



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

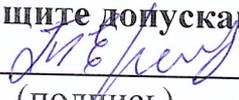
Кафедра \_\_\_\_\_ ПО и ОПВ \_\_\_\_\_

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

На тему Оценка изменчивости и прогнозирование запасов  
промысловых видов Северного бассейна

Исполнитель Еловский Артур Валерьевич  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)  
Аверкиев Александр Сергеевич  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой   
(подпись)

канд. физ.-мат. наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Еремина Татьяна Рэмовна  
(фамилия, имя, отчество)

«19» июль 2017 г.

Санкт-Петербург  
2017



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**Кафедра промышленной океанологии и охраны природных вод**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
**БАКАЛАВРА**

**На тему: «Оценка изменчивости и прогнозирование запасов промысловых**  
**видов Северного бассейна»**

**Исполнитель: Еловский Артур Валерьевич**

**Руководитель: доктор географических наук, доцент**  
**Аверкиев Александр Сергеевич**

**«К защите допускаю»**

**Заведующий кафедрой: канд. физ.-мат. наук, доцент**  
**Еремина Татьяна Рэмовна**

**«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.**

**Санкт-Петербург**

**2017**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

		стр.
	Введение	3
1	Физико-географическое описание района промысла	5
2	Описание исследуемых видов рыб и анализ временных рядов промыслового запаса и улова.	13
2.1	Северо-восточная арктическая треска	13
2.2	Северо-восточная арктическая пикша	20
3	Модель Шефера	25
3.1	Описание модели	25
3.2	Применение модели Шефера для оценки запасов северо-восточной арктической трески и пикши.	28
4	Расчёт изменения запасов трески при различных уровнях промыслового изъятия.	31
	Заключение	36
	Список использованных источников	37

## Введение

Северный бассейн является важнейшим промысловым районом для европейской части Российской Федерации. На Северный бассейн приходится до 1/3 части российского вылова. Существенная доля из этого вылова приходится на Баренцево море. В Баренцевом море добываются в промышленных масштабах треска, пикша, палтус, мойва, сайда, зубатка, сельдь и многие другие виды рыб, моллюсков и др.

Северо-восточная арктическая треска и северо-восточная арктическая пикша являются традиционными объектами промысла для России. Основная доля вылова приходится на Норвегию и Россию. В 70-е годы XX века стало очевидно, что чрезмерный вылов приводит к истощению многих промысловых видов, и прогноз состояния запаса, регулирование и ограничение вылова являются необходимыми условиями управления рыболовством с учетом как гидрометеорологических, так и антропогенных факторов. Треска и пикша в первую очередь нуждаются в корректной оценке и контроле запасов и уловов.

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 решены следующие задачи:

1. Проведен анализ рядов промыслового запаса и уловов трески с 1946 по 2015г и рядов промыслового запаса и уловов пикши с 1954 по 2015г, являющимися важнейшими объектами промысла
2. Для прогнозирования промыслового запаса видов рыб использован метод Шефера.

3. Проведен расчет промысловых запасов на 2016-2018гг при нескольких значениях промыслового изъятия

4.Получена оценка оптимального равновесного значения промыслового изъятия для каждого вида, не наносящего ущерба запасу вида.

## 1. Физико-географическое описание района промысла

Северный рыбохозяйственный бассейн, включая Баренцево море и прилегающие районы, являются морской экосистемой, исторически подверженной активной человеческой деятельности и богатой различными видами рыб (более 150) и беспозвоночных. Наибольшее промысловое значение имеют треска, пикша, сайда, черный палтус, атлантическая сельдь, камбала, зубатка, мойва, креветка [1].

В данной работе в качестве объекта исследования выбраны два важных для Российской Федерации вида рыб Баренцева моря (и всего Северного бассейна) – северо-восточная арктическая треска и северо-восточная арктическая пикша.

Баренцево море среди арктических морей нашей страны занимает самое западное положение, имеет естественные границы на юге и отчасти на востоке, в остальных его частях границами служат условные линии, проведенные в соответствии с гидрометеорологическими и геологическими признаками [2, 3]. Его западной границей принята линия м. Южный (о. Шпицберген) — о. Медвежий — м. Нордкап. Южным пределом моря служит берег материка и линия м. Святой Нос — м. Канин Нос, отделяющая его от Белого. С востока море ограничено западным побережьем островов Вайгач и Новая Земля и далее линией м. Желания — м. Кользат. На севере граница моря проходит по северной окраине островов архипелага Земли Франца-Иосифа далее от м. Мэри-Хармсуорт (о. Земля Александры) через острова Виктория и Белый к м. Ли-Смит, который расположен на о. Северо-Восточная Земля (архипелаг Шпицберген). В этих границах море находится между параллелями  $81^{\circ}52'$  и  $66^{\circ}44'$  с.ш. и между меридианами  $16^{\circ}30'$  и  $68^{\circ}32'$  в.д. Расположенное в основном на Северо-Европейском шельфе, открытое к центральному Арктическому бассейну и к морям Норвежскому и Гренландскому Баренцево море относится к типу материковых окраинных морей.

Площадь Баренцева моря равна 1 млн. 424 тыс. км<sup>2</sup>, объем 316 тыс. км<sup>3</sup>, средняя глубина 222 м, максимальная глубина 600 м. В Баренцевом море много островов, в их число входят крупнейшие полярные архипелаги, такие как Шпицберген и Земля Франца-Иосифа, остров Новая Земля, Колгуев, Медвежий и др. Небольшие острова в основном образуют архипелаги, которые располагаются вблизи материка или более крупных островов, например, Крестовые, Горбовы, Гуляевы Кошки и др. Сложная расчлененная береговая линия образует многочисленные мысы, фьорды, заливы, бухты, в следствие такого разнообразия побережья его отдельные участки относят к различным морфологическим типам берегов.

Наиболее глубокие районы, а также максимальная глубина находятся в западной части моря. Для рельефа дна моря в целом характерно чередование крупных структурных элементов – подводных возвышенностей и желобов – пересекающих его в разных направлениях, а также существование многочисленных мелких (3-5 м) неровностей на глубинах менее 200 м и террасовидных уступов на склонах. Следовательно, Баренцево море характеризуется весьма неравномерным распределением глубин. При его средней глубине 186 м разность глубин в открытой части достигает 400 м. Пересеченный рельеф дна сильно сказывается на гидрологических условиях моря. Положение Баренцева моря в высоких широтах за полярным кругом, непосредственная связь с Атлантическим океаном и Центральным арктическим бассейном определяют основные черты климата моря. В целом оно имеет полярный морской климат, который характеризуется продолжительной зимой, коротким холодным летом, малой годовой амплитудой температуры воздуха, большой относительной влажностью. В то же время большая меридиональная протяженность моря, поступление больших масс теплых атлантических вод на юго-западе и приток холодных вод из арктического бассейна создают климатические различия от места к месту.

Климатические условия Баренцева моря определяются соседством его с теплым Норвежским морем и холодными районами Арктического бассейна. Через Баренцево море проходят траектории подавляющей части теплых североатлантических циклонов, идущих на восток и северо-восток в глубь арктической области. Часто этот перенос теплых воздушных масс прерывается мощным вторжением гребней полярного антициклона, сопровождающимся проникновением холодных арктических воздушных масс далеко на юг. Синоптические процессы в Баренцевом море развиваются особенно бурно. Это один из самых беспокойных и изменчивых по погоде районов. По сравнению со всеми морями Арктики климат Баренцева моря отличается высокими температурами воздуха, мягкими зимами и большим количеством осадков. Суровость климата, по средним данным, возрастает в море с юга на север и с запада на восток. Средняя годовая температура воздуха характеризуется следующими значениями: о.Медвежий  $-1.6^{\circ}$ , Баренцбург (Шпицберген)  $-5.2^{\circ}$ , Бухта Тихая (ЗФИ)  $-10.5^{\circ}$ . Средние температуры самых холодных месяцев на побережье равняются:  $-10^{\circ}$ ,  $-15^{\circ}$ , на северных островах  $-20^{\circ}$ ,  $-22^{\circ}$ . В июле средняя температура в различных районах колеблется от  $+1^{\circ}$  до  $+7^{\circ}$ . Находясь под влиянием поступления теплых масс воды и воздуха из Атлантического океана и холодных - из Арктического бассейна, климат Баренцева моря весьма неоднороден. В северной части моря господствует арктический воздух, а на юге - воздушные массы умеренных широт. По климатическим условиям в море можно выделить четыре крупных региона: юго - западный (Медвеженский), юго - восточный (Колгуево-Вайгачский), северо - западный (Восточно-Шпицбергенский), Центральный и северо-восточный.

