



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)

**На тему: «Оценка и прогноз запасов промысловых видов рыб Северного
бассейна»**

Исполнитель: Толстоброва Светлана Юрьевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель: доктор географических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

Аверкиев Александр Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой**


(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«04» 06 2024 г.

Санкт-Петербург

2024

Содержание

Введение	2
1. Районы и объекты исследования.....	4
1.1 Физико-географическое описание Баренцево моря.....	5
1.2. Физико-географическое описание Норвежского моря.....	8
2. Оценка изменчивости запасов и уловов трески и пикши в Северном бассейне.	11
3. Воспроизведение и прогнозирование запасов трески и пикши. ...	17
3.1. Восстановление и прогноз запасов с помощью корреляционного анализа и уравнений регрессии.	17
3.2 Восстановление и прогноз запасов с помощью модели Шефера	28
3.3. Сравнение результатов, полученных разными методами.	33
Заключение.	35
Список используемой литературы	37

Введение

Северный бассейн является важнейшим промысловым районом для европейской части Российской Федерации. Из общего улова Российской Федерации в 5,2-5,3 млн тонн промысловых видов на Северный промысловый район приходится около 1 млн тонн, примерно 20%. Существенная доля из этого вылова приходится на Баренцево море, меньшая на Норвежское море и Северо-Восточную часть Атлантического океана.

Северо-восточная арктическая треска и северо-восточная арктическая пикша являются традиционными и наиболее массовыми и ценными объектами промысла для России. Их уловы, приходящиеся на Россию, составляли в последние годы от 500 до 600 тыс. тонн трески и от 200 до 250 тыс. тонн пикши. Примерно такая же доля трески приходится на Норвегию. Пикшу Норвегия вылавливает гораздо меньше, чем Россия. Естественные колебания численности и антропогенная нагрузка вылова приводят к значительным колебаниям запасов промысловых видов, особенно трески, пикши, мойвы и др. Поэтому оценка и прогноз состояния запасов трески и пикши, регулирование вылова являются важными задачами как с научной, так и с практической точек зрения.

Цель работы: оценка запасов и уловов двух основных видов промысловых рыб Северного бассейна - северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши, и составление прогноза запасов этих видов на несколько лет.

Для достижения цели в представленной работе необходимо было решить следующие задачи:

- 1) Провести анализ рядов промыслового запаса и уловов трески с 1951 по 2022г. и рядов промыслового запаса и уловов пикши с 1952 по 2022 г.
- 2) Для прогнозирования промыслового запаса видов рыб на 2023-2024 гг. применить корреляционный анализ и составить уравнения регрессии, предварительно подобрав предикторы для каждого вида.

3) Провести восстановление рядов запасов методом Шефера, и дать прогноз этим методом на те же 2023-2025 гг. При этом необходимо было подобрать оптимальный равновесное значение процента промыслового изъятия для каждого вида, не наносящего ущерба запасу вида.

4) Провести сравнение полученных прогностических значений между собой и с оценками специалистов ВНИРО, ПИНРО и других НИИ.

Ареал обитания трески и пикши в Северном промысловом бассейне включает Баренцево море и прилегающие части Норвежского моря и СВА, поэтому в Главе 1 представлены физико-географическое описания этих морей.

Далее проведен анализ изменчивости запасов и уловов выбранных видов рыб в Главе 2. Также описаны методы, использованные для прогноза трески пикши (Глава 3). Далее был проведен анализ полученных результатов и сравнение прогнозов запасов, полученных разными методами

1. Районы и объекты исследования

Северный бассейн является одним из наиболее важных для России промысловых районов. Северный промысловый бассейн включает в себя Баренцево море, Белое море, Онежское озеро с бассейнами впадающих в них рек, а также водные объекты рыбохозяйственного значения, расположенные на территории нескольких округов на «континентальной» части РФ.

Ареалом обитания северо-восточной арктической трески и северо-восточной пикши является часть Северного бассейна, включающая Баренцево море и прилегающую часть Норвежского моря.

Обширный ареал трески охватывает северную часть Атлантического океана и смежные воды Северного Ледовитого океана (рис.1.1). Вдоль берегов Европы вид обитает от Бискайского залива на западе до пролива Карские ворота на востоке. Самой северной границей ареала служит северо-западная оконечность Шпицбергена. В тёплые годы треска изредка проникает в юго-западную часть Карского моря.

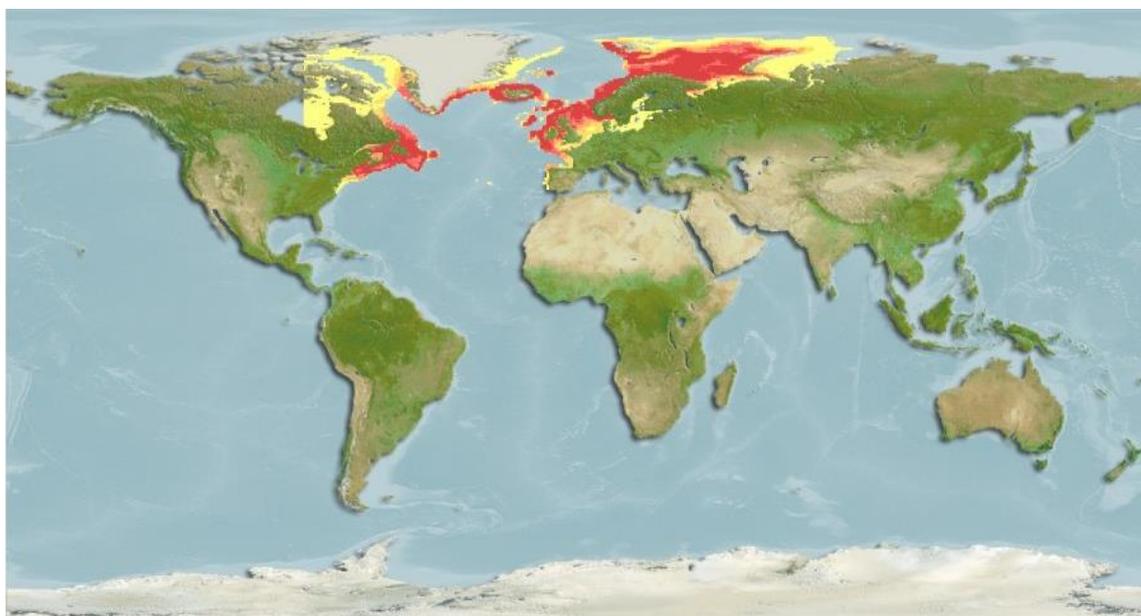


Рисунок 1.1 - Ареал обитания северо-восточной арктической трески [11]

Ареал обитания пикши широко распространяется в шельфовой зоне Северной Атлантики и в западной части Северного Ледовитого океана, где образует множество локальных популяций (рис.1.2). Довольно крупные популяции имеются в Баренцевом и Норвежских морях. В небольшом количестве пикша встречается на банках Рокколл, Флемиш-Кап, в проливах Скагеррак, Каттегат. В Северо-Восточной Атлантике ареал пикши простирается от 41° до 80°с.ш. Восточной границей служит Баренцево море. В период потепления в 30-е годы ареал распространялся на восток до Карского моря. С похолоданием в 50-70-х годах восточная граница ареала сместилась к западу 45°в.д. [5]. В настоящее время пикша встречается в северной и западной части Карского моря.

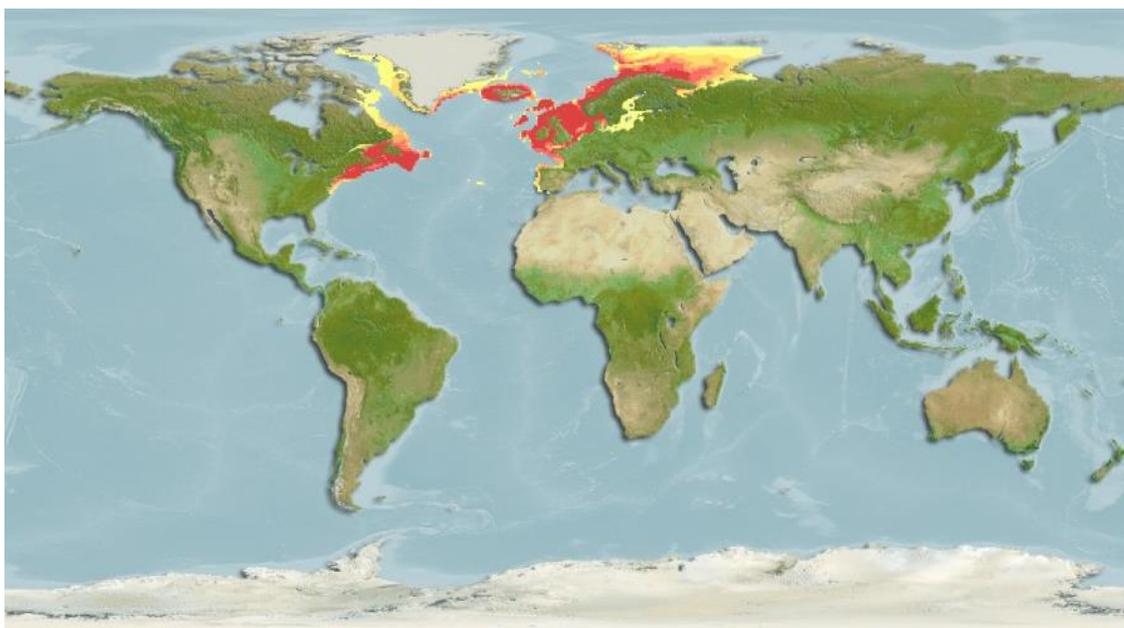


Рисунок 1.2 - Ареал обитания северо-восточной арктической пикши [11]

1.1 Физико-географическое описание Баренцево моря

Баренцево море относится к окраинным арктическим морям. Площадь 1424 тыс. км² (самое большое по площади в Северном Ледовитом океане).

Оно расположено в западной части евразийского шельфа, при этом вся его акватория находится полностью к северу от Полярного круга (рис. 1.3.). По

сравнению с другими морями российского сектора Арктики, Баренцево море в целом отличается несколько большими глубинами, приблизительно около 600 м. Его главной особенностью является широкомасштабное поступление атлантических вод через западную границу. Несмотря на то, что оно полностью расположено в арктической зоне, система Североатлантического течения приносит в Баренцево море большое количество тепла: его юго-западная часть не замерзает даже в самые суровые зимы. Особенности крупномасштабной атмосферной циркуляции в осенне-зимний период способствуют прохождению над Баренцевым морем большого количества глубоких циклонов, приносящих теплый и влажный воздух из Северной Атлантики [10].

