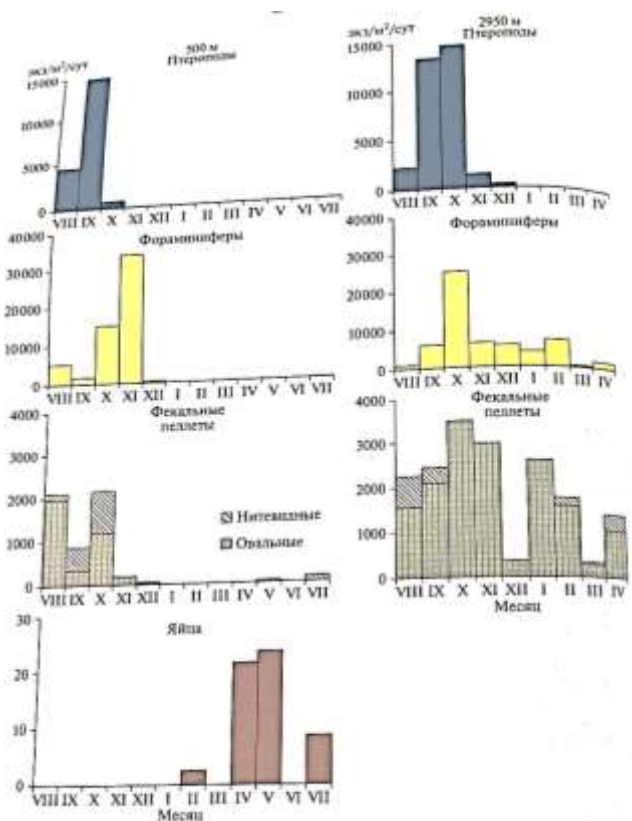


Рис. 2.4 Внутригодовая изменчивость вертикальных потоков разных компонентов планктонного происхождения. [5]

Планктонные фораминиферы. Для типа фораминифер наиболее многочисленными были мелкие экземпляры $<0,1$ мм, доля более крупных раковин (0,2 – 0,4 мм) не превышала 5%. В графике изменения потока этих организмов в течение года наблюдается одна мода, ее максимум в октябре –

ноябре (Рис. 2.4). Для более холодного периода времени данный тип биологических организмов был обнаружен только в пробах глубоководной ловушки.

Фекальные пеллеты (ФП). Осенью (сентябрь – октябрь) в пеллетном материале по численности преобладали овальные пеллеты, нитевидные пеллеты, в ловушках на глубине 550 м. (Рис. 2.4) Главный поток пеллет в верхнем 550 метровом слое ($900 - 2000 \text{ пел/м}^2/\text{сут}$) был обнаружен в конце вегетационного периода. В остальное время года поток не выделялся большой численностью и был на порядок ниже не превышая $200 \text{ пел/м}^2/\text{сут}$. В слое 550 – 2950 м минимальный поток пеллет ($200 - 300 \text{ пел/м}^2/\text{сут}$) был отмечен в декабре и в марте, в остальное время поток изменялся от 1500 до 3500 $\text{пел/м}^2/\text{сут}$.

Яйца планктонных животных были встречены только в пробах ловушек на 550 м в весенне-летний период. Самый большой поток в мае – июне составлял $21 - 23 \text{ экз/м}^2/\text{сут}$.

В таблице 2.1 приведены данные о содержании $C_{\text{орг}}$ и $C_{\text{карб}}$ в планктонных компонентах осадочного вещества которые были рассмотрены.

Таблица 2.1 Содержание общего $C_{\text{общ}}$, органического $C_{\text{орг}}$, и карбонатного $C_{\text{карб}}$ углерода (мкг/экз) а разных компонентах осадочного вещества. (Указаны средние значения $\pm SD$, в скобках – число измерений)[8]

	$C_{\text{общ}}$	$C_{\text{орг}}$	$C_{\text{карб}}$
Лимацины	$1,07 \pm 0,52(6)$	$0,24 \pm 0,09(3)$	0,83
Фораминиферы <0.1 мм	$0,028 \pm 0,010(9)$	0,0078	0,02
Фораминиферы 0,2 – 0,4 мм	$0,14 \pm 0,08(3)$	0,04	0,10
Пеллеты овальные		$0,48 \pm 0,12(6)$	
Пеллеты нитевидные		1,34	
Яйца 0,25 мм		$1,65 \pm 0,09(2)$	
Яйца 0,5 мм		7,46	

Сезонные изменения потока $C_{орг}$ и $CaCO_3$ обоснованы седиментацией разных компонентов они показаны на (Рис. 2.5). Рассматривая позднелетний – осенний сезон, можно наблюдать, что вклад всех компонентов в общий поток $C_{орг}$ был максимален в и в октябре он достиг 100%. В январе – марте вклад в общий поток $C_{орг}$ не превышает 1%, а в апреле возрастает до 22%, затем снижается до 1% в июне и вновь увеличивается до 12% в июле. Повышение доли планктоногенных компонентов в первом случае объясняется тем, что происходит оседание яиц, во втором – нитевидных ФП. Также можно отметить, что сезонные изменения потока $C_{орг}$ и его состава в слое 550 м – дно наиболее приближены к описанным изменениям для верхнего слоя с высокими значениями (2,4-5,2 мг $C_{орг}$ /м²/сут) в сентябре – октябре и заметным снижением потока в другие сезоны. В осенний период поток $C_{орг}$ обуславливается птероподами, а в остальное время – ФП. Суммарный вклад этих компонентов в общий поток $C_{орг}$ изменялся от 80 – 100% в августе – сентябре до 4 – 35% в более холодный период времени.

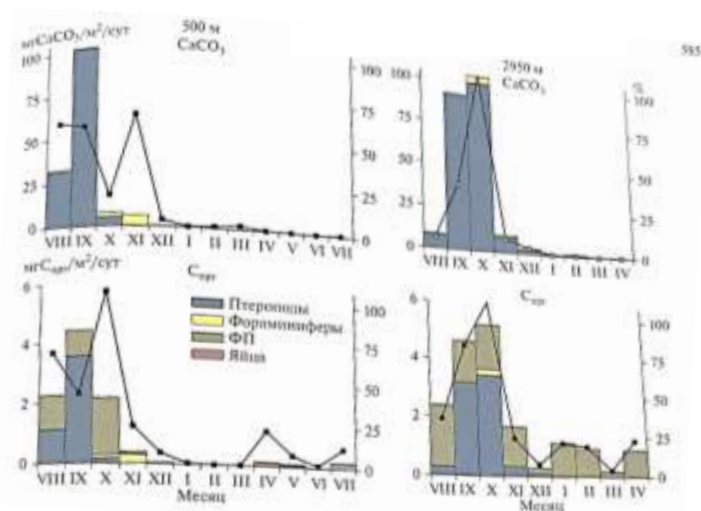


Рис. 2.5 Внутригодовая изменчивость потока $C_{орг}$ и $CaCO_3$, обусловленные седиментацией разных компонентов планктонного происхождения (столбцы) и их суммарный вклад в поток $C_{орг}$ и $CaCO_3$ (линия).[5]

Поток $CaCO_3$ во всем столбе воды, определенный, седиментацией птеропод изменялся от <1 до 104 мг/м²/сут (Рис. 2.5). Максимальные

величины этого потока были получены в сентябре – октябре. В это время от 40 до 100% общего потока карбоната кальция определялось седиментацией раковин *Limacina retroversa*. Вклад фораминифер в общий поток $CaCO_3$ в единственном случае, в октябре на глубине 550 м, достигал 60%, а в остальных не превышал 6%.

Некрозоопланктон (НЗ). Количество и состав НЗ, которые были обнаружены в материале ловушек, различались на разных глубинах (Рис. 2.6). В ловушках на 500 м наиболее многочисленными в течение года были копеподы *Metridia longa*, в отдельные периоды отмечалась высокая численность глубоководных копепод *Heterorhabdus norvegicus* и *Paraeuchaeta* sp. Рассматривая придонный слой, можно отметить, что только в трех пробах были встречены копеподы *Gaetanus* sp., поток трупов этих копепод составлял 0,3, 1,7 и 1,3 экз/м²/сут в октябре, ноябре и января соответственно. В двух пробах (январь и апрель) присутствовали радиолярии отряда *Spumellaria* (поток 3,4 и 3,9 экз/м²/сут), а одной (февраль) – «сперматофоры» кальмаров (поток – 1,2 экз/м²/сут). [5] Поток C_{org} в слое 0 – 550 м, который был рассчитан с учетом данных о содержании органического углерода в НЗ изменялся от 0 до 0,45 мг C_{org} /м²/сут, с максимумом в феврале (Рис. 2.7).

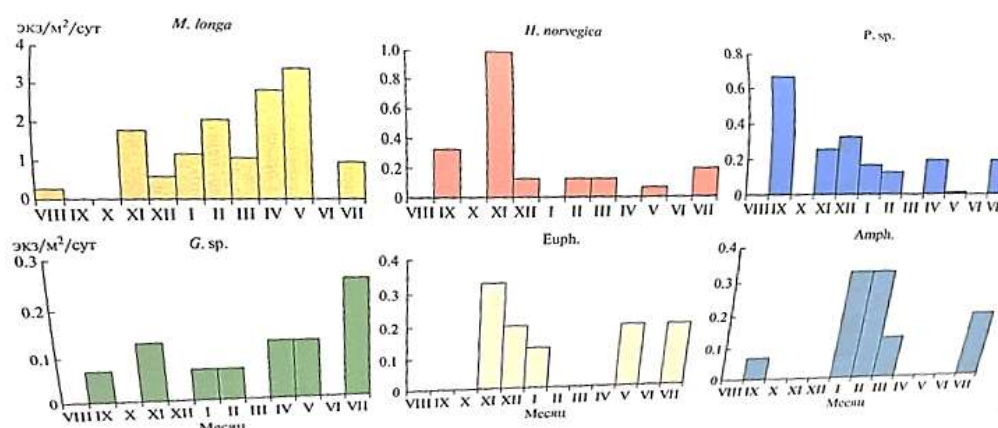


Рис. 2.6 Внутригодовая изменчивость вертикальных потоков разных видов некрозоопланктона на глубине 550 м. *M. longa* - *Metridia longa*, *H. norvegicus* - *Heterorhabdus norvegicus*, *P. sp* - *Paraeuchaeta* sp, *G. sp* - *Gaetanus* sp, *Euph.* – *Euphausiidae*, *Amph.* – *Amphipoda*. [5]

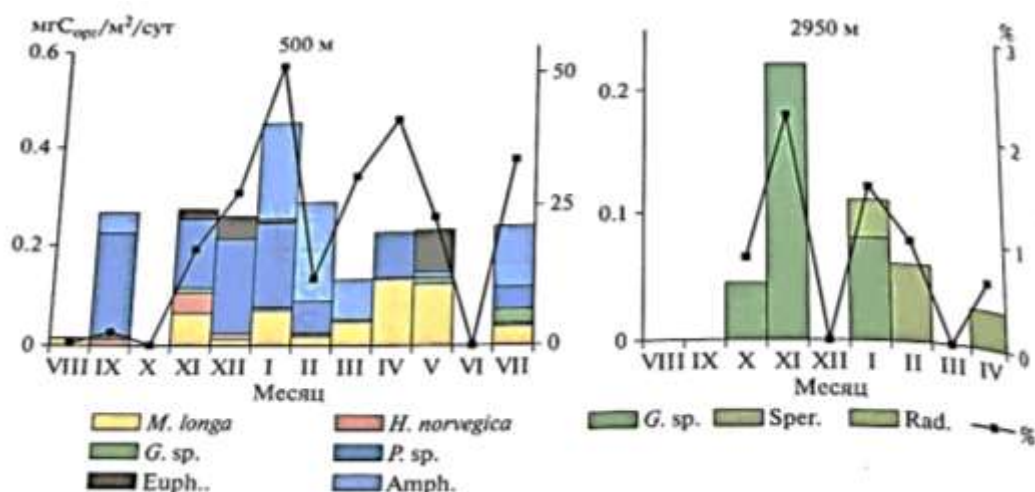


Рис. 2.7 Внутригодовая изменчивость потока C_{org} , обусловленная седиментацией разных видов некрозоопланктона (столбцы) и их суммарный вклад в поток C_{org} (линия). *M. longa* - *Metridia longa*, *H. norvegicus* - *Heterorhabdus norvegicus*, *P. sp* - *Paraeuchaeta sp*, *G. sp* - *Gaetanus sp*, *Euph.* – *Euphausiidae*, *Amph.* – *Amphipoda*, *Rad.* - радиолярии, *Sper.* – сперматофоры кальмаров.[5]

Биогенные остатки в донных осадках. После проведения вскрытия толщи голоценовых донных осадков (0-26 см), было обнаружено, что она представлена карбонатным (более 30% $CaCO_3$) пелитовым илом с содержанием пелитовой фракции ($< 0,01mm$) до приблизительно 80%. Рассматривая верхний слой (0 – 10 см) осадков заметно, что преобладали (более 80%) остатки планктонных и бентосных организмов: фораминиферы, кокколиты, диатомовые, радиолярии, спикулы губок. Среди микрофоссилий, обнаруженных в осадке, абсолютно преобладали кокколитофориды (около 65%), фораминиферы составляли 10 – 15%, а остальные были представлены единичными экземплярами. Среди кокколитофорид было обнаружено два вида: крупноклеточный *Soccolithus pelagicus* и мелкоклеточный *Emiliana huxleyi*. Отметим, что птероподы и их фрагменты преобладали в составе осадочного вещества в водной толще, хотя в изученных осадках не наблюдались. С глубиной слоя осадка содержание биогенных остатков снижалось.

Птероподы *Limacina retroversa* играют не последнюю роль в вертикальном переносе C_{org} и карбоната кальция в Лофотенской котловине. Когда эти планктонные животные, они во многом определяют цикл углерода в водной толще, хоть и не участвуют в формировании осадков. В материале ловушек было обнаружено преобладание ФП остракод, которые населяют преимущественно глубинные слои.

Впервые были получены оценки потока НЗ в Норвежском море, они свидетельствуют о незначительной роли этого компонента осадочного вещества в вертикальном транспорте C_{org} в глубинные слои. Так как в осадочном материале не наблюдается трупов доминирующего вида зоопланктона, копепод *Calanus finmarchicus*, это говорит о том, что у этого вида существуют особенности вертикального распределения этого вида на разных этапах жизненного цикла. Также это может быть основанием к причинам низких величин НП в отличие от других Арктических морей.

Подводя итоги к вышесказанному можно заключить, что процесс седиментации в глубоководных районах Норвежского моря в большей степени контролируется зоопланктоном. Суммарный вклад всех исследованных компонентов планктонного происхождения (птероподы, фораминиферы, яйца, ФП и НЗ) в годовой поток карбоната кальция составлял 16 – 47%, в годовой поток C_{org} – 37 – 45%. В придонном слое главную и неотъемлемую роль занимают процессы ресуспензии и переотложения вещества верхнего слоя донных осадков. [5]

2.2. Влияние увеличения температуры на продукцию яиц у *Calanus finmarchicus* и *C. Glacialis*.

Самым большим изменениям глобального климата на данный момент подвергаются полярные области Мирового океана. В связи с тем, что температура атмосферного воздуха в арктической части поднимается быстрее

чем в других областях земного шара, арктические экосистемы наиболее подвержены влиянию изменений, который могут затронуть их условия обитания.

Одной из самых изученных полярных экосистем является экосистема Норвежского моря. Основным из главных звеньев, благодаря которым передается энергия от первичной продукции к организмам высших трофических уровней является копеподы и эвфаузииды. Копеподы рода *Calanus* служат основным источником пищи для промысловых видов рыб. Существует два основных доминирующих вида из рода *Calanus*, один из них *C. finmarchicus* – бореальный атлантический вид, а второй *C. Glacialis* – арктический вид, который в большем количестве распространен на шельфе. На данный момент существует вопрос, может ли повышение температуры воды повлиять на два близкородственных вида. Для того чтоб ответить на данный вопрос, необходимо изучить прогнозирование изменений функционирования региональных экосистем при сохраняющемся тренде. [9]

Самым важным периодом в жизнедеятельности живых организмов является размножение. От того насколько успешным было размножение зависит численность новых особей в популяции. Скорость размножения зависит от того, насколько организмы обеспечены пищей. Для того чтобы в организме самки созрели клетки (ооциты), которые будут способствовать ее репродукции, она должна максимально обеспечить себя энергией, обычно даже сверх того насколько нужно ей для обычного метаболизма. Только благодаря этому самка сможет отложить достаточное количество яиц. Из-за того, что копеподы Норвежского моря адаптированы к более низким температурным режимам, они могут производить жизнеспособных потомков за короткий продуционный период. Также особи могут запасаться жиром для того чтобы синхронизировать размножение и обеспечить его достаточным количеством энергии до начала обильного питания. И в дополнение к этому, для того чтобы организмам было легче переносить зимний период. [9]

Размножение напрямую зависит от температуры. Наиболее благоприятная температура для размножения арктических и промежуточных видов может отличаться. Но порог температуры в 0°C не является препятствием для размножения промежуточных видов, таких как *C. finmarchicus*.

Изменения температуры воды могут повлиять на организмы не только тем, что затронут скорость их физических процессов. Существует предположение о том, что если температура воды будет увеличиваться, то будут происходить изменения условий весеннего таяния льда, изменятся сроки, масштаб и продолжительность «цветения» ледовых водорослей и фитопланктона. Так как вид калянусов связан с массовым развитием водорослей, эти процессы могут прервать или нарушить их связь. Нарушение связей может оказать неприятные последствия на размножение продукции. Например, если *C. glacialis* может начать размножение до начала питания за счет резервных веществ, то *C. Finmarchicus* нуждается в поступлении свежей пищи.

Для того, чтобы выполнить натурный эксперимент зоопланктон собрали в марте-апреле 2010 г. В северном Норвежском фьорде Грётзунд вблизи Тромсе (69°45.92' с.ш., 19°6.58' в.д.). Сетью WP-2 с ячейей фильтрующего конуса 200 мкм облавливали слой 100-0 м.

Зоопланктон был перемещен в большой объем морской отфильтрованной воды. Половозрелые самки были отобраны пипетками с широким входным отверстием и помещались индивидуально в сосуды. В ходе эксперимента самки были ограничены от отложенных яиц во избежание проникновения самок к яйцам. Так как самки возможно могли бы употребить эти яйца в пищу. В качестве корма использовали диатомовые водоросли *Thalassiosira gravida*. Самки были акклиматизированы к настоящим условиям эксперимента в течение двух суток.

В эксперименте участвовало по 20 самок одного вида, 10 в фильтрованной и 10 в воде с пищей, они размещались в пяти термокамерах в темноте при температуре 0, 2.5, 5, 7.5 и 10°C. Каждый день копепод

пересаживали в свежую воду или свежую пищевую взвесь. Каждый день была определена продукция яиц самок в течение 5 суток.

