МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной океанографии и комплексного управления прибрежными зонами

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

«Оценка и прогноз запасов промысловых видов рыб Северного бассейна»

Исполнитель: Степанова Дарья Сергеевна

Руководитель: доктор географических наук, доцент Аверкиев Александр Сергеевич

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

Кандидат географических наук

(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

«10» мая 2026 г.

г. Санкт-Петербург

2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 2
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ И АРЕАЛ ОБИТАНИЯ РАССМАТРИВАЕМЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ 4
1.1 Физико-географическое описание района 4
1.2 Описание промысловых видов 6
1.2.1Северо-восточная арктическая треска 6
1.2.2 Мойва 9
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ 11
2.1 Описание методов исследования 11
2.1.1 Автокорреляционный анализ 11
2.1.2 Корреляционный анализ 13
2.1.3 Спектральный анализ 15
2.1.5 Модель Шефера 16
2.2 Исходные данные 18
ГЛАВА 3 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ 23
3.1 Автокорреляционный анализ 23
3.2 Корреляционный анализ 27
3.3 Множественная линейная регрессия 28
3.4 Спектральный анализ 31
3.5 Модель Шефера 36
3.6 Сравнение качества методов 39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 41
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 43

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной работы определяется тем, что рассматриваемые виды являются одними из основных представителей промысловых ресурсов Баренцева моря, занимающего второе место в России по промышленному вылову водных биоресурсов. В то время как треску смело можно назвать ключевым объектом отечественного рыболовства в северном бассейне, мойва, помимо своей промысловой ценности, составляет весомую часть рациона не только трески, но и прочих хищных видов, что делает её важнейшей частью пищевой цепи Баренцева моря.

Целью данной впускной бакалаврской работы является оценка состояния и возможность прогноза запасов северо-восточной арктической трески и мойвы Баренцева моря.

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Рассмотрены ряды запасов и вылова северо-восточной арктической трески и мойвы Баренцева моря за определённый период.
2. Подобраны предикторы и составлены уравнения регрессии для прогноза запасов.
3. Произведен спектральный анализ рядов запасов для выбранных видов и прогноз запасов с помощью суммирования спектральных составляющих рядов запасов.
4. Произведена оценка состояния и прогноз запасов для обоих видов с помощью уравнения модели Шефера.
5. Дана оценка качества и сравнение восстановления и прогноза рядов запасов. Показаны преимущества и недостатки методов.

Исходными данными для данной работы являются данные о промысловых и общих запасов, для северо-восточной арктической трески и мойвы соответственно, и их вылову в Баренцевом море с 1951 по 2023 г трески и с

1971 по 2023 г. для мойвы. Помимо этого, в качестве предикторов для прогноза запасов обоих видов были взяты ряды среднегодовых значений температуры воды на вековом стандартном разрезе №6 «Кольский меридиан» в слое 0-200 м основной ветви Мурманского течения (станции 3-7) и температурные аномалии на вековом стандартном разрезе №6 «Кольский меридиан».

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ И АРЕАЛ ОБИТАНИЯ РАССМАТРИВАЕМЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ

1.1 Физико-географическое описание района

Баренцево море - окраинное море Северного Ледовитого океана между северным европейским материковым берегом и Шпицбергеном, Землей Франца-Иосифа и Новой Землей. Граничит с морями: Норвежским на западе, Карским на востоке, Белым на юге. Омывает берега России и Норвегии.

Границы моря с севера и запада имеют условную линию. Западная граница проходит по мысу Южному, острову Медвежьему, мысу Нордкап, северная проходит по окраине архипелага Земли Франца-Иосифа и иных островов, южная разделена материком и маленьким проливом, который ограничивает Баренцево море от Белого. Восточная граница проходит по островам Вайгач, Новая Земля и некоторым иным [4].

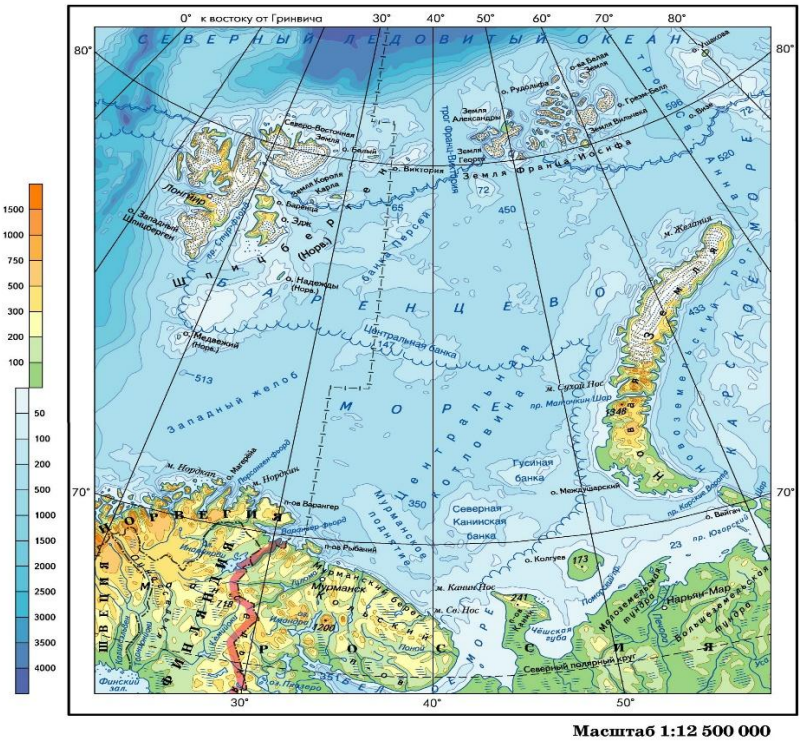


Рисунок 1. – географическое положение и размеры Баренцева моря.

Площадь Баренцева моря составляет около 1424 тыс. км² (с островами). Расположено на материковой отмели, поэтому глубины относительно

невелики от 100 до 350 м, максимум — 600 м. Берега в основном высокие, скалистые, изрезанные, фьордовые. К востоку от о. Канин в основном низкие, слабоизрезанные. Наиболее крупный из островов — Колгуев. Основные заливы: Печорская и Чёшская губы, Мотовский и Кольский заливы, Варангер-фьорд, Танафьорд, Лаксефьорд и др. С ноября по март большая часть моря покрыта льдом, кроме юго-западной части, где сказывается влияние теплых течений Атлантического океана (Нордкапская ветвь Гольфстрима). Граница плавучих льдов лежит зимой на расстоянии 400–500 км от берегов Кольского полуострова. Одно из самых неспокойных и изменчивых по погоде морей. Часты туманы. Приливы полусуточные, средняя высота от 0,5 м до 3,8 м, у Кольского полуострова до 6 м. Соленость 32–34,5‰. Осадков 400–865 мм в год, в основном с августа по ноябрь. Наиболее крупные реки, впадающие в Баренцево море, — Индига и Печора.

Многочисленные проливы на границах Баренцева моря играют весомую роль при формировании его океанографических условий, потому что через них происходит водообмен с примыкающими морями и бассейном Арктики. Более весомый водообмен Баренцева моря с примыкающими водными объектами происходит на юго-западной и северо-восточной границе, потому что именно там площадь поперечного сечения проливов, от которой находится в зависимости величина объемных переносов через эти проливы, больше.

Источниками пресных вод считаются сток рек, лёд, который приносится через северную и северо-восточную границы моря, осадки, и айсберги, которые продуцируются ледниками архипелагов Шпицберген, Новая Земля и Земля Франца-Иосифа. Из перечисленных источников более весомым по масштабам воздействия на режим солености и характер течений в прибрежных областях моря является сток рек, так как он определяет многие физические, химические, биологические процессы. Баренцево море получает пресную воду не лишь только с речным стоком, но и в виде атмосферных осадков. Количество осадков выше испарения на всей площади Баренцева моря. Ещё одним источником пресной воды имеют все шансы считаться лёд и айсберги,

который приносятся из соседних морей. Средний за год принос льда через северную и северо-восточную границу моря превышает его вынос. Можно представить, что некая часть этого льда тает и преобразуется в пресную воду, впрочем, не существует серьезных оснований, для того чтобы дать хотя бы какую-то оценку вклада данной составляющей в пресноводный баланс моря [4].

Океанографические условия Баренцева моря складываются под воздействием адвекции тепла течениями, крупномасштабной циркуляции атмосферы, теплообмена моря с атмосферой. Таким образом, ключевым фактором, который формирует климат Баренцева моря, считается адвекция тепла, как в океане, так и в атмосфере [4].

Баренцево море обладает богатым животным миром: из 114 обитающих в нём видов рыб – 20 являются важными промысловыми объектами. В эти виды входят: треска, пикша, сельдь, морской окунь, зубатка, камбала, палтус и др. А завезённый сюда в 60-е годы камчатский краб теперь составляет самостоятельную популяцию. Разнообразны и обитающие здесь виды млекопитающих: малые полосатики, горбачи, финвалы, белухи, тюлени, белые медведи и многие другие. На побережьях изобилуют птичьи базары (кайры, чистики, чайки-моёвки, тупики. Имеет большое народнохозяйственное значение как район интенсивного рыбного промысла и морской путь, связывающий Европейскую часть России с портами западных и восточных стран.

1.2 Описание промысловых видов

1.2.1Северо-восточная арктическая треска

Треска (лат.Gadusmorhua)— рыба семейства тресковых. В данной выпускной квалификационной работе будет рассматриваться вид - атлантическая треска, подвид – северо-восточная арктическая треска.

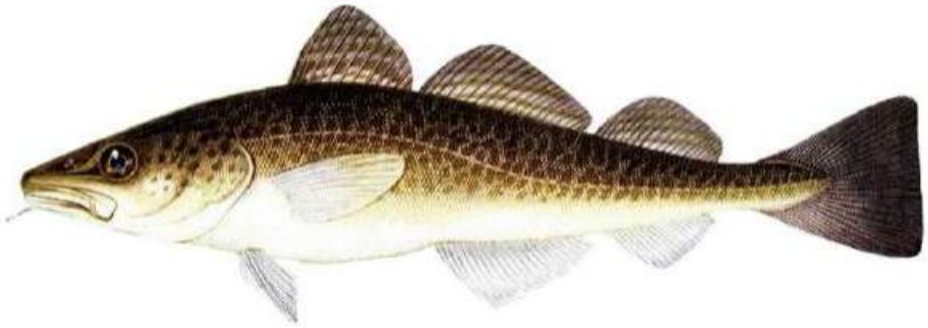


Рисунок 2. – Треска

Ареал атлантической трески охватывает небольшой район Атлантического океана, образуя некоторое количество географических подвидов (арктическая, беломорская, балтийская и др.). Наиболее северным считается северо-восточный арктический, который ещё именуется баренцевоморским или же аркто-норвежским. Большая доля ареала данного подвида располагается в Баренцевом море, океанографические условия которого, особенно система течений, оказывают значительное воздействие на воспроизводство, динамику численности, количество, распределение и поведение рыб [2].

Тело трески удлинено и покрыто небольшой циклоидной чешуей, собственно, что говорит о высоких плавательных возможностях (рис.2). Хвостовой плавник отлично развит, симметричный, без выемки. 1-ой спинной плавник выступает впереди грудных плавников, он имеет треугольную форму и самую большую высоту среди спинных плавников. Боковая линия отлично развита, она светла, полого опускается к продольной оси тела под 2-ой спинной плавник и тянется без перерыва до середины или конца 3-его спинного плавника, далее она прерывиста. Голова маленькая и узкая, ее длина меньше или немного больше четверти длины тела трески. На голове вдоль каналов системы боковой линии – сетка открытых пор. Цвет тела сильно варьирует и изменяется в зависимости от места обитания особи. Чаще всего он песочно-серый или же песочно-коричневый с зеленоватым отливом, а ещё

узором из пятен и точек на боках и спине. Брюшко трески серовато-белое. В прибрежных водах вместе с рыбами обычного зеленого оттенка встречаются особи с красным отливом.