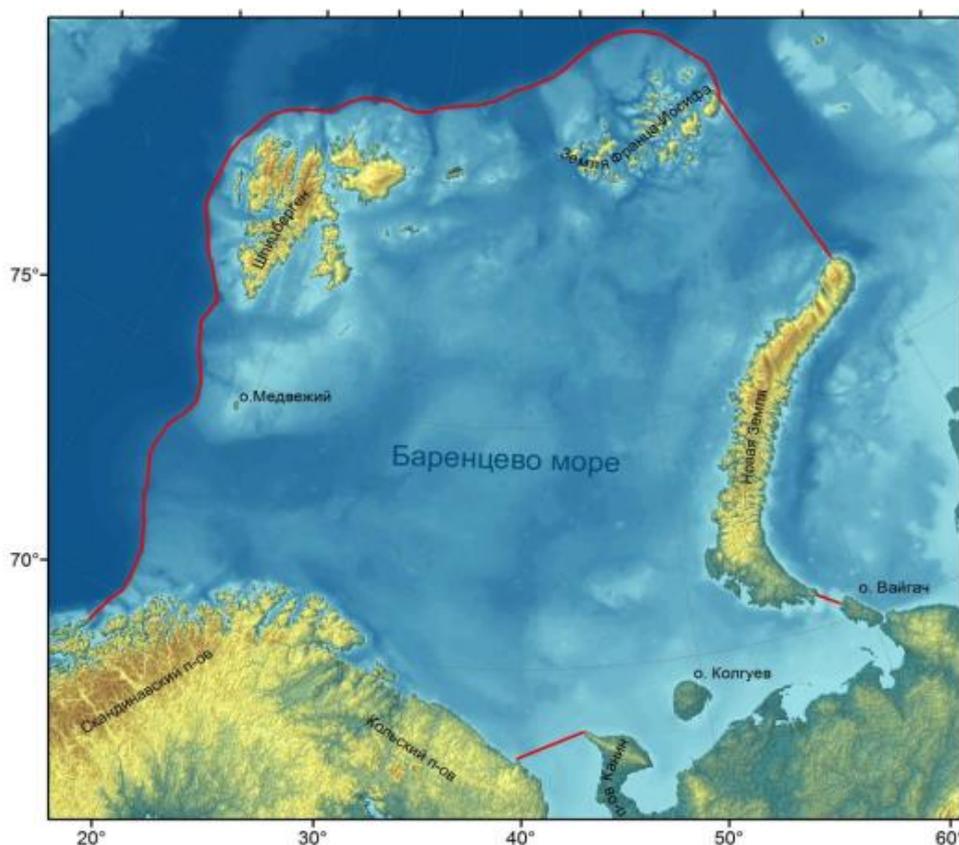


Рисунок 1.3 - Границы и рельеф дна Баренцево моря.

Средняя глубина Баренцева моря составляет 220 м. Баренцево море расположено в пределах шельфа, но, в отличие от других арктических морей, некоторые части его имеют глубины более 300 м. Самой глубокой является юго-западная часть моря, глубина которой превышает 400 м и постепенно увеличивается в направлении Норвежского моря. Более половины акватории моря (около 60 %) приходится на глубины от 100 до 300 м. Мелководья (до 100 м) занимают примерно одну четвертую часть всей площади (около 25 %), а на глубоководные участки (больше 300 м) приходится всего около 15 %.

Баренцево море отличается уникальными природно-климатическими условиями. Главная его особенность состоит в том, что оно полностью расположено за Северным полярным кругом, однако его юго-западная часть не покрывается дрейфующими льдами даже в самые суровые зимы. Для Баренцева моря характерна большая сезонная динамика ледовых условий. Помимо того, что не вся его акватория к концу зимы покрывается льдом, в наиболее теплые годы к концу лета оно полностью очищается от дрейфующих льдов. Баренцево море имеет более теплый климат по сравнению с другими арктическими морями России, в том числе по сравнению с соседними морями, что обусловлено адвекцией тепла течениями и особенностями теплообмена с атмосферой, который зависит от температуры воздуха [9].

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

Температура воды Баренцева моря на поверхности снижается с запада на восток и с юга на север во все сезоны года. В юго-западной и центральной частях моря температура остается положительной в течение всего года. В течение зимы температура в верхних слоях в юго-западной части Баренцева моря составляет примерно 3–4°C, а в центральной части она уменьшается до 0°C. Летом температура воды на поверхности близка к температуре воздуха [7].

1.2. Физико-географическое описание Норвежского моря.

Норвежское море- окраинное море Северного Ледовитого океана. Границы моря проходят между Исландией, Скандинавским полуостровом, и островом Ян-Майен (рис.1.4). Площадь составляет около 1340 тыс. км².

Береговая линия отличается наличием фьордов и тем, что окружена небольшими, но многочисленными скалистыми островами [10].

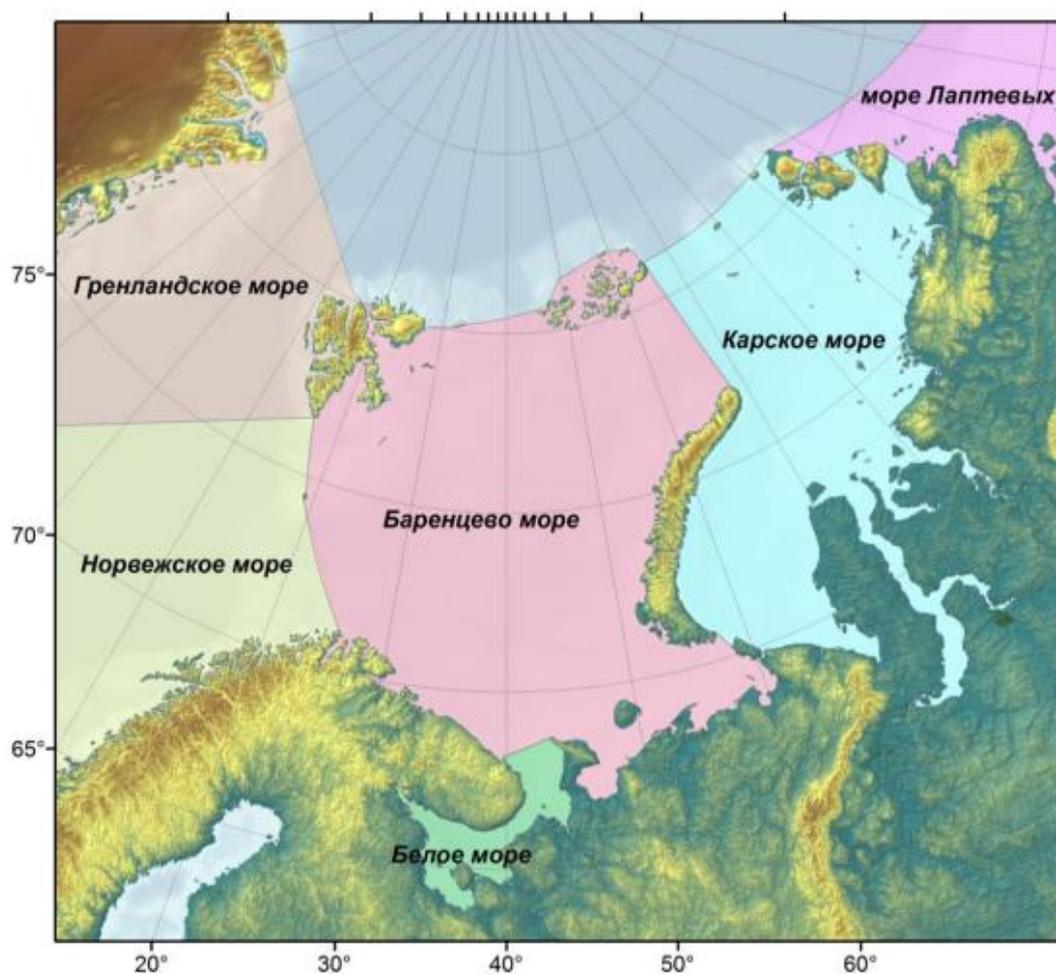


Рисунок 1.4 - Границы Норвежского моря

Норвежское море расположено в основном за Северным Полярным кругом, но в силу особенности циркуляции вод здесь господствует морской

умеренный климат, для которого характерны мягкая зима, относительно тёплое лето.

Циркуляция вод находится под сильным влиянием Северо-Атлантического течения, несущего большое количество тепла, которое втекает в море через пролив между Фарерскими и Шетландскими островами, образуя Норвежское течение, которое широким потоком проходит вдоль Скандинавского полуострова. Летом температура воды поднимается от 5-7 °С на севере до 10-12 на юге, а зимой, соответственно, от 2-3 °С на севере до 6-7 °С на юге [10].

В Северном промысловом бассейне около 95% добычи определяют морские виды: мойва, треска, пикша, сайда, сайка, атлантическо-скандинавская сельдь, окунь-клювач, черный палтус, зубатки полосатая, пятнистая, синяя, морская камбала и камбала-ерш, атлантический лосось и другие.

Северный рыбопромысловый бассейн занимает второе место после Дальневосточного. Промысел ведется в том числе за пределами экономической зоны России. В Баренцевом море отмечается 1147 видов и подвидов рыб и рыбообразных, относимых к 53 семействам. В связи с изменением климатических условий ареалы обитания рыб изменяются, что приводит к существенным изменениям ихтиофауны в отдельных районах моря.

Северо-восточная арктическая треска- – преимущественно северный вид [6]. Внешние признаки данного вида- голова небольшая и узкая, длина меньше или немного больше четверти длины тела. Рот большой, верхняя челюсть выступает вперед. Подбородный усик меньше горизонтального диаметра глаза. Цвет спины и боков сильно варьируется, чаще коричневый с зеленоватым оттенком и узором из пятен, брюшко беловато-серое.

Треска может дожить до 25 лет и более. Продолжительность жизни трески, обитающей на южной кромке ареала, меньше, чем у обитающей на севере. Наиболее высокий темп роста имеет треска, обитающая вокруг

островов Великобритании и в Северном море. Отсутствуют значительные различия в росте массы тела трески различных стад.

Треска является важным элементом экосистемы, поскольку независимо от района обитания она потребляет огромное количество корма. Практически во всём ареале обитания основу её пищи составляет рыба. В Баренцевом море она является наиболее важным хищником среди рыб [5].

Северо-восточная арктическая пикша- морская рыба, обитает в воде с нормальной океанической солёностью и не выносит сильных опреснений. Держится как у дна, так и в толще воды на глубинах до 600-650 м при температуре воды 2-10 °С.

Спинные плавники разделены небольшими промежутками. Первый спинной плавник высокий, остроконечный, треугольной формы. Хвостовой плавник имеет слабую выемку. Боковая линия, слабо изогнутая, непрерывна до конца тела. Верхняя челюсть выпадает вперёд, подбородочный усик плохо развит, рот небольшой. На обеих челюстях и на головке сошника мелкие, острые, загнутые зубы.

Пикша имеет длину до 115 см и массу 9-12 кг. Предельный возраст 24 года. Благодаря ускорению роста пикша стала созревать в более раннем возрасте.