Calanus finmarchicus:

В ходе эксперимента по *Calanus finmarchicus* было выявлено, благодаря увеличению температуры воды происходило повышение откладки яиц копепод. Эта связь была выражена в апреле и мае, но в марте нарушалась.

Так как самки, которые могли питаться и которые голодали были разделены, то изменение температуры по-разному влияло на исследуемые особи. У самок, которые могли питаться продукция яиц возрастала с процессом увеличения температуры воды. (Рис. 2.8)

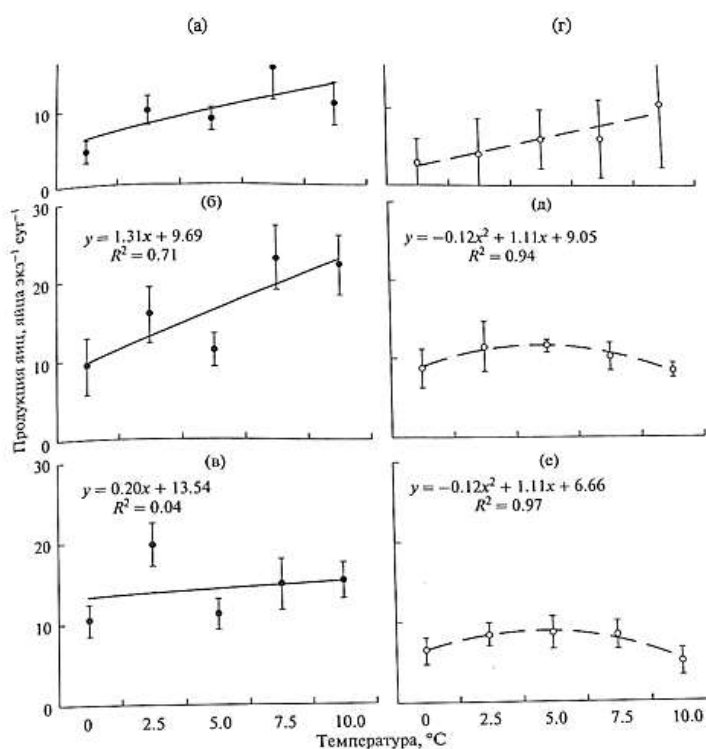


Рис. 2.8 Зависимость скорости продукции яиц у *Calanus finmarchicus* от температуры (а, б, в) – самки, питавшейся водорослями *thalassiosira gravida* ad libitum; (г, д, е) – самки, не получавшие пищи в течение эксперимента; (а, г) – март, (б, д) – апрель, (в, е) – май. Показаны средние значения. [9]

Из графиков можно увидеть, что при увеличении температуры от 0 до 10°C коэффициент Q_{10} составил в среднем, 3.1 в апреле 2.8 и в мае 1.8, это может говорить о том, что В начальный период температура оказывала

большее влияние на копепод, чем к концу сезона, так как в этот период оно не было выраженным. У тех самок *Calanus finmarchicus*, которые были подвержены голоду, зависимость продукции яиц от температуры была несколько иная. Можно увидеть, что откладке яиц в апреле и мае возрастала и это было сопоставимо с изменениями температуры от 0 до 2.5-5°C, затем скорость продуцирования снижалась. Что касается марта, в этот период скорость продуцирования возрастала в зависимости от увеличения температуры, но это происходило только при очень большом разбросе индивидуальных показателей. [10]

Calanus glacialis:

Для самок *C. Glacialis*, которые могли питаться скорость продуцирования яиц возрастала при температурных показателях от 0 до 2,5-5°C. Когда температура начинала снова увеличиваться продукция яиц сразу снижалась, это можно увидеть на представленном рисунке 2.9 (а). Также на графиках можно отметить, что при и при 0°C скорость продукции яиц была значительно выше, чем при температуре в 7,5-10°C. Что касемо голодавших самок, на рисунке 2.9 (б) представлена зависимость продукции яиц от температуры, по нему видно, что эта зависимость слабо выражена. Поэтому все потомство, которые откладывали голодные самки во время эксперимента при показателях температуры воды в 10°C было отложено за два первых дня эксперимента.

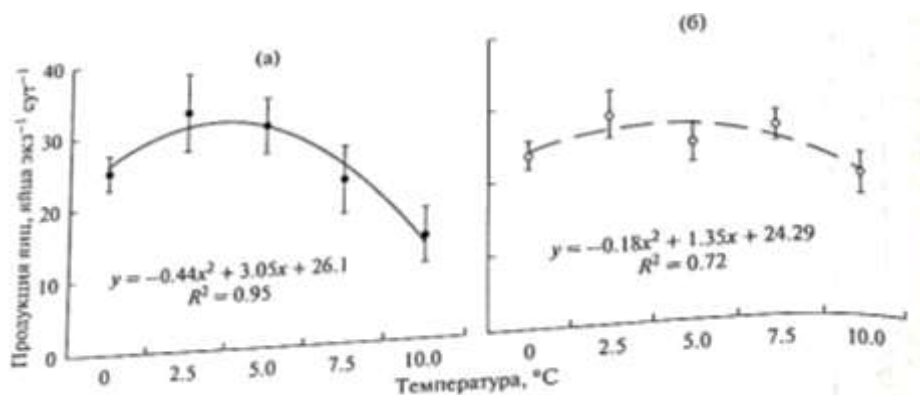


Рис. 2.9 Зависимость скорости продукции яиц у *Calanus glacialis* в мае от температуры: а - самки, питавшейся водорослями *thalassiosira gravida ad*

libitum, б - самки, не получавшие пищи в течение эксперимента. Показаны средние значения и стандартная ошибка.

Таким образом, в ходе эксперимента были получены следующие выводы. В диапазоне температур (0-10°C – привычный для размножения *Calanus finmarchicus*) при условии обеспеченности рачков пищей этот вид ускоряет откладку яиц при том, что температура воды будет увеличиваться. Чего не скажешь для *Calanus glacialis*, так как значения температуры выше 5°C не являются оптимальными для комфортного существования данного вида организмов и это снижает скорость продукции яиц даже в случае хорошей обеспеченности пищей рачков.

Таким образом, у *C. glacialis* все стадии развития гонад и откладка яиц может происходить за счет накопленных жировых резервов, как было сказано выше, в то время как у *C. finmarchicus* для завершения развития гонад и вымета яиц необходимо поступление свежей пищи. Данный вывод не говорит о том, что *C. glacialis* не нуждается в свежей пище, свежая пища также необходима им для развития, но они могут удовлетворять эти потребности за счет питания ледовыми водорослями.

Таким образом, связь между питанием и продукцией яиц у *C. finmarchicus* имеет более превередливый характер, чем у *C. glacialis*. У последнего липиды служат резервом, которые обеспечивают начало размножения и определяют возможность продолжительного периода между началом кладки яиц и началом интенсивного питания. [9]

2.3 Влияние температуры на локомоторную активность *Calanus Helgolandicus*.

Частота локомоции некоторых копепод и вспышек активности остракод сильно зависит от температуры, причем ее резкая смена может ингибировать наиболее интенсивные, бросковые режимы движения.

Локомоторная активность закрепленных копепод проявляется в виде относительно спокойного плавания и скачков, обусловленных работой двух анатомически не связанных и не действующих у калянусов совместно комплексов ротовых и торакальных конечностей.[4]

Расход на энергию каждого из них определяется частотой и силой локомоторных актов, собранных обычно в серии, чередующиеся паузами, а также их общей продолжительностью, главным образом и характеризующей степень двигательной активности рачков за время измерений. (рис. 2.10 (а))

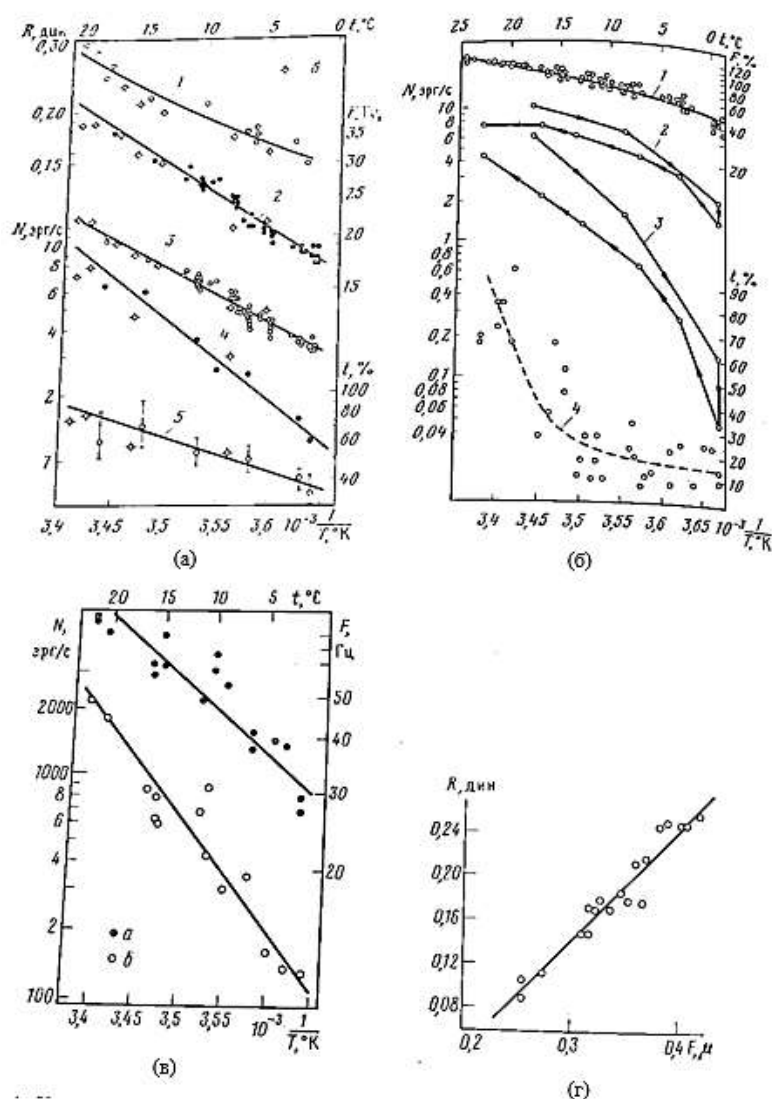


Рис. 2.10 (а) – Изменение параметров локомоции ротовых конечностей *C. helgolandicus* в процессе акклимации к различным температурам.

(б) – Параметры локомоции ротовых конечностей при быстром изменении температуры.

(в) – Влияние быстрого изменения температуры на среднюю частоту и мощность бросковой локомоции.

(г) – Зависимость результирующей силы тяги от частоты следования локомоторных актов у трех одноразмерных (0,35 см) особей копепод. [4]

На нем показано изменения частоты следования, результирующей силы и мощности локомоторных актов комплекса ротовых конечностей взрослой особи *C. helgolandicus* при акклиматизации к различным температурам в эксперименте продолжительностью 37 суток, а также семи других рачков, акклимированных к одному из значений температурного преферендума этого вида. Из рисунка видно, что все три параметра закономерно уменьшаются с понижением температуры, причем мощность локомоторного акта меняется с законом Вант-Гоффа, имея температурный коэффициент Q_{10} равный в среднем 2,3.[11]

Среднечасовая величина длительности локомоторных серий, выраженная в процентном соотношении ко времени наблюдений, также оказалась связана с температурой. Но поскольку в многосуточных экспериментах была обнаружена циркадная ритмичность ее изменения с диапазоном от 10% утром и 97% в ночное время, в анализе были использованы усредненные за сутки величины длительности активного состояния рачков, в соответствии с которым среднесуточный Q_{10} мощности оказался равным 2,9. (Рис. 2.10 (а – 4))

Быстрое ступенчатое изменение температуры со скоростью около $0,3^{\circ}$ в минуту, как оказалось, мало влияет на температурные коэффициенты параметров отдельных локомоторных актов (Рис. 2.10 (б)), но в то же время сильно меняет длительность локомоторных серий, особенно в области высоких значений температуры, в связи с чем Q_{10} средней за 5 минут энергии локомоции в условиях переходного процесса возрастает до 9.

Среди особенностей эффекта быстрой смены температуры следует отметить сказывающуюся на частоте и мощности локомоции копепод инерционность перехода, проявляющуюся в «памяти» о состоянии активности

при предшествующем температурном режиме (Рис. 2.10 (б)), по-видимому, вообще характерной для ракообразных. Заслуживает внимание и то, что линейный (в полулогарифмических координатах) характер изменения частоты локомоторных актов не нарушается при экстремальных для этого вида условиях, граничащих, с одной стороны, с вмораживанием в лед, а с другой стороны – с летально высокими температурами.

В равной степени это относится к бросковому плаванию, способность к которому, по крайней мере в ответ на электрическое раздражение, проявлялась во всем диапазоне заданных температур.

Температурный коэффициент мощности этого типа локомоции при изменении температуры со скоростью 2° в минуту оказался равным 4, превышая, таким образом, для акклимации организмов скорость изменения энергетического обмена. Если к этому добавить зависимость от температуры скорость затухания импульсов силы в сериях скачков, общей продолжительности реакции избегания и частоты ее повторения, то величина Q_{10} энергии, располагаемой рачками для скачкообразного плавания, окажется еще больше.

Что касается физиологических аспектов влияния температуры, то неясным остается, почему как в условиях акклимации, так и в переходном режиме экстремальные температуры не снижают показатели интенсивности локомоции калянусов. Одним из объяснений этого может быть неприспособленность мигрирующих калянусов к длительному нахождению в слоях с повышенной температурой, и как следствие, неспособность к компенсирующему уменьшению энергетического обмена.

С понижением температуры у калянусов, так же, как и у остракод рода *Conchoecia*, наблюдается увеличение продолжительности локомоторных серий при относительно спокойном плавании при помощи ротовых конечностей. Но это происходит только в опытах с многочасовой акклимацией и одновременно с этим, увеличивается продолжительность пауз между сериями, в связи с чем доля активности и, следовательно, средняя за период

наблюдения скорость движения у них все равно уменьшаются с понижением температуры.[11]

3. Исходные данные и методы анализа

3.1 Исходные данные

Для выполнения работы были взяты данные с сайта службы мониторинга окружающей среды Copernicus.[19] Необходимые параметры, которые используются в работе:

Таблица 3.1 Исходные данные

	Концентрация фитопланктона	Концентрация зоопланктона	Температура воды
координаты	13°з.д. – 24°в.д. 61.25°с.ш.-76.5°с.ш.(13°з.д. - 11.25°в.д. 61,25°с.ш. - 64,75°с.ш. для зоопланктона)		
время	01.06.2009 - 01.06.2019		
глубина, h (м)	100м (интегральная)	поверхность	100м (интегральная)
размерность	ммоль/м ³	г/м ²	°С
Дискретность сетки (°)	0,25 x 0,25	0,25 x 0,25	0,25 x 0,25
Временная дискретность	10 дней	10 дней	10 дней

1. Мольная концентрация фитопланктона в слое 100м. Параметр был взят по полю 13°з.д. – 24°в.д. 61.25°с.ш.-76.5°с.ш., в период с 01.06.2009 года по 01.06.2019 год. Были использованы декадные значения с размерностью ммоль/м³ и дискретностью сетки 0,25 x 0,25.

2. Распределение температуры воды в слое 100м. Параметр был взят по полю 13°з.д. – 24°в.д. 61.25°с.ш.-76.5°с.ш., в период с 01.06.2009 года по 01.06.2019 год. Были использованы декадные значения с размерностью °С и дискретностью сетки 0,25 x 0,25.

3. Массовая концентрация зоопланктона в поверхностном слое. Параметр был взят по полю 13°з.д. – 24°в.д. 61.25°с.ш.-76.5°с.ш., в период с 01.06.2009 года по 01.06.2019 год. Были использованы декадные значения с размерностью г/м² и дискретностью сетки 0,25 x 0,25.

3.2 Описание статистических методов

Взаимнокорреляционная функция

Одним из методов описания гидрометеорологического процесса является нормированная взаимнокорреляционная функция. Она применяется к процессам, которые действуют непрерывно и их продолжительность является бесконечной. Взаимнокорреляционная функция описывается с помощью формулы 3.1:

$$r_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T X(t)Y(t + \tau)dt \quad (3.1)$$

Данная функция характеризует взаимосвязь переменной $X(t)$, взятой в момент времени t_1 , с переменной $Y(t)$, взятой в момент времени t_2 но должно соблюдаться соотношение $t_2 - t_1 = \tau$. Данная функция является действительной и может принимать положительные и отрицательные значения. Она не всегда является четной и может иметь максимум на любом сдвиге. Вычисление $r_{xy}(\tau)$ осуществляется для положительных и для отрицательных значений аргумента, так как взаимнокорреляционная функция является несимметричной. Взаимнокорреляционная функция $r_{xy}(\tau)$ характеризует в какой степени существует зависимость при опережении независимой переменной $X(t)$ относительно зависимой переменной $Y(t)$, в то время как функция $r_{yx}(\tau)$ – характеризует в какой степени существует

зависимость при запаздывании независимой функции по отношению к зависимой функции. [21]

При вычислении ВКФ дискретных процессов большой продолжительности используются преобразованные формулы 2:

$$\begin{aligned} r_{xy}(\tau) &= \frac{\sum^{N-\tau} (x_i - \bar{x})(y_{i+1} - \bar{y})}{(N-\tau)\sigma_x\sigma_y} \\ r_{yx}(\tau) &= \frac{\sum^{N-\tau} (y_i - \bar{y})(x_{i+1} - \bar{x})}{(N-\tau)\sigma_x\sigma_y} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Взаимная корреляционная функция $R_{xy}(\tau)$ имеет связь с нормированной взаимной корреляционной функцией, это можно увидеть с помощью формул 3.3

$$r_{xy}(\tau) = \frac{R_{xy}(\tau)}{\sigma_x(0)\sigma_y(0)} \quad r_{yx}(\tau) = \frac{R_{yx}(\tau)}{\sigma_x(0)\sigma_y(0)} \quad (3.3)$$

Здесь $\sigma_x(0)\sigma_y(0)$ – взаимная дисперсия переменных X и Y на нулевом сдвиге.

Взаимная корреляционная функция имеет некоторые свойства, которые описаны ниже:

1. Во время одновременной перестановке аргументов и индексов сама функция ВКФ не будет изменяться.

$$R_{xy}(t_1, t_2) = R_{yx}(t_2, t_1) \quad (3.4)$$

2. При условии прибавления к функциям $X(t)$ и $Y(t)$ неслучайных слагаемых – ВКФ также не изменяется.