Юго - западный район находится под сильным воздействием циклонической циркуляции и теплого Нордкапского течения. Частые выносы тепла циклонами, отдача тепла от поверхности моря в атмосферу делают этот район аномально теплым. Ветры здесь сильные, преимущественно юго - западной четверти. Температура воздуха зимой  $-2, -3^{\circ}\text{C}$ , летом  $8,9^{\circ}\text{C}$ .

Метеорологический режим отличается небольшой междусуточной и межгодовой изменчивостью температуры воздуха, устойчивым направлением ветра, частыми осадками, значительной облачностью.

Юго - восточный район характеризуется частой сменой теплого атлантического воздуха холодным воздухом с Евразийского континента; поэтому здесь наблюдаются большие градиенты температуры. Температура воздуха резко понижается к востоку и юго - востоку, т.е. к району, в котором велико влияние холодных вод Карского моря, поступающих сюда через проливы Карские ворота и Югорский Шар. Среднемесячная температура -  $7^{\circ}\text{C}$  зимой  $7^{\circ}\text{C}$  летом.

Северо - западный район - это акватория севернее о. Медвежий, находящаяся под сильным влиянием Арктического бассейна. Район выделяется наиболее низкими температурами воздуха и водных масс, плавучими льдами, наличием айсбергов. Зима суровая ( $-22^{\circ}\text{C}$ ), ветры преимущественно северо - восточной четверти.

Четвертый район включает в себя центральную и северо - восточную части моря. Атлантические воды в этот регион поступают с северной и Колгуево - Новоземельской ветвями Нордкапского течения. Регион испытывает значительные воздействия атлантических воздушных масс, особенно при перемещении циклонов с юго - запада на северо - восток. Среднемесячные температуры в центральном районе колеблются от  $-4$  до  $-10^{\circ}\text{C}$  зимой и от  $3$  до  $5^{\circ}\text{C}$  летом, в юго - восточном районе от  $-15$  до  $-20^{\circ}\text{C}$  зимой и от  $1$  до  $3^{\circ}\text{C}$  летом.

### **Гидрологические характеристики Баренцева моря**

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.). Кроме того, в Баренцевом море температура воды является основным

показателем, характеризующим распространение теплых атлантических вод, которые в свою очередь, определяют ледовые условия и климат приатлантического сектора Арктики.

Термический режим Баренцева моря формируется под воздействием ряда процессов, из которых ведущими являются осенне - зимняя конвекция, выравнивающая температуру от поверхности до дна, и летний прогрев поверхностного слоя, обуславливающий возникновение сезонного термоклина.

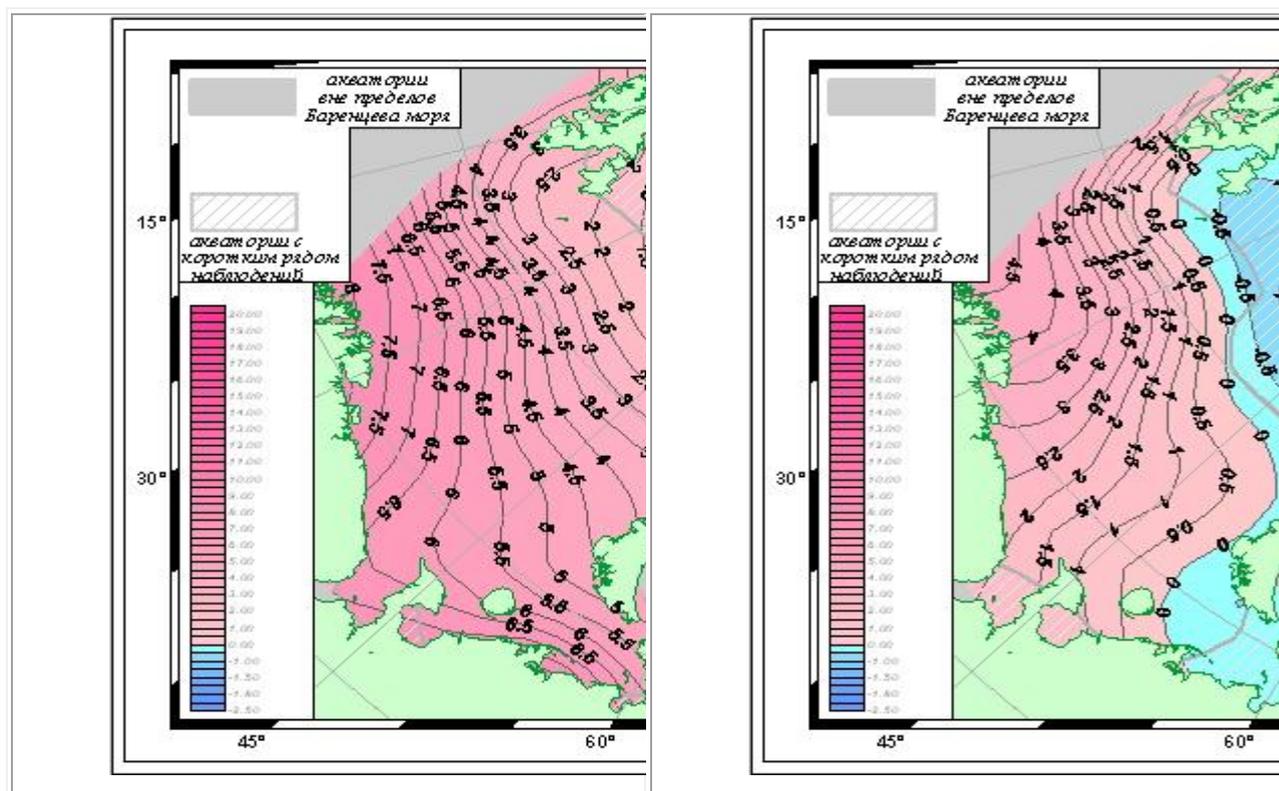


Рис. 1.1. Среднеголетняя температура воды на поверхности в летний и зимний периоды.

Распределение температуры воды на нижележащих горизонтах отражает развитие в море процессов конвекции (зимой) и летнего прогрева. В летний период происходит формирование сезонного термоклина, которое начинается с перехода теплового баланса поверхности моря к положительным значениям и продолжается до августа-сентября, когда глубина слоя скачка достигает таких значений, при которых перемешивание в поверхностном слое уже не может заметно повлиять на условия в слое

термоклина. На большей части акватории Баренцева моря толщина квазиоднородного слоя и глубина верхней границы термоклина к этому времени достигают 30 м, а наибольшие градиенты приходятся на слой 30-50 м.

Направления основных течений Баренцева моря показаны на рисунке 1.2.



Рис. 1.2. Течения на поверхности и характер приливов в Баренцевом море:  
1 — приливы полусуточные; 2 — приливы полусуточные мелководные

Часть атлантических вод Центральной возвышенностью и встречным течением отклоняется к северу, а остальная их часть проходит к востоку вдоль Кольского полуострова в виде двух струй Мурманского течения, из которых ближайшая к берегу носит название Прибрежного Мурманского течения. Далее, продвигаясь на восток вдоль материка, эти воды у мелководья юго-восточной части моря и берегов Новой Земли поворачивают на северо-восток, образуя Западно-Новоземельское течение.

Прибрежная струя Мурманского течения пополняется распресненными водами из Белого моря и за п-овом Канин Нос носит название Канинского течения, которое еще больше распресняется стоком рек и в уже сильно трансформированном виде через проливы Карские ворота и Югорский шар проникает в Карское море.

Воды северной ветви Нордкапского течения после встречи с арктическими поверхностными водами движутся на восток между возвышенностями Персея и Центральной в виде глубинного течения. Поскольку плотность воды в восточной части Баренцева моря ниже, чем западной, есть основание считать, что природа потока атлантических вод в этом море в основном бароклинная. Разделение течения на струи и их в среднем поворот против часовой стрелки зависит от рельефа дна, очертаний берегов и ускорения Кориолиса. Западно-Новоземельское течение и трансформированная северная ветвь Нордкапского течения формируют поток из Баренцева в Карское море через пролив между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа.

Помимо Нордкапской струи, атлантические воды входят в Баренцево море в виде небольшого ответвления от Шпицбергенского течения. Оно проходит южнее Шпицбергена и приносит в среднем за год около 9 тыс. км<sup>3</sup> воды. Но эти воды не проникают далеко вглубь моря, поскольку им

препятствует хорошо выраженное встречное Восточно-Шпицбергенское течение.

Второе ответвление Шпицбергенского течения заходит в море с севера между архипелагами Шпицбергена и Земли Франца-Иосифа. Эти атлантические воды распространяются в виде глубинного течения вплоть до возвышенности Персея. Дальнейшему их продвижению на юг препятствуют встречные воды ветвей Нордкапского течения. Между архипелагами Земли Франца-Иосифа и Новой Землей под поверхностными водами заходит в Баренцево море еще одно глубинное течение, переносящее атлантические воды, ответвляющиеся от потока, распространяющегося в Карском море по желобу Святой Анны. Воды этого глубинного течения в годы с интенсивным затокном атлантических вод могут смыкаться с водами Западно-Новоземельского течения.