2. Оценка изменчивости запасов и уловов трески и пикши в Северном бассейне.

В качестве исходных данных использовались данные о промышленном запасе и уловах трески за период 1951-2022г., предоставляемые ПИПРО [1]. Анализ ряда запасов трески показал, что средняя величина биомассы запаса составляет 2149 тыс. тонн., величина вылова – 662тыс.т. (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Основные статистические параметры (среднее и стандартное отклонение) ряда трески.

Параметры	Запасы	Выловы
Среднее, тыс. тонн	2148,82	661,56
Стандартное отклонение, тыс. тонн	919,88	232,99

Треска Баренцева моря – главный объект отечественного рыболовства на протяжении многих лет, успешность промысла которой в значительной степени определяет экономическую эффективность деятельности предприятий Северного рыбохозяйственного бассейна [3].

Величина запасов за период 1951-2022г. имеет значительные колебания. Запасы трески в Северном бассейне снизились с 3650 тыс. тонн. в 1951г. до менее чем 700 тыс. тонн. в 1982г., после чего вновь отмечается рост запасов до 3700 тыс. тонн в 2013г, с 2014г. до 2024 г. отмечается спад (рис. 2.1).

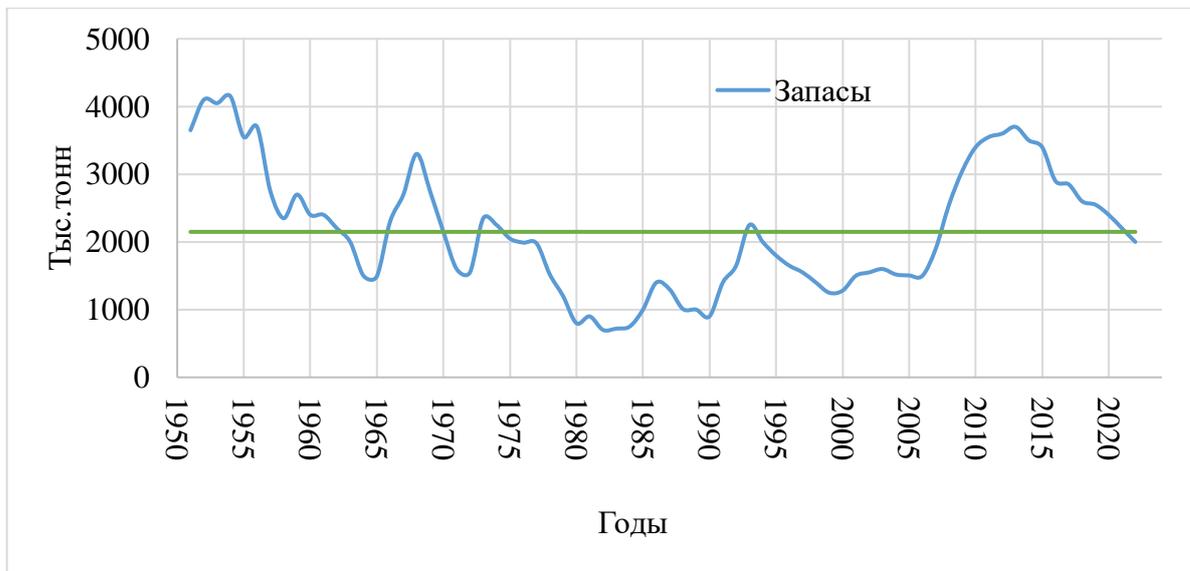


Рисунок 2.1 - Биомасса промыслового запаса северо-восточной арктической трески

Уловы северо-восточной арктической трески, будучи самыми большими в Северной Атлантике, испытывают заметные колебания (рис. 2.2).

В течение периода 1961–2020 гг. вылов неоднократно достигал уровня 530-1300 тыс. тонн, но в дальнейшем нередко стремительно снижался. Одной из основных причин сокращения вылова является флуктуация численности поколений, что свойственно многим представителям семейства тресковых. Одним из приспособлений вида, компенсирующим высокую смертность, является исключительно высокая плодовитость, достигающая у отдельных особей трески нескольких млн. шт. икры и личинок.

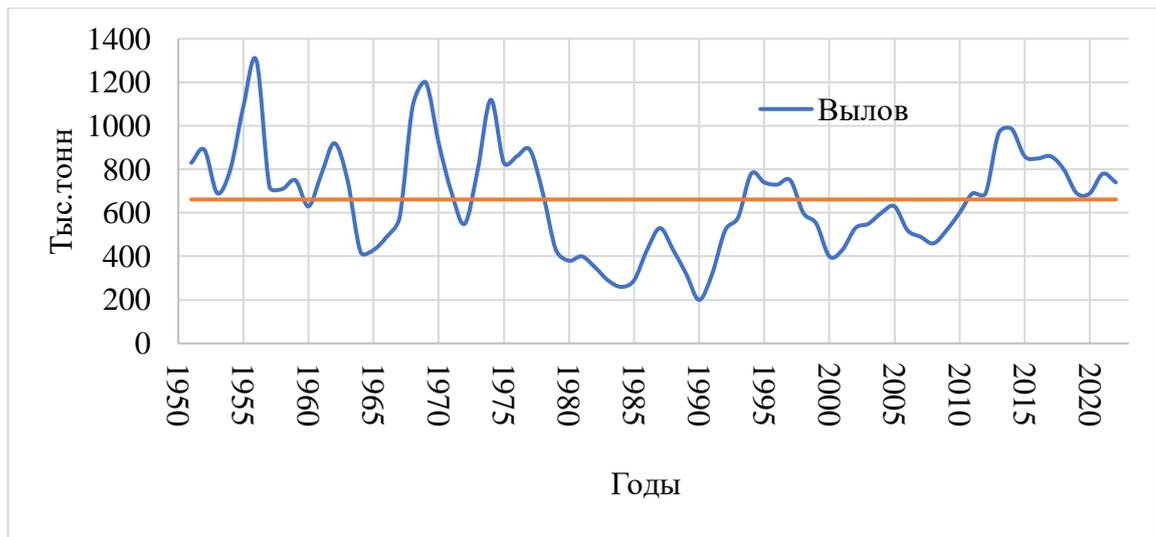


Рисунок 2.2 - Выловы северо-восточной арктической трески

По графику видно, что максимальный за весь период вылов трески был зафиксирован начиная с 1954 года по 1956 года, и составляет 1300 тыс. тонн. Минимальное значение вылова за весь рассматриваемый период времени был в 1984-1990 годах (260-200 тыс. тонн), связано это с сокращением запасов трески.

Также в качестве исходных данных использовались данные о промысловом запасе и уловах пикши за период 1952-2022г., предоставляемые ПИНРО [1]. Средняя величина биомассы запаса составляет 483 тыс. тонн., величина вылова – 144 тыс. тонн. (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Основные статистические параметры (среднее и стандартное отклонение) ряда пикши.

Параметры	Запасы	Выловы
Среднее, тыс. тонн	483,26	143,6
Стандартное отклонение, тыс. тонн	269,18	66,1

В 50-е года запас пикши был на высоком уровне (рис. 2.3). Произошло это благодаря пополнению популяции урожайными поколениями пикши. В эти

годы регулярное появление многочисленных поколений позволяло возмещать урон, наносимый промыслом. С конца 70-х годов ситуация изменилась. Похолодание Баренцева моря и связанная с этим низкая выживаемость привели к значительному снижению пополнения запаса. В результате в 80-е годы запасы пикши резко снизились.

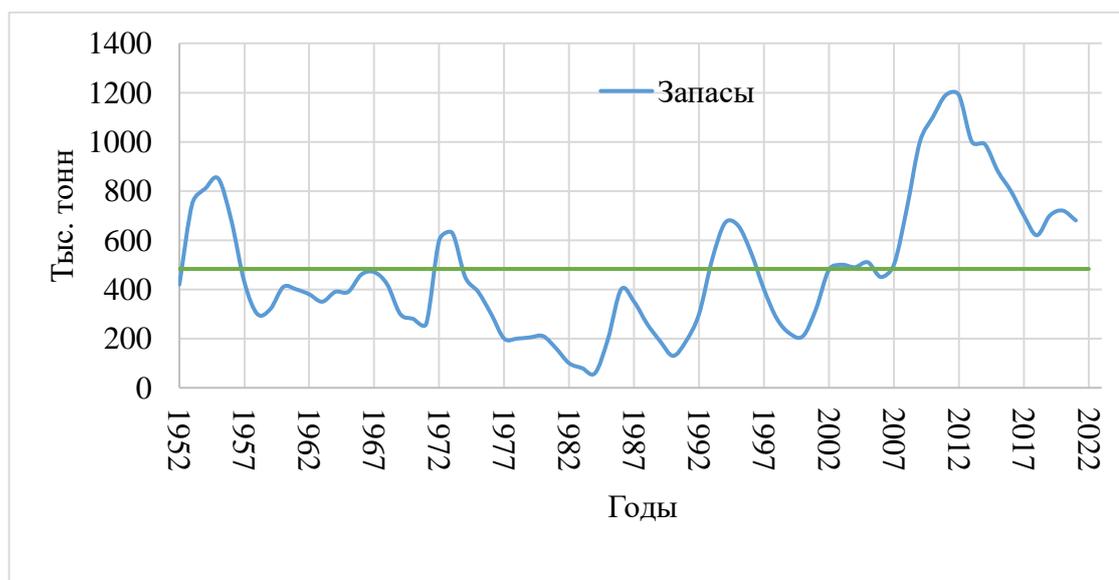


Рисунок 2.3 - Запасы северо-восточной арктической пикши

Следующее увеличение численности пикши произошло в начале 90-х и также связано с увеличением появлением богатых по численности поколений. Но в дальнейшем несмотря на то, что последующие поколения оценивались как высокие, вследствие высокой смертности, в момент их вступления в промысловый возраст поколения перешли в разряд, ниже средних по численности. После снижения численности и запасов пикши в конце 1990-х гг, начиная с 2000 г наметилась тенденция к увеличению промыслового запаса, который при вступлении в него высокоурожайных поколений 2004-2006гг достиг исторического максимума в 2012г и составил 1190тыс.тонн. В дальнейшем, из-за естественной убыли и промыслового изъятия, численность рыб этих поколений и, соответственно, запасы стали снижаться. Вновь

появившиеся поколения пикши были гораздо малочисленнее, что не компенсировало этого снижения. Промысловый запас снизился, составив на начало 2013 года 1000 тыс. тонн, а в 2014 году и далее продолжил снижение. Однако, с учетом того, что в настоящее время промысловый запас, представленный крупными особями в возрасте 6-8 лет, имеет большой репродуктивный потенциал, возможно появление урожайных поколений в ближайшем будущем. В пользу этого свидетельствует также повышенное теплосодержание вод Баренцева моря, при котором выживаемость молоди повышается.