если $X_1(t) = X(t) + \phi(t)$ и $Y_1(t) = Y(t) + \psi(t)$, то

$$R_{x_1y_1}(t_1, t_2) = R_{xy}(t_1, t_2) \quad (3.5)$$

3. При умножении случайных функций $X(t)$ и $Y(t)$ на неслучайные множители, взаимная корреляционная функция умножается на произведение этих множителей.

если $X_1(t) = X(t)\phi(t)$ и $Y_1(t) = Y(t)\psi(t)$, то

$$R_{x_1y_1}(t_1, t_2) = R_{xy}(t_1, t_2)\phi(t_1)\psi(t_2) \quad (3.6)$$

4. Абсолютная величина взаимной корреляционной функции двух случайных функций не превышает среднего геометрического их дисперсий.

$$|R_{xy}(t_1, t_2)| \leq [D_x(t_1)D_y(t_2)]^{1/2} \quad (3.7)$$

Следствие: Абсолютная величина нормированной взаимной корреляционной функции двух случайных функций не превышает единицы.

$$|r_{xy}(t_1, t_2)| \leq 1 \quad (3.8)$$

Существует временной сдвиг τ_i , который определяет среднюю разность фаз процессов, он как правило соответствует максимуму ВКФ и является оптимальным сдвигом. В случаях, когда наблюдается максимум ВКФ при нулевом сдвиге, это означает что процессы происходят синфазно, в этом случае говорится о том, что ВКФ симметрична. Если у фаз исследуемых процессов присутствует некоторая разность, которая соответствует τ_i , то из этого может следовать, что у ВКФ присутствует асимметрия.

Благодаря абсолютной величине ВКФ можно наблюдать степень взаимосвязи процессов. О том, какая зависимость прямая или обратная, говорит знак ВКФ.

С помощью ВКФ можно проводить расчеты задач, которые связаны с океанологическими процессами во временной области, такие как:

1. Определение знака и величины взаимосвязи двух стационарных процессов.
2. Определение средней разности фаз по сдвигу.
3. Нахождение временных масштабов, при которых статистическая связь процессов является наиболее сильной.
4. Выделение периодических составляющих, которые наблюдаются в обоих статистических рядах.
5. Нахождение оптимальной заблаговременности прогноза и выбор оптимальных предикторов. [22]

Кластерный анализ

Кластерный анализ – это совокупность методов и алгоритмов теории распознавания образов, направленных на решение процедуры классификации множества объектов в многомерном пространстве признаков посредством процедуры самообучения.

Классификацией называется разбиение множества объектов на несколько однородных подмножеств (классов) по признакам наибольшего сходства.

Основным требованием, которое предъявляется к классификации является объективность. Под термином объективность понимается, что классы, которые выделили в ходе анализа, должны соответствовать реально существующим и не зависеть от точки зрения лица, которое выполняет классификацию.

У кластера существуют некоторые математические характеристики, такие как: центр, радиус, среднеквадратическое отклонение, размер кластера. Центр кластера - это среднее геометрическое место точек в пространстве переменных. Радиус кластера - наибольшее расстояние точек от центра кластера. Размер кластера может быть определен по радиусу кластера или по среднеквадратичному отклонению объектов для этого кластера. Если расстояние от объекта до центра кластера меньше радиуса кластера, то объект, к которому это относится является присущим этому кластеру. Если такое условие выполняется для нескольких кластеров, объект является спорным.

Постановкой задачи классификации объектов является разбиение всей совокупности на небольшое чтобы всю анализируемую совокупность разбить на сравнительно небольшое число квазиоднородных групп или классов. При этом должно соблюдаться условие однородности. Понятие однородности основывается на том, что геометрическая близость двух объектов означает их сходство. Это является главным утверждением кластерного анализа. Чем ближе объекты располагаются друг к другу в пространстве признаков, тем меньше различия в физических характеристиках их определяющих. Исходя из

этого, объекты следует рассматривать как некие таксономические единицы, в то время как признаки, их характеризующие – многомерное пространство (гиперпространство). [23]

Главной задачей кластерного анализа является выделение небольших групп точек в многомерном пространстве исходных признаков. В то время как не столь значительным является знание числа выделяемых классов, более того до начала классификации этого числа может быть неизвестно. Считается, что изменчивостью характеристик внутри класса можно пренебречь (т.е. дисперсия характеристик внутри класса должна быть малой).

Устойчивое выделение подмножеств возможно при выполнении следующих условий:

1. Пересечение полученных подмножеств недопустимо

$$w_i \cap w_j \text{ при } i \neq j$$

Из этого следует, что каждый вектор наблюдений, который характеризует m признаки, может только принадлежать одному из выделенных подмножеств.

2. Подмножество не должно быть пустым. Это означает, что количество классов колеблется от 1 в случае, когда все объекты относятся к одному классу числа объектов которые были в исходной выборке, когда каждый объект образует один класс.

3 Должно соблюдаться условие наличия компактных групп точек. Иначе, при сравнительно однородном распределении точек, классификация теряет смысл.

Данные условия соответствуют постановке задачи кластерного анализа.

Существуют и исключения из этих правил, например, такие алгоритмы кластерного анализа, метод поиска сгущений, которые допускают, чтобы один и тот же объект мог принадлежать двум классам, если находится на границе между ними.

В задачах классификации можно выделить некоторые этапы:

выбор исходной системы признаков;

снижение размерности признакового пространства;
выбор меры сходства (близости);
выбор алгоритма классификации;
оценка качества классификации.[23]

4. Межгодовая изменчивость продуктивности Норвежского моря.

4.1 Взаимнокорреляционный анализ характеристик теплозапаса и мольной концентрации фитопланктона Норвежского моря.

Для данного анализа использовались ежегодные за конкретный месяц параметры. В ходе работы на исследуемой территории были выбраны несколько точек, где значения корреляции между характеристиками мольной концентрации фитопланктона и теплозапасом были наибольшими и соответственно наименьшими. Затем каждая точка рассматривалась отдельно от поля за весь исследуемый десятилетний период времени.

Вначале рассмотрим точку, где значения коэффициентов корреляции были максимальны (70,25°с.ш., 12,75°в.д.)

На рисунке 4.1 можно увидеть, что наибольшие значения концентрации фитопланктона приходятся на ноябрь, то есть пик вегетации фитопланктона наблюдается в ноябре. Среднее значение концентрации фитопланктона в ноябре 265,25 ммоль/м³. Так же наибольшее стандартное отклонение тоже наблюдается в ноябре, то есть каждый год максимальная концентрация сильно менялась. Наименьшие значения коэффициентов мольной концентрации фитопланктона за исследуемый период наблюдаются в августе. Среднее значение характеристики в августе равно 10,21 ммоль/м³. Вероятнее всего, на такое низкое значение характеристики может влиять высокая температура воды Норвежского моря, так как летом значения температуры воды данной

территории самые высокие, а для Норвежского моря характерен более холодолюбивый вид фитопланктона.

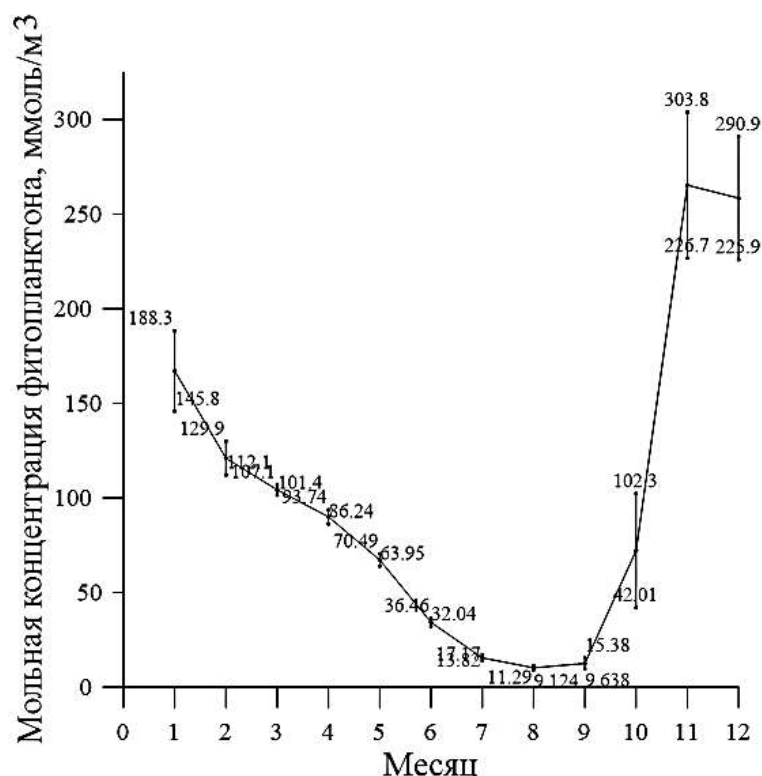


Рис. 4.1 Средние значения мольной концентрации фитопланктона за 10 лет и их стандартное отклонение в точке 70,25 с.ш. и 12,75 в.д.

Как видно из рисунка 4.2, что в большинстве случаев, наибольшие значения концентрации фитопланктона наблюдаются в ноябре, как это уже было видно на предыдущем рисунке. Но здесь можно увидеть, что в некоторые годы, максимальные значения концентрации фитопланктона приходились на декабрь, как в 2009, 2011, 2012, 2016, 2017, 2018 годах. Минимальные значения концентрации за весь исследуемый период времени наблюдается в летние месяцы. А к октябрю она резко начинает повышаться и достигает своего пика. Три года выделяются из представленного графика тем, что количественное возрастание концентрации было больше, чем у остальных, это 2010, 2014 и 2015 года. Но максимальное значение концентрации фитопланктона наблюдалось в 2010 году.

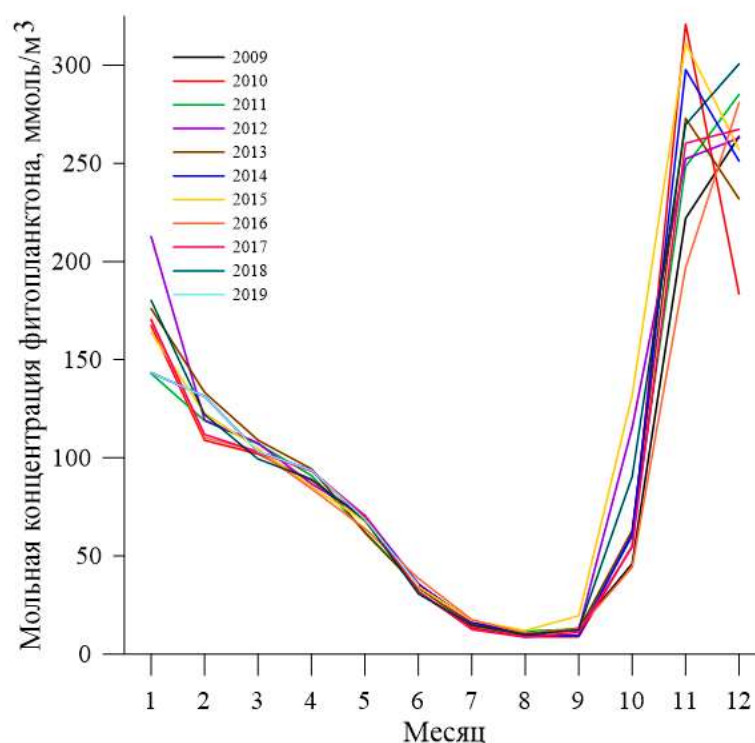


Рис. 4.2 Годовой ход мольной концентрации фитопланктона в точке 70,25 с.ш. и 12,75 в.д. за 10 лет

А минимальное значение концентрации фитопланктона в момент пика было в 2009 году. Так же на графике характерно то, что наиболее близкой по значениям концентрация становится только в момент, когда значения ее минимальны или наблюдается спад продукции. А в момент роста и развития фитопланктона значения рассредоточены на графике. Изменение концентрации фитопланктона характерно тем, что с ноября - декабря по август концентрация плавно уменьшается и достигает минимума, а затем с сентября - октября по ноябрь - декабрь резко начинает возрастать, такой ход характерен для всех исследуемых годов.

На рисунке 4.3 представлен годовой ход теплозапаса для данной точки, безусловно можно увидеть, что в данном случае хорошо выражен отрицательный нелинейный тренд. Это значит, что в течение этого периода температура воды понижается. Самым холодным периодом здесь является ноябрь 2012 года, а самым теплым является апрель 2016 года.

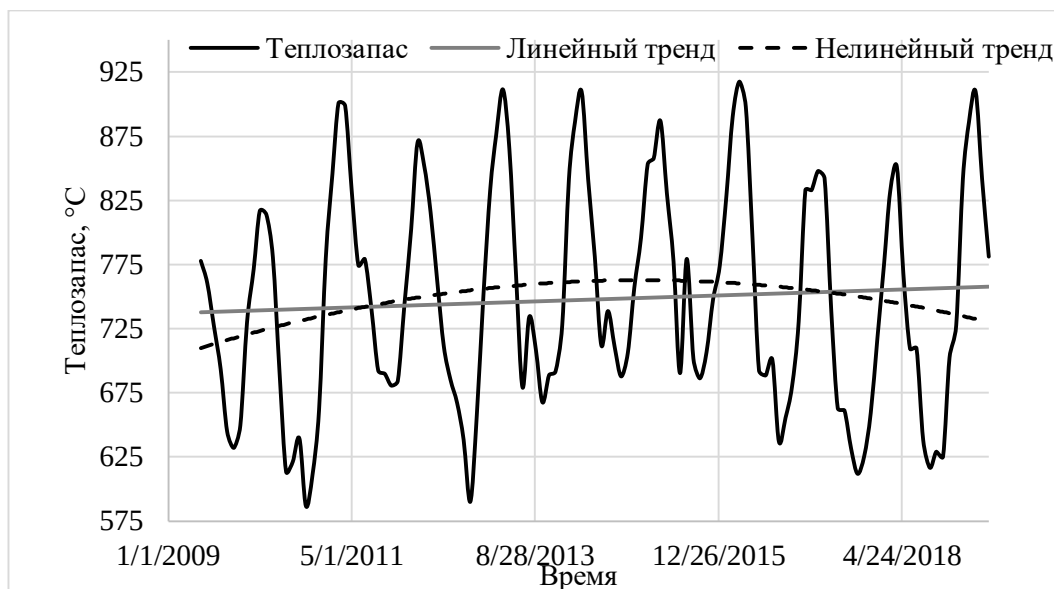


Рис. 4.3 Годовой ход теплозапаса в точке 70,25°с.ш., 12,75°в.д. за 10 лет.

Далее перейдем к точке поля, где коэффициенты корреляции между концентрацией фитопланктона и теплозапасом были наименьшие, это 71,5°с.ш., 8,25°з.д.

На представленном рисунке 4.4 можно увидеть, что наибольшие значения концентрации фитопланктона приходятся на декабрь, то есть пик вегетации фитопланктона наблюдается в декабре. Среднее значение концентрации фитопланктона в декабре составляет 201,36 ммоль/м³. Но наибольшее стандартное отклонение в этом случае наблюдается в ноябре, то есть каждый год концентрация ноября сильно менялась. Наименьшие значения коэффициентов мольной концентрации фитопланктона за исследуемый период наблюдаются в августе. Среднее значение характеристики в августе равно 10,87 ммоль/м³. Вероятнее всего, как и в случае с точкой, где коэффициенты корреляции были высоки, на такое низкое значение характеристики может влиять высокая температура воды Норвежского моря, так как летом значения температуры воды данной территории самые высокие, а для Норвежского моря характерен более холодолюбивый вид фитопланктона.

На рисунке 4.5 в большинстве случаев видно, что наибольшие значения концентрации фитопланктона наблюдаются в декабре, как это уже было видно

на предыдущем рисунке. Но здесь можно увидеть, что в некоторые годы, максимальные значения концентрации фитопланктона приходились на ноябрь, как в 2009, 2011, 2012, 2017 годах.

Так же на графике характерно то, что наиболее близкой по значениям концентрация становится только в момент, когда значения ее минимальны или наблюдается спад продукции, как и в случае с предыдущей точкой поля. А в момент роста и развития фитопланктона значения рассредоточены на графике. Особенность этого случая в том, что здесь в отличие от предыдущей точки наблюдается 2 пика.

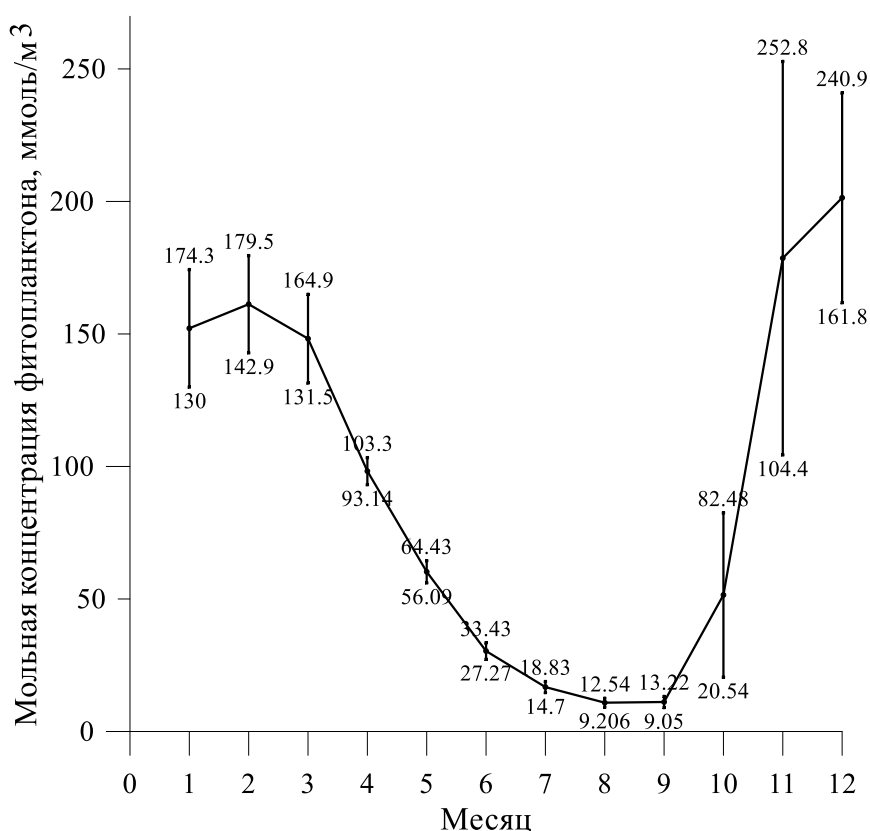


Рис. 4.4 Средние значения мольной концентрации фитопланктона за 10 лет и их стандартное отклонение в точке 71,5°с.ш., 8,25°з.д.