Атлантические воды всех четырех потоков, общим объемом в 75 тыс. км<sup>3</sup>/год, в Баренцевом море включаются в систему циркуляции против часовой стрелки и занимают большую часть площади моря, располагаясь в северной и северо-восточной его частях под слоем поверхностных вод, а в западной и юго-западной – простираясь от поверхности до дна [3].

## **2. Описание исследуемых видов рыб и анализ временных рядов промыслового запаса и улова.**

### **2.1. Северо-восточная арктическая треска**

Треска - основной объект промысла на Северном бассейне, весьма условно относимый к группе донных рыб. Считают, что в баренцевоморском регионе обитает самостоятельная, наиболее многочисленная в Северной Атлантике популяция северо-восточной арктической трески [4]. Плотные скопления этого вида обычно перемещаются за косяками мелких пелагических рыб (мойвы, сельди, сайки), служащих основными объектами питания.

Для данной популяции характерны обширный возрастной состав, большая продолжительность жизни (20-22 года) рыб, быстрые темпы роста, высокая пищевая пластичность. Обладая такими свойствами, здешняя треска достигает значительной численности.

Северо-восточная арктическая треска является самым северным и многочисленным из всех стад атлантической трески. Ареал обитания трески распространяется к северу вплоть до 80° с.ш., и на восток до 60° в.д. То есть до северо-западной оконечности арх. Шпицберген и до островов Новая Земля, достигая полуострова Адмиралтейства, а в некоторые годы – острова Вайгач. Ареал аркто-норвежской трески зависит в основном от системы течений, которая определяет характер среды в районах нереста, пассивного дрейфа, нагула и зимовки молодой, неполовозрелой, а затем и половозрелой трески, а также служит ориентиром для миграций половозрелой трески к местам нереста.

В целом треска, как никакая другая рыба, так вписана в систему течений, что все этапы ее жизненного цикла связаны со структурой и интенсивностью течений в местах ее обитания. Любые изменения в структуре течений и их интенсивности могут иметь серьезные последствия в жизни популяций трески.

Оптимальный диапазон температур для трески от -1 до +6 °С, в том числе 3-5 °С зимой и 2-3 °С летом. Однако в крайних ситуациях треска может непродолжительное время находиться в области более низких температур. Треска предпочитает зоны с океанологической соленостью. Глубинный диапазон 200-600 метров. Половой зрелости треска достигает в основном в 6 – 10 лет при длине 65 – 100 см. Однако время полового созревания очень варьирует, и некоторые особи созревают в 3 – 4 года при длине тела менее 50 см, а другие достигают половой зрелости лишь к 12 годам.

Основные нерестилища аркто-норвежской трески расположены на шельфе у северо-западных берегов Норвегии, в районе Лофотенских островов, а также к северу и к югу от них. Особенно интенсивен нерест в Вест-фиорде, где размножается наиболее крупная треска. На подходе к фиорду нерестятся более молодые особи. Роль нерестилищ, расположенных к югу от Лофотенских островов сравнительно невелика, она может возрастать только в периоды, когда в нерестовой популяции преобладает рыба старше 10 лет и в периоды заметного похолодания. Роль нерестилищ к северу от Лофотен возрастает в периоды потепления, когда усиливается приток теплых атлантических вод. Нерест трески вблизи Лофотенских островов совершается в водах смешанного происхождения, в заливах и над банками при температуре 4 – 6 °С. Нерестующая треска располагается между верхними холодными слоями прибрежных вод и теплыми атлантическими водами, занимающими более глубокие слои.

Нерест продолжается с февраля по май с пиком в конце марта – начале апреля. Крупная треска нерестится в более ранние сроки по сравнению с молодой. Нерестовый период одной самки длится до 2 месяцев, и в течение этого периода самка выметает икру порциями, от 2 – 3 до 8 порций. Постепенное созревание икры и продолжительный нерест способствует в целом более высокой плодовитости трески, которая производит от 170 тыс. до 18 млн. икринок. Наименьшая плодовитость отмечена у молодых самок 5 – 6-летнего возраста, длина тела которых составляет около 45 – 65 см, а

наибольшая – у самок 10 – 12 лет с длиной тела от 96 до 136 см. Однако наблюдается большая изменчивость индивидуальной плодовитости внутри одного класса и возрастного, и линейного, и по биомассе. Причем диапазон колебаний шире у самок молодых особей. Таким образом, при увеличении в нерестовом стаде молодых особей с длиной тела от 40 до 70 см происходит снижение плодовитости всей популяции трески. Следует особо обратить внимание на то, что коэффициент выживаемости икры и личинок от молодых самок значительно ниже, чем от самок повторно размножающихся. Наиболее высококачественную модель дают старшие возрастные группы, но не старые особи. Икринки трески после вымета набухают и всплывают в поверхностные слои. Исследования качества и размеров икринок показали, что у повторно нерестящихся рыб икринки варьируют и в размерах, и в плавучести, в то время как у впервые нерестящихся рыб и у рыб, нерестящихся в плохих условиях, икра маленькая и с очень стабильной специфической плавучестью. Поэтому икра больших рыб более широко распределена по вертикали, что приводит и к большей выживаемости личинок, в отличие от маленьких икринок, находящихся в основном в приповерхностных слоях. Дрейфует икра и личинки с течениями на восток по ветвям Нордкапского течения и на север в Медвежинско-Шпицбергенский район по восточной ветви Норвежского течения. Дрейф икры и личинок в значительной степени зависит от интенсивности потока атлантических вод в Норвежском и Нордкапском течениях, а также от температуры этих вод, которая сказывается на скорости вылупления и роста личинок и их выживаемости. Вылупление личинок варьируется в пределах двух недель между годами с экстремальными температурами.

Причиной гибели молоди трески в первую зимовку могут быть и голод, и низкие температуры, и хищники, и эпизоотии; но губительные действия всех этих факторов неизбежно преломляется через качество самой молоди, то есть состояния, в котором она подошла к своей первой зимовке. Хорошо упитанная молодь трески легче переносит временное недоедание,

низкие температуры и другие неблагоприятные факторы. Крупную, хорошо упитанную молодь сможет съесть относительно меньшее количество хищников, чем молодь мелкую и тощую. Именно во время первой зимовки происходит второе резкое сокращение численности молодой трески, что является вторым определяющим моментом в формировании численности поколения трески, вступающего в будущем в промысловое стадо. Минимальную убыль поколения трески в период ее оседания в придонные слои и первой зимовки можно ожидать при совпадении следующих факторов: хорошего качества оседающей молодой трески, ее хорошей упитанности, более или менее равномерного распределения сеголеток в районе оседания, обилия молодежи эвфаузиид и высокого теплосодержания водных масс, способствующего ускорению темпа роста сеголеток трески. Основной пищей северо-восточной арктической трески длиной 30 – 35 см и более становится рыба: мойва, сельдь, сайка, песчанка, молодь тресковых и др. Рыба составляет в этот период уже более 70% ее пищевого рациона. Кроме рыбы, треска активно питается беспозвоночными: ракообразными, моллюсками, червями и др.

