

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

Кафедра прикладной океанографии ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(Магистерская диссертация)

**«ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ
РЫБ СЕВЕРНОГО БАССЕЙНА»**

Исполнитель: Григорьева Марина Вадимовна, студентка группы ПО-М19-1-8
Научный руководитель: д.г.н., профессор, Аверкиев Александр Сергеевич

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

канд. географ. наук

(учебная степень, ученое звание)

Александр Сергеевич Аверкиев

(фамилия, имя, отчество)

«18» *июня* 20*21* г.

Санкт-Петербург
2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
 Глава 1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ЗАПАСОВ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ .	7
1.1 Физико-географическое описание района.....	7
1.2 Описание промысловых видов.....	11
1.2.1 Северо-восточная арктическая треска.....	11
1.2.2 Северо-восточная арктическая пикша.....	14
 Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	17
2.1 Обзор методов исследования	17
2.2 Исходные данные	25
 Глава 3. АНАЛИЗ ЗАПАСОВ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ	31
3.1 Корреляционный анализ.....	31
3.2 Автокорреляционный анализ.....	33
3.3 Кросскорреляционный анализ	38
3.4 Модель множественной линейной регрессии	43
3.5 Спектральный анализ.....	46
3.6 Модель Шефера.....	54
 Глава 4. ПРОГНОЗ ЗАПАСОВ	56
Заключение	66
 Список использованной литературы	
Приложения	

ВВЕДЕНИЕ

Значение трески и пикши, а так же их роль для населения территорий севера определяет постоянное внимание к ним как отечественных, так и зарубежных исследователей. Историю исследований этих промысловых видов, не преувеличивая, можно назвать историей рыбохозяйственной науки Европейского севера. Треска и пикша являются самыми изученными из всех промысловых видов Северного бассейна. Это можно объяснить важным социально-экономическим значением данных промысловых видов рыб для прибрежного населения северных стран и их ключевой ролью в баренцевоморской экосистеме и сопредельных вод.

В начале двадцатого века популяции данных промысловых видов рыб эксплуатировались на относительно низком уровне. Различия в выловах пикши и трески были обусловлены тем, что в промысел вступали либо урожайные, либо неурожайные поколения, изменялись основные способы вылова и их районы, а также начали приниматься меры по регулированию рыболовства для того, чтобы поддержать воспроизводство на должном уровне, который обеспечил бы стабильное пополнение, которое позволит продолжать рациональный промысел.

Оценка влияния промысла на состояние запасов стала необходимостью уже в конце 1930-х годов, но в военные годы сократился объём промысловых усилий, вследствие которого популяции трески и пикши вернулись в своё исходное состояние. Поэтому впоследствии в 1950-х годах эффективность баренцевоморского промысла резко снизилась и с этого периода важнейшей задачей рыбохозяйственной науки становится регулирование промысла, а запасы ценных промысловых видов, таких как треска и пикша, становятся уникальным объектом изучения рациональной эксплуатации биоресурсов.

Вылов трески и пикши ведут различные страны, среди которых основная доля принадлежит Норвегии, России, Англии, Германии, Исландии. Удельный вклад стран в промысле меняется, так как эти промысловые виды важны не только для нашей страны, поэтому ведётся борьба за разделение

ОДУ. Успешность промысла каждый год зависит от множества различных факторов. Основными из них являются кормовые и гидрологические условия каждого года и успешность научно-поисковых исследований.

В последние годы запасы трески и пикши Баренцева моря значительно выросли, особенно по сравнению с концом прошлого века, биомасса их нерестовых запасов является достаточно высокой. Это связано с благоприятными климатическими факторами (потепление климата, повышение температуры воды в регионе, что ведет к увеличению продуктивности поколений особей), а так же с рациональным управлением запасами в рамках смешанной российско-норвежской комиссии по рыболовству (СРНК).

Таким образом, для управления запасом ценных промысловых видов рыб необходимо изучать состояние популяций, знать численность поколений вида, состояние среды в ареале обитания, располагать объективной и исчерпывающей рыбопромысловой статистикой.