Первый максимальный, о котором говорилось выше в декабре – ноябре, в зависимости от года, а второй, с меньшими значениями концентрации в феврале – марте, так же в зависимости от года, где есть запаздывание. Изменение концентрации фитопланктона характерно тем, что с ноября - декабря по август концентрация плавно уменьшается и достигает минимума,

а затем с сентября - октября по ноябрь - декабрь резко начинает возрастать, такой ход характерен для всех исследуемых годов.

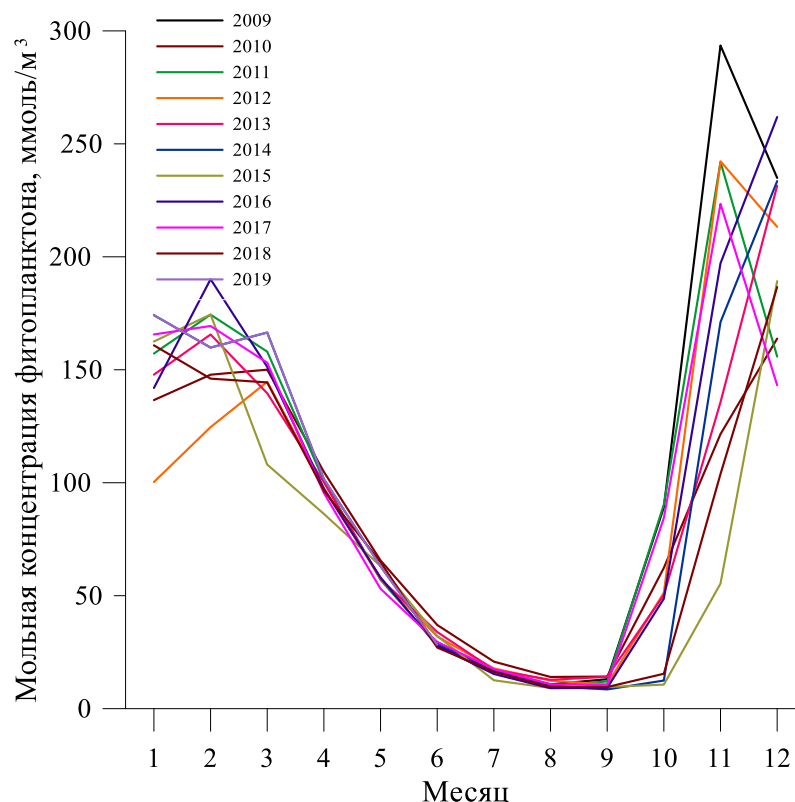


Рис. 4.5 Годовой ход мольной концентрации фитопланктона в точке 71,5°с.ш., 8,25°з.д. за 10 лет.

Так как пик концентрации фитопланктона приходился на ноябрь – декабрь, подробно рассмотрим взаимную корреляцию между концентрацией фитопланктона и теплозапасом в ноябре и августе, (остальные примеры корреляции этих характеристик по месяцам можно посмотреть в Приложении).

На рисунке 4.6 представлен годовой ход теплозапаса для данной точки, безусловно можно увидеть, что в данном случае хорошо выражен положительный нелинейный тренд. Это значит, что в течение этого периода температура воды в данной точке увеличивается. Самым холодным периодом здесь является ноябрь 2013 года, а самым теплым является апрель 2018 года.

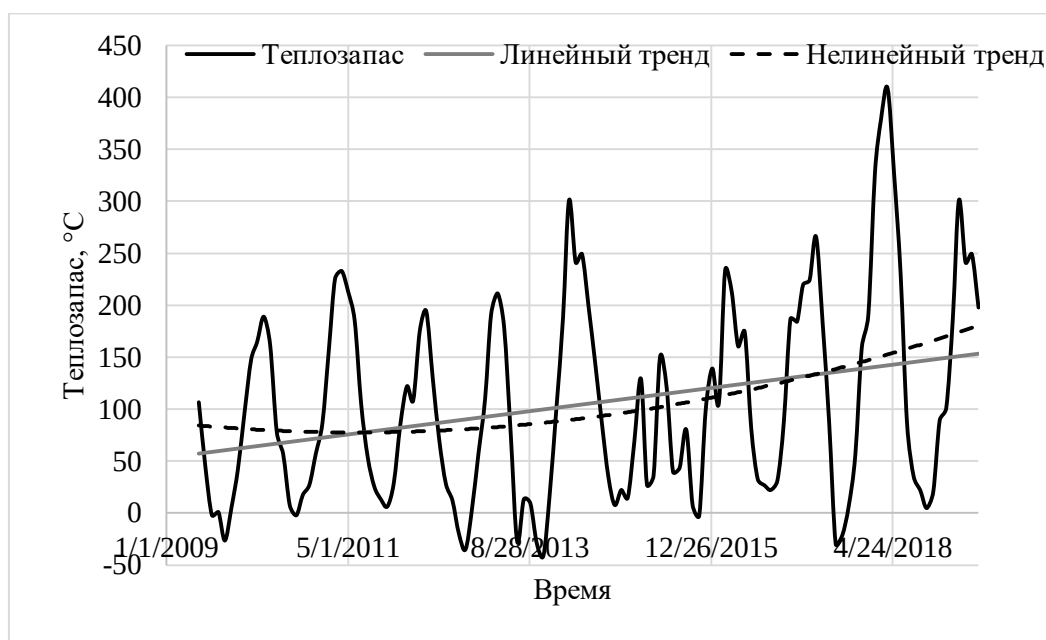


Рис. 4.6 Годовой ход теплозапаса в точке 71,5°с.ш., 8,25°з.д. за 10 лет.

На рисунке 4.7 представлено изменение характеристики теплозапаса Норвежского моря. На нем можно увидеть, что наибольшие значения этой характеристики находятся у прибрежной зоны Скандинавского полуострова, и в районе пролива между Скандинавским полуостровом и Шетландскими островами и между Шетландскими островами и Исландией. Далее, уходя на северо-запад исследуемой карты значения температуры воды уменьшаются и наиболее холодные области находятся в районе Гренландского течения и в районе острова Медвежий.

Далее рассмотрим рисунок 4.8 с изображением мольной концентрации фитопланктона Норвежского моря. На нем можно увидеть, что максимальные значения концентрации фитопланктона находятся в районе побережья Скандинавского полуострова, в центральной части исследуемой акватории в районе Шетландских островов, здесь значения в 100 метровом слое составляют около 320 ммоль/м³.

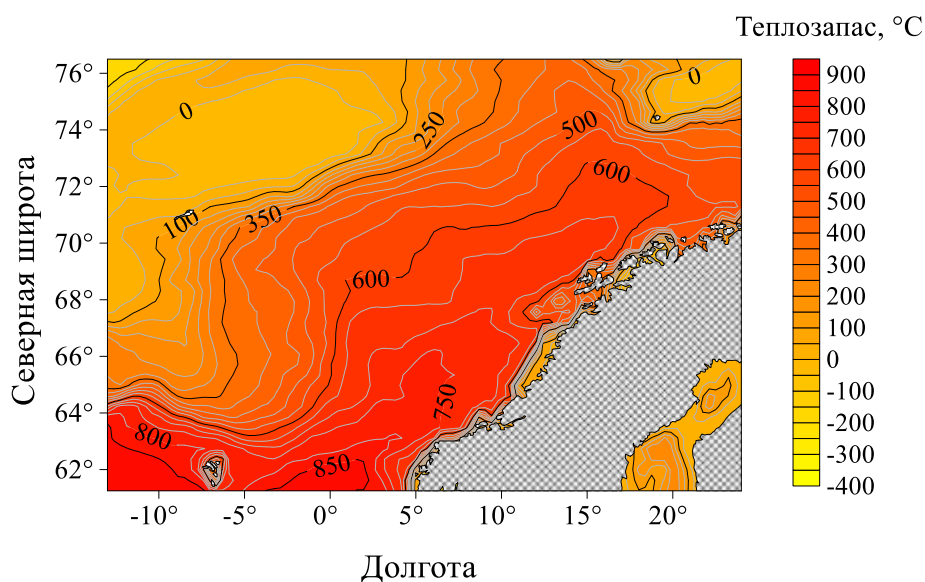


Рис. 4.7 Средние значения теплозапаса за 10 лет Норвежского моря (ноябрь).

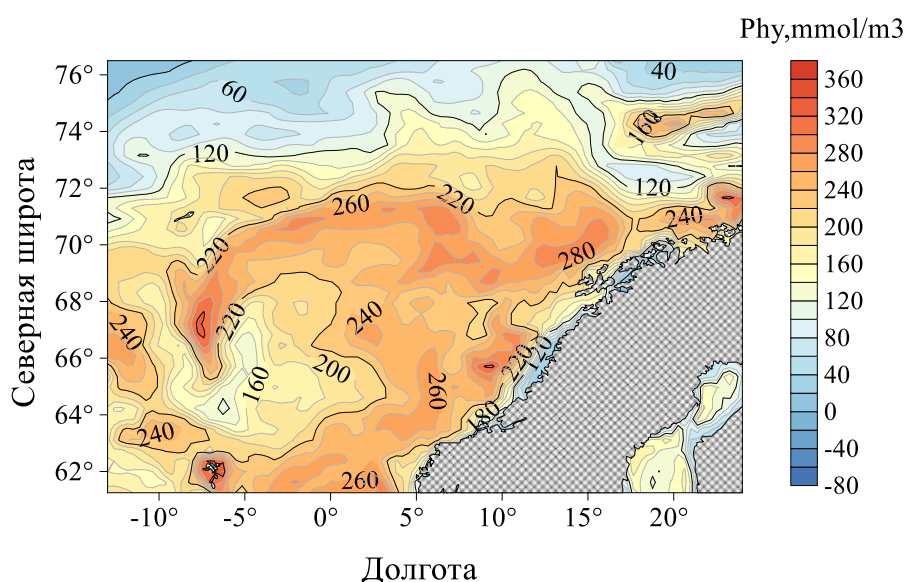


Рис. 4.8 Средние значения мольной концентрации фитопланктона за 10 лет Норвежского моря (ноябрь).

Высокие значения концентрации, как видно, наблюдаются в местах не самой высокой температуры воды, а если рассматривать поле, то в средних, поэтому можно говорить о том, что в этих районах распространен более холодолюбивый вид фитопланктона. Далее был проведен взаимнокорреляционный анализ между этими характеристиками.

На рисунке 4.9, можно рассмотреть, что наибольшие значения коэффициента корреляции с прямой связью распределены неравномерно по всей исследуемой территории. Они находятся в центральной части акватории

со значением 0,6, в районе острова Медвежий со значениями 0,6, северо-западнее острова Ян-Майен со значениями 0,7. Но на большей части карты, можно увидеть, что коэффициенты корреляции являются не значимыми, они слишком малы. Это говорит о том, не только температура воды может оказывать непосредственное влияние на концентрацию фитопланктона, но и другие факторы, которые не учитывались в данной работе. Также на полученной карте коэффициентов корреляции наблюдается «пятнистость», это тоже говорит о том, что на концентрацию фитопланктона влияют другие факторы.

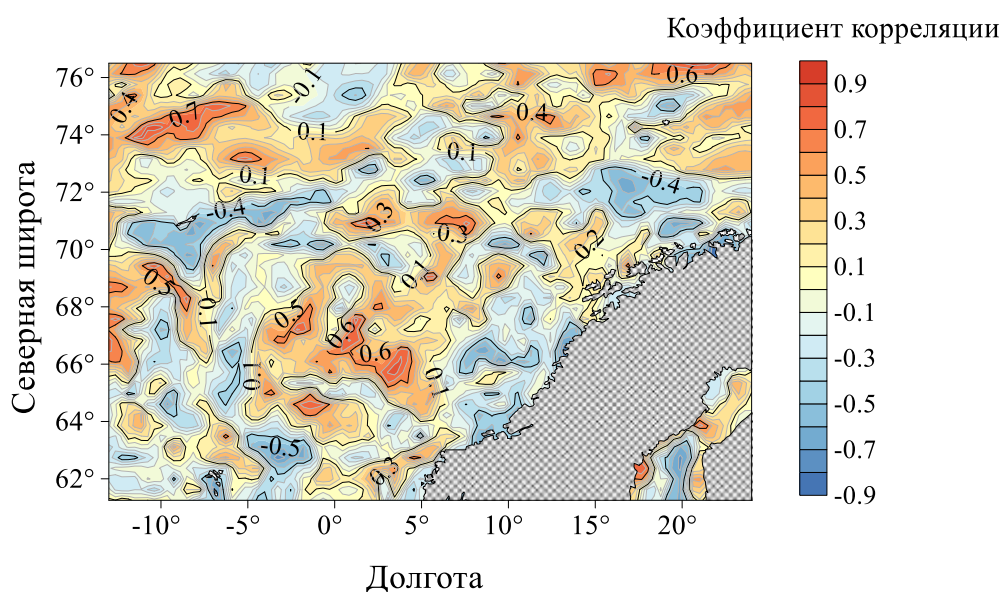


Рис. 4.9 Изменение коэффициентов корреляции между мольной концентрацией фитопланктона и теплозапасом Норвежского моря, ежегодные значения за ноябрь.

На рисунке 4.10 представлено изменение характеристики теплозапаса Норвежского моря. На нем можно увидеть, что наибольшие значения этой характеристики находятся у прибрежной зоны Скандинавского полуострова, и в районе пролива между Скандинавским полуостровом и Шетландскими островами и между Шетландскими островами и Исландией. Далее, уходя на северо-запад исследуемой карты значения температуры воды уменьшаются и наиболее холодные области находятся в районе Гренландского течения и в районе острова Медвежий.

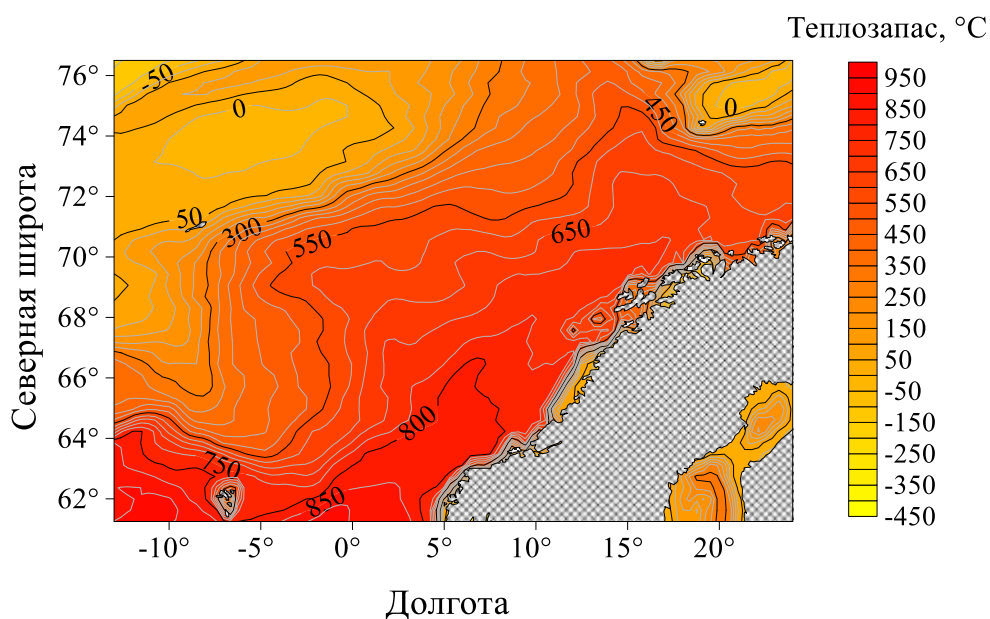


Рис. 4.10 Средние значения теплозапаса за 10 лет Норвежского моря (август).

Далее рассмотрим рисунок 4.11 с изображением мольной концентрации фитопланктона Норвежского моря. На нем можно увидеть, что максимальные значения концентрации фитопланктона находятся на северо-западном районе побережья Скандинавского полуострова, здесь значения в 100 метровом слоя составляют около 75 ммоль/м³. В районе Шетландских островов концентрация составляет около 45 ммоль/м³. В центральной части исследуемой акватории значения концентрации слишком малы, около 10-15 ммоль/м³. В данном случае высокие значения концентрации, наблюдаются в местах наиболее высокой температуры воды. Далее был проведен взаимнокорреляционный анализ между этими характеристиками.

На рисунке 4.12, можно рассмотреть, что наибольшие значения коэффициента корреляции с прямой связью распределены неравномерно по всей исследуемой территории. Они находятся в центральной части акватории со значением 0,7, в районе острова Медвежий со значениями 0,6. Так же выделяется северо-восточная часть, здесь присутствует значимый коэффициент корреляции с обратной связью равный 0,7. Это может означать что рассмотренные процессы на этой части территории изменяются асинхронно, то есть при увеличении одной, вторая уменьшается.

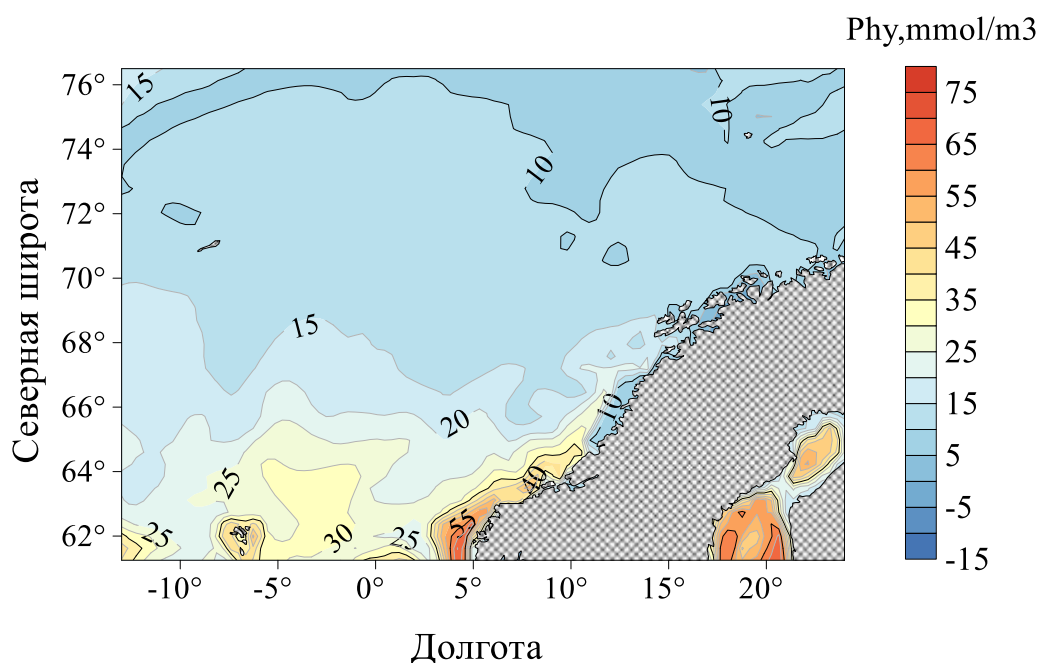


Рис. 4.11 Средние значения мольной концентрации фитопланктона за 10 лет Норвежского моря (август).