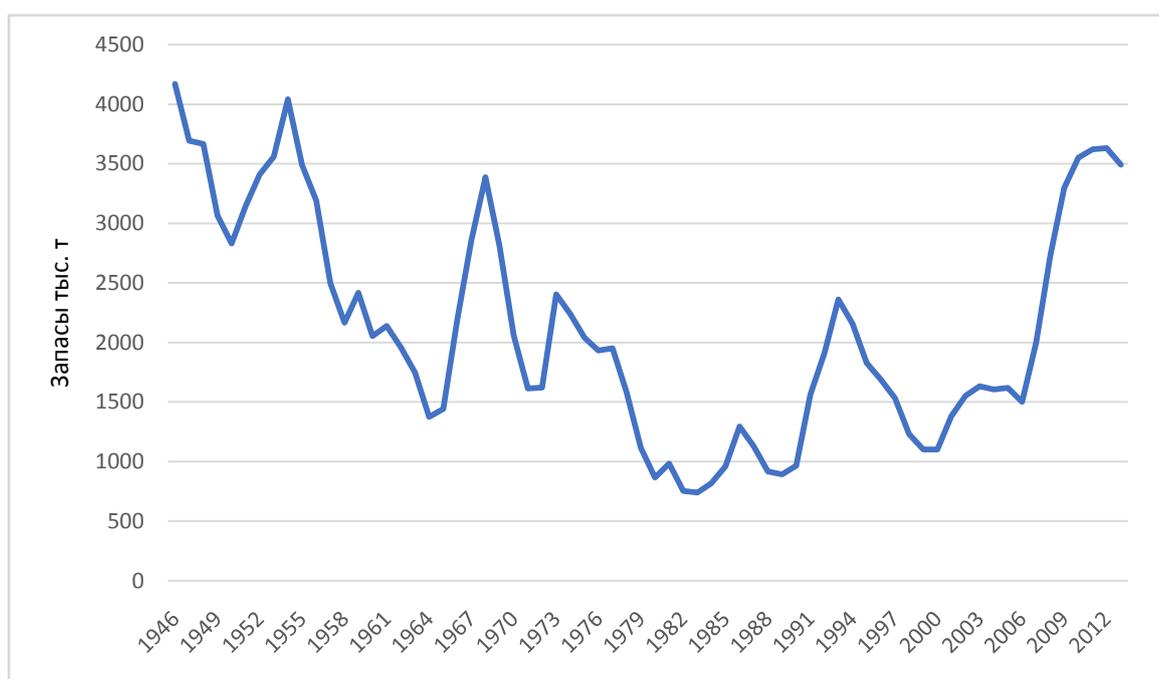


Рис 2.1 Запасы северо-восточной арктической трески

Динамика запасов трески за последние 15 лет была следующей: величина промыслового запаса составляла в 1999-2000 гг. около 1,1 млн т., что в 1,2 раза превышало минимальный исторический уровень, который равен 0,89 млн т. В 1989 году (рис. 1). Затем наметилась тенденция к росту промыслового запаса, и к началу 2008 года запас превысил среднемноголетний уровень 2,07 млн т. В 2012 году запас составил 3,6 млн т. На начало 2013 года промысловый запас составил 3,47 млн т., что выше среднемноголетнего уровня (см. рисунок 2.2).

Причинами таких колебаний в численности трески можно считать, изменения условий окружающей среды, определяющие выживание личинок и молоди трески прежде всего в первые месяцы ее жизни и первую и вторую зимовки, состояние структуры нерестового стада, определяющее качество личинок трески, следовательно, и их способность к выживанию в суровых условиях Баренцева моря.

История эксплуатации запасов этого вида отмечена как подъемами, так и глубокими спадами. Только в период с 1946 по 1999 гг. общий вылов трески в Баренц-регионе составил около 40 млн. тонн. Отечественным флотом с 1955 по 1999 гг. добыто более 12 млн. тонн, что составило 38% общего вылова. Высокие уловы были характерны для второй половины 50-х, начала и конца 60-х, а затем для середины 70-х годов. Максимальный вылов достигал в этот период времени примерно 1,2 млн. тонн (рис. 2.2). Затем последовал достаточно длительный период спада, когда общие объемы добычи составляли около 200 тыс. тонн. Это было связано с резким снижением запасов трески. В 80-е годы промысловый запас чаще всего находился на уровне около 1 млн. тонн, а нерестовый - в пределах 200 тыс. тонн.

В начале 90-х гг. прошлого столетия произошло относительно быстрое наращивание объемов вылова этого вида. Затем с 1997 г. до 2000 г. ОДУ постепенно снижали. По мнению некоторых исследователей, период с конца

70-х годов до конца прошлого столетия, за исключением 1992-1994 гг. следует считать фазой депрессии в состоянии запасов северо-восточной арктической трески.

Оптимальная среднегодовая величина промыслового запаса в промежутки времени с 1946 до конца 70-х гг. составила 2,8-2,9 млн. тонн; нерестового запаса - около 0,7 млн. тонн (рис. 2.1). Средний общий вылов в этот период времени составлял ежегодно около 850 тыс. тонн или 28% средней величины промыслового запаса.

В настоящее время можно говорить о периоде стабилизации вылова трески. Этому способствовал ряд обстоятельств и, прежде всего меры по регулированию ее запасов, принятые в последние годы в рамках Смешанной Российско-Норвежской комиссии по рыболовству.

В настоящее время отечественный вылов баренцевоморской трески находится на среднем историческом уровне около 200 тыс. тонн. Согласно принятой стратегии управления запасами этого вида Россия и Норвегия установили:

- возможность создания условий для долгосрочного высокого уровня выгоды от эксплуатации запасов;
- стремление к достижению относительной стабильности ОДУ из года в год;
- важность использования всей доступной на данный момент информации о динамике запасов.

На 34-й сессии СРНК начато практическое применение принципов, заложенных в Стратегию, предполагающих следующие правила принятия решений:

1) ОДУ на следующий год устанавливают на исходном уровне, который рассчитывают как среднюю величину ОДУ на три последующих года на основании  $F_{ра}$ ;

2) в последующие годы повторяют расчет ОДУ на следующий трехлетний период на основании новых научных данных о динамике запаса,

однако при этом ОДУ можно изменять не более чем на 10% (+ или -) от уровня ОДУ предыдущего года;

3) в случае снижения нерестового запаса до уровня менее В<sub>ра</sub> стороны рассматривают возможность установления ОДУ на более низком уровне, чем это следует из правил принятия решений.

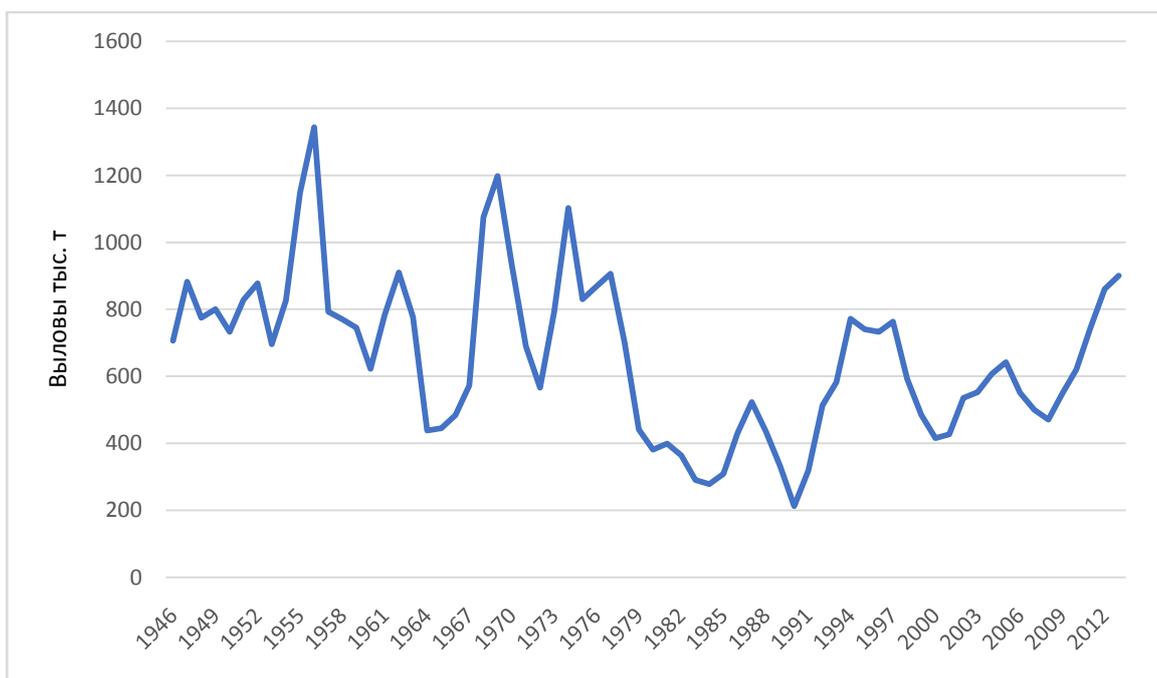


Рис. 2.2 Выловы северо-восточной арктической трески

Уловы северо-восточной арктической трески, будучи в среднем самыми большими в Северной Атлантике, испытывают заметные колебания. В 50-е и 70-е годы средние уловы составили около 800 тыс. т, а в отдельные годы превосходили 1 млн. т. Заметный спад уловов трески наблюдался в 1964-1967 гг., но еще больший – в 80-е годы с минимумом в 1990 г., когда выловлено было менее 200 тыс. т.

## 2.2. Северо-восточная арктическая пикша

Пикша морская бореальная рыба. Пикша широко распространена в Северной Атлантике и западной части Северного Ледовитого океана. Довольно крупные популяции имеются в Баренцевом, Норвежском и Северном морях, у берегов Англии, Шотландии и Ирландии, вокруг Исландии и Фарерских островов, у Ньюфаундленда, Новой Шотландии и Новой Англии. Самая большая из них – популяция аркто-норвежской или северо-восточной арктической пикши, обитающей в Баренцевом и Норвежском морях. Лабораторией донных рыб СЕБ ПИНРО исследуется именно эта популяция пикши, которая является важным промысловым объектом отечественного промысла в Баренцевом и сопредельных водах Норвежского морей. Совершает кормовые и нерестовые миграции большой протяженности.