С целью дать оценку состояния и прогноз запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши в Северном бассейне, в данной работе рассматривается влияние на них различных факторов: температура и соленость Баренцева моря по Кольскому разрезу (0-200 м), индекс североатлантического колебания, индексы атмосферной циркуляции.

В работе используются методы статистического анализа и модель Шефера. Были использованы современные данные, которые были получены от специалистов «Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М.Книповича» (ПИНРО), а также найденные в интернете и в научной литературе.

Целью данной работы является: долгосрочное прогнозирование запасов промысловых видов рыб Северного бассейна, а именно северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши Баренцева моря.

Задачи данной работы:

1. Рассмотреть состояние запасов и выловов выбранных видов за определенный временной интервал;
2. Провести первичный статистический анализ запасов и выловов выбранных видов;
3. Провести автокорреляционный, корреляционный и кросскорреляционный анализ запасов выбранных видов с учётом возможных значимых предикторов;
4. Провести анализ при помощи модели множественной линейной регрессии;
5. Провести спектральный анализ запасов выбранных видов;
6. Оценить возможное изменение запасов выбранных видов с помощью модели Шефера;
7. Дать оценку запасов выбранных видов в Баренцевом море на несколько лет вперед.

Объектом данной работы является: вид – атлантическая треска (*Gadus morhua*) и атлантическая пикша (*Melanogrammus aeglefinus*), подвид – северо-восточная арктическая треска и северо-восточная арктическая пикша.

Предметом данной работы являются оценка состояния, прогноз запаса и возможный вылов объекта.

Исходными данными работы служат ряды запасов и выловов промысловых видов Баренцева моря за период с 1951 по 2020 год, а так же значения температуры и солёности Баренцева моря по данным Кольского разреза в слое 0-200 м (станции 3-7), значения индекса САК и индексов атмосферной циркуляции (EWC) за период с 1951 по 2020 год.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и источников, приложения.

В первой главе рассматривается обзор состояния запасов промысловых видов Баренцева моря, описывается район исследования, распределение видов в нем.

Во второй главе рассматривается обзор материалов и методов, используемых в работе.

В третьей главе производится анализ запасов промысловых видов Баренцева моря.

В четвертой главе производится прогноз запасов промысловых видов Баренцева моря.

В заключении сформулированы главные выводы работы.

Актуальность работы: в настоящее время запасы таких массовых и ценных промысловых видов Баренцева моря, как треска и пикша, почти полтора десятилетия находятся в благоприятном состоянии, но это не значит, что этот период будет продолжаться; ведётся борьба за разделение ОДУ, так как данные промысловые виды важны не только для России, но и для других стран, поэтому оценки состояния запасов полезны и актуальны; выводы и рекомендации по данной работе могут быть предложены специалистам, например, специалистам ПИНРО.

Глава 1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ЗАПАСОВ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

1.1 Физико-географическое описание района

Баренцево море является окраинным арктическим морем. Оно расположено в западной части евразийского шельфа, акватория его располагается всецело к северу от Полярного круга. Ключевой особенностью считается широкомасштабное поступление атлантических вод сквозь западную границу. Система североатлантических течений приносит в Баренцево море большое количество тепла: юго-западная часть моря не замерзает, в том числе и в довольно прохладные зимы. Особенности крупномасштабной атмосферной циркуляции в осенне-зимний период способствуют прохождению большого количества глубоких циклонов над Баренцевым морем, которые приносят теплый и влажный воздух из Северной Атлантики.[10]