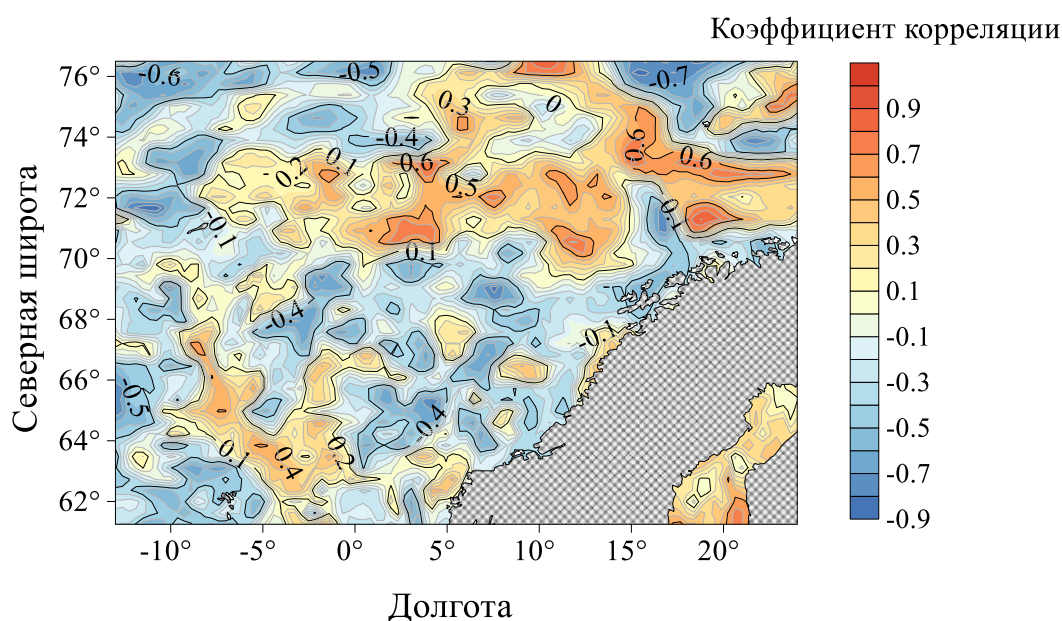


Рис. 4.12 Изменение коэффициентов корреляции между мольной концентрацией фитопланктона и теплозапасом Норвежского моря, ежегодные значения за август.

Но на большей части карты, можно увидеть, что коэффициенты корреляции являются не значимыми, они слишком малы. Это говорит о том, не только температура воды может оказывать непосредственное влияние на концентрацию фитопланктона, но и другие факторы, которые не учитывались

в данной работе. Также на полученной карте коэффициентов корреляции наблюдается «пятнистость», это тоже говорит о том, что на концентрацию фитопланктона влияют другие факторы. «Пятнистость» присутствует на всех построенных картах с корреляцией между концентрацией фитопланктона и теплозапасом, которые можно увидеть в Приложении.

4.2 Взаимнокорреляционный анализ характеристик теплозапаса и массовой концентрации зоопланктона Норвежского моря.

Для данного анализа также использовались ежегодные за конкретный месяц параметры. В ходе работы на исследуемой территории были выбраны несколько точек, где значения корреляции между характеристиками массовой концентрации зоопланктона и теплозапасом были наибольшими и соответственно наименьшими. Затем каждая точка рассматривалась отдельно от поля за весь исследуемый десятилетний период времени.

Вначале рассмотрим точку, где значения коэффициентов корреляции были максимальны (62°с.ш., 12.25°з.д.)

На представленном рисунке 4.13 можно увидеть, что наибольшие значения концентрации зоопланктона приходятся на декабрь, то есть пик вегетации зоопланктона наблюдается в декабре. Среднее значение концентрации зоопланктона в декабре 1,67 г/м². Так же наибольшее стандартное отклонение тоже наблюдается в декабре, то есть каждый год максимальная концентрация сильно менялась. Наименьшие значения значений массовой концентрации зоопланктона за исследуемый период наблюдаются в феврале. Среднее значение характеристики в августе равно 1,29 г/м².

Как видно из рисунка 4.14, что в большинстве случаев, характер изменчивости концентрации зоопланктона более хаотичен, в отличие от фитопланктона. Поэтому в данном случае нельзя сказать, что пик вегетации

зоопланктона приходится в какой-то определенный месяц за все года. В данном случае каждый год должен рассматриваться индивидуально.

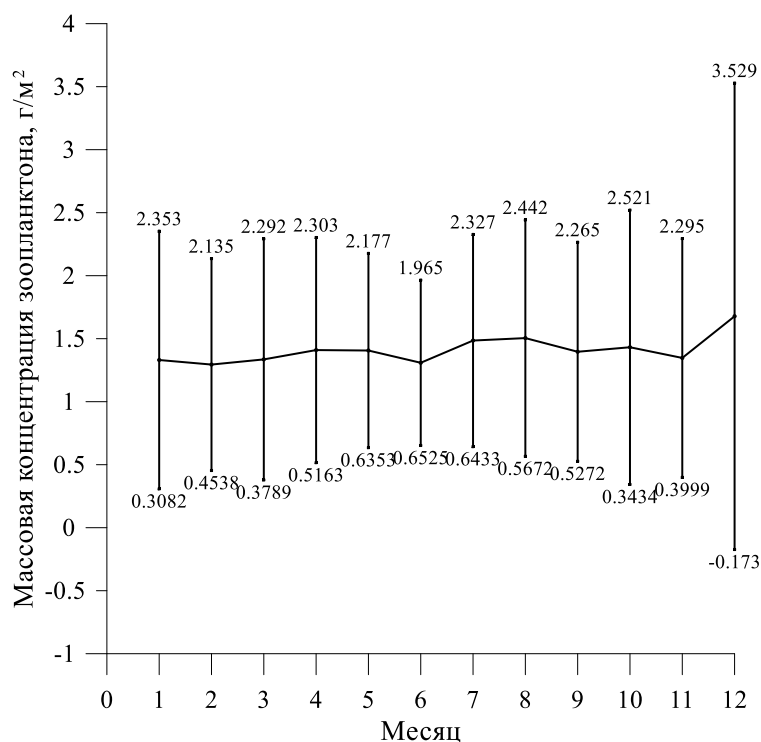


Рис. 4.13 Средние значения массовой концентрации зоопланктона за 10 лет и их стандартное отклонение в точке 62°с.ш., 12,25°з.д.

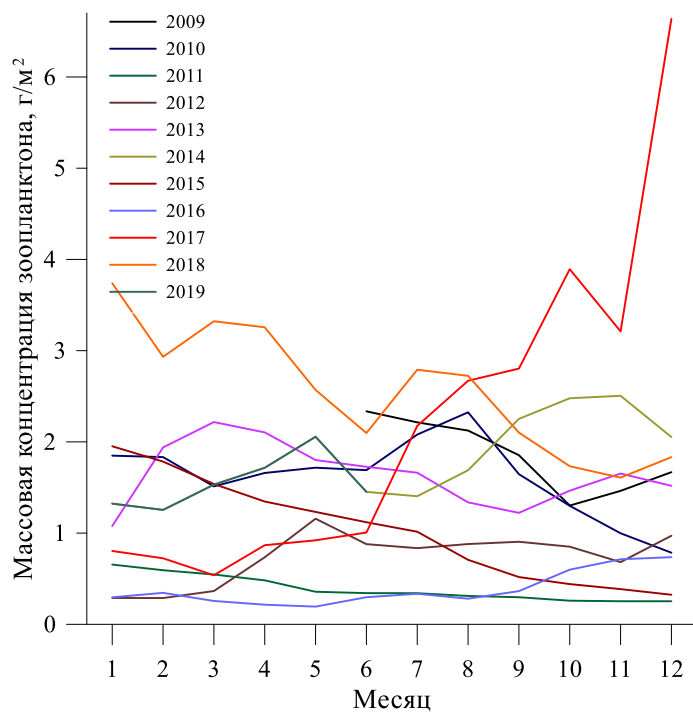


Рис. 4.14 Годовой ход массовой концентрации зоопланктона в точке 62°с.ш., 12,25°з.д. за 10 лет.

Но безусловно можно сказать что максимальное значение концентрации зоопланктона в момент пика наблюдалось в 2017 году в декабре. А самое наименьшее значение концентрации наблюдалось в 2011 году в январе. В данном случае за все 10 лет, которые исследовались было только 3 основных пика вегетации зоопланктона, которые были растянуты не в 1 год, этот момент хорошо виден с помощью рисунка 4.15. Первый основной пик наблюдается в августе 2010 года, значение концентрации в этот момент равно $2,32 \text{ г/м}^2$. Второй основной пик наблюдается в ноябре 2014 года, со значением концентрации $2,50 \text{ г/м}^2$. И значение третьего основного пика, равное $6,63 \text{ г/м}^2$, наблюдается в декабре 2017 года.

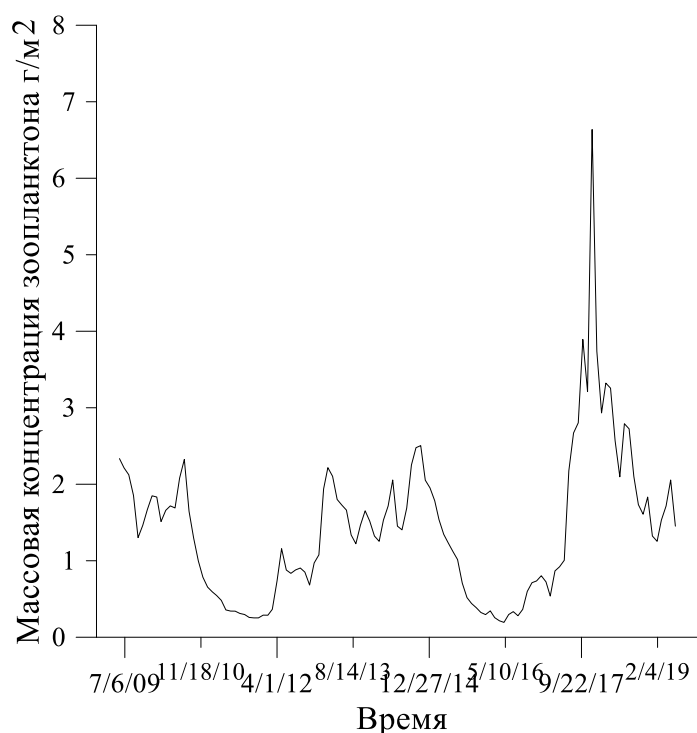


Рис. 4.15 Годовой ход массовой концентрации зоопланктона в точке 62°с.ш. , $12,25^{\circ}\text{з.д.}$ за 10 лет.

На рисунке 4.16 представлен годовой ход теплозапаса для данной точки, на нем видно, что в данном случае хорошо выражен положительный нелинейный тренд. Это значит, что в течение этого периода температура воды увеличивается. Самым холодным периодом здесь является сентябрь 2015 года, а самым теплым является апрель 2010 года.

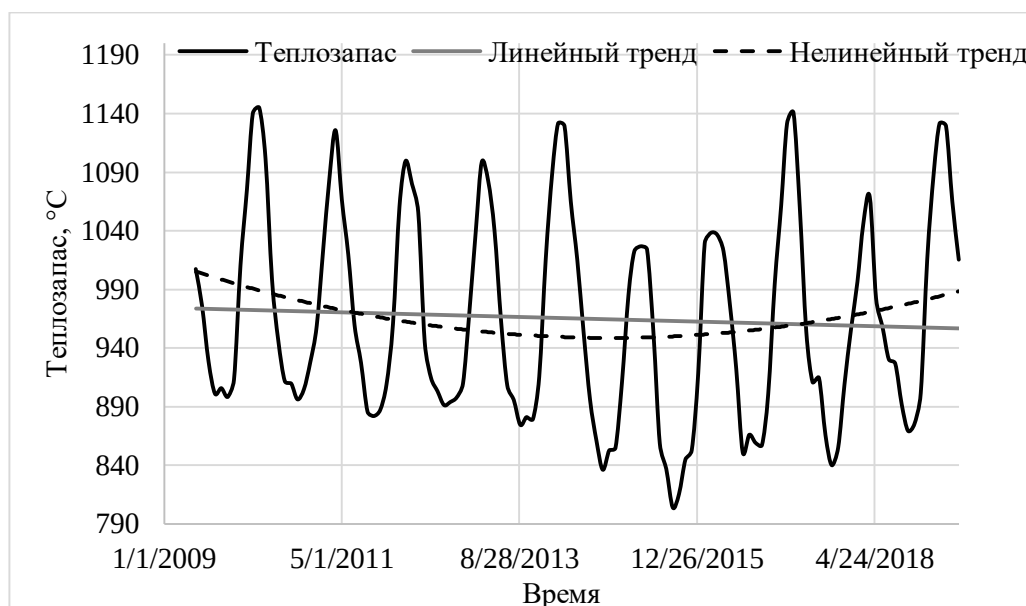


Рис. 4.16 Годовой ход теплозапаса в точке 62°с.ш., 12,25°з.д. за 10 лет.

Далее перейдем к точке поля, где коэффициенты корреляции между концентрацией зоопланктона и теплозапасом были наименьшие, это 62°с.ш., 1,25°з.д.

На представленном рисунке 4.17 можно увидеть, что наибольшие значения концентрации зоопланктона приходятся на декабрь, как и в случае с предыдущей точкой поля, то есть пик вегетации зоопланктона наблюдается в декабре. Среднее значение концентрации зоопланктона в декабре 2,62 г/м². Так же наибольшее стандартное отклонение тоже наблюдается в декабре, то есть каждый год максимальная концентрация сильно менялась. Наименьшие значения значений массовой концентрации зоопланктона за исследуемый период наблюдаются в июле. Среднее значение характеристики в августе равно 1,74 г/м².

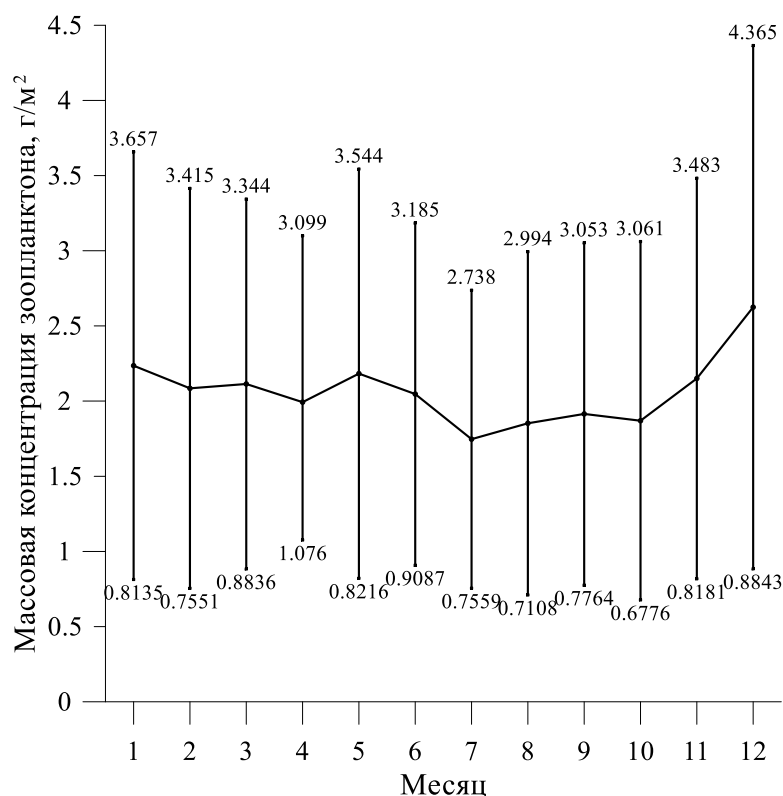


Рис. 4.17 Средние значения массовой концентрации зоопланктона за 10 лет и их стандартное отклонение в точке 62°с.ш., 1,25°з.д.

Как видно из рисунка 4.18, что в большинстве случаев, характер изменчивости концентрации зоопланктона более хаотичен, в отличие от фитопланктона, как и в случае с предыдущей точкой поля. Поэтому в данном случае нельзя сказать, что пик вегетации зоопланктона приходится в какой-то определенный месяц за все года. В данном случае каждый год должен рассматриваться индивидуально. Но безусловно можно сказать что максимальное значение концентрации зоопланктона в момент пика наблюдалось в 2018 году в декабре. А самое наименьшее значение концентрации наблюдалось в 2016 году в ноябре. Как и с предыдущей точкой, за все 10 лет, которые исследовались было только 3 основных пика вегетации зоопланктона, которые были растянуты не в 1 год, этот момент хорошо виден с помощью рисунка 4.19. Первый основной пик наблюдается в сентябре 2010 года, значение концентрации в этот момент равно 3,38 г/м². Второй основной пик наблюдается в ноябре 2014 года, со значением концентрации 5,09 г/м². И значение третьего основного пика, равное 6,63 г/м², наблюдается в декабре

2018 года. Первые 2 пика этих двух точек наблюдаются в одни и те же года, а последний отличается.

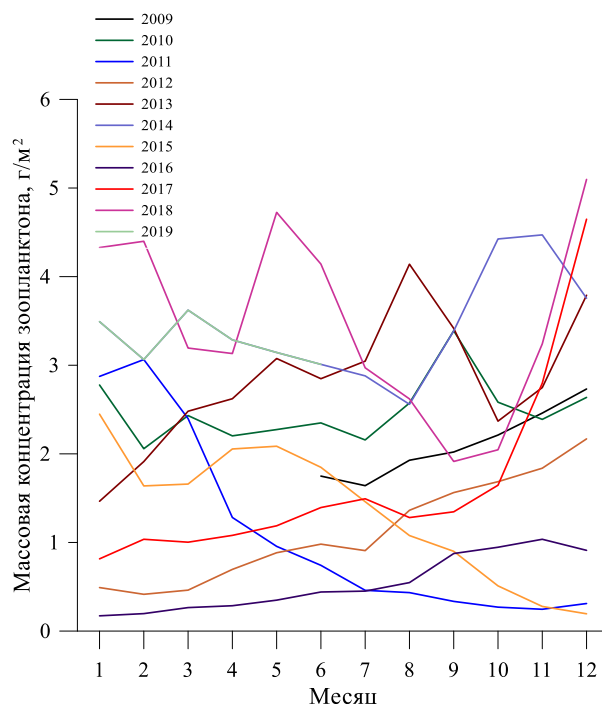


Рис. 4.18 Годовой ход массовой концентрации зоопланктона в точке 62°с.ш., 1,25°з.д за 10 лет.

