



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра ПО ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему Оценка и прогноз запасов промысловых видов рыб Северного бассейна

Исполнитель Быковская Юлия Владимировна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор географических наук, доцент  
(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)

«19» июль 2023 г.

Санкт-Петербург  
2023

## Содержание

Введение .....	2
1 Описание вида и физико-географическое описание ареала обитания .....	4
1.1 Описание вида .....	4
1.2 Ареал обитания северо-восточной арктической сайды .....	6
1.3 Гидрологические характеристики Баренцева, Норвежского и Северного морей .....	10
2 Материалы и методы .....	13
2.1 Материалы. Ряды запасов и уловов северо-восточной арктической сайды .....	13
2.2 Методы исследования .....	16
2.2.1 Регрессионная модель .....	16
2.2.2 Модель Шефера .....	19
2.2.3 Спектральный анализ .....	24
3 Результаты расчетов .....	26
3.1 Регрессионная модель .....	26
3.2 Модель Шефера .....	28
3.3 Спектральный анализ .....	30
3.4 Сравнение результатов .....	32
Заключение .....	35
Список используемой литературы .....	37
Приложение 1 .....	39

## Введение

Северный бассейн является одним из ключевых промысловых районов для европейской части России. До 1/3 российского вылова приходится на Северный бассейн, особенно на Баренцево море, где добываются многие виды рыб и моллюсков. Россия и Норвегия являются основными странами, занимающимися промыслом северо-восточной арктической сайды. Однако в 70-е годы было замечено, что чрезмерный вылов может привести к истощению многих промысловых видов, в том числе сайды, поэтому необходимо регулирование и ограничение вылова с учетом различных факторов, в особенности гидрометеорологических и антропогенных.

Цель работы: оценка состояния запаса и вылова северо-восточной арктической сайды и составление прогноза запаса этого промыслового вида.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Сформировать ряды промыслового запаса и уловов северо-восточной арктической сайды с 1960 по 2021 гг.
2. Подобрать предикторы, влияющие на состояние запаса данного вида и составить уравнение регрессии для прогноза запаса.
3. Рассчитать параметры модели Шефера для оценки состояния и прогноза запаса сайды.
4. Провести спектральный анализ ряда запаса сайды и представить ряд запаса в виде суммы спектральных составляющих.
5. Сравнить результаты расчетов всеми методами с оценками специалистов ПИПРО.

Северо-восточная арктическая сайда является важным промысловым объектом в Северном промысловом бассейне. Запасы и вылов сайды меньше, чем более известных и массовых промысловых видов, тем не менее, вылов сайды по объему занимает 4 место в суммарной добыче Северного бассейна

после трески, сельди и пикши. При этом по своей ценности и вкусовым качествам сайда не уступает треске и пикше. Промысел сайды российскими рыбаками значительно уступает норвежскому, поэтому практически важно давать собственные научные оценки состояния запасов и наращивать российский промысел сайды как в своей, так и в норвежской Исключительной экономической зоне океана (ИЭЗ).

# 1 Описание вида и физико-географическое описание ареала обитания

## 1.1 Описание вида

Северо-восточная арктическая сайда — это стайная рыба, родственница трески, обитающая в пелагической зоне океанов. Внешний вид схож с другими тресковыми. На рисунке 1.1 можно заметить сужающуюся ко рту голову, длина челюстей ассиметрична в пользу нижней, которая заметно больше. Также видно, что есть сужение к хвосту, как и к голове. Вышина сайды в пропорциях к длине составляет около ее четверти. Узор на чешуе представляет из себя почти ровную линию с небольшим отклонением вниз по центру. Окрас верхней части туловища имеет преимущественно черный или близкий к нему цвет. Ближе к брюху окрас приобретает теплые светлые оттенки. В среднем размеры сайды слегка превышают 100 см [1].



Рис. 1.1. Внешний вид сайды.

Сайда предпочитает жить в стае и выбирает прибрежные зоны с каменистым дном для своего проживания. Она является хищником с основным источником питания в виде планктона, ракообразных и других небольших рыб. Северо-восточная арктическая сайда - значимая рыба в Северном бассейне, которая обитает в Баренцевом море, Норвежском и Северном морях.

Сайда может начать размножаться, когда ее размеры превысят 60 см. Но она подвергается большому риску быть съеденной другими хищными рыбами в раннем возрасте. Спаривание сайды протекает в первую половину календарного года вблизи берегов Норвегии до проливов Скагеррак и Каттегат. В начале весны рыба начинает метать икру, откладывая ее на 200 метров вниз. Более 5 миллионов икры может вывести от одной особи. Маленькие рыбки сайды вылупляются из икринок примерно через пару недель. Благодаря водным потокам икра оказывается в других морях, таких как Баренцево, Норвежское и Северное. Молодость сайды проходит в основном в прибрежных зонах, а в более зрелом возрасте эти рыбы уходят вдаль от берегов, погружаясь вглубь.

Значимость сайды резко увеличилась в наше время, ее вылов приблизительно составляет 400 тысяч тонн в год. Так как сайда очень схожа с другими рыбами, к примеру с треской, то икру одной рыбы часто заменяют на икру другой, при этом стоимость икры сайды значительно ниже.

Основными приспособлениями для вылова сайды служат большие сети и рыболовные тралы.

Ключевыми странами, добывающими северо-восточную арктическую сайду, являются страны, расположенные вблизи Баренцева, Норвежского и Северного морей [2].

## 1.2 Ареал обитания северо-восточной арктической сайды

В ходе нашей работы для исследования была мною выбрана в качестве объекта северо-восточная арктическая сайда.

Ареал обитания северо-восточной арктической сайды охватывает сразу несколько морей, таких как- Баренцево, Норвежское, Северное моря (рис 1.2)



Рис. 1.2. Ареал северо-восточной арктической сайды [3]

Первое море, которое будет рассмотрено в данной работе- Баренцево море. Его расположение устанавливается условными линиями, которые определены гидрометеорологическими и геологическими признаками. Это море содержит свои границы в небольшой степени на востоке-остров Новая Земля, а на юге- берега Норвегии и России [4]. Размеры Баренцева

моряобладаютплощадью равной 1,424 млн. км<sup>2</sup>, глубинойне более 600 метров, объемом 316 тыс. км<sup>3</sup>, средней глубиной 222 м.

Баренцево море омывает окраину материка на Северо-Европейскойматериковой отмели. Оно включает в себя разнообразный рельеф.Морское дно имеет не равнинную поверхность с перепадами глубин. Это сказывается на гидрологических факторах.Обилие зимнего периода и его доминирование над летним – отличительная особенность климата Баренцева моря. Однако есть и различие в климатических условиях, связанные с теплыми течениями вод и большим размером по ширине.

У Баренцева моря необычный гидрологический и климатический режимы из-за того, что оно граничит с Норвежским морем и контрастирующим по температуре с ним Арктическим бассейном. Сквозь него проходят теплые течения, идущие с западных вод на восток.

Температура моря понижается в направлении с юго-запада на северо-восток. На западной части моря средняя температура воздуха варьируется в районе -1.5°. В то время как на восточном крае моря она чуть меньше -10°. В течении года на севере фиксируется температура ниже -20°, а летом в около +5° в различных местах [3].

Следующее море, которое является местом обитания данного вида — сайды— это Норвежское море. Норвежское море составляет часть Северного Ледовитого океана. Это море, площадь и объем которого равен 1400 тыс. км<sup>2</sup> и 2325 тыс. км<sup>3</sup> соответственно, распространяется от Британских материковых остров к Фарерским островам, от них через Фареро-Исландский порог к восточному побережью Исландии. Также пересекая Исландскую впадину, к северо-востоку от острова Ян-Майен, на Медвежий остров. Северный морской бассейн, если сравнивать его с Южным, намного мелководнее. Максимальная глубина Норвежского моря равняется 3970 м, а средняя в пределах 1735 м.