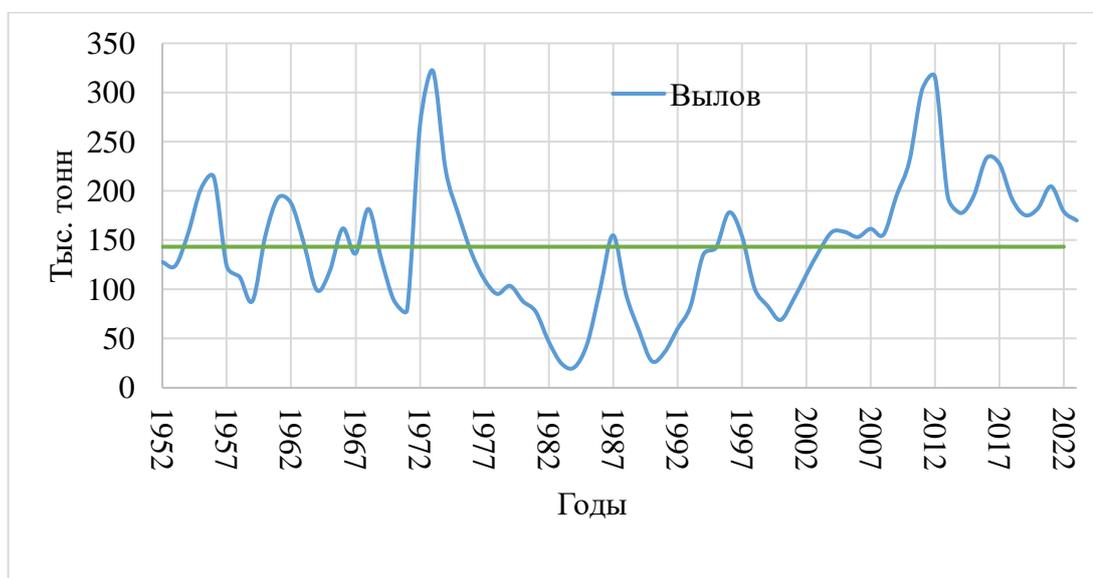


Рисунок 2.4 - Выловы северо-восточной арктической пикши

Общий вылов северо-восточной арктической пикши с 1970 по 1990 гг. был на низком уровне (рис. 2.4) и в 1984 г имеет место самое наименьшее значение 20,9 тыс. тонн., так как состояние запаса в этот год было подорвано. С 1990 г по 1996 г вылов пикши резко растет до отметки 178,1 тыс. тонн и, начиная с 1996 г., наметилась тенденция снижения вылова пикши.

Далее с 2000-2012гг., виден рост вылова пикши, максимум который составил 315,6 тыс. тонн. В последующие годы наблюдается падение вылова до 170 тыс. тонн.

3. Воспроизведение и прогнозирование запасов трески и пикши.

Рыбопромысловые запасы в Баренцевом море эксплуатируются на высоком уровне, но их потенциальные резервы не исчерпаны. При качественном управлении запасами, модернизации отечественного тралового флота и расширении ярусного промысла, возможно более эффективное использование сырьевой базы Баренцева моря и ближайших вод, а также увеличение российского вылова [2].

Запасы трески и пикши в последние годы находятся на высоком уровне, благодаря применению правил по регулированию запасов для установления общего допустимого улова, основанного на принципе осторожного подхода, для возможности многолетнего использования запасов.

3.1. Восстановление и прогноз запасов с помощью корреляционного анализа и уравнений регрессии.

Взаимная корреляция – это корреляция двух статистических рядов друг с другом при разных сдвигах во времени. Для определения наличия связи двух характеристик используется взаимнокорреляционный анализ [4].

В данном анализе в качестве исходных рядов были взяты данные по запасам трески [1] и средней температуры воды на разрезе «Кольский меридиан», за период с 1951 по 2022 года, с сайта ПИНРО[12].

Температура на разрезе «Кольский меридиан» станции 3-7, слой 0-200 м. [12] был выбрана в качестве предиктора, потому что этот ряд является одним из наиболее длительных и информативных источников данных об изменении температуры, на котором проводятся регулярные наблюдения.

Рассчитываем кросскорреляцию между двумя рядами с помощью формулы:

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

Если коэффициенты взаимной корреляции (КК) нанести на график зависимости r от сдвига и соединить плавной кривой, получим зависимость взаимнокорреляционной функции от сдвига – коррелограмму (рис.3.1.).

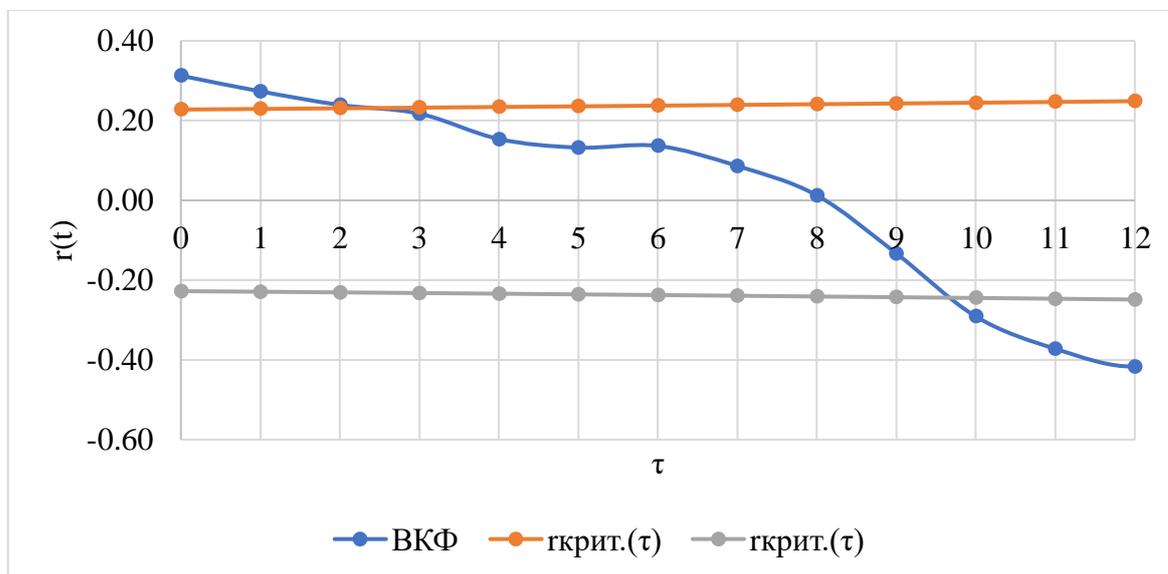


Рисунок 3.1 - График коэффициентов взаимной корреляции температуры поверхности воды и запасов трески за период с 1951 по 2022 год.

Аналогично по формуле (1) рассчитаем кросс-корреляцию для ряда запасов пикши и температуры воды на разрезе «Кольский меридиан», за период с 1952 по 2022 года и построим график коррелограммы (рис.3.2):

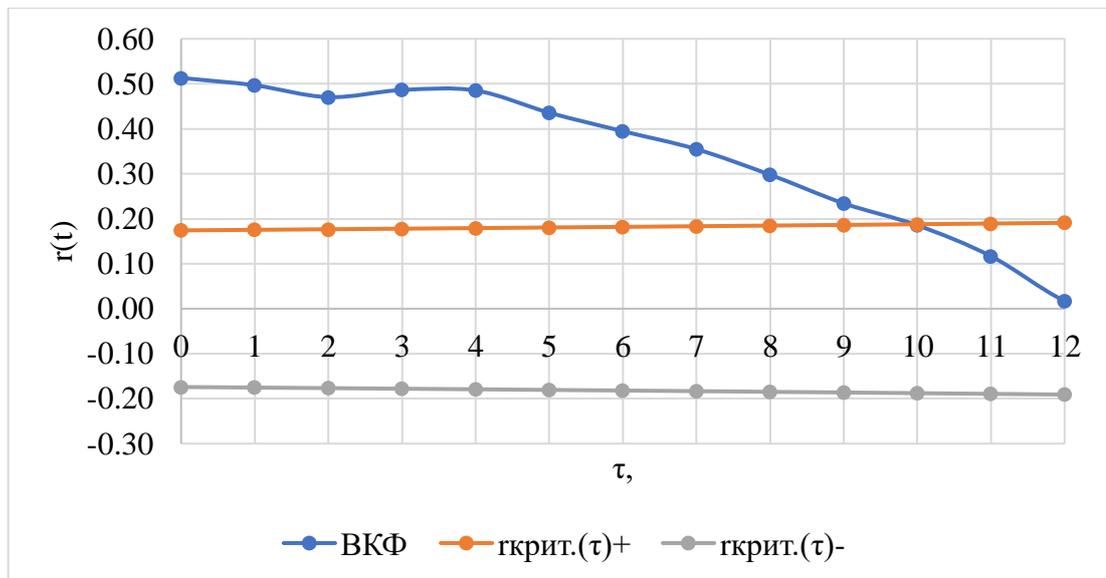


Рисунок 3.2 - График коэффициентов взаимной корреляции температуры поверхности воды и запасов пикши за период с 1952 по 2022 год.

По рисункам 3.1 и 3.2 видно, что наибольший коэффициент корреляции находится на сдвиге 1. Для трески максимальное значение КК составляет 0,273, а для пикши 0,497.

Автокорреляционная функция.

Автокорреляция – это корреляция статистического ряда самого с собой при разных сдвигах во времени [4].

Исходными данными послужили ряд запасов трески с 1951 по 2022 год, а также сам ряд запасов со сдвигом в 1 год, так как максимальный коэффициент корреляции был на этом сдвиге, и оказался равен 0,93.

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

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

Рассчитанные для каждого сдвига значения гкр также наносятся на график в положительной и отрицательной области τ , обычно рисуют только положительную область (рис.3.3):

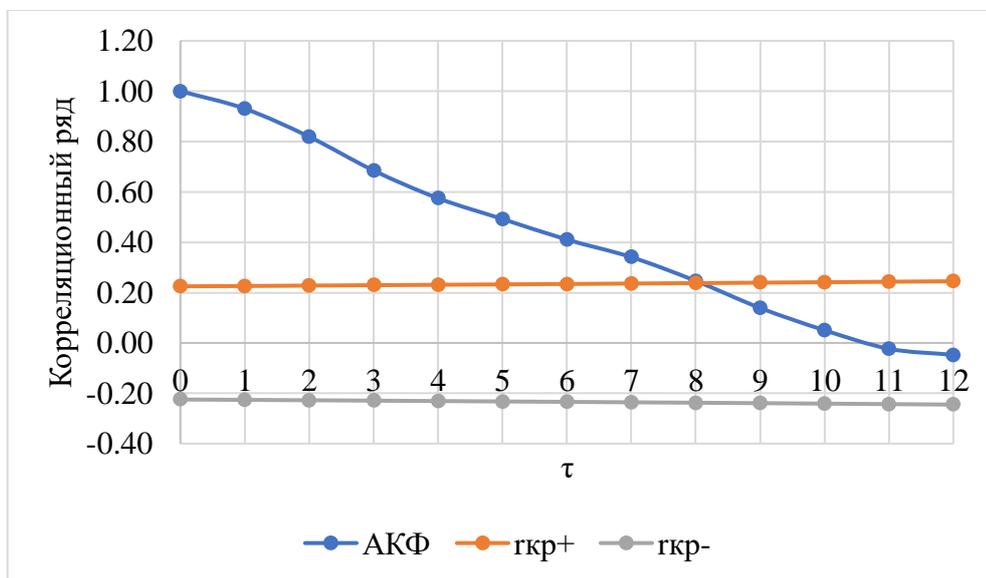


Рисунок 3.3 - График коэффициентов автокорреляции и уровней значимости для ряда запасов трески

По формуле (2) также рассчитаем коэффициент автокорреляции для ряда запасов пикши с разными сдвигами. Максимальный коэффициент равен 0,908 при сдвиге в 1 шаг (год) (рис. 3.4).