Треска считается достаточно неплохим пловцом. Она относится к сумеречным или же ночным рыбам, зрение которых выполняет дополнительную функцию связи с внешним миром. Дальность видения небольшая, неосвещенные объекты (тралы, сети) рыба видит, подплыв почти вплотную, или же на расстоянии 2-3 м в зависимости от освещенности. Взрослая треска – хищник, более деятельна и активна при освещенности в десятые доли люкса, когда дальность зрения у рыб-жертв понижается в два раза и сумеречный хищник более экономично использует энергию. Молодь трески ведет стайный пелагический тип жизни, питаясь планктоном в толще воды, при дневном освещении находит и потребляет пищу в 2 раза скорее, чем в абсолютной темноте [3].

В питании трески существует достаточно традиционный сезонный цикл её откорма: в весенний период треска интенсивно откармливается преднерестовой мойвой (в меньшей степени молодью сельди), в летне-осенний период – мойвой и сайкой на севере моря и молодью сельди, и крабом-стригуном на востоке моря. В целом, рацион трески довольно многообразен, помимо перечисленных видов, она также может питаться пикшей, сельдью, самой треской и пр.видами.

Треска имеет свойство заглатывать большие жертвы, потому что её желудок имеет толстые и упругие стенки, которые могут хорошо растягиваться. Главные методы захвата пищи – всасывание, откусывание, заглатывание, временами процеживание.

Обитает треска на глубинах до 600м: чаще можно встретить на глубине 100-300м и редко можно выловить глубже 450м, а у берега – на глубине менее 5м. Разброс температур, при которых треска встречается, достаточно широк: от температуры, которая близка к замерзанию воды, до 15°С. Внутренняя температура рыбы близка к температуре внешней среды. В районах нагула

достаточно часто встречается при температуре 0-7°С. При отрицательных температурах треска плавает медлительно, темп дыхания у нее быстро снижается [9].

Нерестится треска преимущественно у побережья Норвегии. Основным районом нереста являются Лофотенские острова, но в более тёплые года может смещаться севернее, в районы Тромс и Финнмарк. Период нереста приходится на февраль-апрель, на глубинах от 30 до 400 м в самой толще воды или же около дна. Икра у трески пелагическая, самки выметывают икринки в толщу воды, где их разносит течение. Длительность инкубационного периода продолжается от 11 до 30 суток. Когда особь достигает 2–3 см в длину, то она переходит к придонному образу жизни. Половозрелой рыба становится на втором (чаще всего – это самцы) и третьем году жизни.

1.2.2 Мойва

Баренцевоморская мойва – основа сырьевой базы пелагического промысла в Баренцевом море. Мойва имеет ключевое значение в системе трофических связей региона, являясь объектом питания хищных рыб (в первую очередь арктической трески), морских млекопитающих и птиц [1].

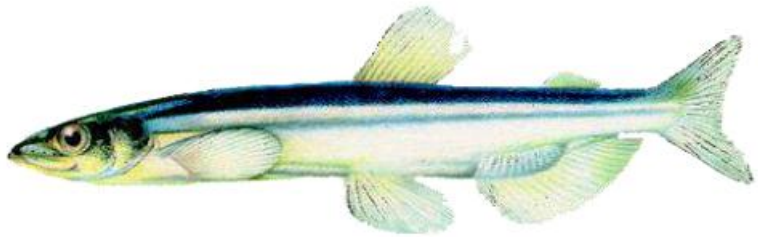


Рисунок 3. Мойва

Тело удлинённое, сжатое с боков. Основание анального плавника вздуто. Боковая линия доходит до заднего края анального плавника. Чешуя очень мелкая. Рот небольшой, сочленение нижней челюсти находится впереди вертикали заднего края глаза. Верхняя челюсть доходит до вертикали, проходящей через середину глаза. Зубы на челюстях мелкие, однорядные, есть

зубы на языке. В боковой линии от 150 до 200 чешуй; тычинок на 1-й жаберной дуге 30-45: позвонков 63-73.

Спина тёмно-зелёная, бока серебристые, брюхо белое. Во время нереста пигментация головы и спины усиливается.

Мойва распространена почти кругополярно. Подвид – Mallotus villosus villosus обитает в северной части Атлантического океана и смежных с ним районах Северного Ледовитого океана. Образует ряд локальных стад. Наиболее многочисленны стада в Баренцевом море и в районе Большой Ньюфаундлендской банки и Южного Лабрадора.

В Баренцевом море мойва обитает практически по всей акватории. На север Мойва проникает вдоль восточных берегов архипелага Шпицберген до Земли Короля Карла, на северо-востоке – до островов Земли Франца Иосифа. Встречается В Карском море. На запад и Юго-запад мойва в отдельные годы распространяется в восточную часть Норвежского моря за пределы баренцевоморского шельфа. Вдоль побережья Норвегии встречается до Острова Анде (Лофотенские острова).

Нерест. Нерестилища мойвы располагаются на песчаных грунтах, на отмелях и банках на глубинах от нескольких метров до нескольких сот метров. Плодовитость мойвы - 6-40 тыс. икринок. Нерест происходит при температуре воды в придонных слоях - 2-3° С. Икринки, как и у остальных корюшковых, донные, прилипающие. После вылупления личинки сносятся течением в открытое море. На нерест к берегам мойва подходит огромными стаями, за которыми следуют стаи питающейся мойвой трески, чайки и даже киты [7].

Питание. В пище мойвы преобладают Copepoda, главным образом Calanus finmarchicus, затем идут Euphausiidae. Наиболее интенсивно мойва питается в летные месяцы. Откорм заканчивается в октябре в ноябре-январе мойва практически не питается.

Из конкурентов мойвы в Баренцевом море можно выделить сельдь и, возможно, Сайку. А вот врагов у неё достаточно, в их числе: треска, морские окуни, камбалы, морские птицы, дельфины и киты.

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Описание методов исследования

2.1.1 Автокорреляционный анализ

Автокорреляция – это корреляция статистического ряда самого с собой при разных сдвигах во времени. Данный анализ проводится с целью исследования внутренней структуры ряда.

Коэффициентом автокорреляции называют коэффициент корреляции между значениями данного ряда и его же значениями, относящимися к некоторому сдвигу τ. Следовательно, автокорреляционная функция представляет последовательность коэффициентов автокорреляции, начиная с $\tau = 0$.

Временной ряд при расчетах можно сдвигать в любую сторону (вперед или назад). Но, так как исходный ряд один и тот же, автокорреляционная функция симметрична.

Коэффициент автокорреляции $r(\tau)$ на каждом сдвиге можно рассчитать по формуле:

$$r(\tau) = \frac{1}{\sigma_x^2 (N - 1 - \tau)} \sum_{i=1}^{N-\tau} (x_i - \bar{x})(x_{i+\tau} - \bar{x})$$

где N – длина реализации, τ – сдвиг, который меняется от 1 до максимума:

Так как АКФ представляет собой совокупность коэффициентов корреляции, каждый из них должен быть проверен на значимость: H0: $r = 0$, H1: $r \neq 0$ Коэффициент корреляции окажется значимым, если будет выполняться следующее условие:

$$|r(\tau)| > t_{кр} \sigma_{r(\tau)};\ \sigma_{r(\tau)} = \frac{1}{\sqrt{N - 1 - \tau}}$$

где N – длина реализации, τ – сдвиг АКФ; tкр (α,ν = N-τ-1) – критерий Стьюдента, при α = 0,05.

Рассчитанные для каждого сдвига значения rкр также наносятся на график АКФ в положительной и отрицательной области τ. Тогда все значения АКФ, превышающие (по модулю) rкр, являются значимыми, а значения АКФ, меньшие rкр считаются случайно отличающимися от нуля.

При анализе автокорреляционной функции можно сделать выводы по следующим характеристикам:

1. Инерционность процесса.

Инерционность процесса показывает, насколько долго характеристика может сохранять своё предыдущее состояние. Она определяется сдвигом при первым пересечении функцией горизонтальной оси (r=0). Различают малоинерционные (сдвиг=1-2 ед. дискретности) и инерционные (сдвиг>4-5 ед. дискретности) процессы.

2. Периодичность процесса.

Периодичность процесса определяется наличием локальных максимумов. Сколько значимых локальных максимумов – столько и периодических составляющих. Период их колебаний определяется по сдвигу АКФ, соответствующему локальному максимуму.

3. Тип процесса.

Всего существует три типа процесса: «белый шум», отражающий абсолютно случайный процесс, «красный шум», характеризующий процесс с высокой инерционностью и квазигормонический (циклический) процесс, характеризующий процесс с устойчивым ярко выраженным периодическим колебанием. Тип процесса определяется по ближайшему нулевому сдвигу значениям автокорреляции. Также процессы могут иметь смешанный тип.

4. Возможность автопрогноза.

Если АКФ не является «белым шумом» и у неё есть значимые коэффициенты корреляции, то можно сделать автопрогноз, заблаговременность которого будет определяться сдвигом значимого коэффициента.

2.1.2 Корреляционный анализ

Корреляционный анализ проводится для выявления связей между переменными и оценки вида и тесноты этой связи, при её наличии.

Показатель, используемый для определения тесноты и направления линейной зависимости – коэффициент корреляции. Он может быть рассчитан по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left[(x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2)\right]}{N\sigma_1\sigma_2},$$

где x_{i1} и x_{i2} – значения первой и второй переменных, соответственно;

$\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ – средние значения первой и второй переменных, соответственно;

σ_1 и σ_2 – стандартные отклонения первой и второй переменных, соответственно;

N –длина рядов первой и второй переменных.

Направление связи определяется по соотношению значений двух переменных. Если при возрастании одной величины, другая имеет тенденцию возрастать – это прямая зависимость, тогда $R > 0$. Если при возрастании одной величины другая имеет тенденцию убывать – это обратная зависимость, тогда $R < 0$ [6].

Связь между переменными может быть трёх типов: функциональной (детерминированной), стохастической (вероятностной) и случайной, характеризующей полное отсутствие связи.

Функциональная связь. Если каждому значению одной переменной соответствует единственное значение другой переменной, то такая зависимость носит название функциональной. Функциональные зависимости обычно могут быть доказаны теоретическим путем (например, с помощью логических рассуждений) и не нуждаются в опытной проверке [8]. В этом случае облако точек имеет вид прямой линии, а $|R| = 1$.

Случайная связь. Если любому значению одной переменной может соответствовать практически любое значение другой переменной, то это означает, что связь отсутствует, и переменные X и Y являются независимыми по отношению друг к другу [8]. Тогда облако точек будет походить на окружность, а $|R| = 0$.

Стохастическая (вероятностная) связь. Если каждому значению одной переменной с определенной вероятностью ($0 < R < 1$) соответствует значение другой переменной, то такая зависимость называется стохастической. Естественно, что она носит промежуточный характер между функциональным и случайным типами связи. Стохастическая зависимость характеризуется теснотой связи. Чем выше теснота связи, тем ближе стохастическая зависимость приближается к функциональной, а доверительная вероятность – к единице. Наоборот, по мере уменьшения тесноты связи сопоставляемые переменные становятся все более независимыми [8].

При стохастической связи, когда коэффициент корреляции имеет промежуточное значение между 0 и 1, фактически это может означать как отсутствие связи между характеристиками, так и её значительную величину. Для более точной оценки проводят проверку коэффициента корреляции на значимость. Для проверки используют сравнение критерия Стьюдента (t*) с его критическим значением (tкр), в случае если t*> tкр, то нулевая гипотеза отвергается, если наоборот- принимается. При отвержении нулевой гипотезы коэффициент корреляции считается значимым, то есть между переменными

существует статистически значимая связь, при принятии гипотезы – наоборот, считается, что связи нет.

2.1.3 Спектральный анализ

Спектральный или гармонический анализ, также как и автокорреляция используется для исследования внутренней структуры временного ряда. Формула гармоники выглядит следующим образом:

$Gk = Ak \cos(\omega k \cdot t - \varphi k)$, $\omega k = 2\pi/T$

где k – номер гармоники; Ak – амплитуда k-той гармоники; ωk – частота k-той гармоники; Tk – период k-той гармоники; φk – фаза k-той гармоники; t – время

Характеристики гармоники определяются на основании коэффициентов Фурье ak и bk:

$$a_k = \frac{2}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[x_i \sin(\varpi_k \cdot t_i)\right], \quad b_k = \frac{2}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[x_i \cos(\varpi_k \cdot t_i)\right],$$

где xi – исходный ряд; N – длина ряда; ωk – частота k-той гармоники; ti – ряд времени ti = i, i = 1,2,3….N.