Дно моря составляют впадины, глубины которых примерно равны 3000 м. Подводные пороги и хребты, которые наблюдаются в Норвежском море, важны



для формирования водообмена данного моря с близ расположенными бассейнами. Большое количество фьордов, глубоко врезанных в землю, является всем известной чертой береговой линии Норвежского моря. Норвежское море соединено с другими морями с помощью проливов. И так, между островом Медвежий и мысом Нордкап Норвежское море соединяется с Баренцевым морем. Пролив между Скандинавским полуостровом и Шетландскими островами сообщает его с Северным морем, также большие водные пространства соединяют Норвежское море с Гренландским, а также между Шетландскими, Фарерскими и Исландией соединяется с Атлантическим океаном.

Климат в Норвежском море может значительно отличаться от среднего из-за влияния термохалинной циркуляции и других факторов. Разница температуры между морем и берегом составляет около 10 °С. Зимой в море обычно самое низкое давление воздуха во всей Арктике. Норвежское море свободно ото льда круглый год благодаря своим теплым течениям, а конвекция между теплой водой и холодным воздухом зимой играет важную роль в арктическом климате. Температура воды в море составляет от 2 до 7 °С в феврале и от 8 до 12 °С в августе. Миграция рыбных стад делает Норвежское море важным рыболовным регионом и привлекательным для туризма и отдыха на побережье. Изменения в погоде и климате могут иметь последствия для экономики, экологии и общества в целом, так как климат влияет на широкий регион, включая соседние страны, такие как Норвегия, Швеция и Дания.

Норвежское море представляет собой зону перехода между бореальным и арктическим климатическими условиями, что обеспечивает наличие уникальной флоры и фауны, характерной для обоих регионов. Многие арктические виды имеют южную границу в районе Северного мыса, Исландии и центральной части Норвежского моря, тогда как северная граница бореальных видов проходит рядом с границами Гренландского, Норвежского и Баренцева морей, что создает перекрестную зону. Различные виды, например,

гребешок *Chlamys islandica* и мойва, обычно обитают в этой зоне между Атлантическим и Северным океанами [5].

Северное море — это неглубокое море, относящееся к морям Атлантического океана. Находится на севере Европы и омывает берега. Размер моря приблизительно равен 750 тыс. км<sup>2</sup> средней глубиной в 725 метров.

Данное море омывает берега Дании, Норвегии, Великобритании и еще четырех стран. В Северное море впадают крупные реки Шельда и Маас. У них есть свои плотины, которые препятствуют нагону волн Северного моря [6].

На климат Северного моря оказывает влияние географическое положение на восточной окраине Атлантического океана в умеренных широтах, а также два центра действия атмосферы - Исландский минимум и Азорский максимум, которые взаимодействуют друг с другом, и Североатлантическое теплое течение. Низкая температура около -25°, мощные ветра, осадки в виде снега характеризуют зимний период времени в Северном море. Больше время здесь действуют циклоны, несущие с собой изменение в погоде и температуре воздуха, а антициклоны можно заметить всего пару раз в месяц. Азорский максимум активно действует весной и летом, влияя на погодные условия Северного моря, делая его более теплым. Исландский минимум начинает проявляться ближе к осени, внося свой вклад в формирование климата Северного моря, принося с собой холод и большое количество штормов из-за присутствия циклонов.

Рельеф дна Северного моря является сложным - южная половина имеет большое количество котловин и ложбин, а в северной части наоборот, реже возвышенностей и понижений, в следствии этого, дно как будто бы наклонено с юга на север [7].

### **1.3 Гидрологические характеристики Баренцева, Норвежского и Северного морей**

Рассмотрим гидрологические характеристики морей, которые важны конкретно для этой работы.

Одним из них является Баренцево море. Научное изучение его начато экспедицией Федора Литке в 1821—1824 годах, а первая полная и достоверная гидрологическая характеристика моря была составлена Н. М.Книповичем в начале XX века. В Баренцевом море температура воды в значительно большей мере, чем в других арктических морях определяет все процессы, связанные с плотностной структурой вод (конвекция, образование слоя скачка и др.). На гидрологические условия моря влияет и речной сток, однако только в его юго-восточной части; там сосредоточено около 90% материкового стока. В целом же сток относительно невелик (163 км<sup>3</sup>) и поэтому мало влияет на соленость и химический состав баренцевоморской воды, близкой по этой причине к характеристикам вод океана. Одной из характерных черт гидрологии Баренцева моря является хорошее перемешивание его вод. С этой особенностью моря тесно связано содержание и распределение растворенных в воде газов и биогенных веществ. Воды моря хорошо аэрированы; содержание кислорода в толще воды по всей площади моря близко к насыщению.

Температура воды Баренцева моря демонстрирует течение теплых потоков воды из Атлантики, которые влияют на климат в северных арктических морях. Осенне-зимняя конвекция, равная температуре поверхности моря ко дну, вместе с летним прогревом верхнего слоя играют основную роль в температурном режиме этого моря.

В Баренцевом море происходит круговорот поверхностных течений, идущий против часовой стрелки. Воды Атлантики тёплого Нордкапского течения перемещаются по южной и западной периферии с востока на север, а с северана восток круговорот образуется из местных и арктических воды

Карского моря и Северного Ледовитого океана. В центре моря находятся внутрикруговые течения, меняющиеся под влиянием дующих ветров и водообмена с прилегающими морями. Приливно-отливные течения имеют большое значение у берегов, где полусуточные приливы достигают наибольшей величины. Теплое Нордкапское течение является главным поставщиком воды, приблизительно 59 тыс. км<sup>3</sup> в год оказывает большое воздействие на гидрометеорологический режим моря. В то же время, общий объем стока рек в море составляет примерно 163 км<sup>3</sup> в год [8].

Следующим морем является Норвежское. Четыре главных водных массы в этом море возникают из Атлантического и Северного океанов, и связанные с ними течения играют важную роль в глобальном климате. Североатлантическое течение, которое теплое и соленое, поступает из Атлантического океана, в то время как Норвежское течение, которое менее соленое и холодное, начинается в Северном море. Восточно-Исландское течение перемещает холодную воду на юг из Норвежского моря в Исландию, а затем на восток вдоль Полярного круга, протекая в среднем слое воды. Нижние слои воды текут в Норвежское море из Гренландского моря. Приливы и отливы происходят дважды в день и поднимаются на высоту около 3,3 метра.

Гидрология верхних слоев воды в значительной степени определяется стоком из Северной Атлантики, расход достигает значений порядка 10 млн м<sup>3</sup>/с и имеет максимальную глубину 700 метров на Лофотенских островах, но обычно находится в пределах 500 метров. Фаро-Шетландский канал является одним из источников этого течения, имеющего высокую соленость 35,3 ‰. Еще одна часть течения проходит через гренландско-шотландскую впадину между Фарерскими островами и Исландией и показывает сильные сезонные колебания. Температура и соленость течения, вытекающего из Северного моря, также подвержены сезонным и годовым изменениям. Теплые поверхностные воды текут непосредственно от Атлантического океана до Северного Ледовитого океана и оказывают большое влияние на климат. Арктические воды

Восточно-Исландского течения на поверхности моря зависят от силы течения, которая в свою очередь зависит от разности давлений между низким исландским и высоким Азорским соответственно [9].