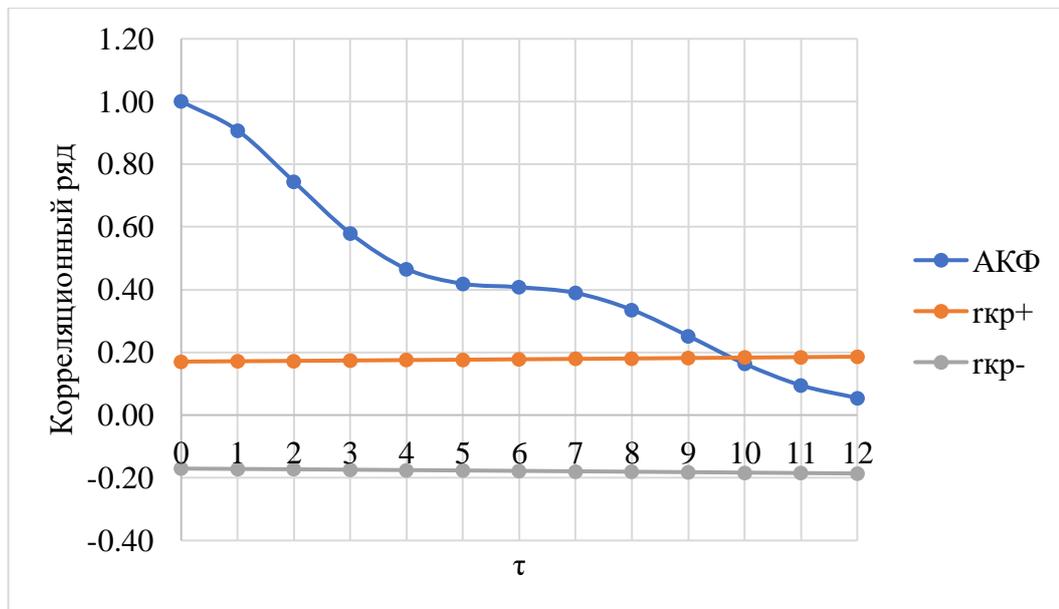


Рисунок 3.4 - График коэффициентов автокорреляции и уровней значимости для ряда запасов пикши.

Исходя из рисунка 3.3 и 3.4 можно сделать вывод, что запас прошлого года сильно влияет на запас следующего года, именно поэтому для восстановления значений ряда запаса и прогноза был выбран на сдвиг в 1 год (заблаговременность прогноза- 1 год), обеспечивший наибольший коэффициент корреляции для запасов трески и пикши.

Уравнение регрессии.

Зависимости между характеристиками природной среды носят, как правило, многофакторный характер, т. е. когда рассматриваемая переменная зависит не от одной, а от многих переменных. В результате возникает необходимость построения модели множественной линейной регрессии (МЛР), уравнение которой можно представить в следующем виде [8]:

$$y_i = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j x_{ij} + \varepsilon_i = b_0 + b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + \dots + b_m x_{im} + \varepsilon_i, \quad (3)$$

где ε_i – вектор остатков (ошибок), которые не описываются уравнением регрессии, m – число независимых переменных.

«МЛР представляет собой обобщение линейной регрессии двух переменных на многомерный случай. Однако, если парная регрессия имеет четкую геометрическую интерпретацию, то для МЛР сделать это практически невозможно, так как для многомерного пространства не существует аналогичной интерпретации» (Малинин В.Н., 2020 год).

В данной работе расчёт МЛР проводится по формуле:

$$y_{i+1} = ax_{i1} + bx_{i2} + c, (4)$$

где y_{i+1} - прогноз запаса на шаге $i+1$, x_1 -запас вида на предыдущем шаге, x_2 - температура воды на станциях 3-7 КМ на предыдущем шаге, a , b , c - коэффициенты уравнения регрессии.

Исходными данными были выбраны ряды запасов трески и среднегодовая температура КМ на ст. 3-7 за период с 1951 по 2022 год.

Доказательством эффективности уравнения МЛР по сравнению с парной регрессией для каждого предиктора являются неравенства $R > r_1$ и $R > r_2$. Для ряда трески $R=0,933$, $r_1=0,273$ и $r_2=0,930$.

Где R - множественный коэффициенты регрессии, а r_1 и r_2 частные коэффициенты регрессии для каждого предиктора.

Результаты предоставлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Коэффициенты уравнения МЛР для ряда запасов трески.

<i>Регрессионная статистика</i>				
Множественный R		0.933		
R-квадрат		0.870		
Нормированный R-квадрат		0.866		
Стандартная ошибка		343.573		
Наблюдения		72		

<i>Дисперсионный анализ</i>				
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
Регрессия	2	52199712	26099856	221.1054
Остаток	66	7790812	118042.6	
Итого	68	59990525		

	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>
Y-пересечение	514.632	302.823	1.699	0.094
Переменная X 1	-106.561	78.234	-1.362	0.178
Переменная X 2	0.975	0.049	19.777	0.000

$0,933 > 0,273$; $0,933 > 0,930$ – условия выполняются.

Тогда уравнение множественной линейной регрессии для трески будет иметь вид:

$$P_{i+1} = 0,975 * P_i - 106,51 * T_i + 514.632 \quad (5)$$

Где P_i – промысловый запас, T_i – средняя в слое 0-200м температура воды на ст. 3-7 КМ.

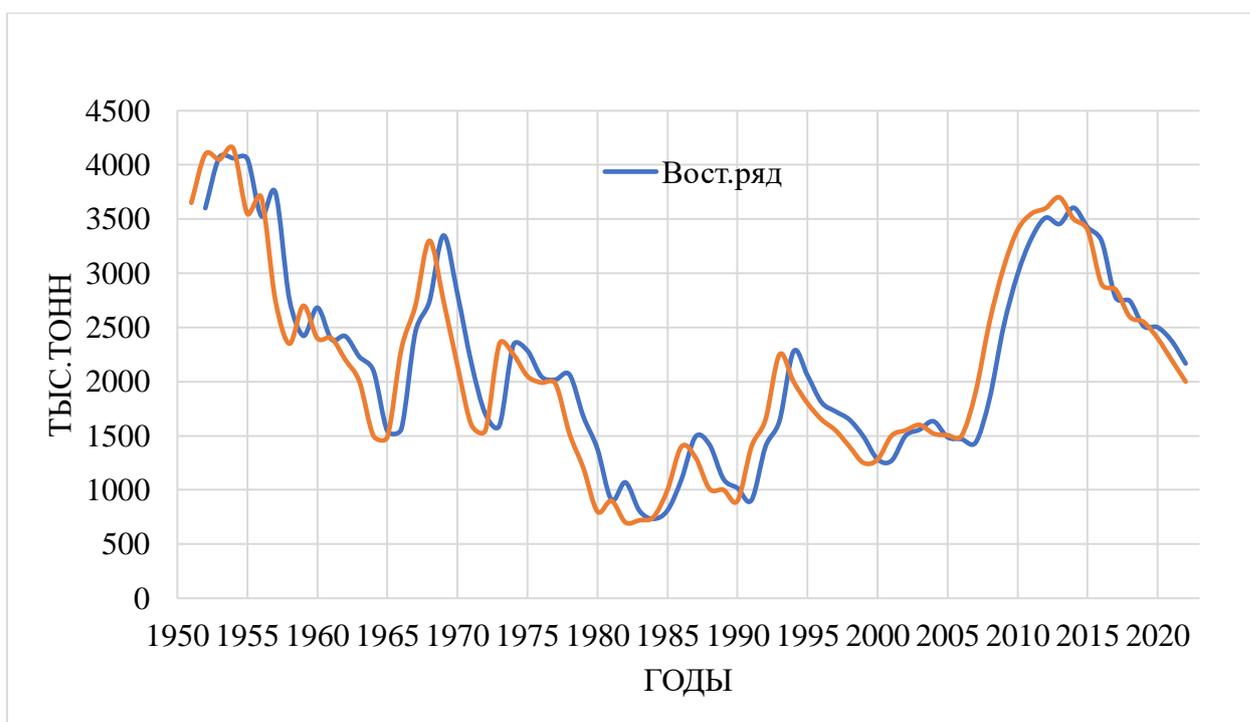


Рисунок 3.5 - График восстановленных и фактических значений ряда промыслового запаса трески за 1951-2022 гг.

Как видно из рисунка 3.5 качество восстановления ряда запаса хорошее. Это подтверждается сравнением ошибки восстановления со средним квадратическим отклонением исходного ряда (СКО).

Расчёт абсолютной ошибки показал следующее: сравниваем абсолютную ошибку (δ) восстановленных значений запасов по отношению к фактическим значениям со средним квадратическим отклонением (σ). Можем считать, что ошибки малы, если $\delta < \sigma$, так как будем прогнозировать состояние запаса на 1 год вперёд- долгосрочный прогноз по классификации Росгидромета. На самом деле прогноз, во-первых- одношаговый, во-вторых- СКО ряда запасов очень большое - 933,56 тыс. тонн (для трески) и 269,18 (для пикши). Поэтому корректнее сравнивать ошибку с $0,67\sigma$.

Тогда для восстановленного ряда запаса трески обеспеченность уравнения МЛР по $0,67\sigma$ составила 0,93.

Для восстановления и прогноза запаса пикши также выбраны данные по среднегодовой температуре на КМ ст. 3-7 за период с 1952 по 2022 год.