В настоящее время при расчёте гармоник используются современные статистические программы, в нашем случае использовалась программа Past5, с их помощью создаются периодограммы. Периодограмма, по сути, показывает зависимость дисперсии гармонических составляющих от их частоты. С помощью периодограмм определяются периоды гармоник, соответствующие «пикам» спектра.

В большинстве исследований представляется достаточным выявление частот (и соответственно, периодов) гармоник, однако, часто возникает необходимость восстановить исходный процесс по нескольким значимым гармоникам, тогда необходимо прибегнуть к процедуре гармонического анализа на основе рассчитанной периодограммы.

Тогда по таблицам и графикам периодограмм, нужно определить периоды для пиков спектра, а потом для этих периодов провести гармонический анализ: рассчитать характеристики гармоник, сформулировать для них уравнения, рассчитать ряды этих гармоник (в зависимости от времени) и путем сложения этих рядов получить восстановленный ряд [5].

2.1.5 Модель Шефера

Более простыми являются продукционные модели, основанные на временных рядах запасов (биомассы) вида и промысловой и естественной смертности. Первой и наиболее простой моделью была разработанная в 50-е гг 20 в. модель Шефера.

В модели Шефера предполагается, что эксплуатируемая популяция стремится к стабилизации, то есть стремится к такому состоянию, когда общий прирост будет равен объему вылова. Такой улов называется уравновешенным. Концепция уравновешенного улова легла в основу построения модели Шефера.

Модель Шефера удобна тем, что использует общие понятия: запас, улов (вылов), промысловое усилие, и для своей реализации не требует никаких других данных, кроме общих биологических и промысловых. Рассматривается один изолированный вид с биомассой $P = P(t)$, где t - это время, под P может пониматься как биомасса общей, так и промысловой или нерестовой части популяции. Исходное уравнение модели имеет вид:

$$\frac{dP}{dt} = P(A - BP) - qfP \quad (1.1)$$

Изменения биомассы предполагаются непрерывными во времени, а их скорость пропорциональна биомассе P. Постоянные параметры A и B определяются только внутренними свойствами популяции: при отсутствии промысла биомасса возрастает с течением времени по логистическому закону,

стремясь к своей предельной величине, определяемой соотношением параметров *A/B*.

Вклад промысла в убыль популяции определяется последним членом в уравнении (1.1). Поскольку *dP/dt* является мгновенной скоростью изменения биомассы популяции, то выражение *qfP* следует рассматривать, как улов в единицу времени, под *f* понимается мгновенное промысловое усилие, *q* - это так называемый коэффициент улавливаемости.

Зная значения коэффициентов *A* и *B* и величину запаса на данный момент, к примеру величину запаса за прошлый год, можно с помощью уравнения (1.1) оценить запас на некоторый будущий момент при отсутствии промысла, а если к тому же известен коэффициент *q* и задана величина промыслового усилия на промежуток времени, отделяющий момент прогноза от данного, то можно оценить величину улова и оценить дальнейшее изменение запаса при определённом уровне промысла.

Запишем уравнение модели Шефера в следующем виде:

$$\frac{dP}{dt} = (A - BP)P - U \qquad (1.2)$$

где *U=CP*, тогда *C* будет представлять собой коэффициент промыслового изъятия.

Если за ряд предшествующих лет для рассматриваемого вида определены коэффициенты *A*, *B*, и известен годовой улов *CP* для уравнения (1.2), то решение задачи прогноза становится возможным.

Для нахождения коэффициентов *A* и *B* применяется метод наименьших квадратов.

Формулы для коэффициентов выглядят следующим образом:

$$A = \frac{1}{N}(B\sum_{i-2}^{n} P_i + \sum_{i=2}^{n} C_i + \sum_{i=2}^{n} K_i) \qquad (1.3)$$

$$B = \frac{\sum_{i=2}^{n} P_i \sum_{i=2}^{n} C_i + \sum_{i=2}^{n} P_i \sum_{i=2}^{n} K_i - N \sum_{i=2}^{n} P_i C_i - N \sum_{i=2}^{n} P_i K_i}{N \sum_{i=2}^{n} P_i^{\,2} - \sum_{i=2}^{n} P_i \sum_{i=2}^{n} P_i} \qquad (1.4)$$

2.2 Исходные данные

Для данной впускной квалификационной работы в качестве исходных были взяты данные по запасам и вылову северо-восточной арктической трески с 1951 по 2023гг и баренцевоморской мойвы с 1971 по 2024 гг, а также данные по температуре и её аномалии на вековом стандартном разрезе №6 «Кольский меридиан» в слое 0-200 м основной ветви Мурманского течения (станции 3-7).

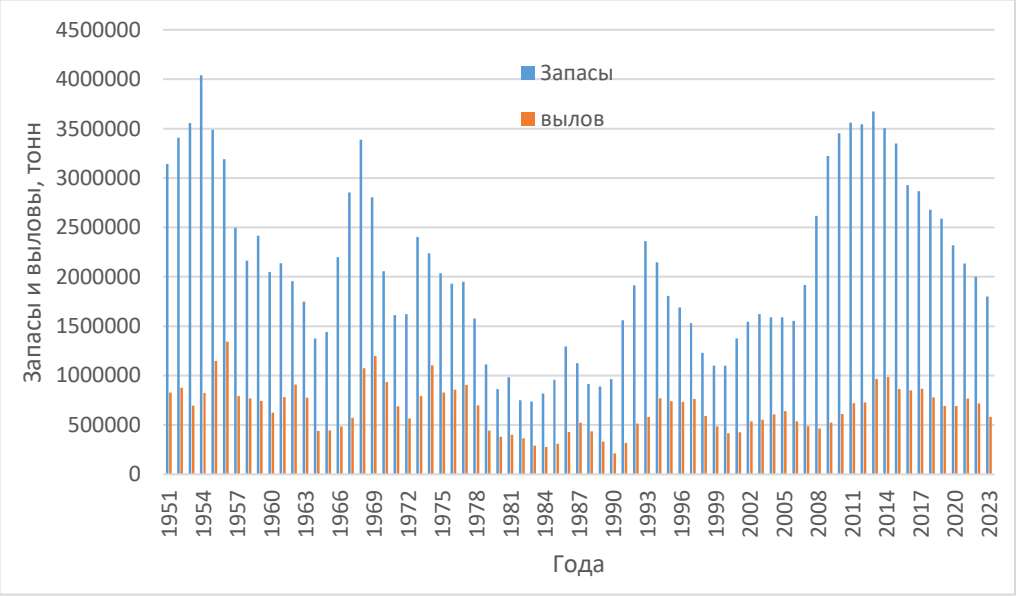


Рисунок 4 Запасы и вылов северо-восточной арктической трески с 1951 по 2023 гг

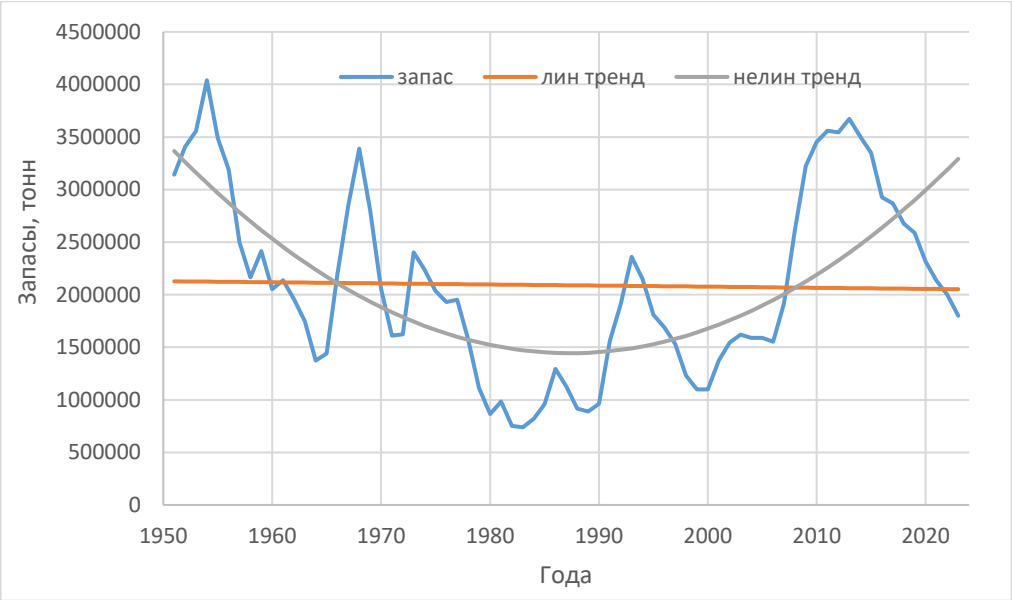


Рисунок 5 Ход среднегодовых значений промысловых запасов северо-восточной арктической трески и их тенденции (линейная и полиномиальная) в период с 1951 по 2023 год

Северо-восточная арктическая треска является ценнейшим промысловым видом Баренцева моря и соседних акваторий с самыми большими по запасам и вылову. Последний раз локальный максимум по запасам трески был достигнут в 2012-2013 гг после чего началось постепенное снижение. На данный момент согласно расчётам RN-AFWG (Joint Russian-Norwegian Arctic Fisheries Working Group) запасы трески находятся на уровне ниже среднемноголетнего. Это же можно увидеть на графике (рисунок 5), в 2013 г запасы трески достигли значения 3672 тыс.тонн, а к 2023 году снизились до 1800 тыс.тонн, при среднем многолетнем значении 2100 тыс.тонн.

Хотя колебание значений вылова повторяет ход запасов, изменения не столь значительны и колеблются в диапазоне от 200 тыс. тонн до 1200 тыс.тонн.

На рисунке 5 представлен ход значений промысловых запасов трески с рассчитанными линейным и нелинейным трендом. Проверку на значимость по критерию Стьюдента прошёл только нелинейный тренд (t*=10.43 при

tкр=1.99), линейный тренд проверку не прошёл (t*=0.22 при tкр=1.99), поэтому можно считать, что его нет.

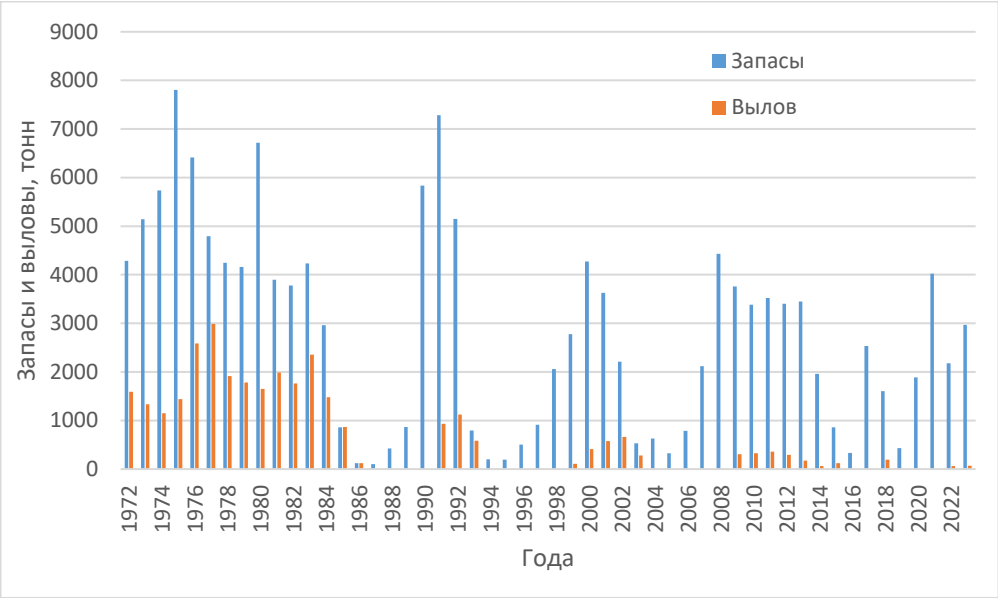


Рисунок 6 Общие запасы и выловы баренцевоморской мойвы в 1972-2023 гг.