Температура поверхностных вод третьего рассмотренного моря в данной работе имеет такие колебания-вфеврале от 2 °С в проливе Скагеррак до 7,5 °С на северо-западе, а максимальная температура в августе составляет от 12,5 °С до 18 °С соответственно. Такое явление предопределено влиянием теплого Северо-Атлантического течения, поступающего из Норвежского моря. На границе с Балтикой вода значительно холоднее. В прибрежных водах Северного моря солёность воды колеблется в районе 32—34,5 промилле, в то время как в открытом море приблизительно равно 35 ‰. При приближении к востоку солёность этого моря начинает понижаться из-за притока холодных и менее соленых вод Балтики, а также впадение в него крупных рек.

В течение года преобладают западные, юго-западные и северо-западные морские ветры, которые приносят частые туманы и дожди. Поднятые порывами ветра волны достигают высоты 6—7 метров, а у побережья Шотландии — 11 метров, что затрудняет судоходство. Высота приливов колеблется от 0,2 метра у берегов Норвегии до 7,6 метра у побережья Англии. Морские течения ориентированы против часовой стрелки и движутся со скоростью около 1 км/ч [10].

## 2 Материалы и методы

### 2.1 Материалы. Ряды запасов и уловов северо-восточной арктической сайды

Наиболее надежные данные по состоянию запаса сайды касаются промыслового запаса [11], поэтому расчеты и анализ производились на основе именно ряда ежегодных значений промыслового запаса северо-восточной арктической сайды с 1960 по 2021 гг.

Основная часть промыслового запаса северо-восточной арктической сайды распределяется в экономической зоне Норвегии (НЭЗ). В губах и заливах Мурманского побережья в значительных количествах встречается ее молодь. Кроме того, отдельные косяки, состоящие преимущественно из неполовозрелых особей, в летнее время мигрируют из НЭЗ в прибрежные воды России. Основной объем международного вылова северо-восточной арктической сайды приходится на Норвегию [11].



Рис. 2.1. Промысловый запас северо-восточной арктической сайды [12]

Динамика запасов северо-восточной арктической сайды за промежуток времени с 1960 по 2021 год была следующей: период чрезмерной эксплуатации запаса сайды совпал с периодом холодных аномалий конца 1970-х и начала 1980-х гг. Неурожайные поколения сайды могли появиться еще во время похолодания второй половины 1960-х гг. К середине и концу 1980-х гг. нерестовый и промысловый запасы сайды снизились до минимальных величин: 84,7 и 256,9 тыс. т соответственно. Общая добыча этой рыбы сократилась в середине 1980-х гг. до 67,4 тыс. т. Промысловый запас составлял в среднем за 13 урожайных лет (1960–1972 гг.) 870 тыс. т. Нерестовый запас был в пределах 457–584 тыс. т. После значительного (примерно в 2 раза) увеличения запаса в начале 1990-х гг. и принятых международных мер по регулированию промысла общая добыча сайды в Баренцевом море и сопредельных водах составляла в среднем 155,6 тыс. т в год.

Мониторинг запаса сайды ведется с 1960 г. В первый период, до начала 1970-х гг., запас ее был на максимально высоком уровне. Тенденция снижения обозначилась в начале 1970-х гг., в особенности, когда значительно увеличилась доля вылова от нерестового запаса, что является признаком чрезмерного вылова рыб ранних возрастных групп. Для промыслового запаса, по-видимому, следует считать нижним его пределом величину около 600 тыс. т. Дальнейшее снижение запаса является тревожным признаком. С 1977 по 1991 г. – период явно неблагоприятного состояния популяции сайды, которое было обусловлено тремя причинами: плохим состоянием кормовой базы (отсутствие сельди и резкое снижение запасов мойвы), похолоданием вод и чрезмерной добычей.

Последние 10 лет с 2010-2011 гг. промысловый запас сайды находится в хорошем состоянии.

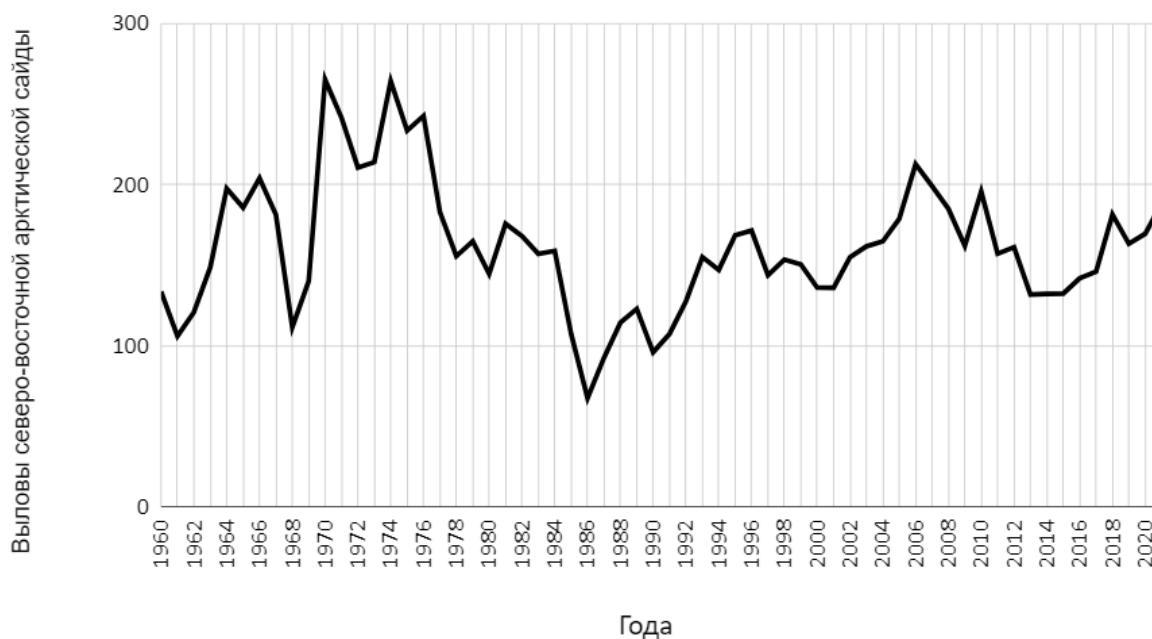


Рис. 2.2. Выловы северо-восточной арктической сайды [12]

По данному графику можно заметить, как колеблются результаты вылова северо-восточной арктической сайды. Наибольший вылов можно заметить в 1970-1978 годах, когда пик составлял около 270 тыс. т, что является максимальным значением вылова за весь промежуток времени, а именно с 1960 по 2021 год. Максимальный спад вылова зафиксирован с 1984 по 1986 года, значения в данном промежутке времени упали со 158 тыс.т. до 67 тыс.т. Это связано с понижением запасов рыб и интенсивным промыслом. Данную закономерность и связь можно увидеть на графиках - рисунок 2.1 и рисунок 2.2.

После 1990 годов запасы рыб стали увеличиваться, что сказалось благоприятно и на вылове. Нормализовалась промышленная добыча сайды, запас пришел в благополучное состояние, всё это приводит к дальнейшему положительному развитию, размножению и вылову арктической сайды.



## 2.2 Методы исследования

### 2.2.1 Регрессионная модель

Существует несколько способов для расчета биомассы промысловых видов рыб. Мы сделаем это с помощью трёх разных методов. Первый использованный метод - регрессионная модель.