Таблица 3.2 - Коэффициенты уравнения МЛР для ряда запасов пикши

<i>Регрессионная статистика</i>				
Множественный R		0.909		
R-квадрат		0.826		
Нормированный R-квадрат		0.821		
Стандартная ошибка		114.640		
Наблюдения		71		

<i>Дисперсионный анализ</i>				
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
Регрессия	2	4183927.763	2091963.88	159.17741
Остаток	67	880536.8799	13142.3415	
Итого	69	5064464.643		

	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>
Y-пересечение	128.760	111.466	1.155	0.252
Переменная X 1	-24.435	30.563	-0.799	0.427
Переменная X 2	0.940	0.065	14.419	0.000

Для пикши уравнение регрессии будет иметь вид:

$$P_{i+1}=0,94*P_i-24,435*Ti+128,760 \quad (6)$$

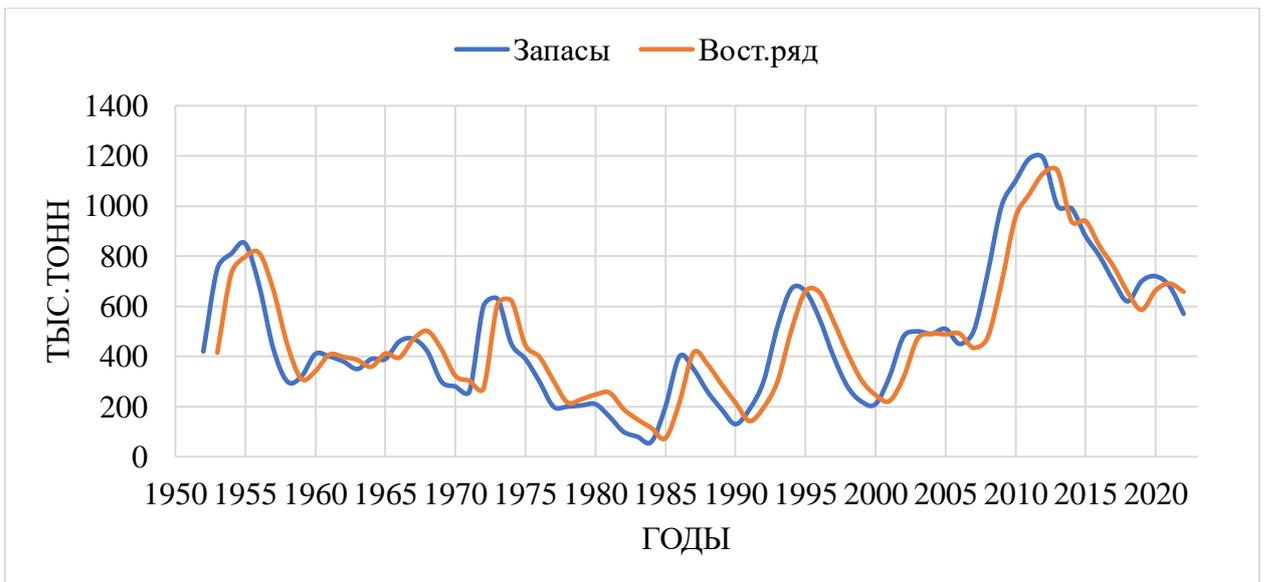


Рисунок 3.6 - График восстановленных и фактических значений ряда промыслового запаса пикши за 1952-2022 гг.

Доказательством эффективности уравнения МЛР (6), как и для трески, будет неравенство: $R > r_1$ и $R > r_2$. Где $R=909$, $r_1=0,486$, $r_2=0,908$.

$0,909 > 0,497$; $0,909 > 0,908$ – условия соблюдаются

Тогда для восстановленного ряда запаса пикши обеспеченность уравнения МЛР (6) по $0,67\sigma$ составила 0,91.

По уравнениям (5) и (6) рассчитываем прогноз запасов трески и пикши на 2023 и 2024 года.

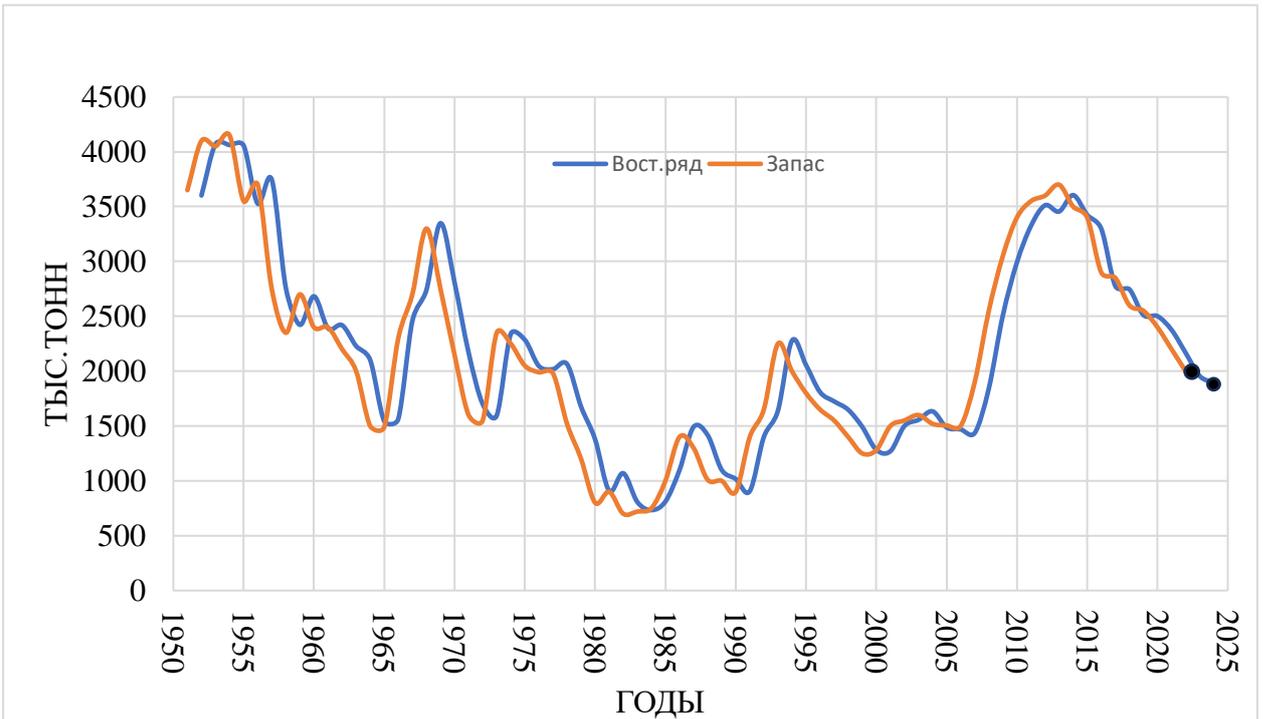


Рисунок 3.7 - График восстановленных, фактических и спрогнозированных на 2023 и 2024 гг. значений промышленного запаса трески.

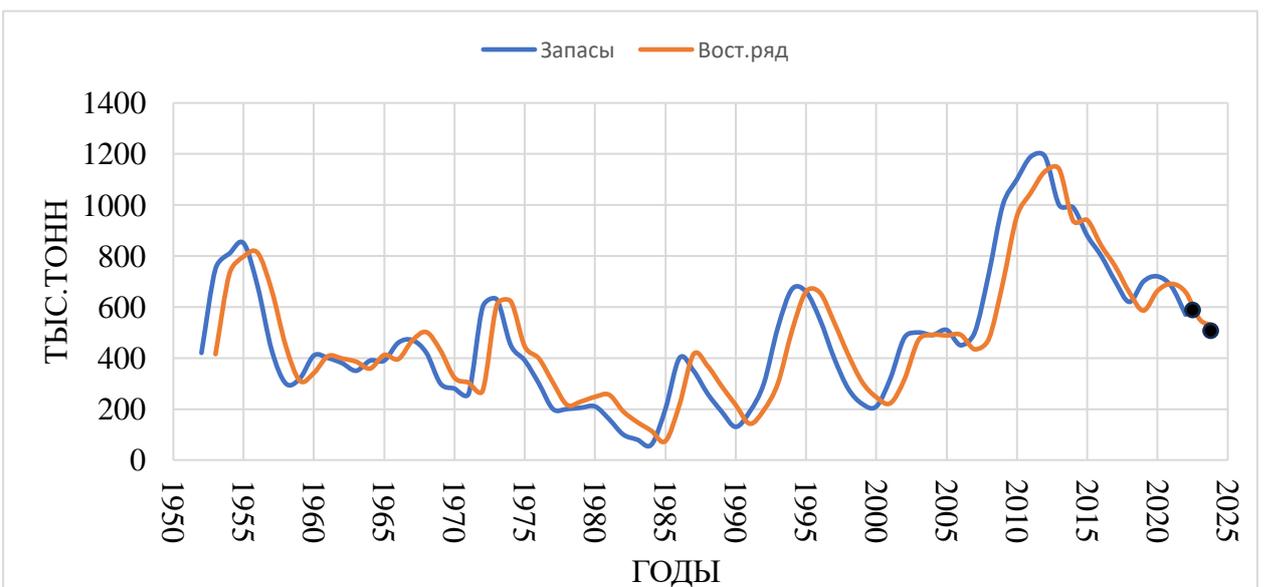


Рисунок 3.8 - График восстановленных, фактических и спрогнозированных на 2023 и 2024 гг. значений промышленного запаса пикши.

Оправдываемость прогностических значений запасов по уравнениям МЛР равна коэффициентам множественной корреляции R и составляет для трески 0,93, а для пикши – 0,91.

Спрогнозированные по уравнению МЛР значения запасов трески и пикши показывают, что запасы обоих видов будут снижаться. Далее мы сравним результаты прогнозирования по уравнению МЛР с результатами по модели Шефера и с оценками специалистов ПИНРО.

3.2 Восстановление и прогноз запасов с помощью модели Шефера.

В данном разделе оценка и прогноз биомассы промыслового запаса выбранных видов выполняется с помощью модели Шефера.

В модели Шефера предполагается, что улов стремится к состоянию равновешенности.

Исходное уравнение модели имеет вид:

$$P_{i+1} = P_i + P_i(A + B \cdot P_i) - U_i \quad (7)$$

где A - коэффициент воспроизводства биомассы вида, B - коэффициент естественной смертности (убыли) биомассы вида.

Коэффициент A рассчитывается по формуле, полученной после применения метода наименьших квадратов (МНК):

$$A = \frac{1}{N} (B \sum_{i=2}^n P_i + \sum_{i=2}^n C_i + \sum_{i=2}^n K_i) \quad (8)$$

Коэффициент C - это коэффициент промыслового изъятия - улов делённый на запас:

$$C = U/P \quad (9)$$

Коэффициент естественной смертности B рассчитывается по формуле:

$$B \sum_{i=2}^n P_i^2 = - \sum_{i=2}^n C_i P_i - \sum_{i=2}^n K_i P_i + \sum_{i=2}^n A P_i \quad (10)$$

С помощью модели Шефера было произведено восстановление рядов запасов трески и пикши.