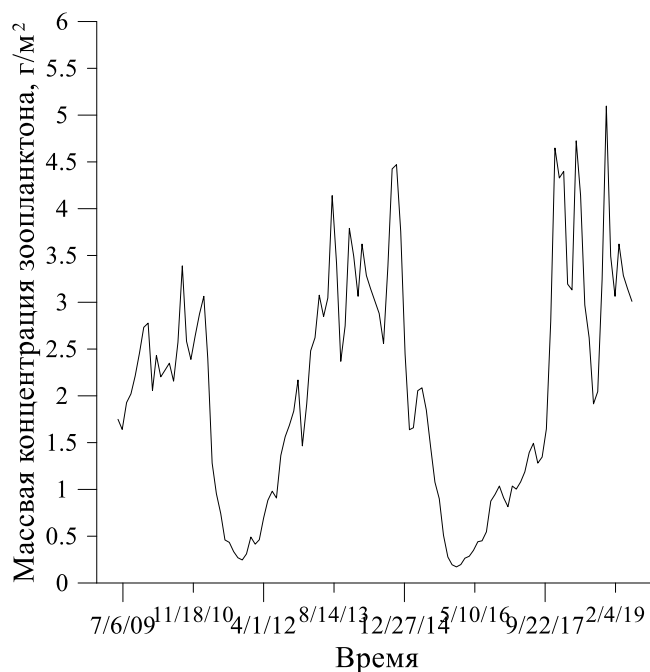


Рис. 4.19 Годовой ход массовой концентрации зоопланктона в точке 62°с.ш., 1,25°з.д. за 10 лет.

Первый основной пик наблюдается в сентябре 2010 года, значение концентрации в этот момент равно 3,38 г/м². Второй основной пик

наблюдается в ноябре 2014 года, со значением концентрации $5,09 \text{ г/м}^2$. И значение третьего основного пика, равное $6,63 \text{ г/м}^2$, наблюдается в декабре 2018 года. Первые 2 пика этих двух точек наблюдаются в одни и те же года, а последний отличается.

Так как максимальный пик концентрации зоопланктона приходился на ноябрь – декабрь, подробно рассмотрим взаимную корреляцию между концентрацией фитопланктона и теплозапасом в декабре и январе, (остальные примеры корреляции этих характеристик по месяцам можно посмотреть в Приложении).

На рисунке 4.20 представлен годовой ход теплозапаса для данной точки, можно увидеть, что в данном случае наблюдается положительный нелинейный тренд. Это значит, что в течение исследуемого периода температура воды в данной точке повышается. Самым холодным периодом здесь является ноябрь 2014 года, а самым теплым является апрель 2010 года, как и в случае с предыдущей координатой поля.

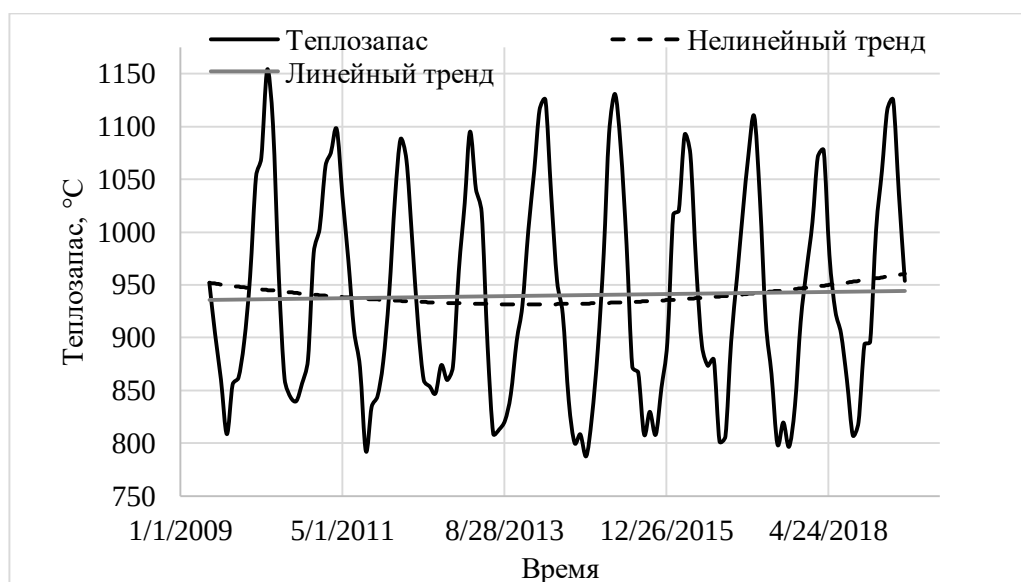


Рис. 4.20 Годовой ход теплозапаса в точке 62°с.ш. , $1,25^{\circ}\text{з.д.}$ за 10 лет.

На рисунке 4.21 представлено изменение характеристики теплозапаса Норвежского моря. На нем можно увидеть, что наибольшие значения этой характеристики находятся у прибрежной зоны Скандинавского полуострова,

и в районе пролива между Скандинавским полуостровом и Шетландскими островами и между Шетландскими островами и Исландией. Далее, уходя на северо-запад исследуемой карты значения температуры воды уменьшаются и наиболее холодные области находятся в районе Гренландского течения и в районе острова Медвежий.

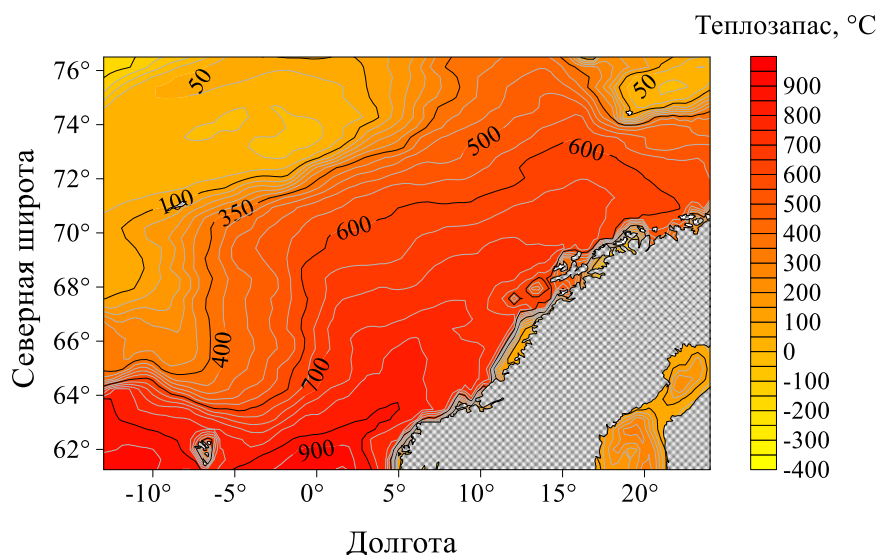


Рис. 4.21 Средние значения теплозапаса за 10 лет Норвежского моря (декабрь).

Далее рассмотрим рисунок 4.22 с изображением массовой концентрации зоопланктона Норвежского моря. На нем можно увидеть, что максимальные значения концентрации зоопланктона находятся в районе побережья Скандинавского полуострова и в районе Шетландских островов, здесь значения концентрации составляют около $2,8 \text{ г/м}^2$. А в районе Скандинавского полуострова доходят до $4,5 \text{ г/м}^2$. Самые низкие значения концентрации наблюдаются в центре исследуемого поля со значениями $1,2 \text{ г/м}^2$. Высокие значения концентрации наблюдаются в местах самой высокой температуры воды. Далее был проведен взаимнокорреляционный анализ между этими характеристиками.

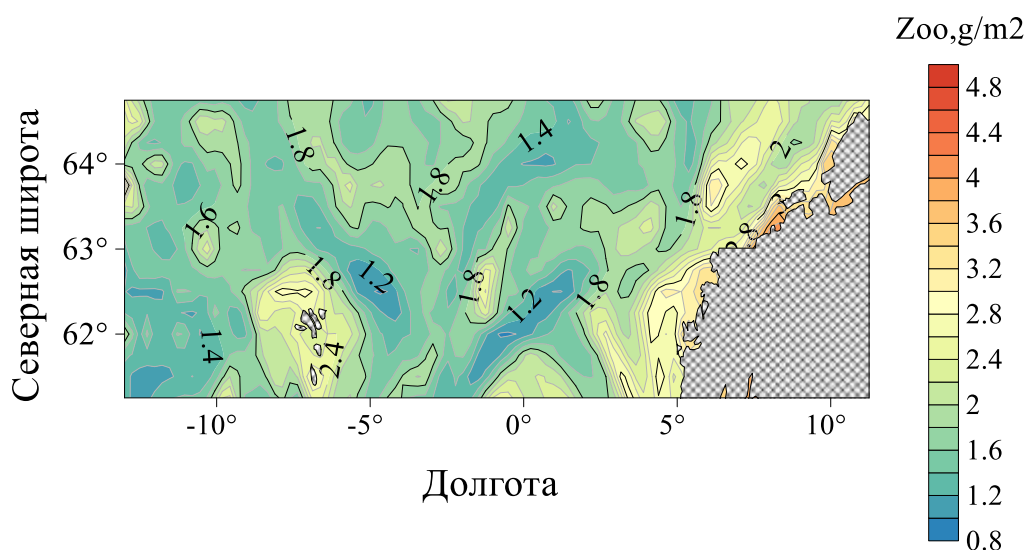


Рис. 4.22 Средние значения массовой концентрации зоопланктона за 10 лет Норвежского моря (декабрь).

На полученной карте, рисунке 4.23, коэффициентов корреляции наблюдается «пятнистость», это, как и в случае с фитопланктоном может говорить о том, что на концентрацию зоопланктона влияют другие факторы. Можно рассмотреть, что наибольшие значения коэффициента корреляции с прямой связью распределены неравномерно по всей исследуемой территории. Они находятся в центральной части акватории со значением 0,35, в районе Шетландских островов со значениями 0,3.

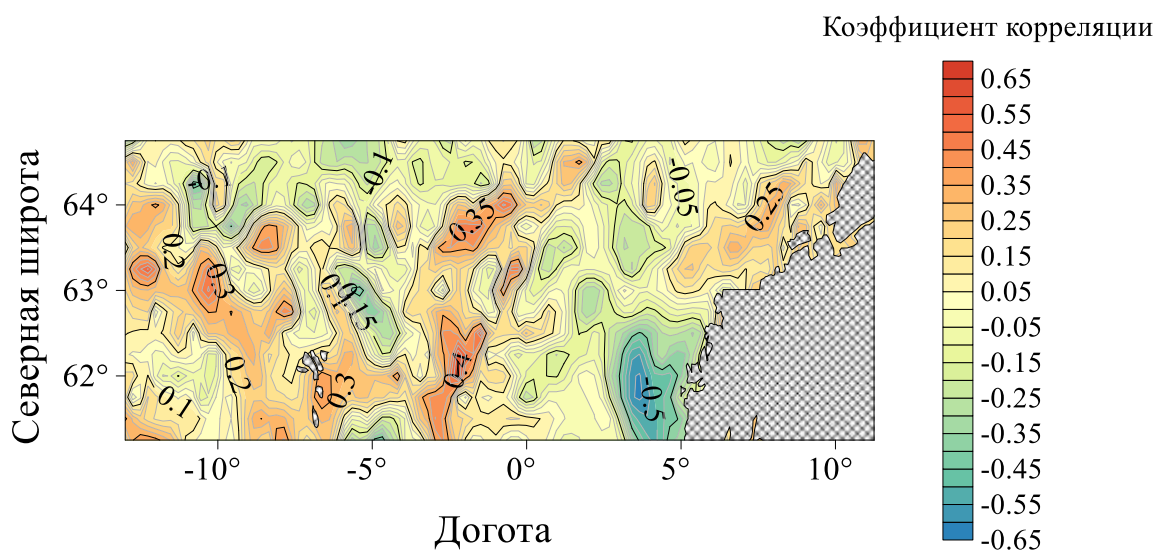


Рис. 4.23 Изменение коэффициентов корреляции между массовой концентрацией зоопланктона и теплозапасом Норвежского моря, ежегодные значения за декабрь.

Так же выделяется западная часть, здесь присутствует значимый коэффициент корреляции с прямой связью равный 0,6. Около берега Скандинавского полуострова присутствуют коэффициенты корреляции с обратной связью, равный 0,5. Это может означать что рассмотренные процессы на этой части территории изменяются асинхронно, то есть при увеличении одной, вторая уменьшается. Но на большей части карты, можно увидеть, что коэффициенты корреляции являются не значимыми, они слишком малы. Это говорит о том, что не только температура воды может оказывать непосредственное влияние на концентрацию зоопланктона, но и другие факторы, которые не учитывались в данной работе.

На рисунке 4.24 представлено изменение характеристики теплозапаса Норвежского моря. На нем можно увидеть, что наибольшие значения этой характеристики находятся у прибрежной зоны Скандинавского полуострова, и в районе пролива между Скандинавским полуостровом и Шетландскими островами и между Шетландскими островами и Исландией. Далее, уходя на северо-запад исследуемой карты значения температуры воды уменьшаются и наиболее холодные области находятся в районе Гренландского течения и в районе острова Медвежий.

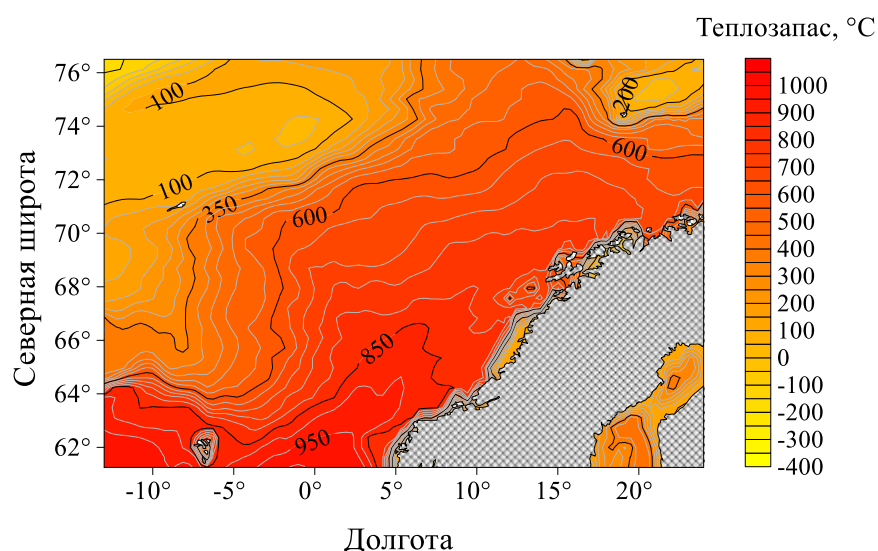


Рис. 4.24 Средние значения теплозапаса за 10 лет Норвежского моря (январь).

Далее рассмотрим рисунок 4.25 с изображением массовой концентрации зоопланктона Норвежского моря. На нем можно увидеть, что максимальные

значения концентрации зоопланктона находятся в районе побережья Скандинавского полуострова и в районе Шетландских островов, здесь значения концентрации составляют около $2,8 \text{ г/м}^2$. А в районе Скандинавского полуострова доходят до 4 г/м^2 . Самые низкие значения концентрации наблюдаются в центре исследуемого поля со значениями $1 - 1,2 \text{ г/м}^2$. Высокие значения концентрации наблюдаются в местах самой высокой температуры воды. Далее был проведен взаимнокорреляционный анализ между этими характеристиками.

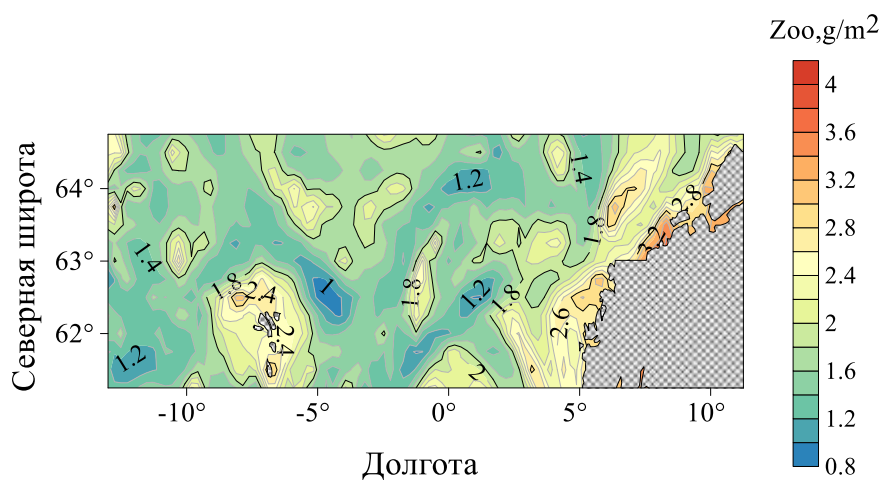


Рис. 4.25 Средние значения массовой концентрации зоопланктона за 10 лет Норвежского моря (январь).

На полученной карте, рисунке 4.26, коэффициентов корреляции наблюдается «пятнистость», это, как и в случае с фитопланктоном может говорить о том, что на концентрацию зоопланктона влияют другие факторы. Можно увидеть, что наибольшие значения коэффициента корреляции с прямой связью распределены неравномерно по всей исследуемой территории. Они находятся в центральной части акватории со значением $0,55$, в районе Шетландских островов со значениями $0,65-0,7$. Так же выделяется западная часть, здесь присутствует значимый коэффициент корреляции с прямой связью равный $0,4$. Около берега Скандинавского полуострова присутствуют коэффициенты корреляции с обратной связью, равный $0,4$. Это может означать что рассмотренные процессы на этой части территории изменяются асинхронно, то есть при увеличении одной, вторая уменьшается.