Регрессионная модель строится на рядах предикторов и предиктанта. В данном случае стоит задача прогноза промыслового запаса сайды. Поэтому предиктант - ряд промыслового запаса северо-восточной арктической сайды. Предикторами являются ряды значений факторов, влияющих на состояние запаса данного вида. В качестве одного из предикторов в данной работе выбран ряд средней температуры воды Центральной ветви Нордкапского течения на разрезе «Кольский меридиан» в слое 50-200 м в 1960-2020 гг. с сайта ПИНРО [13]. Для изучения закономерностей сезонных и межгодовых изменений океанографических условий Баренцева моря, выявления особенностей развития океанографических процессов и использования их в решении задач промысловой океанографии, в том числе в прогностических целях, необходимы продолжительные ряды наблюдений, поэтому основным источником современных знаний об особенностях сезонных и межгодовых изменений океанографических условий являются наблюдения, выполняемые на стандартных разрезах. Один из самых продолжительных в мире рядов океанографических данных представлен на разрезе «Кольский меридиан», который является уникальным не только по длительности, но и по частоте выполняемых на нем наблюдений. Впервые океанографические работы на этом разрезе были проведены в мае 1900 г. на экспедиционном судне «Андрей Первозванный» под руководством Н.М. Книповича. Эти работы положили начало регулярным океанографическим исследованиям в Баренцевом море. В

работе используется промысловый запас, который берется за вычетом молоди, то есть, когда рыба вступает в нерестовый возраст и дает первое потомство. Поэтому выбор предикторов является обоснованным, так как нерест сайды проходит на малых глубинах в северо-восточной части Норвежского и частично в Баренцевом море, различного рода миграции сайды достигают Северного моря. С притоком теплых вод Норвежского и Нордкапского течения создаются благоприятные условия для нереста и нагула.

Известно, что зависимости между характеристиками природной среды носят, как правило, многофакторный характер, т. е. когда рассматриваемая переменная зависит не от одной, а от многих переменных. Естественно, что в этом случае построение парной линейной регрессии оказывается не достаточным. В результате мы приходим к необходимости построения модели множественной линейной регрессии (МЛР), уравнение которой можно представить в следующем виде:

$$y_i = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j x_{ij} + \varepsilon_i = b_0 + b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + \dots + b_m x_{im} + \varepsilon_i, \quad (2.1)$$

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

Нетрудно видеть, что 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. Уравнение (2.1) можно интерпретировать как некую условную гиперплоскость в  $(m + 1)$ -мерном пространстве, которая обладает тем свойством, что сумма квадратов отклонений точек  $(y_i, x_{i1}, \dots, x_{im})$  от нее меньше, чем до любой другой поверхности. В уравнении (2.1)  $Y$  – зависимая переменная (функция отклика,

предиктант и т.п.),  $X_j$  – независимая переменная (фактор, предиктор и т.д.),  $b_j$  – коэффициент регрессии

Математической мерой корреляции двух случайных величин служит корреляционное отношение либо коэффициент корреляции. В случае если изменение одной случайной величины не ведёт к закономерному изменению другой случайной величины, но приводит к изменению другой статистической характеристики данной случайной величины, то подобная связь не считается корреляционной, хотя и является статистической.

В качестве второго предиктора в данной работе был выбран сам ряд промышленного запаса со сдвигом 3 года, при котором линейный коэффициент корреляции оказался максимальным.

## 2.2.2 Модель Шефера

Второй метод, который будем использовать в работе — это модель Шефера.

Современное рыболовство основано на установлении квот и лимитов вылова, которые определяются принципом оптимального использования биологических ресурсов, при этом не нарушая естественное воспроизводство. Важно не превышать минимальный прирост промысловой популяции, чтобы достичь наибольшего вылова. Гидрометеорологические условия, биологические и промысловые факторы также влияют на прирост и состояние популяции в целом.

Предполагается, что популяция, которую эксплуатируют, стремится к стабильности, когда размер вылова примерноравен общему приросту, что называется уравновешенным или равновесным уловом. Модель Шефера основывается на концепции уравновешенного улова.

Преимущество этой модели в том, что она основана на общих понятиях, таких как запас, улов и промысловое усилие, и не требует дополнительных данных. Она фокусируется на одном виде с изолированной биомассой  $P = P(t)$ , где  $t$  — это время, а  $P$  — биомасса промысловой части популяции. Исходное уравнение модели выглядит таким образом.

$$dP/dt = P(A-BP) - qfP \quad (2.2)$$

Коэффициент  $A$  отвечает за воспроизводство, а  $B$  - за естественную смертность. Изменения биомассы происходят непрерывно и пропорциональны скорости изменения  $P$ . Параметры  $A$  и  $B$  постоянны и зависят только от внутренних свойств популяции. Если не происходит промысла, биомасса увеличивается со временем в соответствии с логистическим законом и стремится к предельному значению, определяемому соотношением  $A/B$ .

Фактор, определяющий вклад промысла в сокращение популяции, представлен последним членом формулы -  $qfP$ . Если  $dP/dt$  - мгновенная скорость изменения биомассы популяции, то выражение  $qfP$  можно рассматривать как улов в единицу времени, где  $f$  - мгновенное промысловое усилие, а  $q$  - коэффициент улавливаемости. В расчетах на практике обычно используют промысловые данные за год, где изменение биомассы  $P$  за год рассматривается как улов в единицу времени, а аккумулированное за год промысловое усилие заменяет мгновенное.

Если известны коэффициенты  $A$  и  $B$ , а также текущий запас и прошлогодний запас, то можно использовать уравнение (2.2) для прогнозирования запаса на будущее время без учета промысла. Если также известен коэффициент  $C$  или промысловое усилие на определенный период времени, то можно оценить запас, при условии заданного улова. На практике, модель Шефера использует данные о промысловых усилиях  $f$ , уловах  $Y$  и уловах на единицу промыслового усилия в качестве исходной информации, а также предполагаем, что улов на усилие пропорционально запасу

$$U=CP, \quad (2.3)$$

Если коэффициенты  $A$  и  $B$  определены, а также известен годовой улов  $qfP$  уравнения, а также задана величина промыслового усилия, то можно рассчитать прогноз ряда запаса. Чтобы найти коэффициенты  $A$  и  $B$  применяется метод наименьших квадратов. Дифференциальное уравнение приводится к дискретному виду с шагом по времени  $t=1$  год. После проведения ряда преобразований этого уравнения и применения алгоритма метода наименьших квадратов, можно найти решение задачи прогноза.

$$P_{i+1} - P_i = P_i(A - BP_i) - C_i P_i \quad (2.4)$$

$$\frac{P_{i+1} - P_i}{P_i} = A - BP_i - C_i \quad (2.5)$$

$$K_i = \frac{P_{i+1} - P_i}{P_i} \quad (2.6)$$

$$\sum_{i=2}^n (A - BP_i - C_i - K_i)^2 = \min \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial f}{\partial A} = \frac{\partial}{\partial A} \sum_{i=2}^n (A - BP_i - C_i - K_i)^2 = 2 \sum_{i=2}^n (A - BP_i - C_i - K_i) \left( \frac{\partial A}{\partial A} - \frac{\partial BP_i}{\partial A} - \frac{\partial C_i}{\partial A} - \frac{\partial K_i}{\partial A} \right) = 0 \quad (2.8)$$

получается, что

$$2 \sum_{i=2}^n (A - BP_i - C_i - K_i) = 0 \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial f}{\partial B} = \frac{\partial}{\partial B} \sum_{i=2}^n (A - BP_i - C_i - K_i)^2 = 2 \sum_{i=2}^n (A - BP_i - C_i - K_i) \left( \frac{\partial A}{\partial B} - P_i \frac{\partial B}{\partial B} - \frac{\partial C_i}{\partial B} - \frac{\partial K_i}{\partial B} \right) = 0 \quad (2.10)$$

следует, что

$$2 \sum_{i=2}^n [(A - BP_i - C_i - K_i)P_i] = 0 \quad (2.11)$$

По формуле (2.9) можно получить уравнение для коэффициента А:

$$A = \frac{1}{N} (B \sum_{i=2}^n P_i + \sum_{i=2}^n C_i + \sum_{i=2}^n K_i) \quad (2.12)$$

По формуле (2.11) можно получить уравнение для коэффициента В:

$$B \sum_{i=2}^n P_i^2 = - \sum_{i=2}^n C_i P_i - \sum_{i=2}^n K_i P_i + \sum_{i=2}^n A P_i \quad (2.13)$$

Чтобы получить конечный вид уравнения для коэффициента В, нужно подставить выражение (2.12) в формулу (2.13):

$$B = \frac{\sum_{i=2}^n P_i \sum_{i=2}^n C_i + \sum_{i=2}^n P_i \sum_{i=2}^n K_i - N \sum_{i=2}^n P_i C_i - N \sum_{i=2}^n P_i K_i}{N \sum_{i=2}^n P_i^2 - \sum_{i=2}^n P_i \sum_{i=2}^n P_i} \quad (2.14)$$

Следовательно, по исходным данным в виде промысловой информации за несколько лет, и по вычисленным значениям коэффициентов А, В, можно использовать уравнение (2.2) как инструмент прогноза.