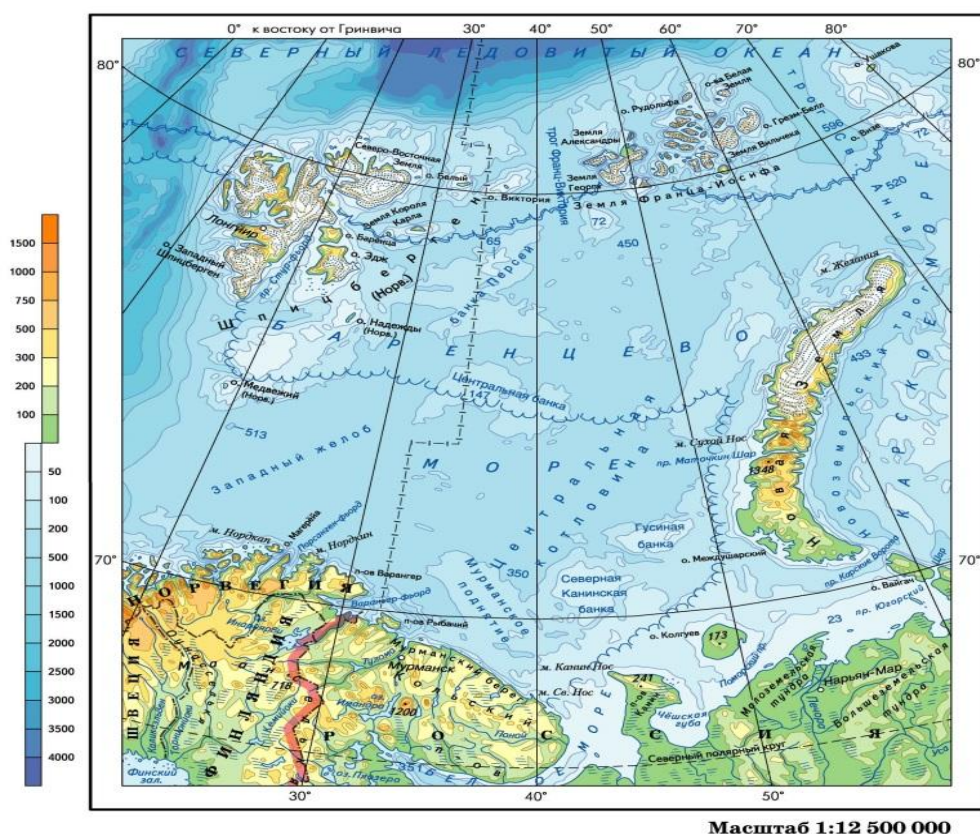


Рис.1 – географическое положение и размеры Баренцева моря.

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

По своим размерам Баренцево море занимает одно из первых мест среди всех остальных морей Российской Федерации. Его площадь составляет 1 миллион 424 тыс.км². Объем вод достигает 316 тыс.км³. Баренцево море считается наиболее глубоким среди морей российского сектора Арктики. Рельеф его дна выделяется разнообразием и обилием форм. Средняя глубина Баренцева моря составляет 220 м. Самой глубокой является юго-западная часть моря, где глубина превышает 300-400 м, а затем увеличивается постепенно в направлении Норвежского моря.

В водных просторах Баренцева моря находятся 3 архипелага: Шпицберген, Земля Франца-Иосифа и Новая Земля. Ещё есть отдельные большие острова: Вайгач, Колгуев и другие. Береговая линия Баренцева моря достаточно неровная, она осложнена разными мысами, заливами и бухтами. Берега, омывающие Баренцево море, имеют разное происхождение и структуру. Побережье Кольского полуострова считается сравнительно изрезанным. Здесь присутствуют большие заливы, например Мотовский, Кольский, Териберская губа и другие. Вдоль побережья Кольского полуострова находятся сравнительно маленькие острова. Кольский залив самый восточный среди заливов фьордового типа.

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

которой находится в зависимости величина объемных переносов через эти проливы, больше.