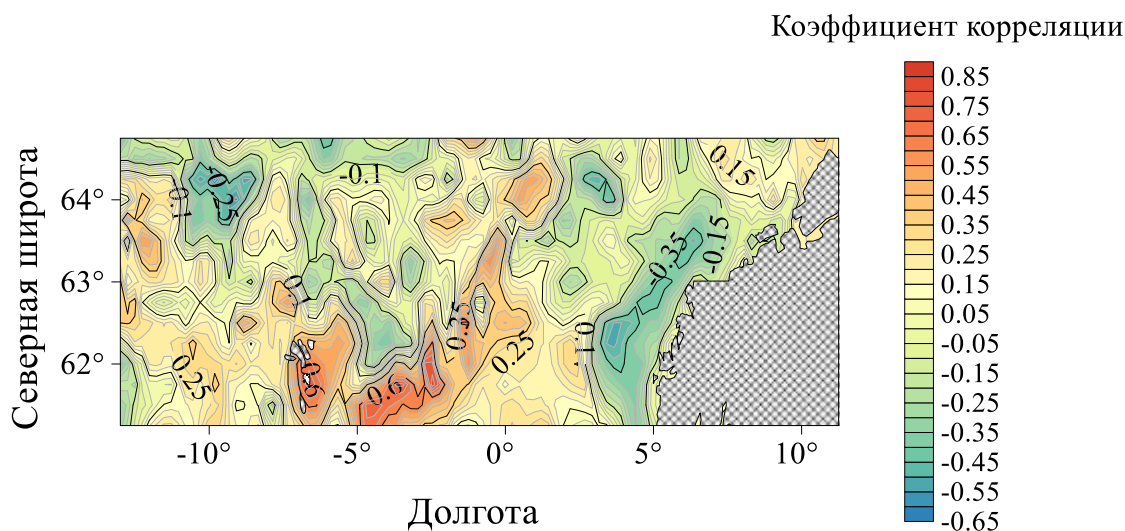


Рис. 4.26 Изменение коэффициентов корреляции между массовой концентрацией зоопланктона и теплозапасом Норвежского моря, ежегодные значения за январь.

Если сравнивать месяцы январь и декабрь, то в январе наблюдается больше областей со значимыми коэффициентами корреляции, это может означать, что температура воды в январе более оптимальна для роста и развития зоопланктона. Но на большей части карты, можно увидеть, что коэффициенты корреляции являются не значимыми, они слишком малы. Это говорит о том, что не только температура воды может оказывать непосредственное влияние на концентрацию зоопланктона, но и другие факторы, которые не учитывались в данной работе.

Так как в ходе проведения корреляционного анализа между теплозапасом и отдельно концентрацией фито-/зоопланктона коэффициенты корреляции не показали выраженный характер связи, был проведен взаимнокорреляционный анализ между фитопланктоном и зоопланктоном.

На рисунке 4.27 можно увидеть, как изменяются коэффициенты корреляции между концентрацией фитопланктона и концентрацией зоопланктона. На полученной карте присутствуют значимые коэффициенты корреляции с прямой связью в районе теплого Норвежского течения со значениями 0,5 – 0,7. Так же на севере исследуемой акватории присутствуют коэффициенты корреляции с обратной связью, равный 0,5. Это означает, что

здесь рассмотренные процессы изменяются асинхронно, то есть при увеличении одной характеристики, вторая уменьшается.

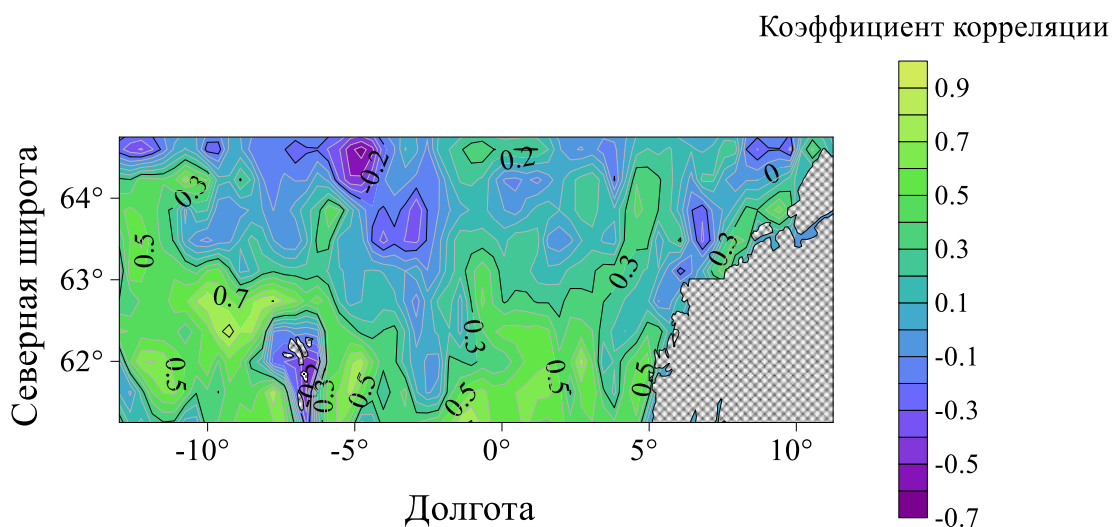


Рис. 4.27 Изменение коэффициентов корреляции между массовой концентрацией зоопланктона и мольной концентрацией фитопланктона Норвежского моря, ежегодные значения за ноябрь.

На рисунке 4.28 можно увидеть, как изменяются коэффициенты корреляции между концентрацией фитопланктона и концентрацией зоопланктона. На полученной карте присутствуют значимые коэффициенты корреляции с прямой связью в районе Шетландских островов со значениями 0,55 – 0,6. Для декабря стало характерным появление больших областей с обратными коэффициентами корреляции. Например, на севере исследуемой территории область с обратной связью расширилась, здесь коэффициенты корреляции равны 0,5-0,6.

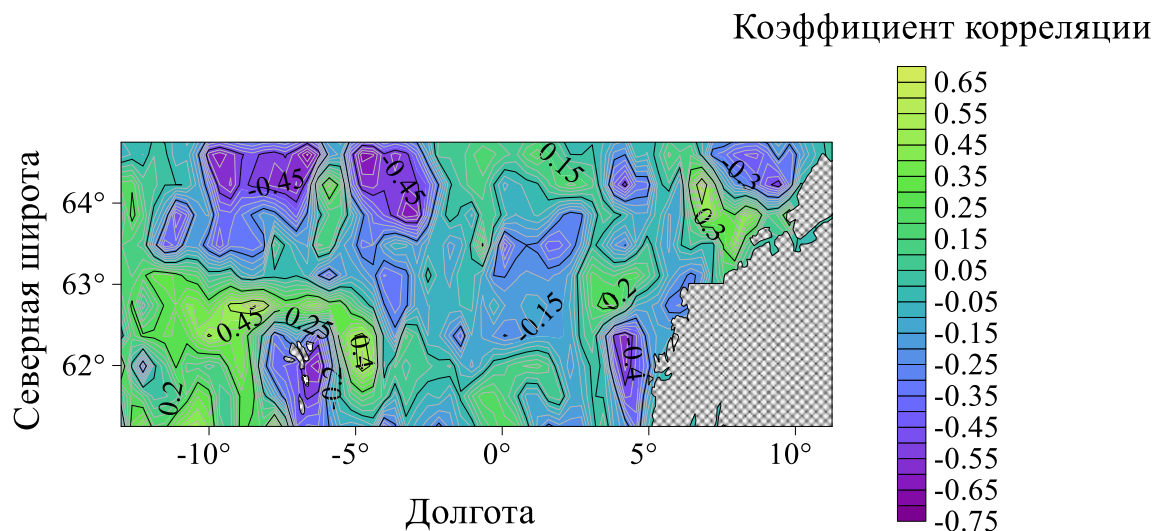


Рис. 4.28 Изменение коэффициентов корреляции между массовой концентрацией зоопланктона и мольной концентрацией фитопланктона Норвежского моря, ежегодные значения за декабрь.

У берега Скандинавского полуострова область с обратной связью усилилась и значения коэффициентов корреляции в ней стали около 0,6. Так как максимальные значения концентрации зоопланктона были в декабре, то возможно характер обратной связи это то, что количество зоопланктона увеличивается в декабре (рисунок 4.13), следовательно он может поедать фитопланктон. Поэтому при увеличении концентрации зоопланктона, концентрация фитопланктона становится меньше, как и в графиках (рисунок 4.4) мы видели, что пик фитопланктона приходил на ноябрь.

Остальные расчеты по взаимнокорреляционному анализу этих характеристик можно увидеть в Приложении.

4.3 Кластерный анализ характеристик теплозапаса и мольной концентрации фитопланктона территории Норвежского моря.

Рассмотрим изменение данных характеристик по классам для периода с 01.06.2010 по 01.06.2011 года, так как в нем наблюдалась наибольшая концентрация фитопланктона, и для периода с 01.06.2018 по 01.06.2019 года, так как этот период наиболее приближен к настоящему времени.

Кластерный анализ проводился с помощью метода Уорда с метрикой Евклида.

01.06.2010 по 01.06.2011 период:

Исходя из полученной дендрограммы на рисунке 4.29, можно выделить 3 класса.

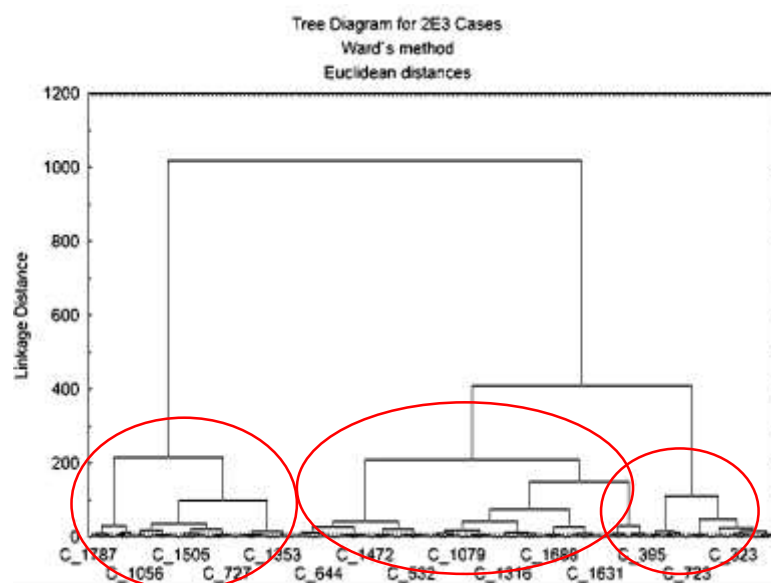


Рис. 4.29 Районирование поля по характеру связи теплозапаса и концентрацией фитопланктона.

Из таблицы 4.1 можно увидеть, что из полученной дендрограммы переменные были разбиты на 3 класса, была произведена проверка на объединение классов с помощью критерия Стьюдента. В таблице 4 можно увидеть, что при проверке на объединение 1 и 2 класса критическое значение получилось меньше чем $t^*(1,962 < 20,00)$, следовательно, эти 2 класса объединять не нужно. Так же при проверке на объединение классы (1+2) с 3 критическое значение получилось меньше $t^*(1,961 < 6,431)$, следовательно, эти классы так же объединять не нужно. И при проверке на объединение (3+1) с (3+2) критическое значение получилось меньше $t^*(1,961 < 12,10)$, следовательно, эти классы также объединять не нужно. Таким образом будет получено 3 класса.

На рисунке 4.30 можно увидеть, что вся территория была разбита на 3 класса. Первый класс - более южная с переходом к побережью Скандинавского полуострова. Второй класс – центральная территория исследуемого района. И третий класс – северо-западная часть Норвежского моря и зона вблизи острова Медвежий.

Таблица 4.1 (Описательные статистики по классам, для разбиения на 3 класса)

	1 класс	2 класс	3 класс
Среднее зн класса	0.571	0.401	0.53
Дисп	0.0989	0.0493	0.1230
$t^*(1+2)$ и 3	6.431	$t_{кр}=1.961$	
t^*1 и 2	20.00	$t_{кр}=1.962$	
$t^*(3+1)$ и (3+2)	12.10	$t_{кр}=1.961$	

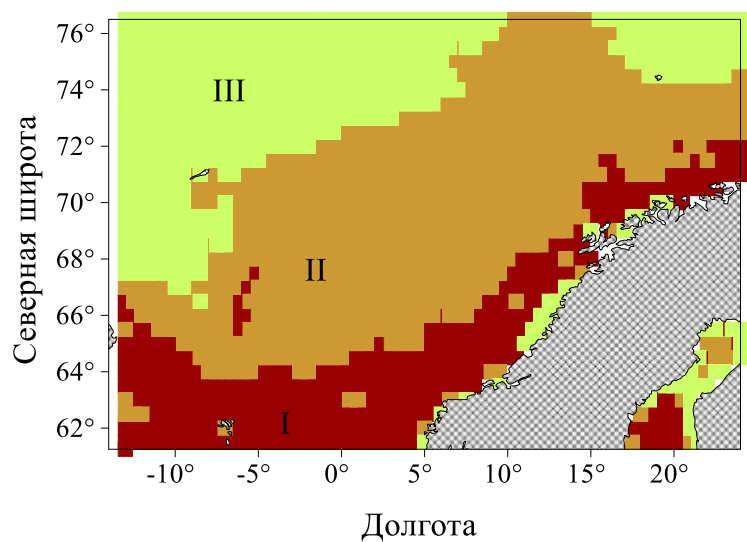


Рис. 4.30 Определение границ районов (классов) для области исследования (Норвежское море) (по методу Уорда).

01.06.2018 по 01.06.2019 период:

Исходя из полученной дендрограммы на рисунке 4.31, можно выделить 3 класса.

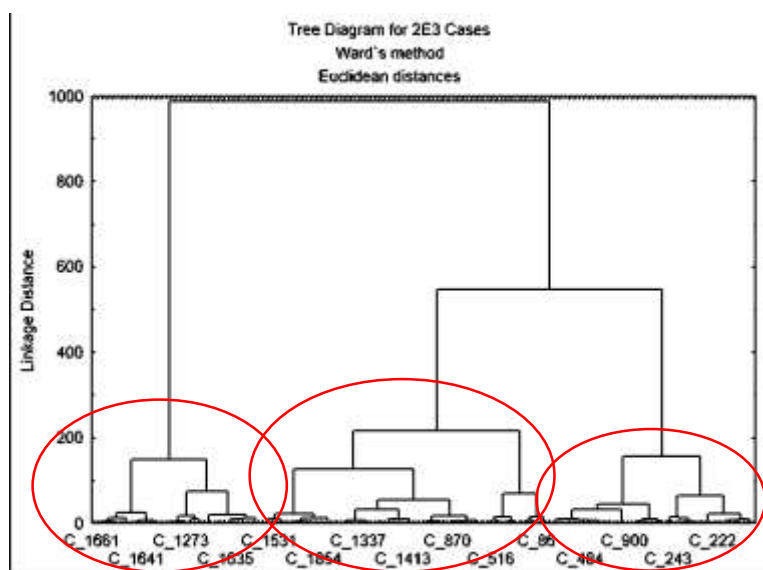


Рис. 4.31 Районирование поля по характеру связи теплозапаса и концентрацией фитопланктона.

Из таблицы 4.2 можно увидеть, что из полученной дендраграммы переменные были разбиты на 3 класса, была произведена проверка на объединение классов с помощью критерия Стьюдента. В таблице 5 можно увидеть, что при проверке на объединение 1 и 2 класса критическое значение получилось меньше чем $t^*(1,962 < 8,000)$, следовательно, эти 2 класса объединять не нужно. Так же при проверке на объединение классы (1+2) с 3 критическое значение получилось меньше $t^*(1,961 < 8,428)$, следовательно, эти классы так же объединять не нужно. И при проверке на объединение (3+1) с (3+2) критическое значение получилось меньше $t^*(1,961 < 6,000)$, следовательно, эти классы также объединять не нужно. Таким образом будет получено 3 класса.

На рисунке 4.32 можно увидеть, что вся территория была разбита на 3 класса. Первый класс - более южная с переходом к побережью Скандинавского полуострова. Второй класс – центральная территория исследуемого района. И третий класс – северо-западная часть Норвежского моря и зона вблизи острова Медвежий. Так же можно отследить что территория второго класса за второй рассмотренный период стала меньше, чем в первый рассмотренный период. Вспомним про точки с максимальной и минимальной корреляцией фитопланктона из раздела 4.1 можно увидеть, что эти точки относятся ко II классу, где характерно содержание фитопланктона.

Таблица 4.2 (Описательные статистики по классам, для разбиения на 3 класса)

	1 класс	2 класс	3 класс
Среднее зн класса	0.466	0.401	0.51
Дисп	0.0727	0.0399	0.0817
$t^*(1+2)$ и 3	8.428		$t_{кр}=1.961$
t^*1 и 2	8.00		$t_{кр}=1.962$
$t^*(3+1)$ и (3+2)	6.00		$t_{кр}=1.961$

По таблице 4.3 можно увидеть, что 1 район характеризуется переменной теплозапаса, так как значение этой переменной в классе является наибольшим. Для второго класса определяющей переменной является фитопланктон. Для третьего класса определяющим параметром стал также фитопланктон.

Таблица 4.3 (Характер связи между классами)

Variable	Cluster Means		
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
фито-н	-0.989	-0.207	1.120
тепло-с	-1.353	0.155	0.950

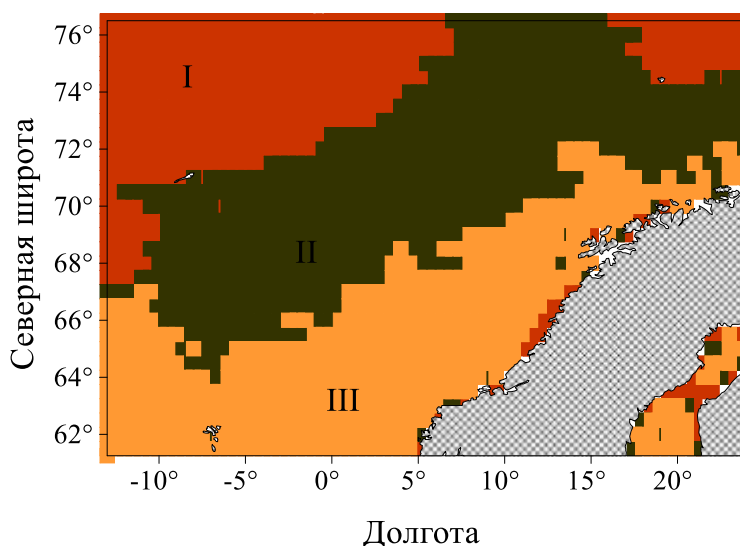


Рис. 4.32 Определение границ районов (классов) для области исследования (Норвежское море) (по методу Уорда).

4.4 Кластерный анализ характеристик теплозапаса, массовой концентрации зоопланктона и мольной концентрации фитопланктона территории Норвежского моря.

Рассмотрим изменение данных характеристик по классам для периода с 01.06.2010 по 01.06.2011 года, так как в нем наблюдалась наибольшая концентрация фитопланктона, и для периода с 01.06.2018 по 01.06.2019 года, так как этот период наиболее приближен к настоящему времени.

Кластерный анализ проводился с помощью метода Уорда с метрикой Евклида и для сравнения методом k-средних.

01.06.2010 по 01.06.2011 период:

Исходя из полученной дендрограммы на рисунке 4.33, можно выделить 4 класса.