Проинтегрируем уравнение (2.2)

$$\int_{P_0}^P \frac{dP}{(-BP^2 + (A-C)P)} = \int_{t_0}^t dt \quad (2.15)$$

Так как здесь мы видим табличный интеграл, то решение будет выглядеть следующим:

$$\frac{1}{(A-C)} \ln \frac{BP - (A-C)}{P} \Big|_{P_0}^P = t \Big|_{t_0}^t \quad (2.16)$$

$$P(t) = \frac{P_0(A-C)}{BP_0 - (BP_0 - A + C) \exp(-t(A-C))} \quad (2.17)$$

Тогда, как уже отмечено выше, зная значения коэффициентов А, В, С можно будет использовать уравнение (2.17) для оценки биомассы популяции на последующий период. Задавая значения коэффициента промыслового изъятия на некоторый промежуток времени, и используя значения запаса за предыдущий год и известные коэффициенты А, В, можем оценить изменение биомассы на один шаг вперед. Для этого коэффициенты А и В подставляем в модель Шефера (2.17), зная запасы и уловы за предыдущий год и заданный коэффициент изъятия.

Используя вычисленное значение запаса в качестве исходного и те же значения коэффициентов можно дать прогноз запаса на следующий шаг и т.д. Расчет более чем на 3-4 шага нецелесообразен (или некорректен), так как далее надо пересчитывать значения коэффициентов А и В, при этом коэффициент промыслового изъятия С, также может измениться в силу экономических, правовых или экологических факторов.

В результате расчетов по уравнениям (2.12)–(2.14) мы сможем получить коэффициенты воспроизводства и естественной смертности А и В для ряда промыслового запаса северо-восточной арктической сайды. Если воспользоваться коэффициентами А и В и задавая коэффициент промыслового изъятия С, также можно получить прогностические значения запасов на несколько лет [14].



### 2.2.3 Спектральный анализ

Третий метод, который будем использовать в работе - спектральный анализ и представление ряда в виде суммы гармонических колебаний.

Временной ряд может содержать одну или несколько циклических составляющих, которые могут быть выявлены с помощью спектрального анализа. Гармонический анализ позволяет разложить ряд на конечное число гармоник и определить периоды и частоты, на которых присутствуют наиболее значимые гармоники. Для восстановления исходного процесса необходимо провести гармонический анализ, рассчитать характеристики гармоник и сложить ряды этих гармоник, при этом использовать несколько наиболее значимых гармоник. В гидрометеорологии спектральный анализ используется для обнаружения скрытых циклических закономерностей во временных рядах, а также для изучения частотной структуры и моделирования стационарных процессов.

Спектральное представление случайных стационарных процессов является расширением гармонического анализа периодических функций на случайные процессы. Гидрометеорологические и промышленные ряды обычно содержат колебания с несколькими периодами.

Спектральный анализ заключается в расчете автокорреляционной функции (АКФ) и функции спектральной плотности или спектра (СФ) исследуемого ряда. После выделения в спектре периодов или частот основных гармонических составляющих (или гармоник) можно с некоторой точностью представить исследуемый ряд в виде суммы этих основных гармоник, периоды которых были определены по виду АКФ и СФ.

Формула гармоники:

$$G_k = A_k \cos(\omega_k \cdot t - \phi_k)$$

Коэффициенты Фурье:

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

Амплитуда гармоники:

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$$

Фаза гармоники:

$$\phi_k = \arctg \frac{a_k}{b_k} \pm \pi$$

Дисперсия гармоники:

$$D_k = \frac{A_k^2}{2}$$

Вклад гармоники в общую дисперсию ряда:

$$V_k = \frac{D_k}{D_y}$$

### 3 Результаты расчетов

#### 3.1 Регрессионная модель

В данной работе предикторами регрессионной модели были выбраны ряды средней температуры воды Центральной ветви Нордкапского течения на разрезе «Кольский меридиан» в слое 50-200 м в 1960-2020 гг. с сайта ПИНРО [13] и значения промыслового запаса со сдвигом в три шага (года)

Расчеты показали, что множественный коэффициент корреляции исходного ряда с обоими предикторами равен 0,78.

$$P_{i+3} = -24630.42 * T_i + 0.98 * P_i + 52110.55$$

$T_i$ - средняя температура воды в  $i$  год,  $P_i$ - промысловый запас рыб в  $i$  год.

Таблица 3.1. Коэффициенты корреляции.

	Промысловый запас $y$	Температура $x_1$	Промысловый запас со сдвигом на 3 $x_2$
Промысловый запас	1		
Температура	0,29	1	
Промысловый запас со сдвигом на 3	0,66	0,24	1

Сдвиг три года выбран, потому что коэффициент корреляции при сдвиге три для ряда запаса оказался максимальным. Это свидетельствует о наибольшей связи запасов в исходном ряду именно с шагом 3 года, что примерно соответствует достижению сайдой нерестового возраста.

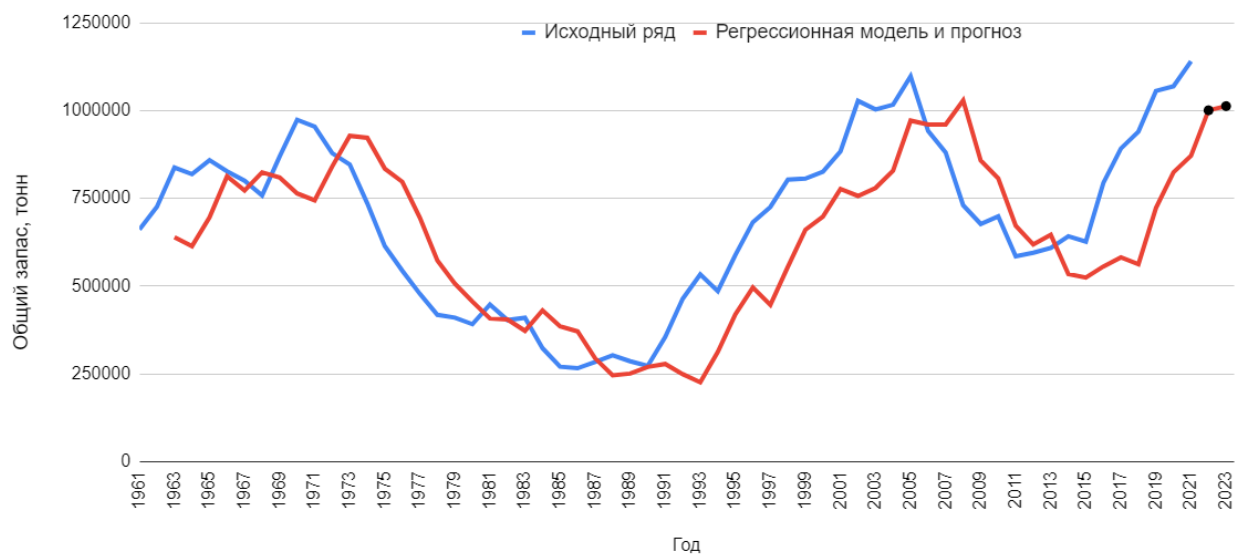


Рис. 3.1. Совмещенный график межгодового хода промышленного запаса и рассчитанного прогноза на 2 года вперед.