Источниками пресных вод считаются сток рек, лёд, который приносится через северную и северо-восточную границы моря, осадки, и айсберги, которые продуцируются ледниками архипелагов Шпицберген, Новая Земля и Земля Франца-Иосифа. Из перечисленных источников более весомым по масштабам воздействия на режим солености и характер течений в прибрежных областях моря является сток рек, так как он определяет многие физические, химические, биологические процессы. Баренцево море получает пресную воду не лишь только с речным стоком, но и в виде атмосферных осадков. Количество осадков выше испарения на всей площади Баренцева моря. Ещё одним источником пресной воды имеют все шансы считаться лёд и айсберги, который приносятся из соседних морей. Средний за год принос льда через северную и северо-восточную границу моря превышает его вынос. Можно представить, что некая часть этого льда тает и преобразуется в пресную воду, впрочем, не существует серьезных оснований, для того чтобы дать хотя бы какую-то оценку вклада данной составляющей в пресноводный баланс моря.[10]

Баренцево море хоть и причислено к ледовитым морям, но оно никогда не замерзает всецело по причине притока относительно теплых атлантических вод с течением Гольфстрим. Лед появляется, как правило, в октябре на севере и на крайнем юго-востоке моря. Большая площадь, которая покрыта льдом, отмечается в апреле, а с началом прогрева в мае кромка льдов постепенно сдвигается к северу и востоку. В августе-сентябре льды занимают всего лишь только 9-12 % площади моря. Таким образом, ледовые условия Баренцева моря в течение года буквально не мешают промыслу таких ценных видов, как треска и пикша.

Баренцево море выделяется своими уникальными природно-климатическими условиями в сравнении с остальными арктическими морями Российской Федерации. Это обусловлено адвекцией тепла течениями и

особенностями теплообмена с атмосферой, который, в свою очередь, находится в зависимости от температуры воздуха. Ключевая особенность заключается в том, что море полностью расположено за Северным полярным кругом, но при этом юго-западная часть его не покрывается дрейфующими льдами даже в самые холодные зимы.

На климат моря, близкий к полярному морскому, ещё воздействует прямой контакт с Атлантическим океаном и Арктическим бассейном. На северную часть моря оказывает огромное воздействие арктический воздух, на южную часть – умеренные воздушные массы. На пограничной зоне этих двух потоков создаётся арктический фронт, в котором возникают циклоны и антициклоны. Они обуславливают характерные особенности погоды на море в разные сезоны. Зимой имеется обострение арктического фронта, которое влечёт за собой увеличение циклонов над центральной частью моря. В такой период погода достаточно непостоянна: дуют мощные ветра, температура воздуха сильно варьируется, осадки выпадают обильно, но при этом нерегулярно. Самым холодным месяцем на Баренцевом море является март. Весной и осенью погода Баренцева моря непостоянна. В основном, она пасмурная, с сильным ветром переменных направлений. Весной выпадает огромное количество осадков, воздух очень быстро прогревается. Осенью температура воздуха опускается постепенно. В целом, климат Баренцева моря можно охарактеризовать следующим образом: непостоянная погода с мягкой зимой и непродолжительным и прохладным летом.

Океанографические условия Баренцева моря складываются под воздействием адвекции тепла течениями, крупномасштабной циркуляции атмосферы, теплообмена моря с атмосферой. Таким образом, ключевым фактором, который формирует климат Баренцева моря, считается адвекция тепла, как в океане, так и в атмосфере.[10]