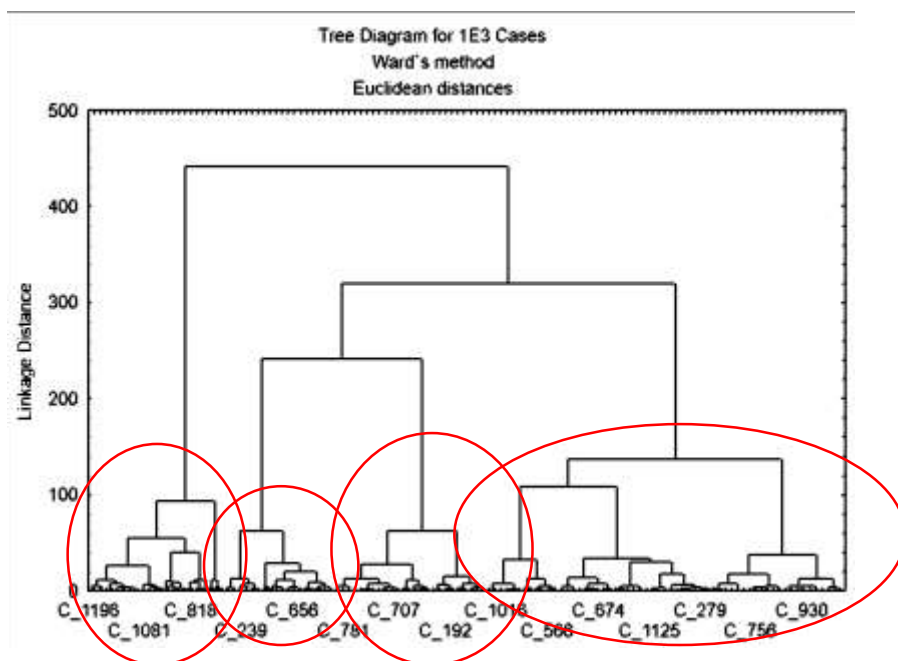


Рис. 4.33 Районирование поля по характеру связи теплозапаса, концентрации зоопланктона и концентрацией фитопланктона.

Из таблицы 4.4 видно, что районирование поля было разделено на 4 класса. По таблице можно увидеть, что 1 район характеризуется переменной зоопланктона, так как значение этой переменной в классе является наибольшим. Для второго класса также, как и для первого определяющей переменной является зоопланктон. Для третьего класса определяющим параметром стал теплозапас, и для четвертого класса – фитопланктон.

Таблица 4.4 (Характер связи между классами)

Variable	Cluster Means			
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
зоо-н	1.376	-0.522	0.623	-0.539
фито-н	0.398	-0.488	-0.891	1.167
тепл-с	0.217	0.489	-1.871	0.270

На рисунке 4.34 можно увидеть, что вся территория была разбита на 4 класса. Классы разбросаны хаотично, и напоминают карту распределения коэффициентов корреляции для зоопланктона. Можно отметить, что территория первого кластера располагается в районе побережья Скандинавского полуострова, второй кластер занимает центральную часть акватории юго-западную ее часть. Третий кластер расположен вдоль побережья Скандинавского полуострова и на северо-западе исследуемого района. И последний четвертый кластер располагается в районе Шетландских островов, на территории вхождения теплых вод Норвежского течения и на территории между Шетландскими островами и Исландией. Вспомним про точки с максимальной и минимальной корреляцией зоопланктона из раздела 4.2 можно увидеть, что эти точки относятся ко II классу, где характерно содержание зоопланктона.

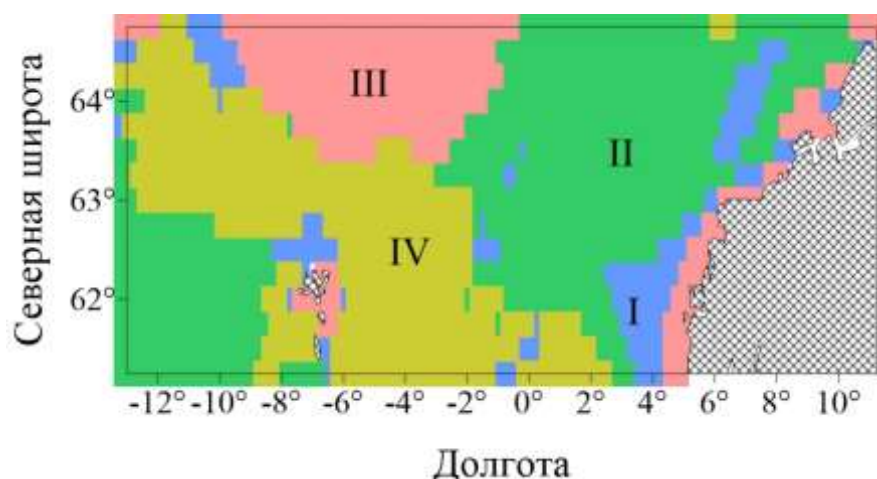


Рис. 4.34 Определение границ районов (классов) для области исследования (Норвежское море) (по методу k - средних).

01.06.2018 по 01.06.2019 период:

Исходя из полученной дендрограммы на рисунке 4.35, можно выделить 4 класса.

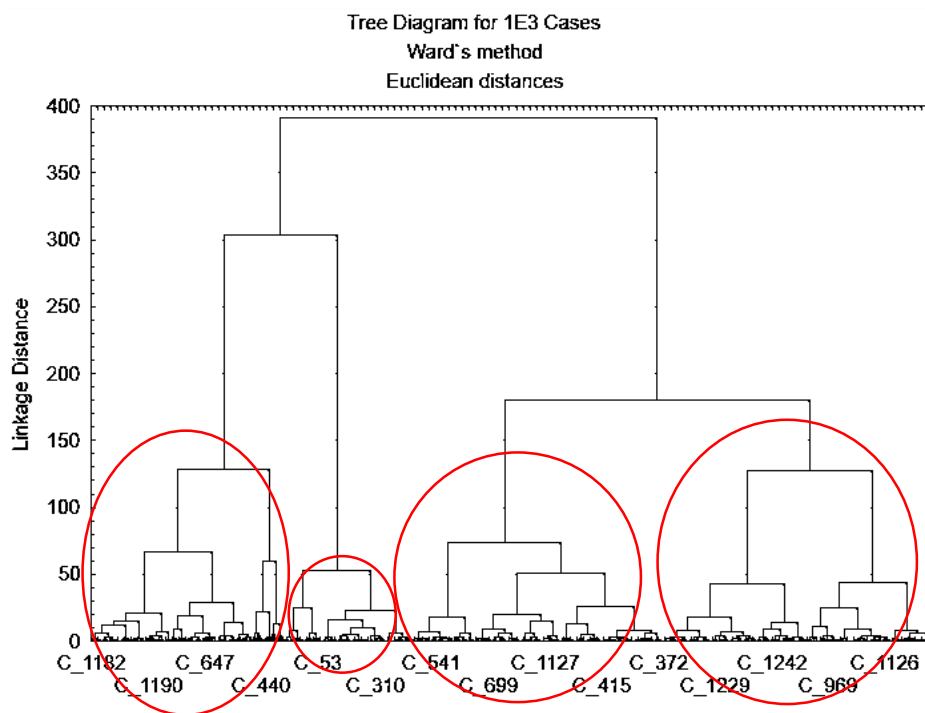


Рис. 4.35 Районирование поля по характеру связи теплозапаса, концентрации зоопланктона и концентрацией фитопланктона.

Из таблицы 4.5 видно, что районирование поля было разделено на 4 класса. По таблице можно увидеть, что 1 район характеризуется переменной зоопланктона, так как значение по модулю этой переменной в классе является наибольшим. Для второго класса определяющей переменной является фитопланктон. Для третьего класса определяющим параметром стал снова зоопланктон, как и в случае с первым классом, и для четвертого класса – теплозапас.

Таблица 4.5 (Характер связи между классами)

Variable	Cluster Means			
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
зоо-н	-0.510	-0.566	1.346	0.283
фито-н	-0.457	0.871	0.481	-1.038
теплозап	0.446	0.237	0.312	-1.813

На рисунке 4.36 можно увидеть, что вся территория была разбита на 4 классов. Классы разбросаны хаотично, и напоминают карту распределения

коэффициентов корреляции для зоопланктона. Глядя на рисунки границ районов кластеров можно увидеть, что характерные особенности по использованным переменным на территории не изменились. То есть в случае с 2010-2011гг в береговой части был сильно выражен первый кластер, в котором сильно выражен зоопланктон, так и в 2018-2019гг изменился только номер кластера а характерный параметр в этом классе остался таким же, как и со всеми остальными классами. Если обратить внимание на Приложение, то можно увидеть, что во время проведения кластерного анализа с характеристикой концентрации зоопланктона, то рассматривая отдельно каждый год, было видно, что количество классов меняется. Что не скажешь о кластерном анализе концентрации фитопланктона, здесь количество классов оставалось одинаковым практически во все исследуемые периоды, за исключением пары лет.

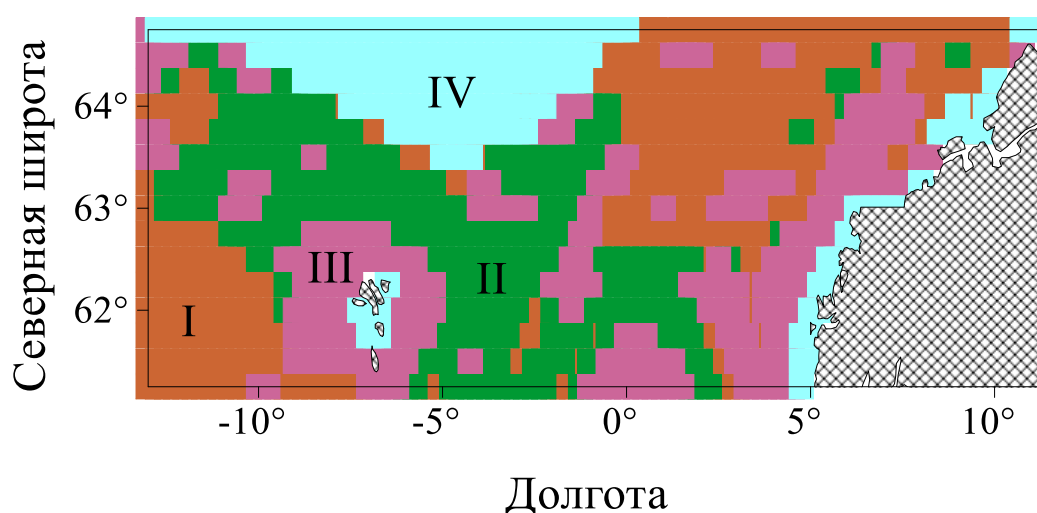


Рис. 4.36 Определение границ районов (классов) для области исследования (Норвежское море) (по методу k - средних).

Заключение

По полученным данным о распределении температуры и биологической продуктивности Норвежского моря подведем некоторые выводы. Биологическая продуктивность напрямую зависит от температуры воды исследуемого района. Но как было выявлено, не всегда только распределение температуры может показать, как изменяется биологическая продуктивность водоема, так как на нее оказывает влияние еще множество других параметров. И более правильно учитывать все факторы и процессы, которые могут повлиять на исследуемую характеристику. Также использованный кластерный анализ не определяет причинно-следственные отношения, она показывает, как изменяются процессы синхронно или асинхронно, следовательно, в местах одновременного увеличения биологической продуктивности и температуры воды, совсем не обязательно что продуктивность увеличилась под влиянием тепла. Как было выявлено, территориями в которых наблюдаются максимумы концентрации фитопланктона, в основном являются прибрежные акватории Скандинавского полуострова, район Шетландских островов и центральная территория акватории Норвежского моря.

Что касается температуры воды Норвежского моря, то рассматривая отдельные 4 точки поля исследуемой акватории, наблюдались холодные годы и теплые годы. Холодными годами является 2012, 2013, 2014, 2015 преимущественно ноябрь наиболее холодный месяц в этих годах. Так же выделили теплые годы, им преимущественно стали 2010, 2016, 2018 года, наиболее теплым месяцем в рассматриваемых территориях является апрель, в это время значения температуры воды были наиболее высоки. При рассмотрении изменения теплозапаса в отдельно взятых четырех точках области в большинстве случаев показателен положительный тренд изменения этого параметра. То есть за десятилетний период наблюдается тенденция к увеличению температуры воды. Это безусловно может отразиться на биологической продуктивности района, но как было показано в ходе

эксперимента в главе 2.2 наиболее распространенные копеподы Норвежского моря могут продуцировать свое потомство при значениях температуры, которая является выше диапазона их оптимальных температур. И для некоторых видов копепод для комфортного существования необходимо поступление свежей пищи.

В ходе поделанной работы, были выявлены зоны, в которых наибольшим образом прослеживается взаимосвязь между концентрацией фитопланктона и температурой воды. Это побережье Норвежского моря, с прямой связью параметров, район Норвежского плато, Шетландские острова, северо-западный район исследованной акватории. Обоснование к полученному результату следующее. В исследуемом районе преимущественно распространены холодолюбивые виды фитопланктона, такие как Diatomeae (диатомовые водоросли). Поэтому, в тех районах, где вода прогрета выше оптимальной температуры для данного вида, скопления фитопланктона перемещаются в более прохладные и комфортные воды, для их дальнейшего формирования и обитания.

Взаимосвязь между температурой воды и концентрацией зоопланктона также оказалась не столь обнадеживающей. К сожалению, была исследована небольшая часть территории моря, намного меньше, чем в случае с фитопланктоном, из-за трудностей с получением данных по зоопланктону. И то что получилось на малой части территории, были в основном обусловлены «пятнистостью» участков с высокими коэффициентами корреляции. Это в основном район Шетландских островов, побережье Скандинавского полуострова, и западная часть той малой зоны акватории. В этих участках наблюдалась прямая связь параметров теплозапаса и концентрации зоопланктона. Так же присутствовали коэффициенты корреляции с обратной связью параметров на северо-западной части исследуемой территории.

Что касается районирования исследуемой территории (кластерный анализ), то в части использования только фитопланктона и теплозапаса, территория была разбита на 3 класса, в редких случаях на 4, в года, которые

не вошли в анализ, их можно увидеть в Приложении. А та часть кластерного анализа, куда входил и зоопланктон, и фитопланктон, и теплозапас, здесь территория преимущественно разбивалась на 4 – 5 классов, несмотря на небольшую площадь исследуемой территории. Точки поля с максимальными (прямыми и обратными) коэффициентами корреляции для фитопланктона, которые рассматривались отдельно, входят в класс района, где определяющей переменной является фитопланктон, для обеих точек. То же самое в случае с зоопланктоном, точки поля с максимальными (прямыми и обратными) коэффициентами корреляции входят в те районы, где определяющей переменной является зоопланктон.

Полученные результаты можно использовать для дальнейшего изучения поведения различных видов планктона, обитаемого в исследуемом районе.

Список используемой литературы

1. Колесников В.Г. Океанологические основы рыбопромысловых прогнозов в норвежском море. / Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО). / Калининград 1967г.
2. Берникова Т.А. Водные массы и температура смешанных вод Норвежского моря как условия обитания сельди: Автореферат дис. на соискание учен. степени канд. геогр. наук / Ленингр. гос. ун-т им. А.А. Жданова. - Ленинград, 1966. - 18 с
3. Злобин В.С. Основы прогнозирования первичной продуктивности фотического слоя океана. Под редакцией члена-корреспондента АН УССР Г.Г. Поликарпова. / Полярный научно-исследовательский и проектный институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО). / Мурманское книжное издательство 1972г.
4. Светличный Л.С. Влияние температуры на локомоторную активность *Calanus Helgolandicus* / Журнал океанология, том 53 / 2013.
5. Дриц А.В., Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Карманов В.А., Новигатский А.Н. Потоки осадочного вещества в Лофотенской котловине Норвежского моря: Сезонная динамика и роль зоопланктона / 2020.
6. Виноградов М.Е., Лисицын А.П. Глобальные закономерности распределения жизни в океане и их отражение в составе донных осадков. Закономерности распределения планктона и бентоса в океане / 1981.
7. Емельянов Е.М. Седиментогенез в бассейне Атлантического океана. /1982.
8. Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Саввичев А.С. Исследование седиментосистем Баренцева и Норвежско-Гренландского бассейна в 68-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» / Океанология /2019.

9. Пастернак А.Ф., Арашкевич Е.Г., Гроде У., Никишина А.Б., Соловьев К.А. Как повышение температуры воды влияет на продукцию яиц у *Calanus finmarchicus* и *C. Glacialis* / Океанология / 2013.
10. Яшнов В.А. Морфология, распределение и систематика *Calanus finmarchicus* //Зоологический журнал /1955.
11. Павлов Е.В., Царева Л.В. Движение *Calanus Helgolandicus* по данным киносъёмки / Биология моря /1975
12. Петипа Т.С., Островская Н.А. Оценка активного обмена и эффективности использования химической энергии на миграцию у копепод / Океанология. 1984.
13. Рудяков Ю.А. Влияние температуры на двигательную активность планктонных ракообразных / 1975.
14. Еремеев В.Н., Жуков А.Н., Крашенинникова М.А., Сизов А.А., Чехлан А.Е. Климатическая изменчивость индекса Северо-Атлантического колебания (САК) и связанные с ней флуктуации температуры / Известия РАН / 2014.
15. Нестеров Е.С. О фазах североатлантического колебания / 2003.
16. Колосова М.В. Формирование первичной продуктивности в Норвежском море / Выпускная Квалификационная работа РГГМУ /2019.
17. Радхакришна К. Географические изменения первичной продукции в прибрежных водах океанов: Автореф. дис. на соискание учен. степени канд. биол. наук / Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР. - Москва, 1969. - 13 с.
18. Под редакцией проф. Г.Г. Винберга – Первичная продукция морей и внутренних вод. / Издательство Министерства высшего среднего специального и профессионального образования БССР. / Минск 1961г. Сорокин Ю.Н. Влияние стратификации водных масс и подводной освещенности на первичную продукцию в океане. / Институт биологии водохранилищ Академии наук СССР.

19. <http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/> - Интернет служба мониторинга морской среды.
20. Гордеева С.М. Шевчук О.И. Руководство по статистической обработке глобальных архивов информации (на примере альтиметрических данных). СПб.:РГГМУ, 2013. - 44с.
21. Трошин Л.И. Мхитарян В.С. Корреляционный и регрессионный анализ. Учебное пособие. / Министерство высшего и среднего специального образования СССР. Московский экономико-статистический институт. / Москва 1976г.
22. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологических процессов. Учебник. – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 408с.
23. Малинин В.Н. Лекции Кластерный анализ.
24. M. Kahru, A. Leeben Size structure of planctonic particles in relation to hydrographic structure in the Skagerrak / Institute of Ecology and Marine Research / Tallin/
25. 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.
26. C. Hansen, A. Samuelsen Interannual variability of the primary production in the Norwegian Sea: relation to the NOA in a numerical model / Nansen Environmental and Remote Sensing Centre / Bergen.