### 3.2 Модель Шефера

Прогнозирование запасов сайды проведено при различных коэффициентах изъятия  $C = 5, 10, 15 \%$ . При этом используются следующие формулы:

$$P_{i+1} - P_i = P_i(A - BP_i) - C_i P_i$$

$$K_i = \frac{P_{i+1} - P_i}{P_i}$$

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

$$B = \frac{\sum_{i=2}^n P_i \sum_{i=2}^n C_i + \sum_{i=2}^n P_i \sum_{i=2}^n K_i - N \sum_{i=2}^n P_i C_i - N \sum_{i=2}^n P_i K_i}{N \sum_{i=2}^n P_i^2 - \sum_{i=2}^n P_i \sum_{i=2}^n P_i}$$

$$P(t) = \frac{P_o (A - C)}{BP_o - (BP_o - A + C) \exp(-t(A - C))}$$

По сути, результаты расчета по модели Шефера схожи с данными, полученными по модели регрессии. На рисунке 3.2 представлены фактические и рассчитанные (восстановленные по модели Шефера) значения промыслового запаса и прогноз запаса при различных значениях коэффициента промыслового изъятия.

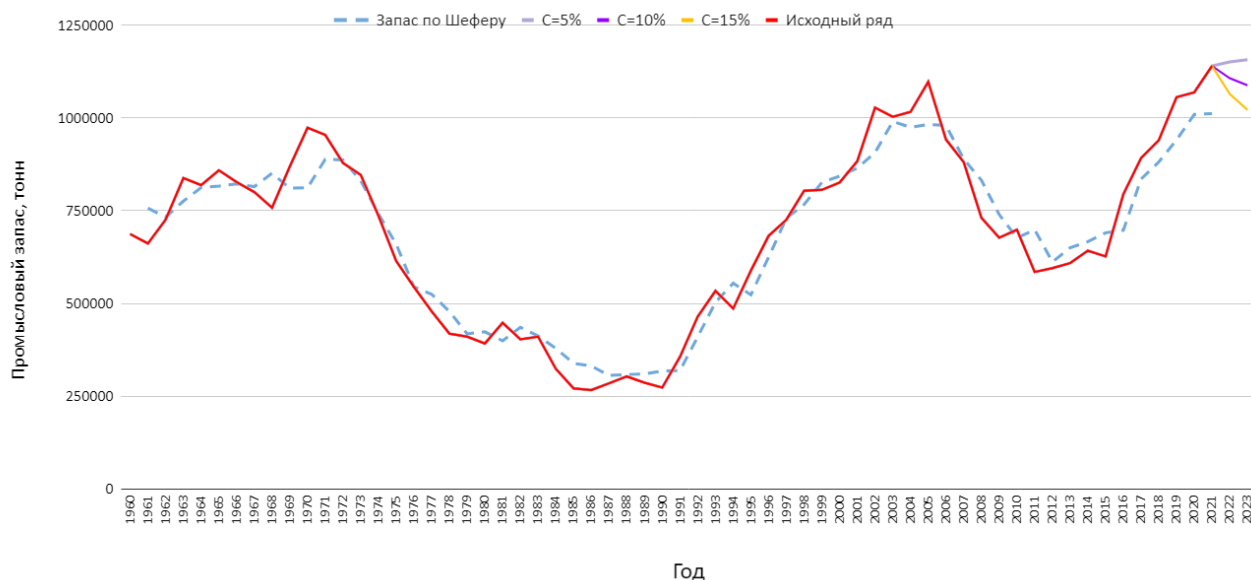


Рис. 3.2. Совмещенный график исходного ряда и рассчитанных значений промышленного запаса сайды по Шефери с прогнозом на 2 года и значениями коэффициента промышленного изъятия 5, 10, 15 %.

По графику прогноза запаса северо-восточной арктической сайды видно, что при уровне промышленного изъятия равного 5% уровень запаса продолжает расти как в 2015-2020гг, но с меньшей скоростью.

При изъятии равном 10% уже наблюдается тенденция уменьшения промышленного запаса сайды.

Серьезное уменьшение запасов происходит при уровне коэффициента изъятия равном 15%. Это говорит о том, что в ближайшие годы рыбакам стоит внимательнее относиться к вылову данного вида рыб, и не допускать его чрезмерного изъятия.

Таким образом, наиболее благоприятным для вида является процент изъятия в 5%, но учитывая, что запас находится на максимуме, то можно допустить и небольшое снижение запаса с промышленным изъятием в 10%.

### 3.3 Спектральный анализ

В ходе расчетов было получено, что значимый вклад в изменчивость ряда запаса сайды вносят 4 гармоники с периодами 9, 13, 25 и 51 год.

На рис. (3.3) представлен исходный ряд запаса и 4 гармонических составляющих с периодами 9, 13, 25 и 51 год соответственно.

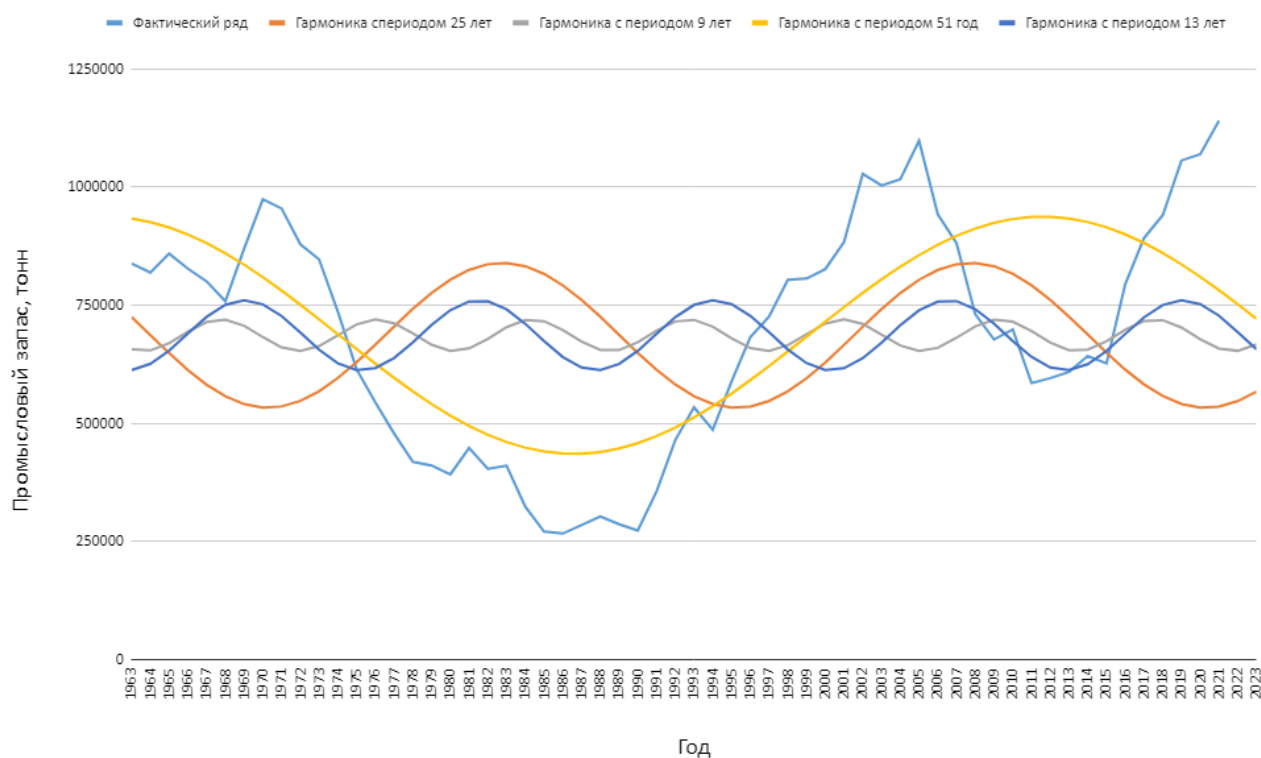


Рис. 3.3. Совмещенный график исходного ряда и 4 гармоник с периодами 9, 13, 25 и 51 лет

Таблица 3.2. Вклад гармоник с периодами 9, 13, 25 и 51 лет.