1.2 Описание промысловых видов

1.2.1 Северо-восточная арктическая треска

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

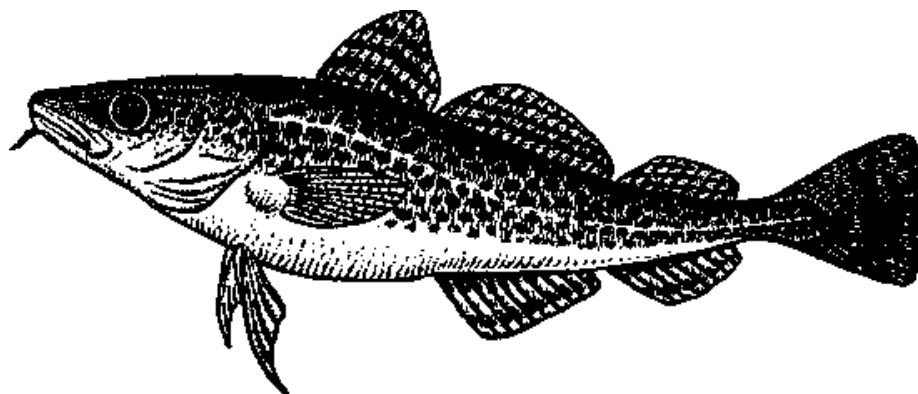


Рис.2– Треска

Ареал обитания атлантической трески охватывает небольшой район Атлантического океана, образуя некоторое количество географических подвидов (арктическая, беломорская, балтийская и др.). Наиболее северным считается северо-восточный арктический, который ещё именуется баренцевоморским или же аркто-норвежским. Большая доля ареала данного подвида располагается в Баренцевом море, океанографические условия которого, особенно система течений, оказывают значительное воздействие на воспроизводство, динамику численности, количество, распределение и поведение рыб.[7]

Тело трески удлинено и покрыто небольшой циклоидной чешуей, собственно, что говорит о высоких плавательных возможностях (рис.2). Хвостовой плавник отлично развит, симметричный, без выемки. 1-ой спинной плавник выступает впереди грудных плавников, он имеет треугольную форму и самую большую высоту среди спинных плавников. Боковая линия отлично развита, она светла, полого опускается к продольной оси тела под 2-ой спинной плавник и тянется без перерыва до середины или конца 3-его спинного плавника, далее она прерывиста. Голова маленькая и

узкая, ее длина меньше или немного больше четверти длины тела трески. На голове вдоль каналов системы боковой линии – сетка открытых пор. Цвет тела сильно варьирует и изменяется в зависимости от места обитания особи. Чаще всего он песочно-серый или же песочно-коричневый с зеленоватым отливом, а ещё узором из пятен и точек на боках и спине. Брюшко трески серовато-белое. В прибрежных водах вместе с рыбами обычного зеленого оттенка встречаются особи с красным отливом.

Треска считается достаточно неплохим пловцом. Она относится к сумеречным или же ночным рыбам, зрение которых выполняет дополнительную функцию связи с внешним миром. Дальность видения небольшая, неосвещенные объекты (тралы, сети) рыба видит, подплыв почти вплотную, или же на расстоянии 2-3 м в зависимости от освещенности. Взрослая треска – хищник, более деятельна и активна при освещенности в десятки доли люкса, когда дальность зрения у рыб-жертв понижается в два раза и сумеречный хищник более экономично использует энергию. Молодь трески ведет стайный пелагический тип жизни, питаясь планктоном в толще воды, при дневном освещении находит и потребляет пищу в 2 раза скорее, чем в абсолютной темноте. [8]

Звуковые волны треска принимает 2-мя рецепторами: давление звука воспринимает внутреннее ухо, а величину смещения, вызванную звуковой волной – боковая линия. Треска реагирует только на звуки конкретного спектра. Производственные шумы (резкое включение двигателя судна) вначале пугают треску, и косяк проворно уходит на глубину, но в скором времени рыба привыкает к шуму и уже не реагирует на него. Треска издает плавательным пузырем звуки, которые направляют её на поведенческие реакции, являясь сигналами опасности, наличия пищи. Более многоголосый хор треска делает на нерестилищах: громкими звуками самцы предостерегают, что территория занята, и привлекают самок.

Пища трески многообразна, больше питается теми жертвами, которые более многочисленны. Хоть треска и нередко кормится в пелагиали, так же

некоторые ее морфологические особенности, такие как неплохо развитые усики и губы, длинные мягкие брюшные плавники, указывают на то, что больше всего треска адаптирована к питанию у дна. Длинная и заостренная морда неплохо приспособлена для поиска и добывания пищи. Треска имеет свойство заглатывать большие жертвы, потому что её желудок имеет толстые и упругие стенки, которые могут хорошо растягиваться. Главные методы захвата пищи – всасывание, откусывание, заглатывание, временами процеживание.