Оптимальный диапазон температуры 2-10 °С, глубин от 200 до 650 метров. Живет в воде с океанической соленостью, в зону с большим опреснением не заходит.

В южной части Баренцева моря обитает преимущественно неполовозрелая пикша, которая находится здесь до наступления половой зрелости. После нереста половозрелая рыба из Норвежского моря возвращается в Баренцево море в небольшом количестве. Таким образом, размерно-возрастной состав стада пикши зависит от темпа роста и темпа созревания особей. Половой зрелости прежде достигают быстрорастущие особи. Чем медленнее рост, а следовательно, и темп созревания, тем дольше пикша держится в южной части Баренцева моря и там больше рыб старшего возраста в стаде.

Основные нерестилища северо-восточной арктической пикши располагаются вдоль континентального склона Скандинавского полуострова от 62° до 73° с.ш. и незначительные – вдоль норвежского побережья в Порсангер-фиорде и Мотовском заливе.

Нерест пикши в районе Лофотен приходится на март-июнь, максимум падает на конец апреля – начало мая. В Мотовском заливе пикша нерестует в мае-июне. Половозрелой становится на 4-5 году жизни, причем самцы созревают раньше самок, даже в 3-х летнем возрасте. Выметанные икринки подхватываются течением и несутся в Баренцево море, попадая как на Восточный Мурман, так и Медвежинско-Шпицбергенский район. Инкубационный период длится от 1 до 3 недель. Молодь сначала ведет пелагический образ жизни, часто в большом количестве держась под куполами медуз. Достигнув 30-40 мм, молодь опускается в более глубокие слои и подходит к берегам.

Пикша в основном нагуливается в юго-восточных районах Баренцева моря, богатых кормовым бентосом. Основой пищи служат донные животные (иглокожие, двустворчатые моллюски, полихеты).

При повышении численности холодолюбивых видов – мойвы и эвфаузиид, а также со смещением их ареала к юго-западу и совпадением с ареалом пикши, она может перейти на питание этими массовыми формами, однако бентос продолжает играть существенную роль в откорме пикши.

Наибольшим колебаниям питание пикши подвержено в весенний период, в меньшей степени – летом. Причиной этих изменений является наличие или отсутствие мойвы, ее икры, эвфаузиид. Температура воды непосредственного значения для питания пикши этими объектами не имеет.

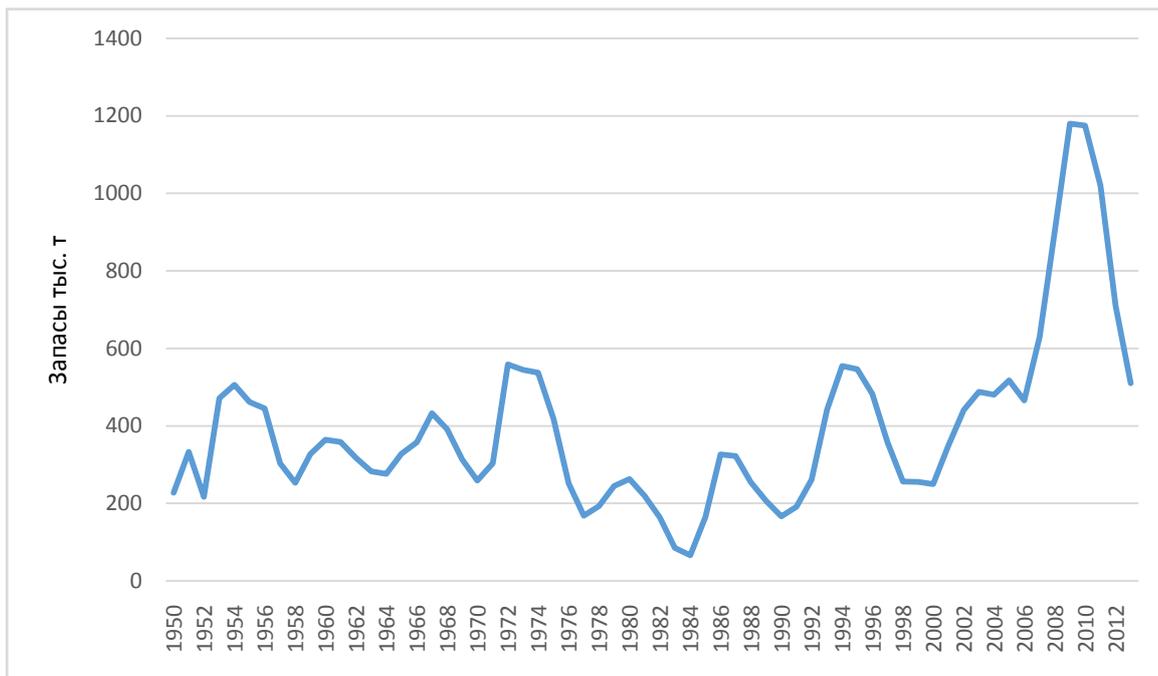


Рис. 2.3 Запасы северо-восточной арктической пикши

В 60-е и 70-е запас пикши был на высоком уровне и в 1973 г достиг самой высокой за всю историю наблюдений величины (рис. 2.3). Это произошло 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. 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 промысловое они перешли в разряд, ниже средних по численности. После снижения численности и запасов пикши в конце 1990-х гг, начиная с 2001 г наметилась тенденция к увеличению промыслового запаса, который при вступлении в него высокоурожайных поколений 2004-2006гг достиг исторического максимума в 2010-2011гг. 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 2012 года 733 тыс. т, а в 2013 году продолжил снижение. Однако, с учетом того, что в настоящее время нерестовый 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 тресковых видов повышается.

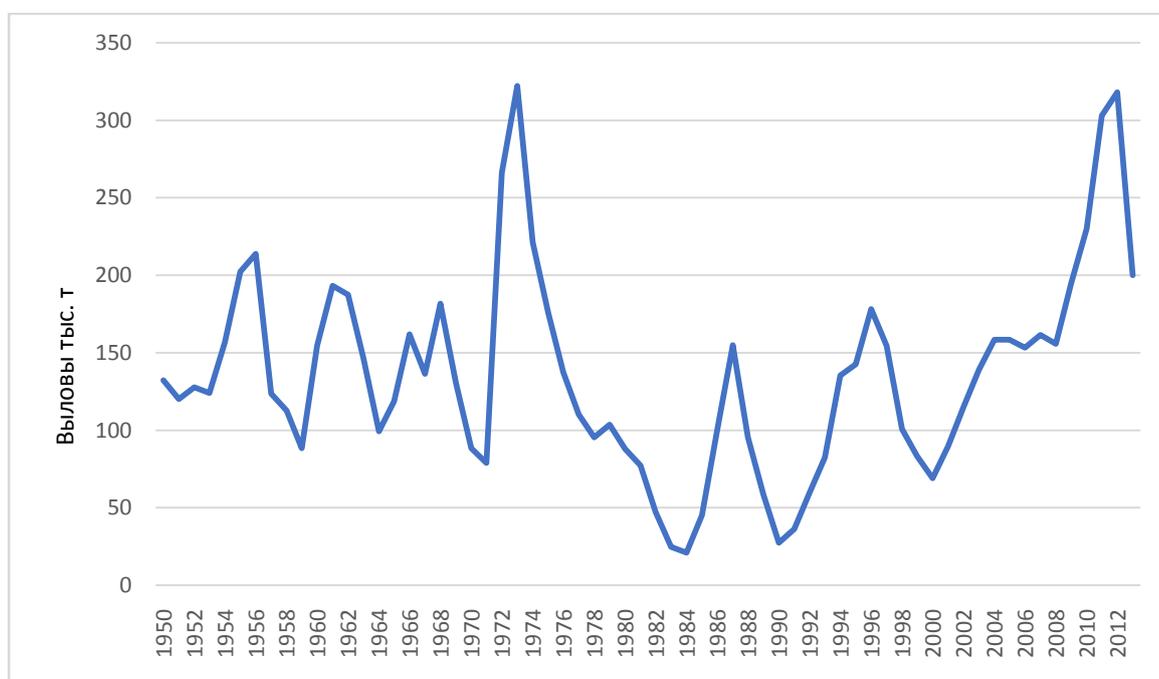


Рис 2.4 Выловы северо-восточной арктической пикши

Общий вылов северо-восточной арктической пикши с 1960 по 1990 гг. был на низком уровне (рис. 2.4) и в 1984 г имеет место самое наименьшее значение 23,22 тыс. т., так как состояние запаса в этот год было подорвано. С 1990 г по 1996 г вылов пикши резко растет до отметки 171 тыс. т. и, начиная с 1996 г., наметилась тенденция снижения вылова пикши. Величина изъятия пикши часто определяется рядом субъективных обстоятельств, в том числе

конъюнктурных соображений. Так случилось в 1997 г., когда в результате больших остатков квот трески многие рыбодобывающие организации ориентировались на лов этого более ценного объекта, а в пикше, пользующейся меньшим спросом у потребителя, просто не были заинтересованы. Таким образом, снижение общей добычи пикши в 1997 г. По сравнению с 1995 – 1996 гг. было существенным. Начиная с 2000 года наблюдаем тенденцию роста вылова пикши с максимумом в 2012 году. В этот год вылов пикши составил 318 тыс т. В 2013-2015гг наблюдается резкое падение вылова до 135 тыс т. Поэтому необходимо существенно снижать выловы и определить значения промыслового изъятия в ближайшие годы.