Вклад гармоник			
V(25)	V(13)	V(51)	V(9)
0,20	0,03	0,54	0,01

Гармоника, имеющая наибольший период, влияет на изменчивость запаса в большей степени, так как имеет наибольший вклад - 54% (табл. 3.2) и наибольшую амплитуду из всех гармоник, что видно из рис. 3.3. Просуммировав эти гармоники, получаем восстановленный ряд запасов сайды. Этот ряд может быть продолжен на 2-3 года вперед, что даст прогноз запаса на соответствующий срок. График исходного ряда и восстановленного ряда с помощью суммы гармонических составляющих, представлен на рис. 3.4, где восстановленный ряд продолжен (прогноз) на 2022-2023 гг.

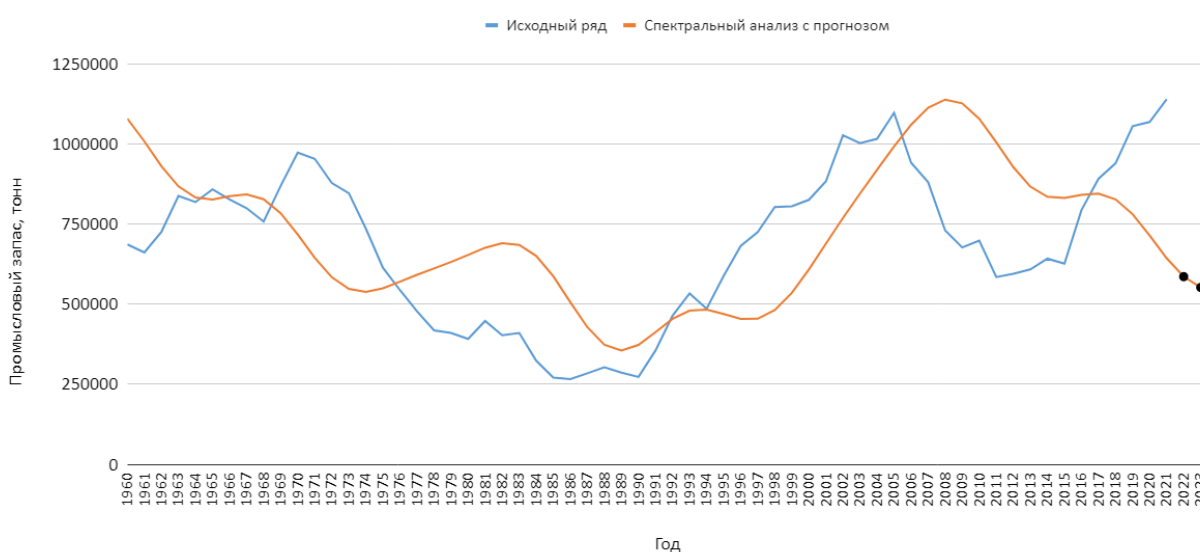


Рис. 3.4. Совмещенный график исходного ряда и спектрального анализа с прогнозом на 2 года.

К сожалению, расхождения исходного и восстановленного рядов запаса очень велики, и особенно большие в последние и прогнозируемые годы.



### 3.4 Сравнение результатов

Сравнение результатов, полученных разными методами между собой, и с данными с сайта ПИНРО, приведено в данном разделе.

Методы, которые были использованы в данной работе, дали несколько различающиеся результаты для прогноза запасов сайды. Ниже приведена таблица 3.3 для сравнения полученных результатов расчета разными методами с данными о состоянии и тенденции изменения запаса сайды с сайта ПИНРО.

Для прогноза на несколько лет вперед лучше всего использовать метод спектрального анализа и разложения на гармонические составляющие. Его преимущество состоит в том, что гармоники являются синусоидами, и каждая по отдельности и все вместе могут быть продолжены на любой срок вперед.

Регрессионная модель формально может использоваться на 2-3 шага вперед, но ошибка прогноза увеличивается в квадрате с каждым новым шагом прогноза. То есть прогноз запасов с каждым годом выполняется с большими ошибками.

Модель Шефера использует только промысловые данные, такие как запасы, уловы, коэффициенты воспроизводства и естественной смертности, что является его преимуществом. Метод также позволяет учитывать различные уровни вылова при прогнозе и находить наиболее оптимальный процент изъятия путем расчета. Однако, недостатком метода является то, что он не учитывает гидрометеорологические характеристики, которые могут значительно повлиять на состояние запасов промысловых видов рыб.

Таблица 3.3. Прогноз значений промышленного запаса северо-восточной сайды (тыс. тонн) и сравнение с данными ПИНРО.

Промысловый запас сайды. Модели с прогнозами	Состояние по восстановленному ряду на	Года прогноза	
	2021	2022	2023
Регрессионная модель, тыс. тонн	900	1000,76	1012,66
Модель Шефера, тыс. тонн при	1140,30		
С=5%		1151,12	1157,49
С=10%		1107,29	1088,1
С=15%		1064,85	1021,56
Спектральный анализ, тыс. тонн	650	586,202	552,58
Данные с сайта ПИНРО, тыс. тонн	1140,30	900	845

Проанализировав данные из таблицы 3.3, можно заметить, что результаты прогноза регрессионной модели на 2022 и 2023 года больше всех приближены к прогнозу данных с сайта ПИНРО. Их значения отличаются от данных ПИНРО в 2022 году на 100,76 тыс. тонн, а в 2023 году на 167.66 тыс. тонн, то есть примерно на 12 и 18%. Однако в регрессионной модели идет возрастание промышленного запаса, а не падение, как в других моделях и в данных ПИНРО. Причем рост идет от восстановленного значения в 900 тыс. тонн. Связано это с тем, что модель регрессии при сдвиге в 3 шага как бы запаздывает на эти 3 шага, сохраняет тенденцию, которая была 3 года назад, и экстраполирует её без

изменения. Поэтому значения запаса близки к данным ПИПРО, но тенденция роста запаса в модели регрессии скорее всего не верна.

Спектральный анализ и сложение четырех гармоник дает снижение запаса, причем в течение уже нескольких лет. Поэтому результаты этого метода в данном случае не рассматриваем в качестве прогноза на ближайшие 2-3 года.

Учитывая, что промышленный запас сайды в 2021 году находится на историческом максимуме, следует ожидать, что дальше будет скорее всего спад запаса. Видимо, учитывая это, и возможно урожайность прежних поколений (в данной работе мы это не учитывали) специалисты ПИПРО прогнозируют снижение запаса.

Таким образом, наиболее вероятным считаем прогноз, выполненный по модели Шефера, причем допустимое изъятие составляет 10 % от промышленного запаса. В этом случае промышленный запас в ближайшие 2 года будет снижаться и к концу 2023 г. составит около 1100 тыс. тонн. По прогнозу ПИПРО промышленный запас снижается, но быстрее и в 2023 г. составит примерно 850 тыс. тонн, или на 25 % меньше, чем в модели Шефера.