Обитает треска на глубинах до 600м: чаще можно встретить на глубине 100-300м и редко можно выловить глубже 450м, а у берега – на глубине менее 5м. Разброс температур, при которых треска встречается, достаточно широк: от температуры, которая близка к замерзанию воды, до 15°C. Внутренняя температура рыбы близка к температуре внешней среды. В районах нагула достаточно часто встречается при температуре 0-7°C. При отрицательных температурах треска плавает медлительно, темп дыхания у нее быстро снижается. [33]

Нерестится треска в феврале – апреле на глубинах от 30 до 400 м в самой толще воды или же около дна. Течение разносит икринки. Длительность инкубационного периода продолжается от 11 до 30 суток. Когда особь достигает 2–3 см в длину, то она переходит к придонному образу жизни. Половозрелой рыба становится на 2-ом (чаще всего – это самцы) и 3-ем году жизни.

1.2.2 Северо-восточная арктическая пикша

Пикша (лат. *Melanogrammus*) – рыба семейства тресковых. В данной выпускной квалификационной работе будет рассматриваться вид – атлантическая пикша, подвид – северо-восточная арктическая пикша.

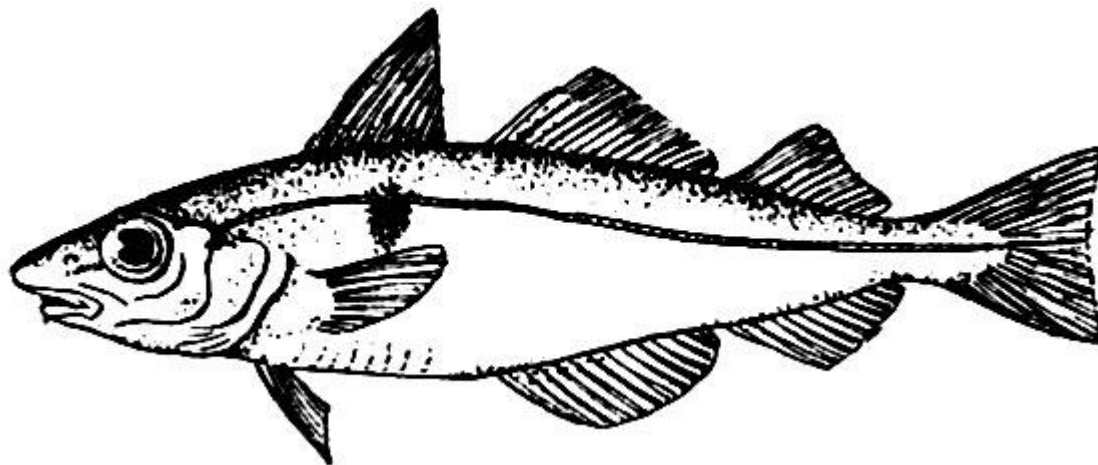


Рис.3– Пикша

Данный род включает в себя всего один вид, который широко распространен по всей Северной Атлантике и в западной части Северного Ледовитого океана, и который образует множество местных популяций. Популяции пикши есть в Баренцевом море, в Норвежском море, в Северном море, у берегов Англии, Шотландии и Ирландии, у Исландии и Фарерских островов. Самые крупные из них – это популяции северо-восточной арктической пикши, которая обитает в Баренцевом и Норвежском морях, пикши Северного моря и района Исландии.

Тело пикши вытянутое, массивное, овальной формы, сжатое с боков, покрытое мелкой циклоидной чешуёй. Верхняя челюсть сильно выступает вперёд, усик на подбородке почти не развит. Спинные плавники разделены промежутками, первый плавник высокий. Хвостовой плавник имеет выемку. Боковая линия темная, почти чёрная, она слабоизогнутая и непрерывная. Цвет тёмно-серый с фиолетовым оттенком, бока серебристо-белые. С обеих сторон тела под спинным плавником находится большое чёрное пятно. Достигает длины 100—110 см, средняя обычная длина пикши 50—75 см.