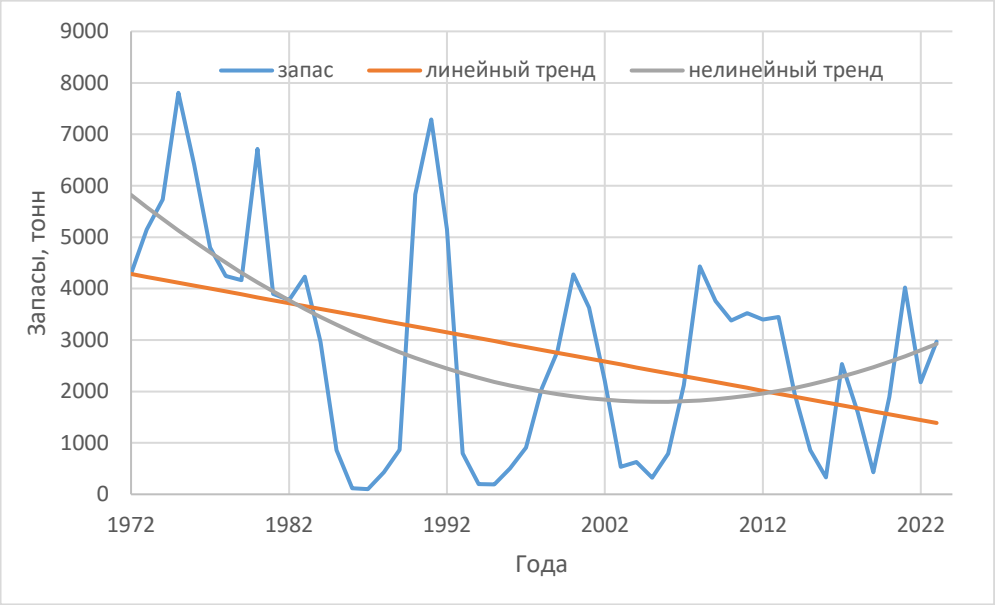


Рисунок 7 Ход среднегодовых значений запасов баренцевоморской мойвы и их тенденции (линейная и полиномиальная) в период с 1951 по 2023 год

Говоря о запасах баренцевоморской мойвы, в отличии от трески, на графиках можно заметить значительные колебания. Начиная с 80-х годов, в результате чрезмерной эксплуатации, запасы мойвы в первый раз оказались в депрессивном состоянии (рисунок 6), опустившись до критического значения в 100 тыс.тонн, это послужило причиной первого запрета промысла, который

продлился с 1987 по 1990 гг. Тогда численность запасов удалось восстановить, но после эта ситуация повторялась не один раз, только теперь в разные годы такое резкое снижение числа запасов было связано не только с антропогенными факторами, но и с естественными изменениями условий среды. Таким образом, в попытке восстановления и сохранения запасов мойвы всего за 50 лет эксплуатации мораторий на её вылов накладывался 6 раз, включая 2025 и 2026гг.

На рисунке 7 представлен график хода среднегодовых значений запасов баренцевоморской мойвы с посчитанными линейным и нелинейным трендом. Оба тренда оказались значимыми и указывают на снижение числа запасов. Но для дальнейших расчётов предпочтение было отдано нелинейному тренду, так как он вносит больший вклад в исходную дисперсию ряда (30% для нелинейного тренда, вместо 17% для линейного). Несмотря на то, что с 2022 по 2023 гг запасы мойвы возросли, они всё ещё находятся в подавленном состоянии, и вероятно могут продолжить снижаться, без принятия серьёзных мер регулирования.

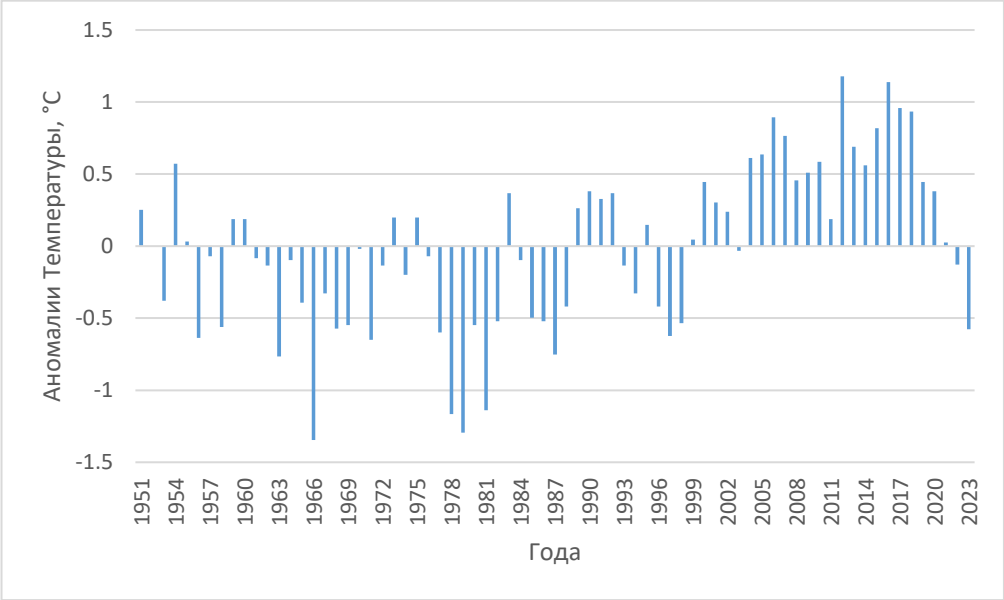


Рисунок 8 Среднегодовые аномалии температуры воды в слое 0-200 м на разрезе Кольский меридиан в 1951-2023 гг. на основной ветви мурманского течения (ст. 3-7)

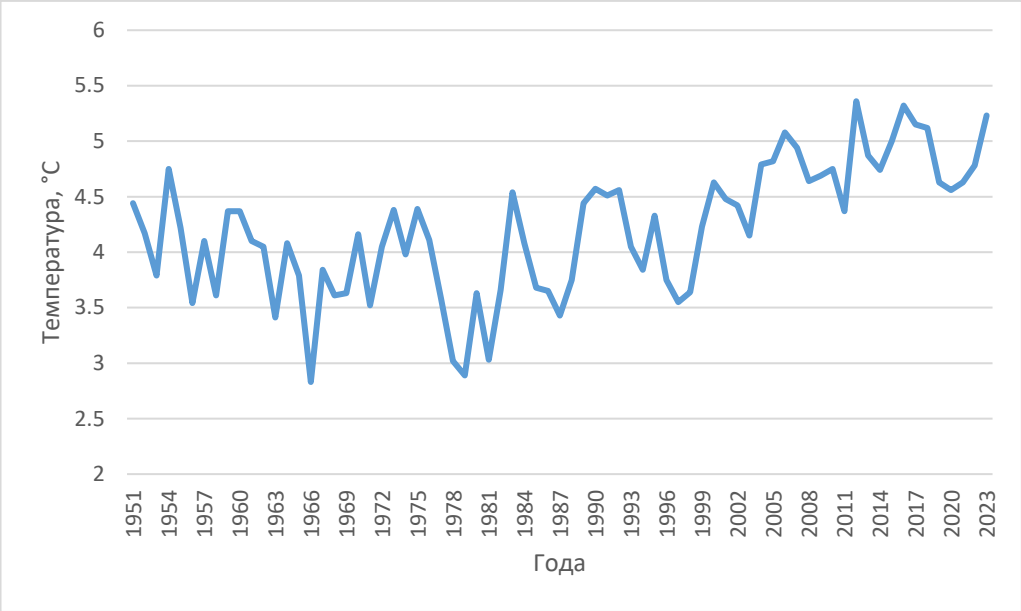


Рисунок 9 Среднегодовые значения температуры воды в слое 0-200 м на разрезе Кольский меридиан в 1951-2023 гг. на основной ветви мурманского течения (ст. 3-7)

В качестве предикторов для прогнозирования запасов трески и мойвы были выбраны ряды среднегодовых значений температуры воды №6 «Кольский меридиан» в слое 0-200 м основной ветви Мурманского течения (станции 3-7) и температурные аномалии на вековом стандартном разрезе №6 «Кольский меридиан».

При рассмотрении выбранных исходных данных стоит также отметить схожесть хода запасов трески с ходом среднегодовых аномалий температуры воды на кольском меридиане (рисунок 8). Рассматривая графики, можно отчётливо увидеть повторяющиеся для обоих показателей точки максимумов и минимумов, что уже может указывать на наличие связи между ними.

Для мойвы при сравнении рисунков 7 и 9 можно увидеть, как за последние 50 лет с ростом температуры снижаются запасы мойвы, из чего можно сделать предположить, что рост температуры оказывает, если не прямое, то косвенное влияние на изменение запасов мойвы.

ГЛАВА 3 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1 Автокорреляционный анализ

Так как для дальнейшего анализа одними из предикторов были выбраны собственные запасы каждого вида с определёнными сдвигами, было решено также провести автокорреляционный анализ, чтобы увидеть зависимость ряда от собственных значений на предыдущих шагах.

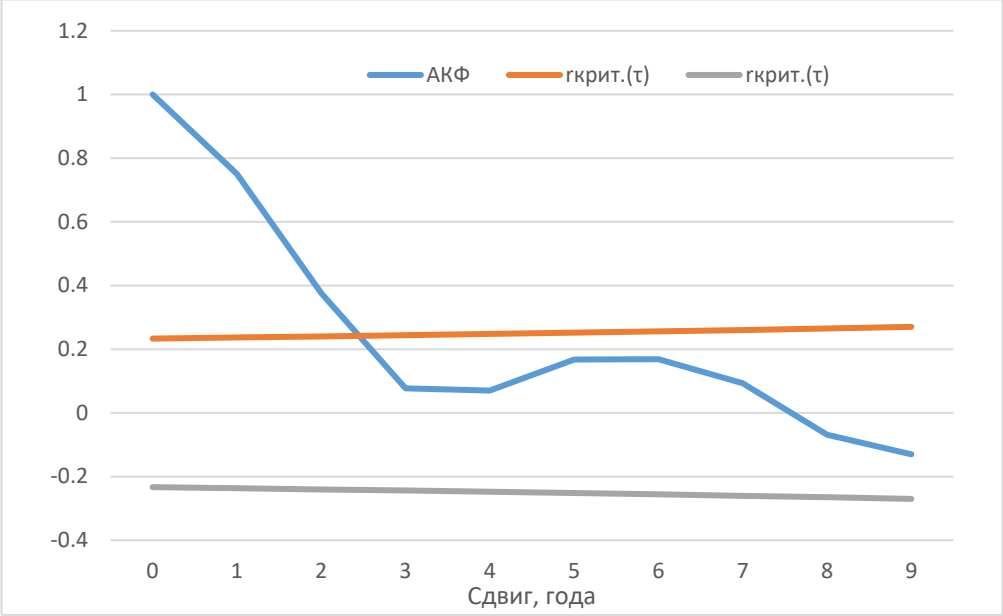


Рисунок 10 Автокорреляционная функция межгодовой изменчивости запасов северо-восточной арктической трески

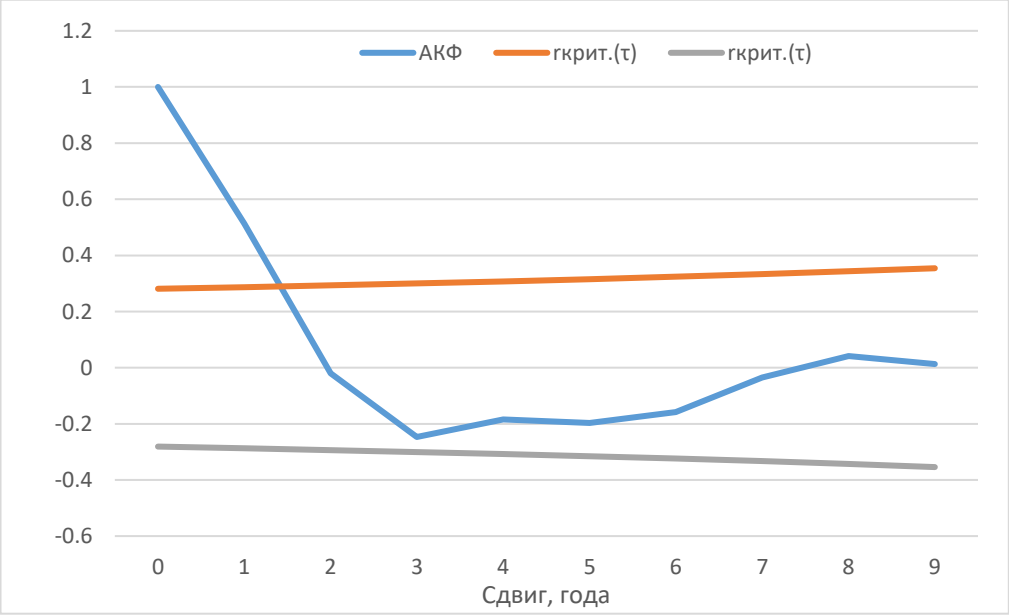


Рисунок 11 Автокорреляционная функция межгодовой изменчивости запасов баренцевоморской мойвы

Данные графики представляют собой автокорреляционные функции межгодовой изменчивости запасов северо-восточной арктической трески и баренцевоморской мойвы. Радиусы корреляции для функций составили 7-8 лет для трески и 2 года для мойвы, таким образом в первом случае процесс считается инерционным, так как радиус превысил 4-5 единиц дискретности, а во втором – процесс неинерционный. Процессы не периодичны. Для этих функций можно составить автопрогноз, заблаговременность которого определяется как сдвиг, где коэффициент корреляции значим. Для трески таких сдвигов два, в первый и второй год, но был выбран именно сдвиг в первый год, так как коэффициент корреляции на нём значительно выше и равен 0.75. Для мойвы такой сдвиг только один, на первый год и равен 0.51. Таким образом для обоих видов было решено сделать автопрогноз с заблаговременностью в 1 год.