## Заключение

В заключение сформулируем основные выводы и результаты, полученные в выпускной квалификационной работе бакалавра.

1. В работе выполнен анализ состояния промыслового запаса и уловов северо-восточной арктической сайды с 1960 по 2021 гг. Также выполнен прогноз промыслового запаса сайды на 2022 и 2023 гг. с помощью трех известных методов.

2. В настоящее время запасы сайды находятся в благополучном состоянии. Более того, промысловый запас в 2021 г. находился на историческом максимуме в 1140 тыс. тонн.

3. Первый метод, использованный в работе - составление уравнения линейной регрессии с двумя предикторами: температура воды на разрезе Кольский меридиан, станции 3-7, слой 50-200 м и запас со сдвигом 3 шага.

Прогноз запаса, выполненный на основе уравнения регрессии, в 2022 и 2023 гг. показал незначительный рост запаса от восстановленного значения в 900 тыс. тонн до примерно 1 млн тонн. Значения близки к данным ПИНРО, но тенденция роста запаса не соответствует данным ПИНРО и нашему анализу.

4. Спектральный анализ и сложение четырех гармоник (периоды 9, 13, 25 и 51 год ) дает снижение запаса, причем в течение уже нескольких лет, что не совпадает с тенденцией изменения фактического запаса прежних 6-7 лет (фактически запас рос примерно с 2010г). Поэтому результаты этого метода в данном случае не рассматриваем в качестве прогноза на ближайшие 2-3 года. Возможно, прогноз на основе сложения этих гармоник дал бы хорошие результаты на более отдаленный срок.

5. Учитывая, что промысловый запас сайды в 2021 году находится на историческом максимуме, следует ожидать, что дальше будет скорее всего спад запаса. Такую тенденцию прогнозируют специалисты ПИНРО.

Тогда, наиболее вероятным считаем прогноз, выполненный по модели Шефера, причем допустимое изъятие составляет 10 % от промышленного запаса. В этом случае промышленный запас в ближайшие 2 года будет снижаться и к концу 2023 г. составит около 1100 тыс. тонн. По прогнозу ПИПРО промышленный запас снижается, но быстрее, и в 2023 г. составит примерно 850 тыс. тонн.

## Список используемой литературы

1. [Электронный ресурс]-Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона  
Свободный доступ:  
<https://ru.m.wikisource.org/wiki/%D0%AD%D0%A1%D0%91%D0%95/%D0%A1%D0%B0%D0%B9%D0%B4%D0%B0,%D1%80%D1%8B%D0%B1%D0%B0>
2. [Электронный ресурс]-Сайда – родственница трески  
Свободный доступ:  
<https://animalreader.ru/sayda-rodstvennitsa-treski.html>
3. [Электронный ресурс]-Справочник водных ресурсов  
Свободный доступ:  
<https://waterresources.ru/morya/barentsevo-more>
4. [Электронный ресурс]- Баренцево море- рыбная сокровищница России-  
Свободный доступ:  
<https://www.pravda.ru/economics/agriculture/fishery/13-04-2016/1298217-marchuk-0/>
5. Норвежское море. Большая российская энциклопедия: [35 т.] / гл. ред. Ю. С. Осипов; 2004—2017, т. 23
6. Северное море. Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. — 3-е изд. — М. : Советская энциклопедия, 1969—1978.
7. [Электронный ресурс]-Северное море — характеристика, расположение на карте и с какими странами граничит  
Свободный доступ:  
<https://natworld.info/nauki-o-prirode/severnoe-more-kratkoe-opisanie-gde-nahoditsya-na-karte-i-kakie-strany-omyvaet>
8. Баренцево море. Большая российская энциклопедия: [в 35 т.] / гл. ред. Ю. С. Осипов. — М. : Большая российская энциклопедия, 2004—2017

9. Норвежское море. Советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров; 1969—1978, т. 18.
10. Remote Sensing of the European Seas: ред. Vittorio Barale, Martin Gade. 2008. — P. 8—10 с.
11. С. В. Баканев, К. В. Древетняк, А. И. Крысов, П. А. Мурашко, Д. В. Прозоркевич, А. А. Русских, О. В. Смирнов, Н. Г. Ушаков, Е. А. Шамрай- Современное состояние промысловых биологических ресурсов в северо-восточной Атлантике и Баренцевом море- 2014., изд.- ПИНРО им. Н.М. Книповича
12. [Электронный ресурс]-данные ИКЕС по запасам 2022 г.  
Свободный доступ:  
<https://standardgraphs.ices.dk/stockList.aspx>
13. [Электронный ресурс]- данные средней температуры воды Центральной ветви Нордкапского течения на разрезе «Кольский меридиан» в слое 50-200 м в 1960-2020 гг. с сайта ПИНРО  
Свободный доступ:  
<http://www.pinro.vniro.ru/ru/razrez-kolskij-meridian/ryady-nablyudenij/2-uncategorised/170-ct-8-10-sloj-0-200-m>
14. Гаврилов Г. М. Динамика вылова, методические основы оценки запасов, прогнозирования общего допустимого улова (ОДУ) и возможного вылова (ВВ) промысловых рыб в экономической зоне России Дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана. //Успехи современного естествознания. – 2014. - №-6.

## Приложение 1

Таблица П.1. Данные, использованные для расчета промыслового запаса  
северо-восточной арктической сайды.

Год	Промысловый запас, тонн	Вылов, тонн	Средняя температура воды (°С) Центральной ветви Нордкапского течения на разрезе «Кольский меридиан» в слое 50-200 м в 1951-2020 гг.
1960	686916	133515	3,49
1961	661579	105951	3,51
1962	725964	120707	2,75
1963	837994	148627	2,45
1964	818944	197426	3,34
1965	858901	185600	2,83
1966	827172	203788	2,15
1967	800174	181326	2,93
1968	758020	111424	2,05
1969	869361	140060	2,57
1970	973772	264924	3,18
1971	954274	241272	2,63
1972	878566	210456	3,19
1973	846588	213859	3,44
1974	736039	264121	3,17
1975	614139	233453	3,27
1976	544141	242486	3,17
1977	478268	182817	2,63
1978	418443	155464	2,2
1979	410417	164680	2
1980	391858	144554	2,57
1981	447833	175540	2,43
1982	403434	168034	2,5
1983	410114	156936	3,35



1984	323432	158786	3,02
1985	270744	107183	2,9
1986	266515	67396	2,52
1987	284521	92391	2,47
1988	302927	114242	2,86
1989	286337	122817	3,38
1990	273010	95848	3,78
1991	355669	107327	3,57
1992	464558	127604	3,56
1993	533627	154903	3,2
1994	485997	146950	3,31
1995	588527	168378	2,97
1996	682201	171348	2,43
1997	725654	143629	2,64
1998	803607	153327	2,56
1999	806148	150375	3,46
2000	825951	135928	3,32
2001	883686	135853	3,62
2002	1027724	154870	3,57
2003	1003187	161592	3,05
2004	1016491	164636	3,57
2005	1097718	178568	4,02
2006	942032	212557,1	4,77
2007	880826	198966,61	4,39
2008	730583	184840,41	3,9
2009	677268	161865,12	3,95
2010	698709	195553,93	3,68
2011	584827	157048,22	3,69
2012	595305	160960,42	4,5
2013	608668	131629,42	3,75
2014	642313	132069,88	4,03
2015	626740	132275,079	4,2
2016	794025	141768,467	4,37
2017	891948	145819,158	4,14
2018	940084	181280	4,14
2019	1055975	163180	3,5
2020	1069119	169405	3,54
2021	1140302	188175	