Средняя масса особи 2—3 кг, но в уловах встречались и крупные особи массой до 9—12 кг. Максимальная официально зарегистрированная масса тела 16,8 кг. Продолжительность жизни пикши до 24 лет. [23]

Пикша более теплолюбива нежели треска. Она не встречается в водах с температурой ниже 0°C. Пикша живёт в солёных морях, где с солёность равна 32—33 ‰. Распространение в водах подвержено сильным изменениям в разные годы: северная бореальная область Атлантики близ берегов Северной Европы и Северной Америки, вокруг берегов Исландии, а так же смежная область Северного Ледовитого океана (а именно Норвежское и Баренцево моря). Большое количество пикши распространено в южной части Баренцева моря, в Северном море возле Исландии, а так же на Ньюфаундлендской банке. У полуострова Лабрадор пикша отсутствует, возле берегов Гренландии её поголовье немногочисленно. Пикша придерживается как у дна, так и в толще воды, образует большие скопления (стада). Обитает на глубинах 60—650м при температуре воды от 2—10 °C. К донному образу жизни молодая пикша переходит в однолетнем возрасте, до сего она живёт в толще воды и в соответствии с этим кормится на глубине менее 100м. Пикша изредка выходит за пределы материковой отмели.

Зимой пикша отходит на юго-запад Баренцева моря, где держится на относительно небольших глубинах. В тёплые годы места зимовки ограничены западными районами. Связь миграций пикши с температурой вод Баренцева моря ярко выражена на всех стадиях своего жизненного цикла. Если треска во время своих миграций из районов с более высокой температурой идёт в районы, где температура значительно ниже, то пикша всё время придерживается прогретых вод.

Питание пикши не особо разнообразно, в основном, это бентос — донные (черви, ракообразные, моллюски и иглокожие). Необходимой составной частью рациона питания так же является икра и мальки рыб. Режим питания пикши отличается от географии - в Северном и Баренцевом морях. В Северном море пикша питается икрой сельди, а в Баренцевом —

икрой и мальками мойвы. Главные места питания пикши в Баренцевом море находятся возле мыса Канин Нос, вокруг острова Колгуева и вдоль побережья Кольского полуострова.[29]

Пикша является весенне-нерестующей рыбой. Нерестелища можно встретить почти на всех участках ареала: Северное море, берега Исландии, Шотландии, Норвегии. На юге ареала нерест проходит в марте, на севере - в апреле-мае. Икра пикши пелагическая, прозрачная, дрейфует в слое 0-50 м. По достижении длины 4-6 см молодь оседает в придонные слои воды. Рост особей медленнее, чем у трески.

Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1 Обзор методов исследования

В данной работе используются методы статистического анализа и модель Шефера. В задачи входит:

1. Рассмотреть состояние запасов и выловов выбранных видов за определенный временной интервал;
2. Провести первичный статистический анализ запасов и выловов выбранных видов;
3. Провести автокорреляционный, корреляционный и кросскорреляционный анализ запасов выбранных видов с учётом возможных значимых предикторов;
4. Провести анализ при помощи модели множественной линейной регрессии;
5. Провести спектральный анализ запасов выбранных видов;
6. Оценить возможное изменение запасов выбранных видов с помощью модели Шефера;
7. Дать оценку запасов выбранных видов в Баренцевом море на несколько лет вперед.

Корреляционный анализ:

«Между двумя переменными существует взаимная связь, бывающая функциональной или стохастической, для её оценки используется показатель корреляции. Коэффициент корреляции r показывает степень тесноты линейной зависимости, показывающей, что при возрастании одной величины другая возрастает (или убывает) по линейному закону. Любую зависимость можно представить как график совокупности точек, которые образуют облако, представляющее собой эллипс рассеяния, большая ось которого расположена под наклоном к осям. Соотношение осей показывает качество