Таблица 1 Регрессионная статистика запасов северо-восточной арктической трески с учётом вычета тренда.

Регрессионная статистика					
Множественный R	0.92				
R-квадрат	0.85				
Нормированный R-квадрат	0.85				
Стандартная ошибка	331954.01				
Наблюдения	72.00				
Дисперсионный анализ					
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	4.53E+13	4.53171E+13	411.250119	5.08631E-31
Остаток	70	7.71E+12	1.10193E+11		
Итого	71	5.3E+13			
	Коэффициенты		*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*
Аномалии температуры	158252.77		102300.92	1.55	0.13
Запас	0.92		0.05	20.28	0.00

Таблица 2 Регрессионная статистика запасов баренцевоморской мойвы с учётом вычета тренда

Регрессионная статистика				
Множественный R	0.72			
R-квадрат	0.52			

Нормированный R-квадрат	0.51				
Стандартная ошибка	1458.62				
Наблюдения	51.00				
Дисперсионный анализ					
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	1	1.14E+08	114248232	53.6991	2.06E-09
Остаток	49	1.04E+08	2127563.4		
Итого	50	2.18E+08			
	Коэффициенты		*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*
Температура	768.60		345.15	2.23	0.03
Запас	0.72		0.10	7.33	0.00

Для дальнейших расчётов были составлены следующие уравнения регрессии первого порядка типа: $Pi+n= a_1*Pi+b$.

P (треска) i+1 = 0.92 * Pi+ 158252.77

P (мойва) i+1 = 0.72 * Pi+768.60

По этим формулам были рассчитаны запасы трески и мойвы, представленные на рисунках 12 и 13. Анализируя качество полученных моделей, можно отметить, что коэффициенты детерминации составили 0.85 для трески и 0.52 для мойвы (таблица 1 и 2). Это говорит о том, что для трески одного предиктора достаточно для описания дисперсии исходного ряда, а для мойвы нет. Тем не менее для обоих видов было решено провести корреляционный анализ с другими возможными независимыми предикторами для построения множественной линейной регрессии и улучшения результатов.

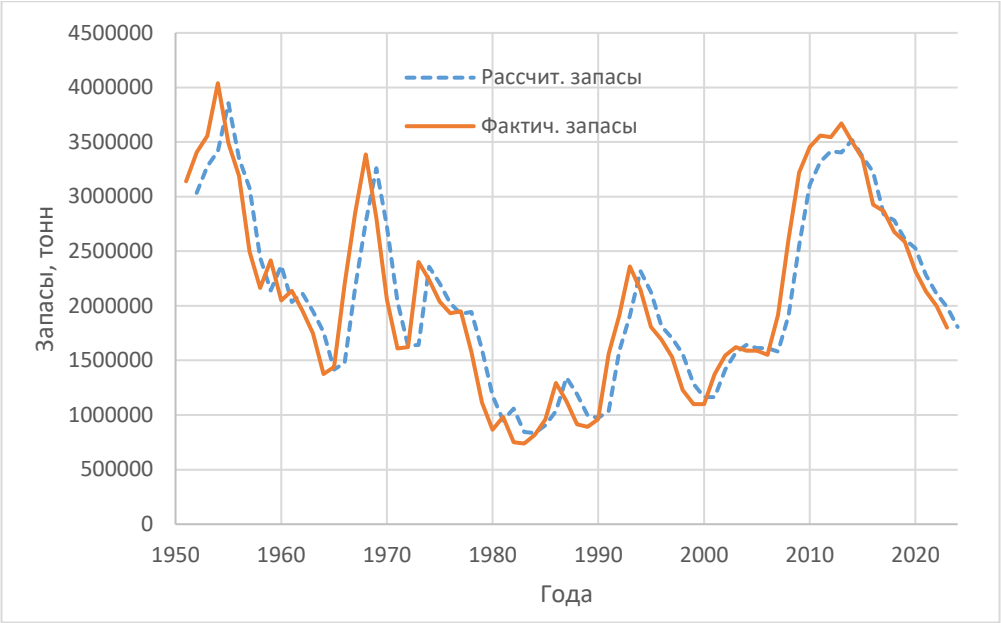


Рисунок 12 Исходные и рассчитанные при помощи автокорреляционного анализа значения запасов северо-восточной арктической трески

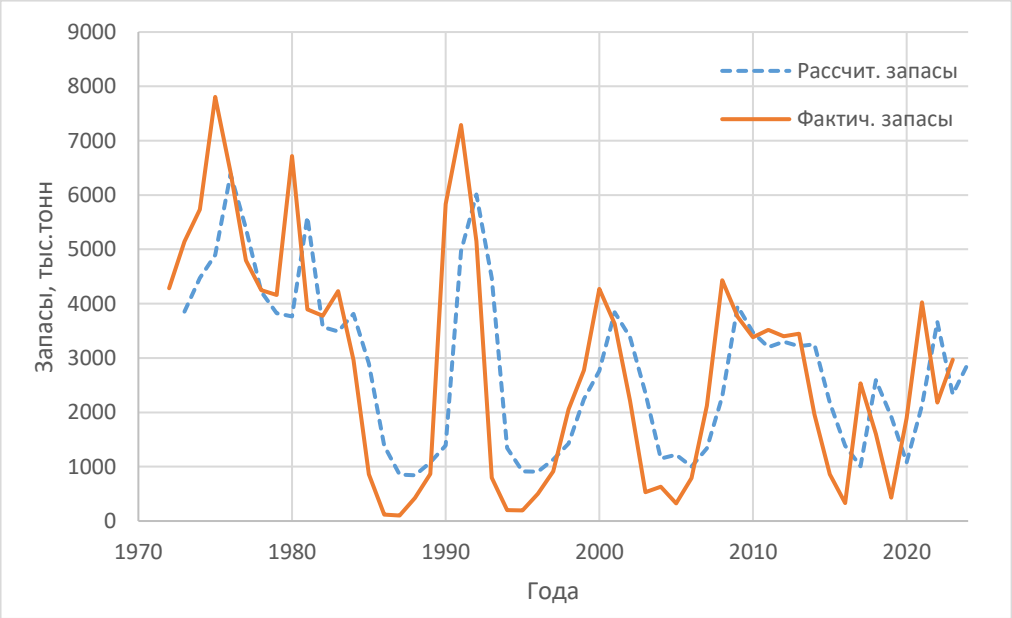


Рисунок 13 Исходные и рассчитанные при помощи автокорреляционного анализа значения запасов баренцевоморской мойвы

На данных графиках представлены исходные и рассчитанные с помощью автокорреляционного анализа ряды запасов северо-восточной арктической пикши и баренцевоморской мойвы. По ним видно, что модель имеет довольно хорошее качество, отклонения от исходного ряда есть, но они не велики, а прогноз в общем соответствует траектории изменения фактических данных.

Можно сделать вывод, что даже с использованием одного предиктора, модель даёт достаточно качественный прогноз.

3.2 Корреляционный анализ

Для выявления связей между рядами данных запасов северо-восточной арктической трески и баренцевоморской мойвы с другими независимыми предикторами был проведён корреляционный анализ, в ходе которого были составлены корреляционные матрицы (таблица 3,4). В качестве возможных предикторов рассматривались данные по среднегодовым значениям температуры, аномалиям температуры и аномалиям солёности векового стандартного разреза №6 «Кольский меридиан», аномалии температуры и солёности, а также индекс Североатлантического колебания NAO.

Таблица 3 Корреляционная матрица для ряда среднегодовых значений запасов северо-восточной арктической трески

	запасы трески	NAO	аномалии T	аномалии S	ср.г. T кольский р.
запасы трески	1				
NAO	-0.17	1			
аномалии T	0.45	0.19	1		
аномалии S	0.36	-0.28	0.03	1	
ср.г. T кольский р.	0.39	0.15	0.86	0.03	1

Таблица 4 Корреляционная матрица для ряда среднегодовых значений запасов баренцевоморской мойвы

	запасы мойвы	NAO	аномалии T	аномалии S	ср.г. T кольский р.
запасы мойвы	1				
NAO	0.03	1			
аномалии T	-0.08	0.10	1		
аномалии S	-0.07	-0.15	0.21	1	
ср.г. T кольский р.	-0.15	0.02	0.82	0.21	1

Из приведённых выше таблиц видно, что наибольший коэффициент корреляции наблюдается между запасами трески и аномалиями температуры, и запасами мойвы и среднегодовыми значениями температуры на Кольском разрезе. Из чего можно сделать вывод, что изменения температуры в целом всё

же оказывает большее влияние на запасы выбранных видов рыб, чем прочие факторы.

3.3 Множественная линейная регрессия

После выбора независимых предикторов с помощью метода корреляции, полученные результаты были объединены с автокорреляционным анализом и применены в методе множественной линейной регрессии.

Уравнение множественной линейной регрессии в общем случае имеет вид - (Yi+n=a1*X1i+a2*X2i+a0). Чтобы составить уравнения такого типа для обоих видов, была выполнена регрессионная статистика (таблицы 5 и 6). Тогда уравнения выглядят следующим образом:

P (треска) i+1 = 0.96*Pi - -72681.87*Ti + 106796.51

P (мойва) i+1 = 0.67*Pi - -690.21*Ti + +3931.42

Таблица 5 Регрессионная статистика для среднегодовых значений запасов северо-восточной арктической трески

Регрессионная статистика					
Множественный R	0.93				
R-квадрат	0.86				
Нормированный R-квадрат	0.85				
Стандартная ошибка	339588.02				
Наблюдения	70.00				
Дисперсионный анализ					
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	2	4.63E+13	2.316E+13	200.87215	4.98E-29
Остаток	67	7.73E+12	1.153E+11		
Итого	69	5.41E+13			
	Коэффициенты		*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*
Y-пересечение	106796.51		115541.22	0.92	0.36
Аномалии температуры	-72681.87		78816.95	-0.92	0.36
Запас	0.96		0.05	18.40	0.00

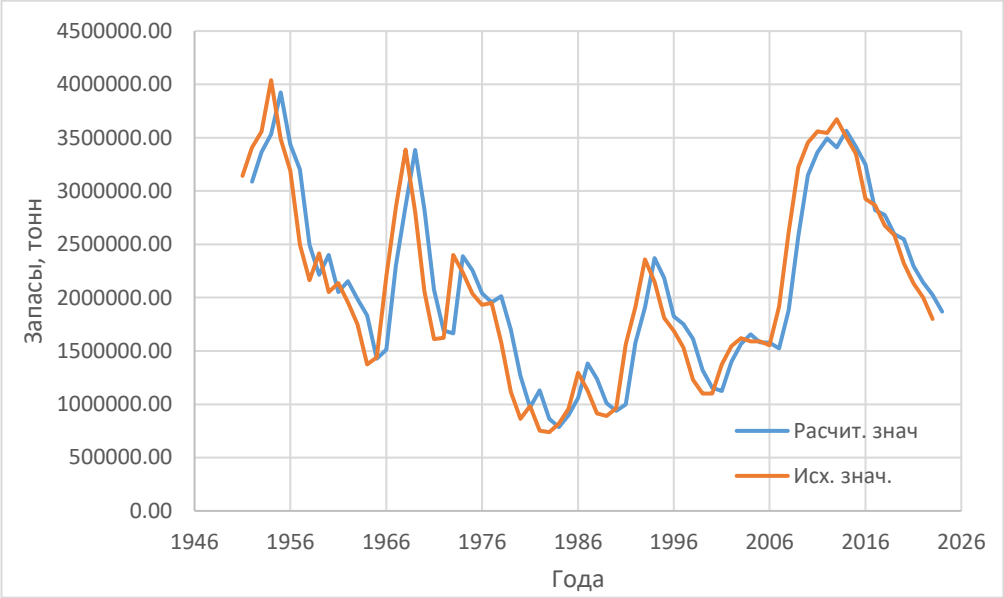


Рисунок 14 Исходные и рассчитанные при помощи модели множественной линейной регрессии значения запасов северо-восточной арктической трески

Получившееся уравнение, хотя и не на много, но улучшило качество модели по сравнению с расчётом по автокорреляционной функции. Коэффициент детерминации увеличился до 0.86 (таблица 5), что также говорит о том, что двух выбранных предикторов достаточно для описания изменчивости запасов. Проверку на значимость прошёл только один коэффициент регрессии, но относительная ошибка составила всего 0.39 среднеквадратического отклонения исходного ряда (СКО), что меньше 0.67 СКО и считается малой ошибкой. Модель также прошла проверку по критерию Фишера и считается адекватной.