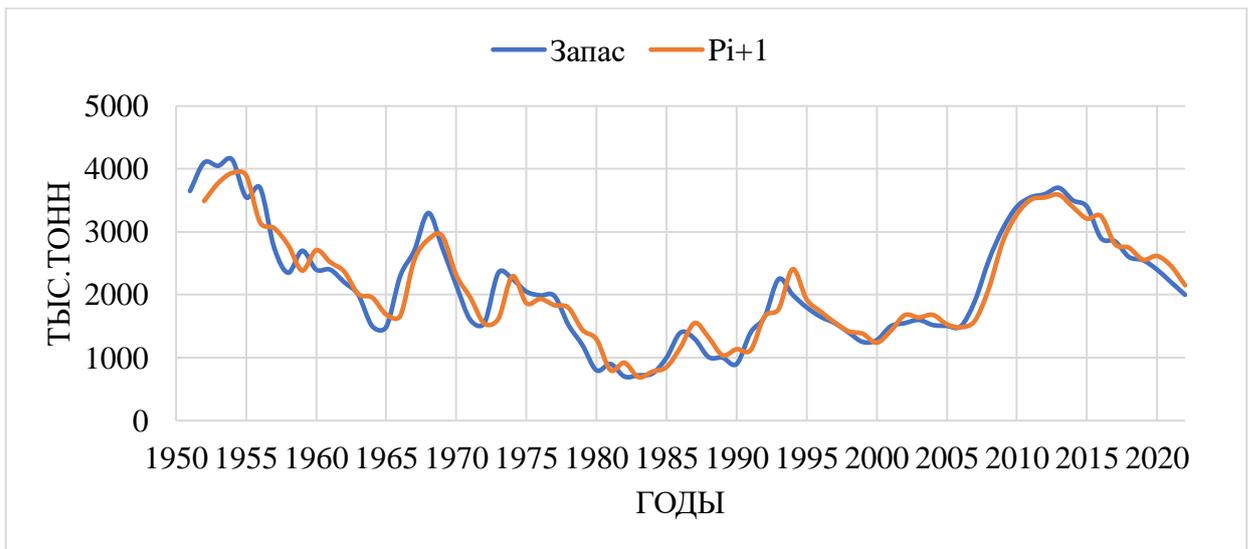


Рисунок 3.9 - Совмещённый график исходного ряда запаса и ряда рассчитанных значений трески по модели Шефера.

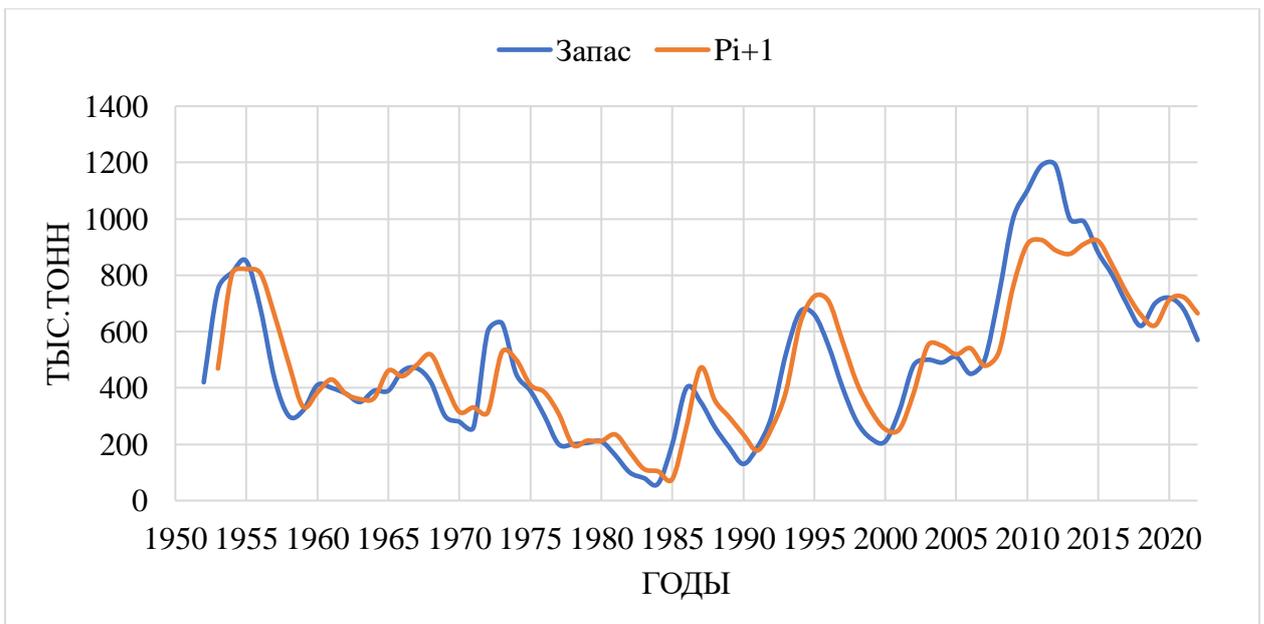


Рисунок 3.10 - Совмещённый график исходного ряда запаса и ряда рассчитанных значений пикши по модели Шефера.

Используя тот же критерий для проверки качества восстановления рядов запасов, что и для уравнения МЛР, рассчитываем обеспеченность сравнением ошибки восстановления с 0,67 сигма. Получили для запаса трески обеспеченность равную 0,97, для пикши 0,86.

По рисунку 3.8 и 3.9 видно, что расхождения с фактическими значениями имеются, но не значительные (менее 15%).

Меньшая обеспеченность для восстановленного ряда пикши получилась из-за того, что в 2012 году запасы достигли исторического максимума, а модель Шефера при заданных и постоянных коэффициентах A и B не учитывает больших колебаний запаса.

Далее для прогнозирования запасов по модели Шефера проводятся расчеты при 3-4 значениях коэффициентов промыслового изъятия, при которых бы запас возрастал, оставался на том же уровне или падал.

Имея исходные данные и рассчитав величины коэффициентов A , B , можно превратить уравнение (7) в инструмент прогноза.

Для этого необходимо проинтегрировать уравнение:

$$\int_{P_0}^P \frac{dP}{(-BP^2 + (A - C)P)} = \int_{t_0}^t dt \quad (11)$$

В итоге получаем уравнение:

$$P(t) = \frac{P_0(A - C)}{BP_0 - (BP_0 - A + C)\exp(-t(A - C))} \quad (12)$$

Зная величины коэффициентов A , B , C можно будет использовать уравнение (12) для оценки биомассы популяции на последующий период.

Рассчитанные и спрогнозированные значения запасов трески и пикши представлены на рисунках 3.2.3 и 3.2.4.

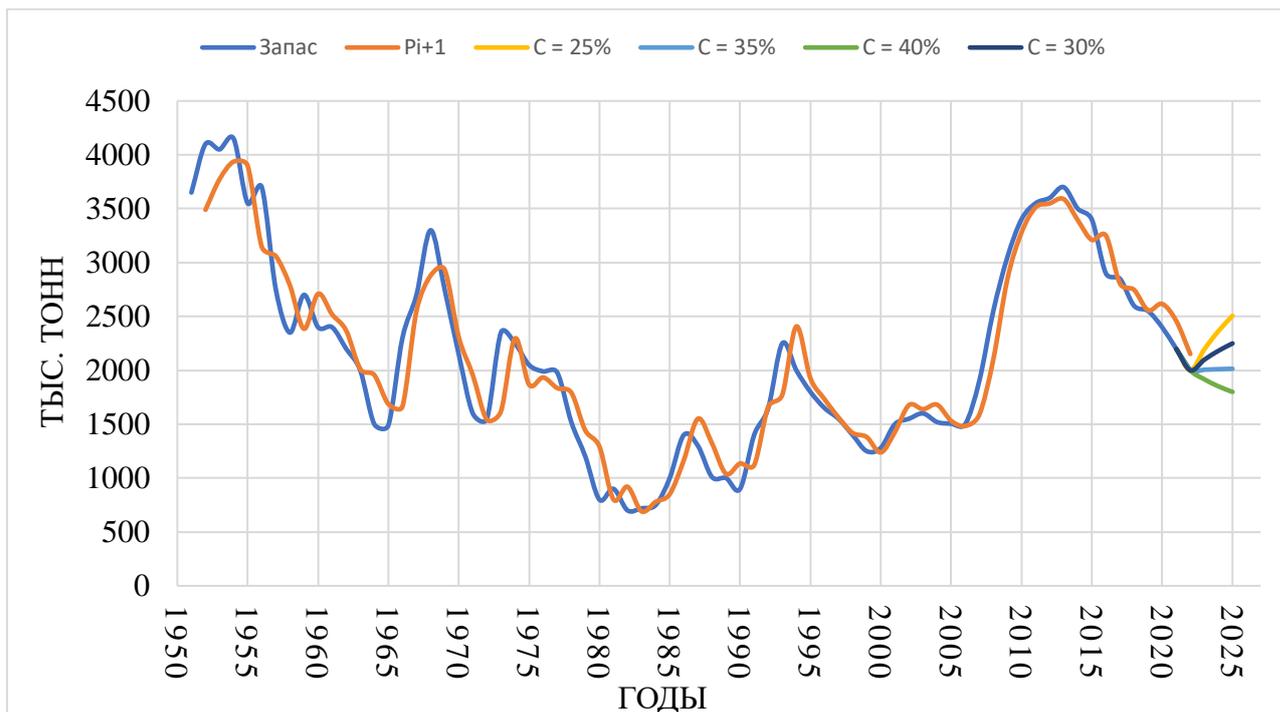


Рисунок 3.11 - Фактические и рассчитанные значения биомассы трески и её прогностические значения при уровне изъятия 25, 30, 35 и 40 %.

Заметно, что при промышленном изъятии в 25% запасы трески будут сильно увеличиваться, и к концу 2025 года будут составлять 2505,80 тыс. тонн. При изъятии в 30% запасы будут расти, но не так быстро, при изъятии 35% запасы будут стабильны. Если увеличить промышленное изъятие до 40%, то запасы будут заметно снижаться, и в 2025 будут равны 1799 тыс. тонн (таблица 3.3). Поэтому оптимальным будем считать процент изъятия 30 %.

Таблица 3.3 - Прогноз значений по модели Шефера при разных значениях промышленного изъятия для трески.