### 3. Модель Шефера

#### 3.1. Описание модели

На современном этапе рыболовство в основном регулируется установлением квот и лимита вылова на основе принципа оптимального использования биологических ресурсов без нарушения их естественного воспроизводства. При оптимальной эксплуатации запасов важно не перейти границу минимального прироста промысловой популяции, обеспечивающей наибольший максимальный вылов. При этом прирост и состояние популяции в целом определяется гидрометеорологическими условиями, биологическими и промысловыми факторами.

Предполагается, что эксплуатируемая популяция стремится к стабилизации, то есть стремится к такому состоянию, когда размер вылова будет равен общему приросту. Такой улов называется уравнивающим или равновесным. Концепция уравнивающего улова легла в основу построения модели Шефера [5].

Модель удобна тем, что использует общие понятия, такие как запас, улов, промысловое усилие, и для своей реализации не требует никаких других данных, кроме промысловых. Рассматривается один изолированный вид с биомассой  $P = P(t)$ , где  $t$  – это время, под  $P$  понимается биомасса промысловой части популяции. Исходное уравнение модели имеет вид:

$$dP/dt = P(A-BP) - qfP \quad (3.1)$$

где  $A$  – коэффициент воспроизводства, а  $B$  – коэффициент естественной смертности. Изменения биомассы предполагаются непрерывными во времени, их скорость пропорциональна  $P$ . Постоянные коэффициенты (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 (3.1). 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. Обычно, в реальных расчетах используют промысловые данные за год, тогда вместо производной по времени рассматривают изменение биомассы  $P$ , приходящееся на 1 год, в качестве улова в единицу времени используют годовой улов, а вместо мгновенного промыслового усилия - аккумулярованное за год.

Зная значения коэффициентов  $A$  и  $B$  и величину запаса на данный момент, к примеру величину запаса за прошлый год, можно с помощью уравнения (3.1) 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 кроме запаса можно оценить и величину улова.

На практике в модели Шефера в качестве исходной информации используется промысловая информация, то есть данные о промысловых усилиях  $f$ , уловах  $Y$ , и уловах на единицу промыслового усилия

$$u = Y/f \tag{3.2}$$

а также заложенное в модель предположение о том, что улов на усилие пропорционален запасу

$$u = qP \tag{3.3}$$

Если определены коэффициенты  $A$ ,  $B$ , и известен годовой улов  $qfP$  уравнения (3.1), то решение задачи прогноза становится возможным.

Для нахождения коэффициентов  $A$  и  $B$  применяется метод наименьших квадратов. Дифференциальное уравнение приведем к дискретному виду,

считая шаг по времени  $\Delta t=1$  год. Проведя ряд преобразований этого уравнения, и применив алгоритм метода наименьших квадратов:

$$P_{1t} = P_{1t-1} + A + B \cdot P_{1t-1} \quad (3.4)$$

$$P_{1t} - P_{1t-1} = A + B \cdot P_{1t-1} \quad (3.5)$$

$$\sum_{t=1}^n (P_{1t} - P_{1t-1}) = nA + B \sum_{t=1}^n P_{1t-1} \quad (3.6)$$

$$\sum_{t=1}^n (P_{1t} - P_{1t-1}) = nA + B \sum_{t=1}^n P_{1t-1} \quad (3.7)$$

$$\sum_{t=1}^n (P_{1t} - P_{1t-1}) = nA + B \sum_{t=1}^n P_{1t-1} \quad (3.8)$$

$$\sum_{t=1}^n (P_{1t} - P_{1t-1}) = nA + B \sum_{t=1}^n P_{1t-1} \quad (3.9)$$

$$\sum_{t=1}^n (P_{1t} - P_{1t-1}) = nA + B \sum_{t=1}^n P_{1t-1} \quad (3.10)$$

Полагаем, что  $A = \text{const}, B = \text{const}$  (3.11)

$$\sum_{t=1}^n (P_{1t} - P_{1t-1}) = nA + B \sum_{t=1}^n P_{1t-1} \quad (3.12)$$

Из формулы (3.12) получаем для коэффициента  $A$ :

$$A = \frac{B \sum_{i=2}^n P_i + \sum_{i=2}^n K_i}{n-1} \quad (3.13)$$

$$\sum_{i=2}^n P_i = \sum_{i=2}^n P_{i-1} + \sum_{i=2}^n P_i \quad (3.14)$$

Подставим выражение (3.13) в формулу (3.14), получаем выражение для коэффициента В:

$$\sum_{i=2}^n P_i = \sum_{i=2}^n P_{i-1} + \sum_{i=2}^n \frac{B \sum_{i=2}^n P_i + \sum_{i=2}^n K_i}{n-1} \quad (3.15)$$

$$B = \frac{(n-1) \sum_{i=2}^n K_i P_{i-1} - \sum_{i=2}^n K_i \sum_{i=2}^n P_{i-1}}{- \sum_{i=2}^n P_{i-1} \sum_{i=2}^n P_{i-1} + (n-1) \sum_{i=2}^n P_{i-1}^2} \quad (3.16)$$

Таким образом, имея исходные данные в виде промысловой информации за несколько лет, и рассчитав величины коэффициентов  $A$ ,  $B$ , можно превратить уравнение (3.1) в инструмент прогноза (см. раздел 4.2).

### 3.2. Применение модели Шефера для оценки запасов северо-восточной арктической трески и пикши.

Для проверки работоспособности модели для воспроизведения запасов и уловов промысловых видов были произведены расчеты на «зависимом» материале. А именно для каждого вида (треска и пикша) с помощью модели Шефера были рассчитаны запасы на каждом временном шаге с использованием постоянных коэффициентов воспроизводства ( $A$ ), естественной смертности ( $B$ ). На рис 3.1. приведены фактические и рассчитанные значения запаса трески.

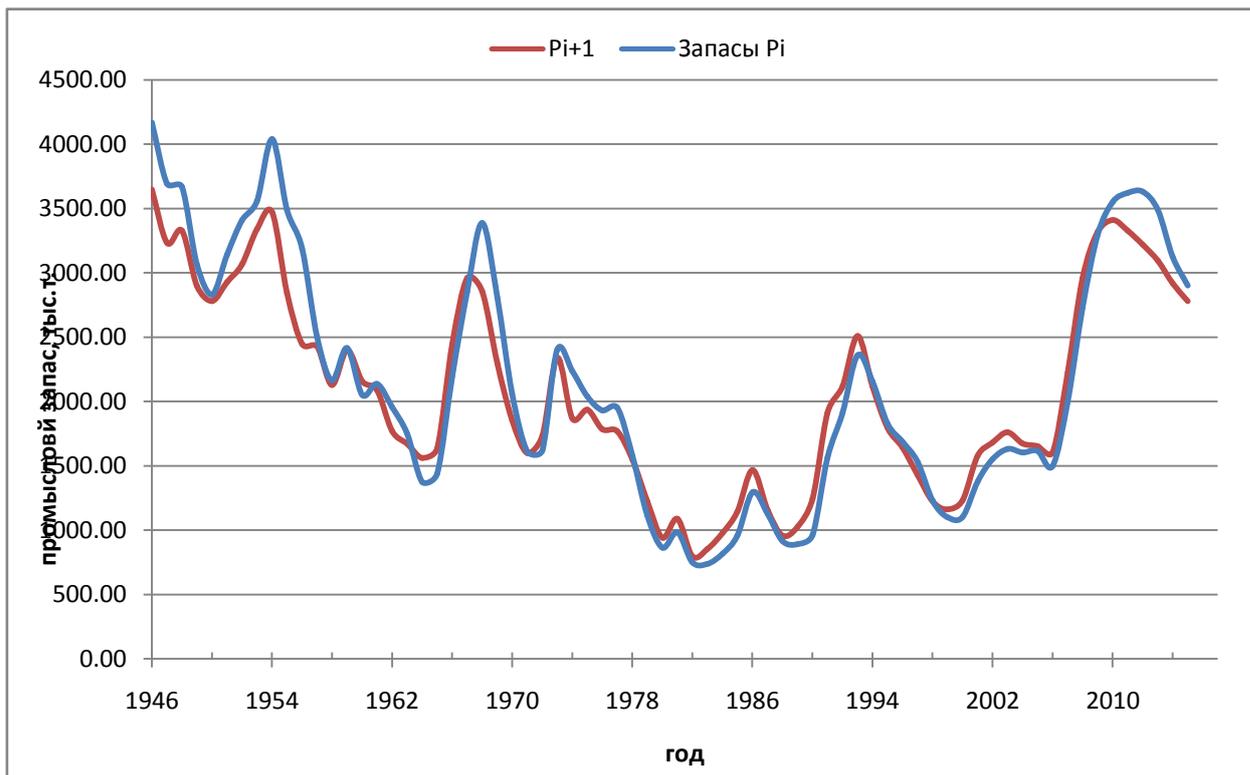


Рис. 3.1. Фактические и рассчитанные значения запаса трески.