Таблица 6 Регрессионная статистика для среднегодовых значений запасов баренцевоморской мойвы

Регрессионная статистика				
Множественный R	0.76			
R-квадрат	0.57			
Нормированный R-квадрат	0.55			
Стандартная ошибка	1429.85			
Наблюдения	49.00			
Дисперсионный анализ				

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Значимость F*
Регрессия	2	1.25E+08	62365037	30.50405	3.69E-09
Остаток	46	94046271	2044484.1		
Итого	48	2.19E+08			
	Коэффициенты		*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*
Y-пересечение	3931.42		1649.87	2.38	0.02
Температура	-690.21		351.37	-1.96	0.06
Запас	0.67		0.10	6.51	0.00

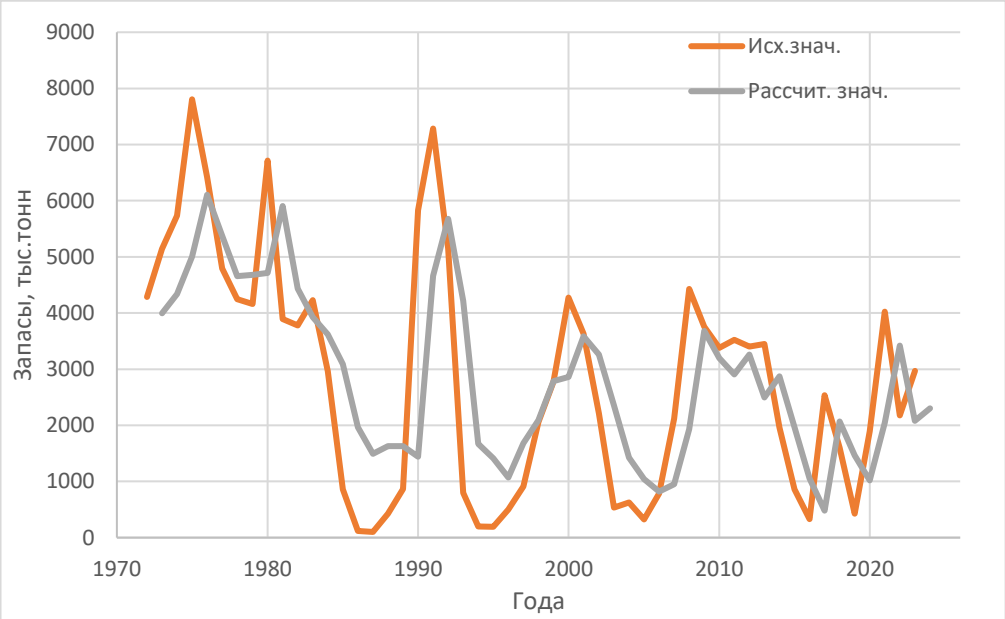


Рисунок 15 Исходные и рассчитанные при помощи модели множественной линейной регрессии значения запасов баренцевоморской мойвы.

При расчёте запасов мойвы улучшение качества модели были чуть заметней, коэффициент детерминации увеличился с 0.52 до 0.57 (таблицы 2 и 6), тем не менее, значение меньше 0.70 говорит о том, что даже двух предикторов недостаточно для описания дисперсии исходного ряда. Из коэффициентов регрессии значимым также как и у трески оказался только один из двух. Относительная ошибка составила 0.69, что больше 0.67 СКО, но меньше единицы, что считается приемлемым. Проверка по критерию Фишера показала, что модель адекватна.

Анализируя полученные графики изменчивости рассчитанных и фактических запасов трески и мойвы (рисунки 14,15), можно сказать, что расчётные данные не совсем повторяют исходные, но имеют схожий вид.

Стоит также отметить, что расчёты запасов трески имеют более высокое качество, чем расчёт запасов мойвы. Тем не менее обе модели показали приемлемый результат.

Сравнивая полученные модели с моделями, использовавшими лишь один предиктор, можно сделать вывод, что они мало различаются. Модели множественной регрессии точнее, но довольно незначительно.

3.4 Спектральный анализ

При расчёте с помощью спектрального анализа сначала были рассмотрены запасы северо-восточной арктической трески. По исходному ряду была составлена периодограмма, по которой были определены периоды «пиков» спектра для дальнейшего расчёта характеристик гармоник.

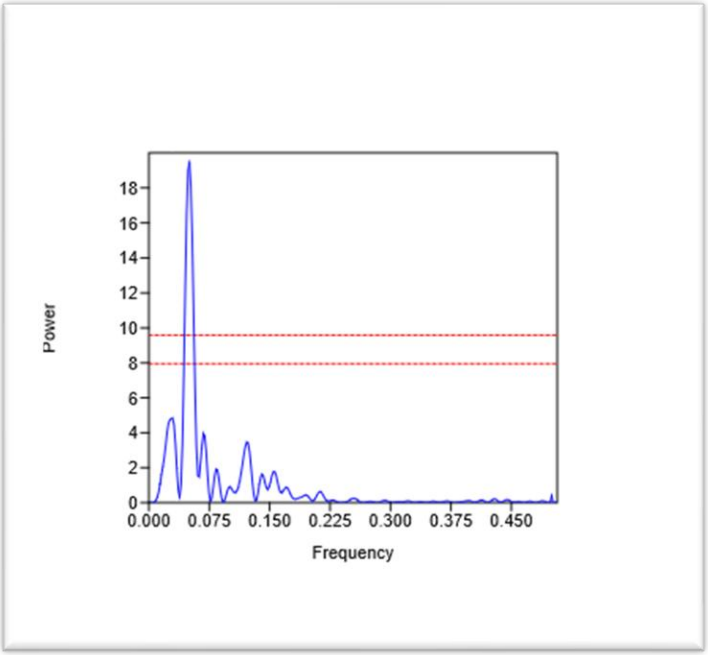


Рисунок 16 Периодограмма для среднегодовых значений запасов северо-восточной арктической трески.

Таблица 7 Расчет характеристик гармоник для среднегодовых значений запасов северо-восточной арктической трески

Параметры гармоник	Гармоника 1	Гармоника 2	Гармоника 3
Частота, 1/[время]	0.03	0.05	0.12
Период, [время]	33.33	19.86	8.23
Частота, рад/[время]	0.19	0.32	0.76
К-т Фурье ak	-326673.85	473509.05	279355.49

К-т Фурье bk	-4413.50	483404.71	-38904.29
A, oC	326703.67	676676.39	282051.48
Фаза, рад	4.70	0.78	1.71
Фаза, [время]	24.93	2.45	2.24
Дисперсия гармоники, oC2	53367642781	2.28945E+11	39776517326
Дисперсия исх.ряда отклонений от тренда, oC2	4.13529E+11	4.13529E+11	4.13529E+11
Вклад гармоники в ряд отклонений от тренда	0.13	0.55	0.10
t*- критерий Стьюдента оценки значимости вклада гармоники	3.50	14.14	2.91
σ	0.10	0.05	0.11
t кр	1.99	1.99	1.99

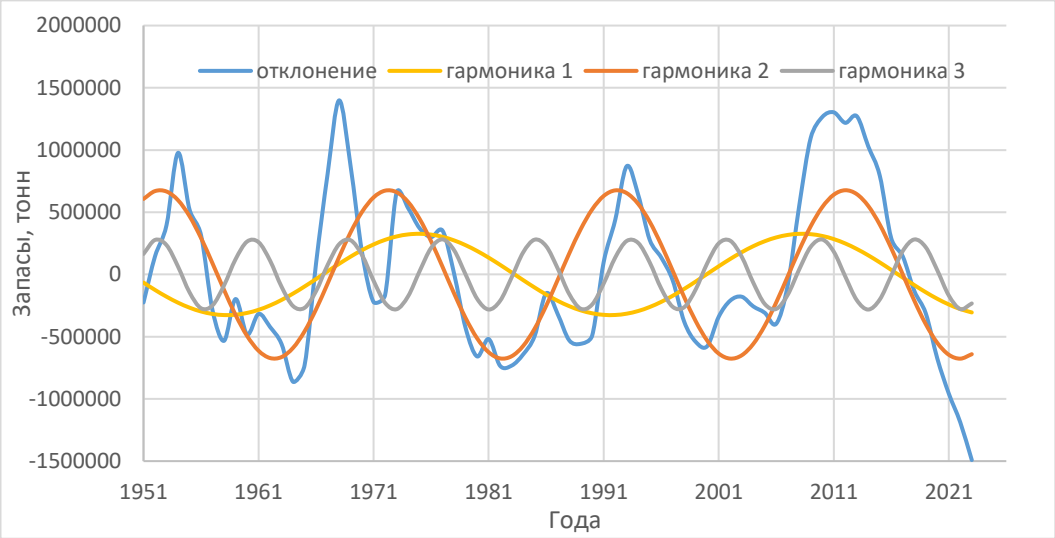


Рисунок 17 Совмещённый график исходных данных запасов северо-восточной арктической трески (с вычетом нелинейного тренда) и выявленных гармоник

Для северо-восточной арктической трески расчёты проводились для трёх гармоник, все из которых прошли проверку по критерию Стьюдента (t* были равны 3.50, 14.14 и 2.91, что больше tкр, равного 1.99) и оказались значимы. Из выявленных гармоник наибольший вклад в ряд отклонений от тренда внесла гармоника с периодом в 20 лет, он составил 55% (см.таблицу 7), две другие гармоники внесли значительно меньший вклад 13 и 10% для гармоник с периодами 33 и 8 лет соответственно. По этим гармоникам был получен восстановленный ряд запасов, представленный на рисунке 18. Хотя в целом расхождения восстановленного и исходного ряда оказались не велики, а обеспеченность модели составила около 90%, тем не менее для трески

спектральный анализ показал худший результат из всех трёх использованных методов.