Годы	C = 25%	C = 30%	C = 35%	C = 40%
2023	2194.878	2098.362	2005.8	1917.054
2024	2364.016	2181.167	2010.532	1851.544
2025	2505.804	2249.697	2014.389	1799.096

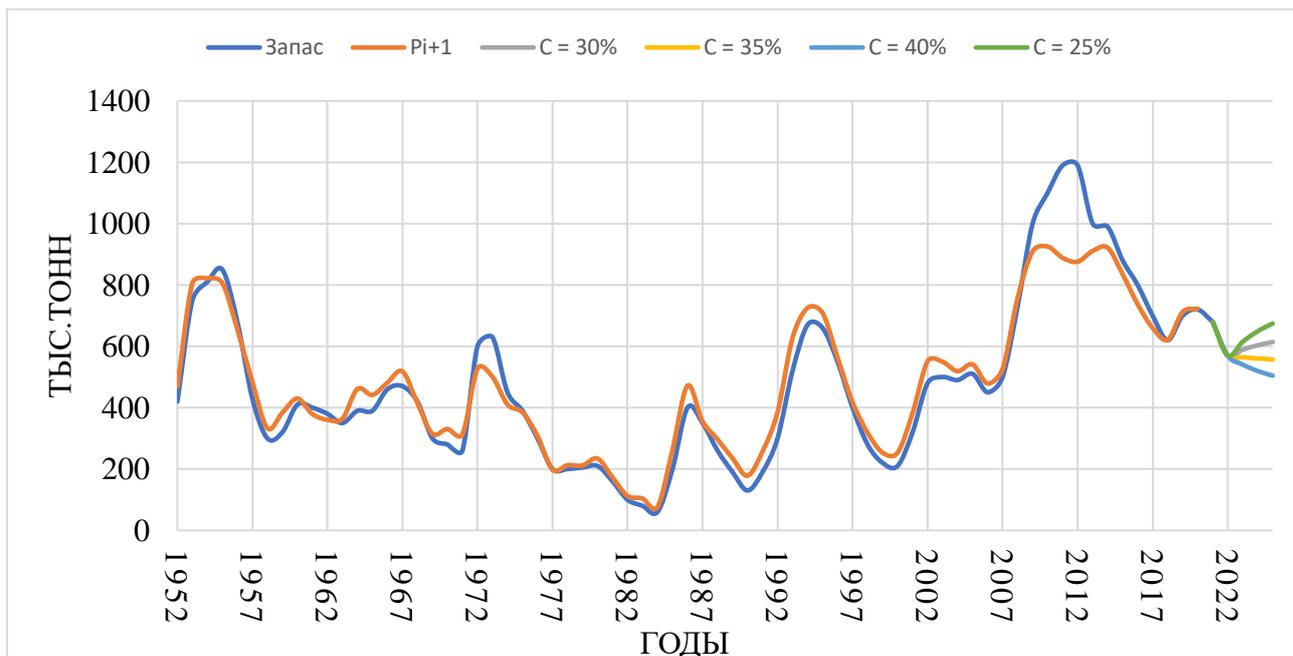


Рисунок 3.12

- Фактические и рассчитанные значения биомассы пикши и её прогностические значения при уровне изъятия 25, 30, 35 и 40 %

По рисунку 3.1 можно сделать вывод, что при промышленном изъятии 20% запасы пикши будут сильно увеличиваться и к концу 2025 года будут составлять 781 тыс. тонн. При изъятии 30% замечен небольшой рост запасов. При промышленном изъятии 40% запасы будут снижаться (таблица 3.4). Поэтому оптимальным считаем процент изъятия в 30 %.

Таблица 3.4 - Прогноз значений по модели Шефера при разных значениях промышленного изъятия для пикши.

Годы	C = 25%	C = 30%	C = 35%	C = 40%
2023	614.8817	589.1521	564.3896	540.5655
2024	649.1965	603.4613	560.2981	519.637
2025	674.4639	613.9851	557.3007	504.4061

Таким образом, допустимый уровень изъятия из запаса составляет 30%, как для пикши, так и для трески. При больших значениях коэффициента

изъятия запасы будут снижаться. Учитывая то, что запасы двух видов в последние годы уменьшаются, допускать их дальнейшего понижения не желательно.

Соответственно, при прогнозе по модели Шефера и сравнении с результатами прогноза по уравнению МЛР будем применять значения с этими коэффициентами промышленного изъятия -30 %.

3.2. Сравнение результатов, полученных разными методами.

В данной работе были применены два метода: множественная линейная регрессия и модель Шефера, которые показали разные результаты. Итоги приведены в таблице 3.5 и 3.6.

Таблица 3.5 - Прогноз значений промышленного запаса трески и сравнение с данными ПИНРО.

Годы	Модель регрессии	Модель Шефера C=30%	Данные ПИНРО
2022	2000	2000	2000
2023	1955.87	2098.36	1700
2024	1894.97	2181.17	-
2025	-	2249.70	-

Таблица 3.6 - Прогноз значений промышленного запаса пикши и сравнение с данными ПИНРО.

Годы	Модель регрессии	Модель Шефера C=30%	Данные ПИНРО
2022	570	570	570
2023	551.61	589.15	490
2024	526.45	603.46	-
2025	-	613.99	-

Исходя из таблиц 3.5 и 3.6 можно заметить, что полученные разными методами данные разнятся с прогнозами специалистов ПИНРО.

По прогнозам специалистов к 2023 году будет уменьшение количества запасов трески, в результате прогноза по модели МЛР видно, что запасы также будут уменьшаться, но медленнее. По модели Шефера при допустимом изъятии 30% промысловый запас трески будет повышаться и в 2025 составит 2249,70 тыс. тонн.

Также, по прогнозу ПИНРО промысловый запас пикши будет уменьшаться от 570 тыс. тонн в 2022 году до 490 тыс. тонн в 2023. По модели МЛР можно заметить понижение запасов до 526 тыс. тонн в 2024 году. По модели Шефера при допустимом изъятии 30% запасы пикши будут только увеличиваться и к 2025 году составят 613 тыс. тонн.

Для каждого метода была проведена оценка качества, при которой мы сравниваем ряды восстановленных и фактических значений промысловых запасов. Как сказано выше критерием для сравнения ошибки было принято значение $0,67\sigma$.

Так для прогноза по МЛР оправдываемость составила 93% для трески, и 91% для пикши. По модели Шефера – 97% для трески и 86% для пикши.

Можно сделать вывод, что более точный прогноз для промыслового запаса северо-восточной трески был выполнен с помощью модели Шефера при изъятии 30%. Для прогноза запасов пикши наиболее вероятный прогноз был выполнен с помощью множественной линейной регрессии.

Заключение.

1) Треска и пикша наиболее массовые и ценные промысловые виды Северного бассейна. В работе выполнен анализ состояния промысловых запасов и уловов северо-восточной арктической трески с 1951 по 2022 гг. и северо-восточной арктической пикши с 1952 по 2022 гг. Прогноз промыслового запаса трески пикши на 2023-2024 гг. выполнен с помощью уравнений множественной регрессии и на 2023-2025 гг. по модели Шефера.

2) В настоящее время запасы обоих видов находятся в относительно благополучном состоянии. Запас трески составляет в настоящее время менее 2 млн тонн и падает. Запас пикши в настоящее время составляет около 500 тыс. тонн и понижается. Промысловый запас пикши в 2012 году находился на историческом максимуме (около 1200 тыс. тонн), но в течение последних 10-12 лет только снижается.

3) Для обоих запасов составлены уравнения множественной линейной регрессии с двумя предикторами: температура воды на разрезе Кольский меридиан, станции 3-7, слой 0-200 м и сам запас (авторегрессия). Лучшие коэффициенты регрессии для обоих видов были при сдвиге в 1 шаг. Для модели Шефера рассчитаны коэффициенты воспроизводства и убыли, восстановление и прогноз по модели Шефера также выполняется на 1 шаг.

4) Проверка качества методов производилась сравнением восстановленных и фактических значений рядов промысловых запасов. Критерий- абсолютная ошибка меньше или равна 0,67 СКО.

Обеспеченность уравнения МЛ регрессии для трески 93%, модели Шефера 97%. Для пикши обеспеченность 91% и 86% соответственно.

5) Прогноз запаса трески, выполненный на основе уравнения регрессии, для 2023г. и 2024 г. показал спад запаса от последнего фактического значения - 2000 тыс. тонн до примерно 1895 тыс. тонн.

Для трески по модели Шефера рост составляет от 2000 тыс. тонн в 2022 году до 2249 тыс. тонн в 2025 г. При коэффициенте промышленного изъятия в 30%

б) Прогноз запаса пикши, выполненный на основе уравнения регрессии, для 2023 и 2024 гг. показал незначительный спад запаса от последнего фактического значения в 2022 году - 570 тыс. тонн до примерно 526 тыс. тонн в 2024 г.

Для пикши по модели Шефера рост от 570 тыс. тонн в 2022 году до 614 тыс. тонн в 2025 году. При коэффициенте промышленного изъятия в 30%.

7) Значения близки к данным ПИНРО, но тенденция спада запаса получена только при использовании уравнения МЛР, что не соответствует данным специалистов.

Для трески наиболее вероятным считаем прогноз, выполненный по модели Шефера, причем допустимое изъятие составляет 30% от промышленного запаса, тогда запас в дальнейшие годы будет увеличиваться и к 2025 году достигнет 2249 тыс. тонн.

Для пикши наиболее вероятный прогноз, выполненный по МЛР, промышленный запас в 2023 и 2024 году будет незначительно понижаться от 570 тыс. тонн до 526.45 тыс. тонн в 2024 году. По прогнозу ПИНРО промышленный запас снижается, но быстрее, и в 2023 г. составит примерно 490 тыс. тонн.

Список используемой 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 2023 г.; Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2023. – 165 с.
2. Борисов В.М., Древетняк К.В., Греков А.А., Русских А.А. / Использование рыбопромысловых запасов Баренцева моря и сопредельных вод отечественным флотом в 2013 г.
3. Булатов О.А., Васильев Д.А., Ковалев Ю.А., Четыркин А.А. / Промысел и состояние запасов трески Баренцева и Норвежского морей; 2022г.
4. Гордеева С.М. / Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации». - СПб, изд. РГГМУ, 2017. – с.
5. Гриценко О.Ф., А.Н. Котляр, Б.Н. Котенёв / Промысловые рыбы России. В двух томах - М: изд-во ВНИРО. 2006.- 1280 с. (Том 1-656 с).
6. Карамушко Л. И. /Биоэнергетика и рост морских видов рыб Арктики; Мурман. мор. биол. ин-т РАН. – Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2020. – 110 с.
7. Лисицын А.П., Агатова А.И., Агафонова Е.А., Алексеева Т.Н., Алиев Р.А., Анисимов М.А. / Система Баренцева моря ; М.: ГЕОС, 2021.- 672 с.
8. Малинин В.Н. / Статистические методы анализа гидрометеорологической информации: учебник, – издание 2, испр. и доп. – СПб.: РГГМУ, 2020. – 424 с.
9. Ожигин В.К., Ившин В.А., Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Анциферов М.Ю. / Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость; ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО, 2016. – 260 с.

10. Осипов Ю.С. / Норвежское море. Большая российская энциклопедия: [35 т]; 2004—2017, т. 23.

11. [Электронный ресурс]- FishBase

Свободный доступ: <https://www.fishbase.se/home.php>

12. [Электронный ресурс]- ВНИРО, разрез «Кольский Меридиан» ст. 3-7, слой 0-200 м.

Свободный доступ: <http://pinro.vniro.ru/ru/razrez-kolskij-meridian/ryady-nablyudenij/2-uncategorised/166-ct-3-7-sloj-0-200-m-2>