Видно, что значения различаются в основном незначительно. Однако максимальная ошибка воспроизведения составляет примерно 500 тыс т (например в 1968г), при этом в этом году произошел значительный спад запасов. При относительно стабильном состоянии вида - ошибки воспроизведения запаса существенно меньше.

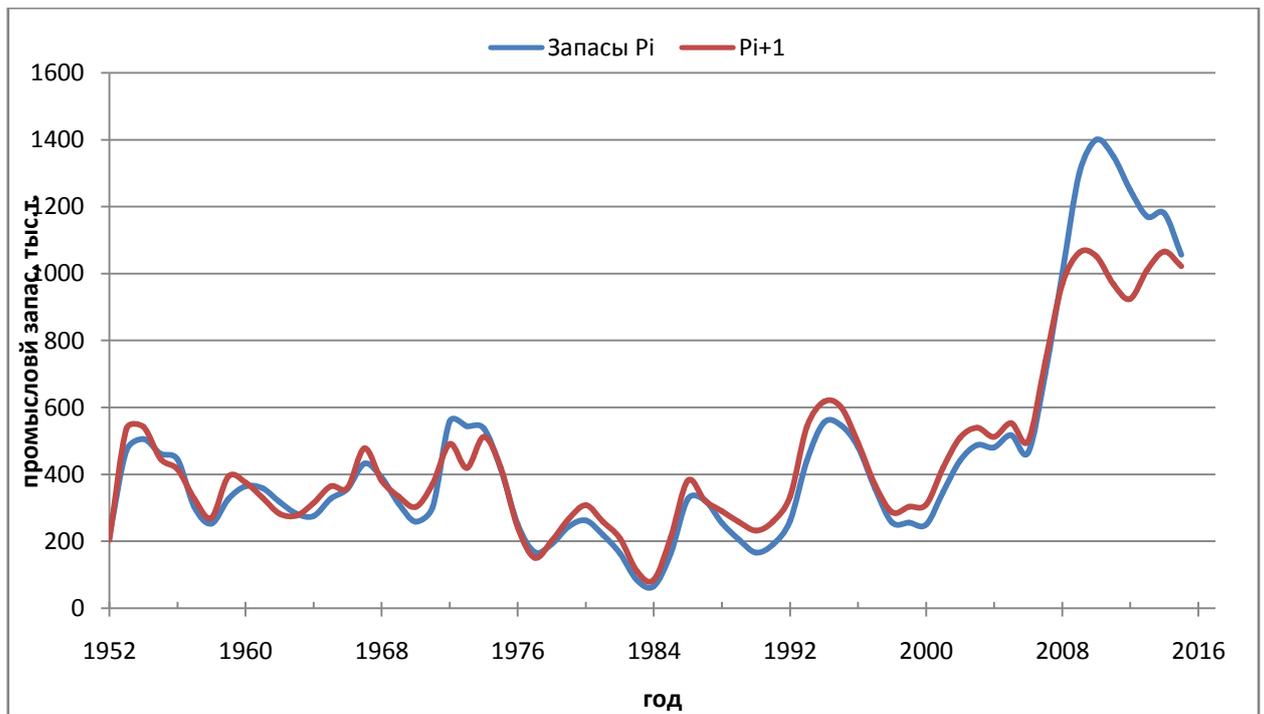


Рис. 3.2. Фактические и рассчитанные значения запаса пикши.

Для пикши также видно, что рассчитанные и фактические значения отличаются незначительно. Максимальная ошибка составляет примерно 500 тыс. т. В 2009-2010гг. Это можно объяснить тем, что коэффициенты А и В были рассчитаны для всего ряда, когда запасы в среднем составляли 350-400 тыс т., а высокие значения запаса в 2008-2016гг не повлияли существенно на величину коэффициентов. Если такие значения запасов сохранятся в течение большего срока, то коэффициенты изменятся и модель «перенастроится». При этом следует отметить, что начиная с 2010 г начался активный вылов пикши, т.е. и уловы выросли, и это окажет влияние на прогнозируемые значения запасов.



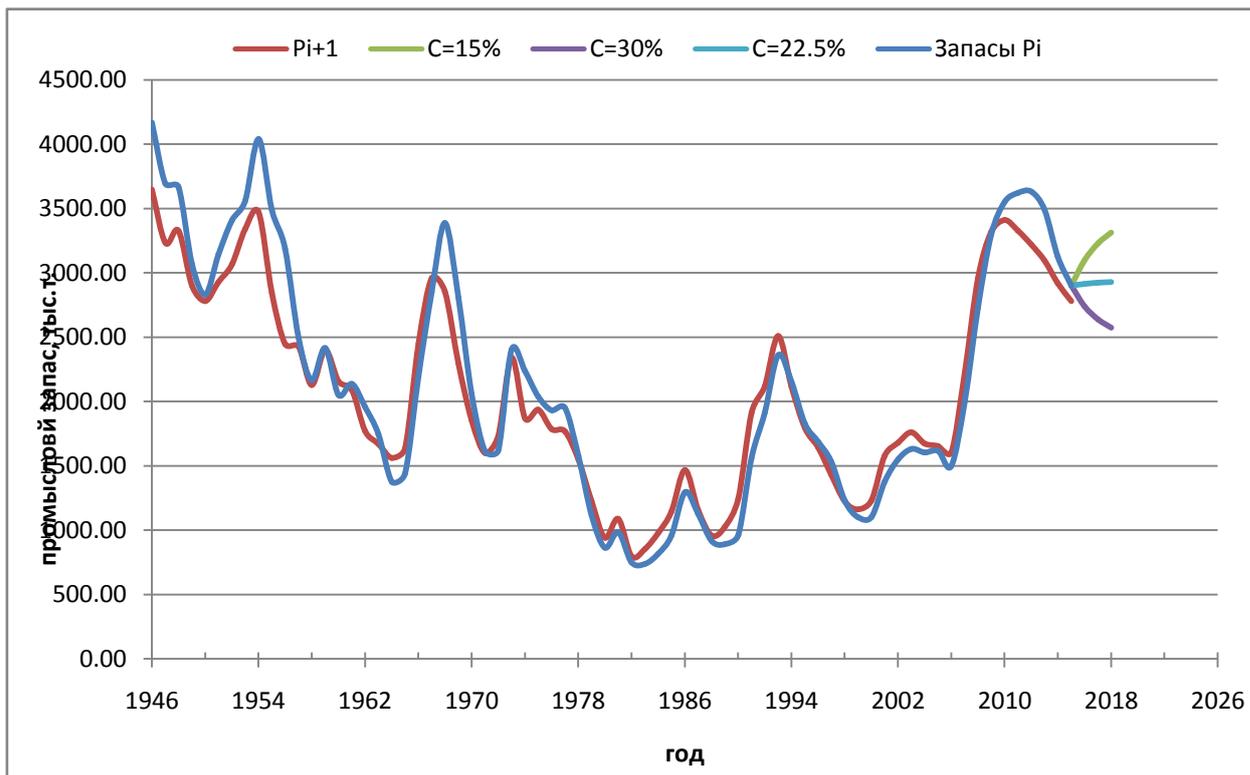


Рис. 4.1 Состояние промыслового запаса северо-восточной арктической трески и прогноз при разных значениях промыслового изъятия

По результатам расчетов видно, что при уровне промыслового изъятия из запаса трески равного 15%, запас будет стабильно увеличиваться. Если уровень промыслового изъятия будет равен 22.5%, то наблюдается незначительное увеличение запасов, запас к 2018 году достигнет 2,9 млн т. и будет приблизительно равен запасу в 2008-2009гг. Если уровень промыслового изъятия составит 30% и более, то запасы будут снижаться и к 2018 году снизятся до значения в 2,57млн т. и менее (см. рисунок 4.1 и табл. 4.1).