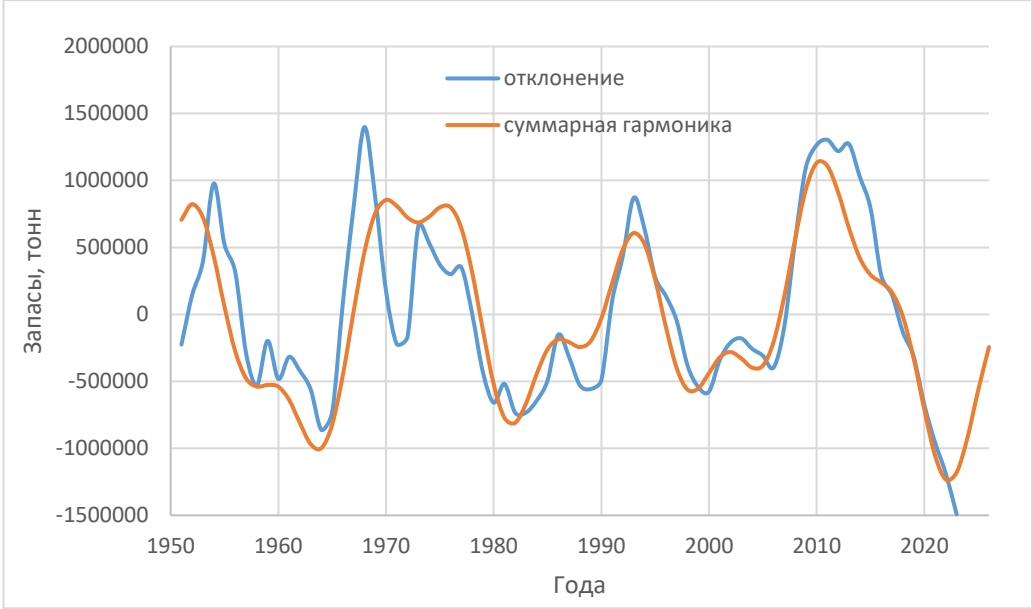


Рисунок 18 Исходные (с вычетом нелинейного тренда) и рассчитанные с помощью спектрального анализа (сложением трёх гармоник) значения запасов северо-восточной арктической трески

Далее все те же действия были проделаны для запасов баренцевоморской мойвы.

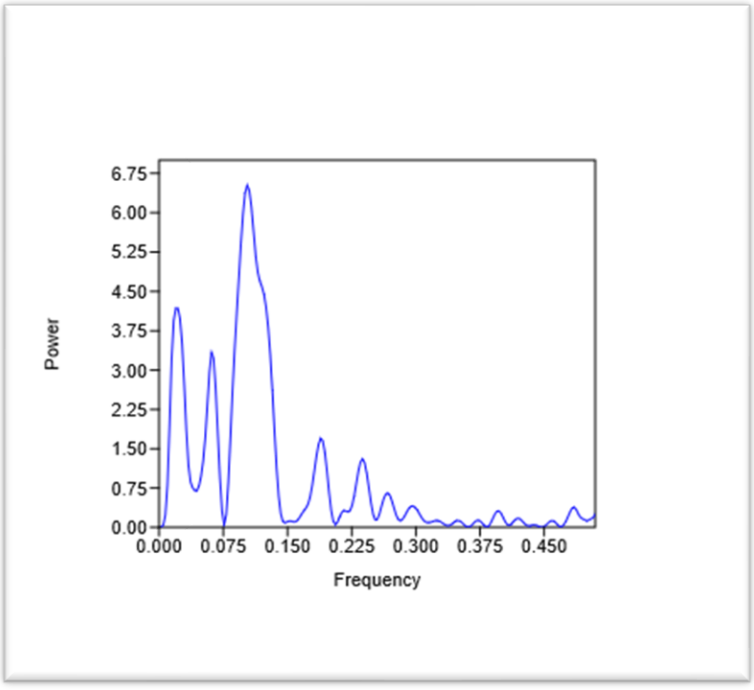


Рисунок 19 Периодограмма для среднегодовых значений запасов баренцевоморской мойвы

Таблица 8 Расчет характеристик гармоник для среднегодовых значений запасов баренцевоморской мойвы

Параметры гармоник	Гармоника 1	Гармоника 2	Гармоника 3
Частота, 1/[время]	0.02	0.10	0.06
Период, [время]	51.00	9.71	16.67
Частота, рад/[время]	0.12	0.65	0.38
К-т Фурье ak	-309.45	360.85	737.49
К-т Фурье bk	78.35	1187.55	-535.69
A, oC	319.22	1241.16	911.52
Фаза, рад	-1.32	0.29	2.20
Фаза, [время]	-10.74	0.46	5.83
Дисперсия гармоники, oC2	50949.90	770243.03	415431.59
Дисперсия исх.ряда отклонений от тренда, oC2	3045505.05	3045505.05	3045505.05
Вклад гармоники в ряд отклонений от тренда	0.02	0.25	0.14
t*- критерий Стьюдента оценки значимости вклада гармоники	1.12	5.71	3.63
σ	0.12	0.09	0.10
t кр	2.01	2.01	2.01

Для мойвы также были выбраны три 3 пика, по которым рассчитывались гармоники, представленные на рисунке 20. Но в отличии от трески из рассчитанных гармоник только две оказались значимы. Гармоника1, с периодом в 50 лет не прошла проверку по критерию Стьюдента (t*), он составил всего 1.12 (см. таблица 8), при критическом значении tкр=2.01, для гармоник 2 и 3, с периодами 10 и 17 лет, t*=5.71 и 3.63, что было больше рассчитанного tкр. Вклад этих гармоник в ряд отклонений составил 25% для гармоники с периодом 10 лет и 14% для гармоники с периодом 17 лет. Исходя из всего вышесказанного, а также посмотрев на рисунок 21, можно сказать, что восстановленный ряд значений в общих чертах повторяет исходный, но выбранных двух гармоник всё же было недостаточно и модель показала не самые лучшие результаты.

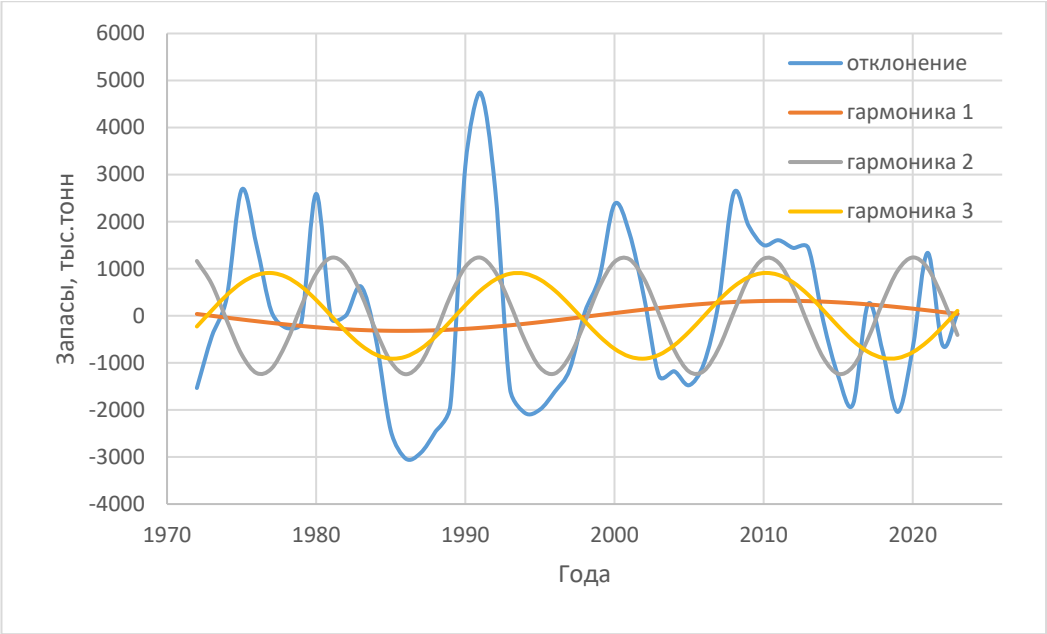


Рисунок 20 Совмещённый график исходных данных запасов баренцевоморской мойвы (с вычетом нелинейного тренда) и выявленных гармоник

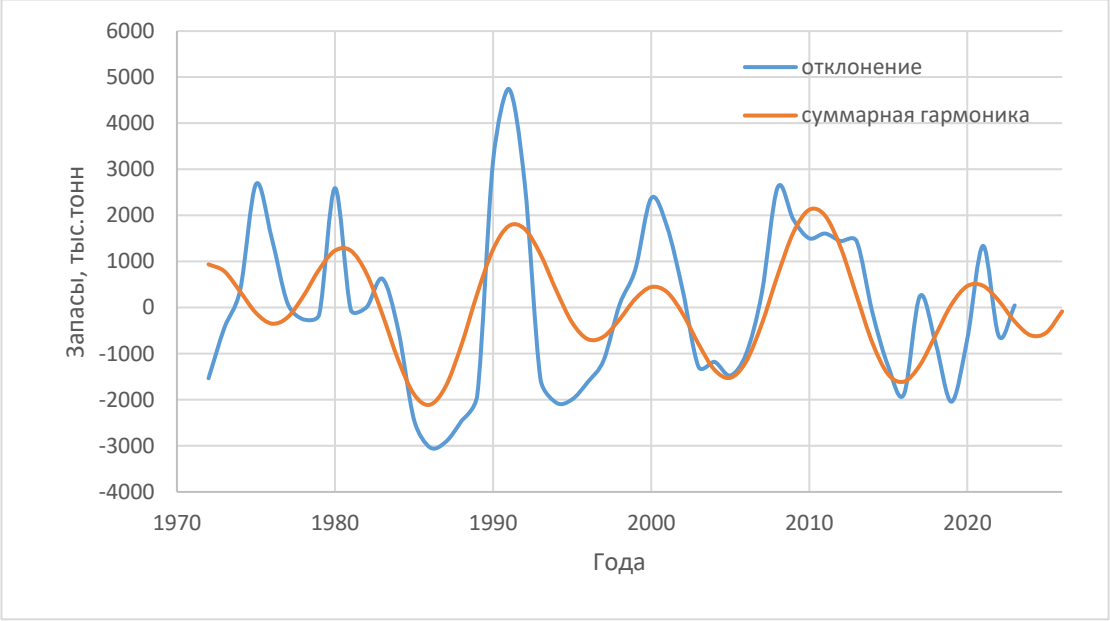


Рисунок 21 Исходные (с вычетом нелинейного тренда) и рассчитанные с помощью спектрального анализа (сложением двух гармоник) значения запасов баренцевоморской мойвы

Также в ходе работы было выявлено, что между рядами запасов северо-восточной арктической трески и баренцевоморской мойвы наблюдались совпадения в периодах гармоник. Но поскольку для трески гармоники, период которых совпал с гармониками мойвы вносят не основной вклад в исходный ряд, довольно сложно сделать однозначный вывод об их связи. Мойва

действительно составляет довольно большой процент рациона арктической трески, поэтому резкое уменьшение её запасов, может оказывать негативное влияние и на её запасы, но также вполне вероятно, что в отсутствие мойвы треска сможет довольно спокойно обходиться и другими кормовыми ресурсами.

3.5 Модель Шефера

Для проведения расчётов с помощью модели Шефера в первую очередь были найдены коэффициенты воспроизводства (A) и естественной смертности (B).

Для трески: A= 0.33, B=2E-10

Для пикши: A=0.61, B= 2.8653E-6

Далее расчёт прогностических значений проводился для трёх значений коэффициента промыслового изъятия. Для северо-восточной арктической трески эти коэффициенты составили 30, 35 и 40%. Соответственно в первом случае при меньшем коэффициенте изъятия был спрогнозирован рост запасов, в двух других случаях, с большими коэффициентами, запасы должны уменьшится, но с разной степенью.

Таблица 9 прогноз запасов северо-восточной арктической трески с различными коэффициентами промыслового изъятия.