Таблица 4.1. Анализ и прогноз промыслового запаса трески при разных процентах промыслового изъятия (тыс. т).

Процент изъятия	Год			
	2015	2016	2017	2018
C=15%	2900	3096,4	3228,2	3313,2
C=22.5%	2900	2913,9	2923,0	2928,9
C=30%	2900	2740,6	2639,1	2572,4
прогноз ПИНРО		<b>2.900</b>		

Расчет прогноза запасов северо-восточной арктической пикши показал, что при 5% уровне промыслового изъятия, запас будет расти (рис. 4.2 и табл. 4.2). К 2018 году при уровне промыслового изъятия 10% запасы сохранятся приблизительно на нынешнем уровне и достигнут 1,14 млн. т, и будет приблизительно равен запасу в 2008г. При уровне промыслового изъятия равном 15 % запасы будут уменьшаться, и такой уровень изъятия не допустим.

По данным [7] удалось произвести сравнение наших расчетов и прогноз запасов трески, выполненный специалистами ПИНРО на 2016г.

Промысловый запас трески по прогнозу ПИНРО [7] составит 2.9 млн тонн, что превышает средний многолетний уровень. По нашим расчетам при 22.5% изъятии значение запаса составляет 2.92 млн т, что хорошо согласуется с данными ПИНРО. В дальнейшем запас будет продолжать незначительно расти. Таким образом, такое промысловое изъятие будем считать оптимальным на ближайшие годы.

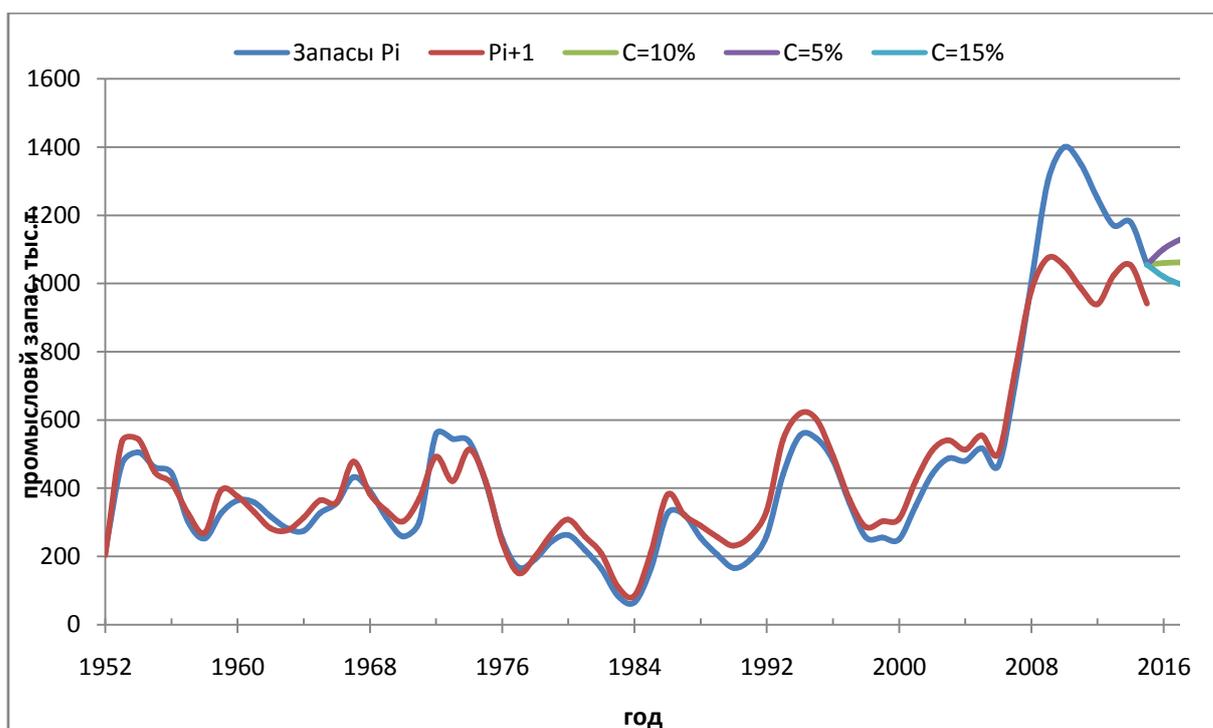


Рис. 4.2 Состояние промышленного запаса северо-восточной арктической пикши и прогноз при разных условиях промышленного изъятия

Таблица 4.2. Анализ и прогноз промышленного запаса пикши при разных процентах промышленного изъятия (тыс. т).

Процент изъятия	Год			
	2015	2016	2017	2018
C=5%	1056	1101,6	1128,6	1144,1
C=10%	1056	1060,0	1062,3	1063,7
C=15%	1056	1019,7	998,7	986,3
прогноз ПИПРО		<b>896</b>		

По данным [7] также удалось произвести сравнение наших расчетов и прогноз запасов пикши, выполненный специалистами ПИПРО на 2016г.

Промысловый запас пикши по прогнозу ПИНРО [7] составит 896 тыс тонн, что значительно превышает средний многолетний уровень. По нашим расчетам при 10% изъятии значение запаса составляет 1060 тыс т, что превышает прогнозируемое значение ПИНРО на 170 тыс. т (приблизительно на 16%), но демонстрирует сохранение уровня запаса 2015г. В дальнейшем запас по нашим расчетам будет продолжать незначительно расти. Таким образом, такое промысловое изъятие будем считать оптимальным на ближайшие годы. Данные ПИНРО, видимо, учитывают другие факторы, например, естественное снижение запасов из-за малоурожайных поколений, пополняющих запас в ближайшие годы. Модель Шефера в наших расчетах этого не учитывает.

## Заключение

В Заключении сформулируем выводы, полученные в работе.

В данной работе были рассмотрены два вида промысловых видов рыб: северо-восточная арктическая треска, северо-восточная арктическая пикша. Были проведены оценки запасов и даны прогнозы запасов исследуемых видов. Расчеты проводились по модели Шефера.

В методе Шефера используются только промысловые данные, такие как запасы, уловы, коэффициенты воспроизводства и естественной смертности. В этом преимущество метода. Также преимуществом является то, что при прогнозе можно учитывать различные уровни вылова, и расчетным путем найти наиболее оптимальный. Это позволит в будущем исключить значительное снижение запаса исследуемого промыслового вида из-за чрезмерного перелова. К недостаткам метода можно отнести то, что в модели Шефера не учитываются гидрометеорологические характеристики и естественные колебания запаса, которые могут существенно повлиять на состояние запасов промысловых видов рыб.

Приведены результаты прогнозирования запасов по методу Шефера до 2018г при нескольких различных уровнях промыслового изъятия для каждого вида, при которых запас возрастал, оставался примерно на том же уровне и падал. Оптимальный уровень промыслового изъятия по нашим расчетам для северо-восточной арктической трески составил 22.5%, для северо-восточной арктической пикши – 10%. При превышении этих значений запасы начнут снижаться, иногда значительно.

Сравнение результатов расчета с прогнозами запасов трески и пикши специалистов ПИПРО [7] показало, что прогноз на 2016г для трески практически совпадает с рассчитанным по модели Шефера (2.9 млн.т) , а для пикши прогноз ПИПРО на 2016 896 тыс т (уменьшение запаса по сравнению с 2015г 1056тыс т) - наши расчеты – 1060 тыс.т – сохранение уровня 2015г.

## Список использованной литературы

1. [Электронный ресурс] – Баренцево море - рыбная сокровищница России – Свободный доступ:  
<https://www.pravda.ru/economics/agriculture/fishery/13-04-2016/1298217-marchuk-0/>
2. Добровольский А.Д. Моря СССР [Текст]/А.Д. Добровольский, Б.С. Залогин.– М.: Изд-во МГУ, 1982.– 192 с.
3. Доронин Ю.П. Региональная океанология [Текст] / Ю.П. Доронин.– Л.:Гидрометеоиздат, 1986.– 303 с.
4. Экология промысловых видов рыб Баренцева моря. Апатиты: Изд-во КНЦРАН, 2001. 461 с.
5. Промысловая океанография/ Под ред. Гершанович Д.Е. – М.: Агропромиздат, 1986. – 335 с.
6. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева моря и Северной Атлантики в 2015 г./Отв. ред. Е.А. Шамрай. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2015. – 122 с.
7. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева моря и Северной Атлантики в 2016 г./Отв. ред. Е.А. Шамрай,. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2016. – 172 с.