Год	C=30%	C=35%	C=40%
2023	1800000	1800000	1800000
2024	1861890	1771103	1684743
2025	1925878	1742682	1576908
2026	1992035	1714729	1476012

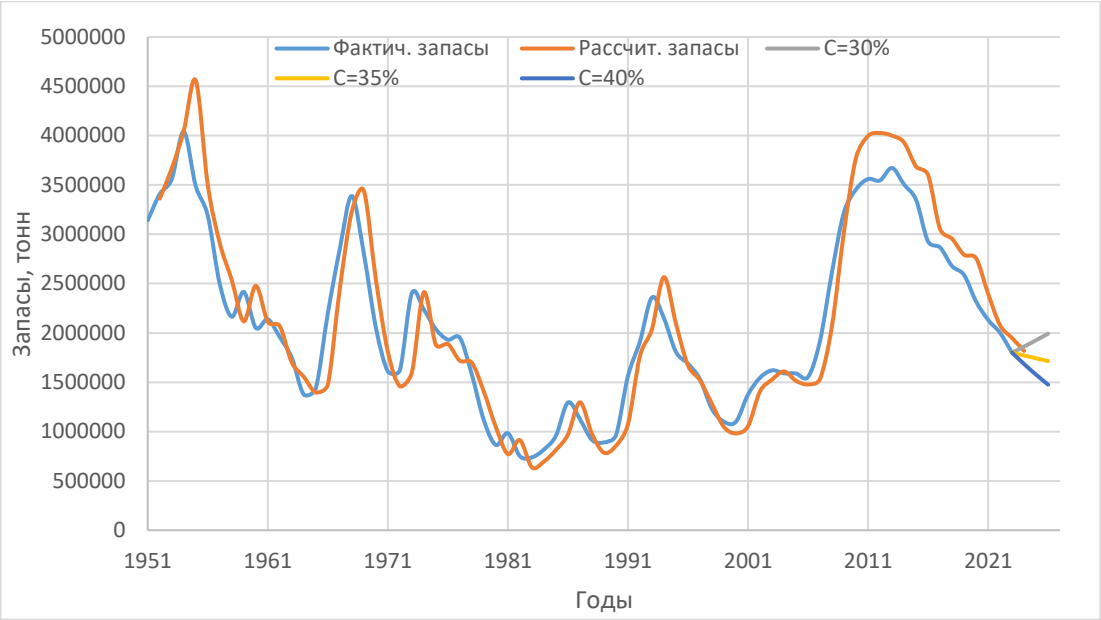


Рисунок 22 Исходные и рассчитанные при помощи модели Шефера значения запасов северо-восточной арктической трески

На рисунке 12 представлен график исходных и рассчитанных по модели Шефера данных по запасам северо-восточной арктической трески, а также их прогноз до 2026г. По полученным результатам можно сделать вывод, что наиболее оптимальным будет являться коэффициент изъятия в 35%, так как он позволяет оценить наиболее вероятный исход, без резкого увеличения количества запасов, но при этом позволяет избежать варианта с их устойчивым сокращением при наибольшем коэффициенте извлечения.

Расчёт запасов мойвы также проводится для трёх коэффициентов промыслового изъятия, но уже со значениями в 40, 55 и 65%. Коэффициенты были выбраны так, что в первых двух случаях можно наблюдать рост запасов в разной степени, а в третьем случае, с наибольших коэффициентом изъятия – снижение.

Таблица 10 Таблица 7 прогноз запасов баренцевоморской мойвы с различными коэффициентами изъятия.

Год	C=40%	C=55%	C=65%
2023	2970	2970	2970
2024	3623.497	3120.9314	2825.134
2025	4411.686	3278.0857	2688.418
2026	5358.025	3441.5724	2559.292

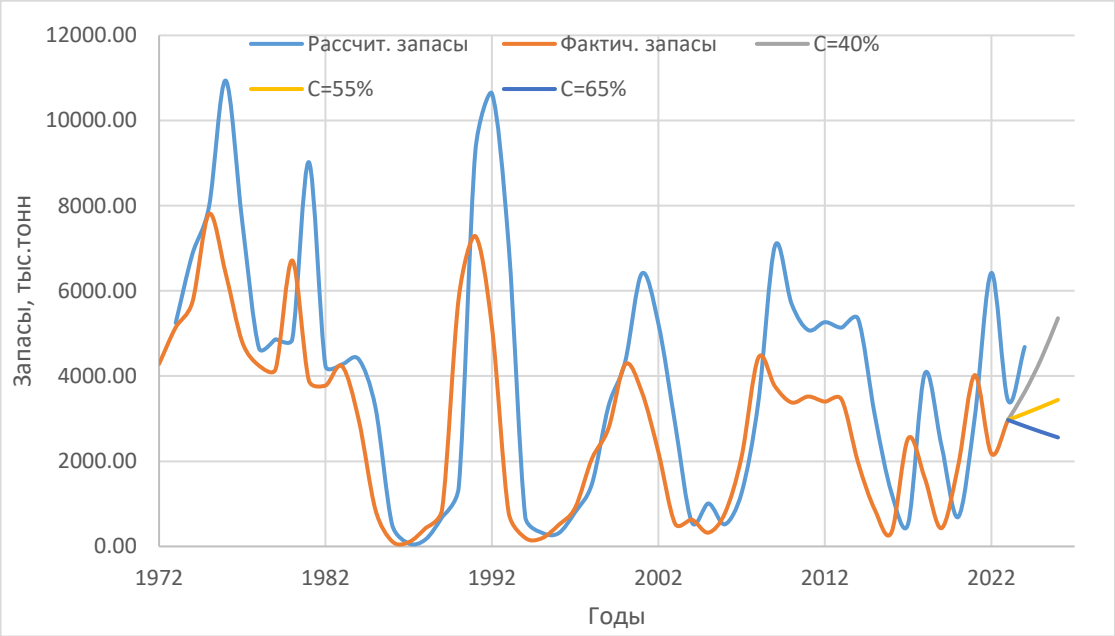


Рисунок 10 Исходные и рассчитанные при помощи модели Шефера значения запасов баренцевоморской мойвы

На графике выше представлены рассчитанные и исходные данные по запасам мойвы. Самым приемлемым коэффициентом в данном случае можно считать 55%.

Стоит отметить, что из всех представленных в данной работе моделей именно модель Шефера показала худшие результаты в вычислении запасов мойвы. Это можно связать с тем, что используемый в данной модели метод наименьших квадратов больше нацелен на равновесное состояние и хуже описывает ряды с большими разбросом значений. Такие колебания не просто наблюдаются в данных по запасам мойвы, но ещё и довольно часты, из-за чего результаты довольно сильно искажены. На графике можно заметить, что рассчитанные значения получились сильно завышенными в сравнении с исходными данными, а коэффициенты изъятия при находящихся в подавленном состоянии запасов мойвы, получились даже выше, чем у северо-восточной арктической трески. Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что модель Шефера плохо подходит для расчёта запасов баренцевоморской мойвы.

3.6 Сравнение качества методов

Таблица 11 Сводная таблица обеспеченности для трёх моделей

	Треска	Мойва
Множественная линейная регрессия	100	84.6
Спектральный анализ	90.4	78.85
Модель Шефера	98.6	68.6

Сравнивая результаты полученных значений обеспеченности для трёх моделей, можно сделать следующие выводы:

Лучше всего себя показала модель множественной линейной регрессии, для обоих видов именно она дала самые большие проценты при расчёте обеспеченности (100% для трески и 84.6 для мойвы). Но, несмотря высокий процент обеспеченности, стоит учитывать, что в отличии от других моделей прогноз множественной линейной регрессии давался только на 1 год из-за отсутствия данных предикторов за 24, 25 года.

Метод спектрального анализа показывает неплохие результаты, но всё же проигрывает в обеспеченности другим моделям.

Модель Шефера также может показать хороший результат с высоким процентом обеспеченности, но подходит не для всех рядов данных. Поэтому по расчётам запасов трески эта модель показала результат в 98.6% (таблица 11), а при расчёте запасов мойвы всего лишь 68.6 %, так как модель хуже рассчитывает для рядов с большими колебаниями значений. В качестве преимуществ модели можно отметить, что для неё требуются только данные по запасам и вылову, а также она даёт возможность подбирать коэффициент изъятия, благодаря чему можно увидеть разные варианты прогноза.

Сравнить качество полученных результатов можно не только между моделями, но и между выбранными видами. По таблице 11 видно, что обеспеченность всех моделей при расчёте запасов трески была выше, чем при расчёте запасов мойвы. Причём, если для множественной линейной регрессии

и спектрального анализа разница составила 12-15%, то по модели Шефера это значение равнялось уже 30%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе проводился расчёт запасов двух промысловых видов рыб Северного бассейна: северо-восточной арктической трески и баренцевоморской мойвы. Они являются одними из ценнейших промысловых видов Баренцевоморского бассейна и соседних вод. Треска безусловно является самым многочисленным и лидирующим видом по численности и вылову. Мойва также входит в основные промысловые виды рыб, и хотя её численность не так велика, необходимость проведения данных расчётов и отслеживания её состояния заключается в том, что мойва – основа сырьевой базы пелагического промысла Баренцева моря, она является основой питания не только многих видов хищных, включая арктическую треску, но многих видов млекопитающих и птиц.

Для исследования использовались метод спектрального анализа, метод множественной линейной регрессии и модель Шефера.

В качестве исходных использовались данные по запасам и вылову выбранных промысловых видов в Баренцевом море с 1951 по 2023 г для северо-восточной арктической трески и с 1971 и 2023 г. для мойвы. Помимо этого, в качестве предикторов были взяты среднегодовые значения температур и температурные аномалии векового стандартного разреза №6 «Кольский меридиан» в слое 0-200 м основной ветви Мурманского течения (станции 3-7).

1. На данный момент запасы трески находятся в состоянии ниже среднемноголетнего и, судя по предварительным данным и прогнозам ПИНРО, а также прогнозам, полученным в ходе данной выпускной квалификационной работы, продолжают уменьшаться.

2. При проверке восстановления запасов трески лучшие результаты были получены с использованием метода множественной линейной регрессии и модели Шефера (обеспеченность 100% и 98.6% соответственно). То есть обе модели показали хороший уровень обеспеченности расчётов с разницей меньше чем в 2%. Таким образом, при прогнозировании запасов модель

Шефера показывает, что с 2023 по 2026 гг. показатели запасов снизятся с 1800 до 1710 тыс. тонн при коэффициенте изъятия 35%. Модель множественной регрессии хотя и имеет большую обеспеченность, но из-за отсутствия данных, прогноз можно было дать только на 1 год, таким образом модель показывает снижение запасов с 2023 по 2024 гг с 200 тыс.тонн до 1800 тыс.тонн.

3. Что касается мойвы, то в отличии от трески она гораздо сильнее подвержена различным факторам влияния окружающей среды, а также антропогенному воздействию, из-за чего состояния её запасов довольно нестабильны. Поэтому, начиная с 90-х годов двадцатого столетия, неоднократно вводился мораторий на её вылов с целью сохранения популяции. В последние годы запасы мойвы также находились в подавленном состоянии, вследствие чего на 2025 г. снова был введён временный запрет на её вылов.

4. Из трёх используемых методов, модель множественной линейной регрессии показала наибольшую обеспеченность в 85%. По прогнозу можно увидеть возможный рост запасов приблизительно с 2000 тыс.тонн до 2300 тыс.тонн.

5. В колебаниях запасов трески и мойвы за рассматриваемый период в 50-60 лет имеются общие закономерности, например, гармоники с двумя близкими периодами колебания 8,10 лет и 20,17 лет, но коэффициент корреляции невелик. Исходя из этого нельзя сделать однозначный вывод о чёткой взаимосвязи между колебаниями запасов этих двух видов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амелькина А.С., Анциферов М.Ю., Бакай Ю.И. [и др.] Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого и Карского морей и Северной Атлантики в 2024 г. / науч. ред. К.М. Соколов; отв. за подготовку Пестрикова Л.И.; Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2025. – 168 с.

2. Бойцов В.Д. Треска Баренцева моря: биология и промысел /Бойцов В.Д. [и др.]; под ред. П.И.Савватимского.-Изд. 2-е.-Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2003. – 296 с.е

3. Бойцов В.Д., Мухин А.И., Ярагина Н.А. Особенности нагульных миграций лофотено-баренцевоморской трески в южной части Баренцева моря в зависимости от изменчивости условий среды//Влияние океанологических условий на распределение и динамику популяций 69 промысловых рыб: Сб.докл.третьего сов.-норвюсимп./ПИНРО. – Мурманск, 1987. –С.260-268.

4. География России. Моря. Баренцево море [Электронный ресурс]. – URL: https://geographyofrussia.com/barencevo-more. – (Дата обращения: 20.11.2025).

5. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине «Анализ временных рядов»/ РГГМУ. - Санкт–Петербург, 2025. – с.33.

6. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации»/ РГГМУ. - Санкт–Петербург, 2023. – с.19.

7. Жизнь животных. Том 4. Рыбы / под ред. Т. С. Расса. — М.: Просвещение, 1971. — 656 с.

8. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации: учебник, – издание 2, испр. и доп. – СПб.: РГГМУ, 2020. – 424 с.

9. Пономаренко И.Я. Запасы трески и меры регулирования промысла//Рыбное хозяйство. – 1983. - №7. – С.35-37.