зависимости между 2-мя переменными. Если эллипс вырожден в прямую линию, связь между этими переменными является функциональной. В этом случае коэффициент корреляции по модулю $= 1$. Если эллипс вырожден в круг, связь между переменными является абсолютно случайной. В этом случае коэффициент корреляции по модулю $= 0$. В остальных случаях связь является стохастической. Далее составляется корреляционная матрица, состоящая из набора коэффициентов корреляции, получившихся при расчете для нескольких переменных. Если связь стохастическая, то рассчитанная величина коэффициента корреляции может быть большой или маленькой, отражающей степень связи, которую можно оценить при проверке коэффициента корреляции на значимость. Сравнивается t^* с $t_{кр}$, и если $t^* > t_{кр}$, нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции значим, т.е. между двумя переменными существует статистически значимая прямая связь, а если $t^* < t_{кр}$, нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу, следовательно коэффициент корреляции незначим, т.е. между двумя переменными статистически значимая линейная связь отсутствует». [12]

Автокорреляционный анализ:

«Автокорреляционный анализ проводится с целью анализа внутренней структуры исследуемого процесса. Автокорреляция – это корреляция статистического ряда самого с собой при разных сдвигах во времени. Автокорреляционная функция (АКФ) получается, когда все коэффициенты корреляции нанесены на график зависимости r от τ (сдвига) и объединены кривой. Временной ряд при расчетах возможно сдвигать в любую сторону, автокорреляционная функция симметрична. Коэффициент автокорреляции $r(\tau)$ на любом сдвиге также можно рассчитать по формуле,

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

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

Максимальное количество сдвигов зависит от длины ряда N: если ряд короткий (~ 30) $\tau_{\max} = N/3$; если ряд длинный (~ 1000) $\tau_{\max} = N/10$.

Каждый из коэффициентов корреляции должен быть проверен на значимость. Основываясь на проверке нулевой гипотезы $H_0: r = 0$, по критерию Стьюдента рассчитывается критическое значение r_{kr} по следующей формуле,

где N – длина реализации, τ – сдвиг автокорреляционной функции; $t_{kr}(\alpha, \nu = N - \tau - 1)$ – критерий Стьюдента:

$$r_{kr}(\tau) = \frac{-\sqrt{N - \tau - 1} + \sqrt{N - \tau - 1 + 4t_{kr}^2}}{2t_{kr}}$$

Рассчитанные для каждого сдвига значения r_{kr} также наносятся на график автокорреляционной функции в положительной и отрицательной области r . Тогда все значения автокорреляционной функции, превышающие (по модулю) r_{kr} , являются значимыми, а меньшие r_{kr} , случайно отличаются от нуля».[12]

Кросскорреляционный анализ:

«Когда изменение одного параметра отражается на другом через время, которое определяется запаздыванием (то есть ход является асинхронным), рассчитывается кросскорреляционная функция. Кросс-корреляция – это корреляция двух статистических рядов друг с другом при разных сдвигах во времени. Принцип расчета кросскорреляционной функции аналогичен расчету автокорреляционной функции. Так как кросскорреляционная функция несимметрична, ряд нужно сдвигать и в другую сторону (то есть назад) на то же количество сдвигов (то есть отрицательное направление сдвигов). Нанесенные на график зависимости r от τ и соединенные плавной кривой коэффициенты взаимной корреляции, образуют

кросскорреляционную функцию. Коэффициент взаимной корреляции $r(\tau)$ на каждом сдвиге рассчитывается по формул,

где N – длина реализации; τ – сдвиг, который меняется от $-\tau_{\max}$ до $\tau_{\max}$):

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

После проводится проверка коэффициентов корреляции на значимость, аналогично автокорреляционной функции».[12]

Спектральный (гармонический) анализ:

«Во внутренней структуре временного ряда могут отмечаться одна или несколько циклических составляющих. Наиболее ярко выраженные из них отражаются в автокорреляционной функции, но не прибегая к ней, когда возникает задача выявить в исследуемом процессе только циклические составляющие, можно воспользоваться спектральным или, как его еще называют, гармоническим анализом,. Основная мысль гармонического анализа состоит в том, что любой ряд можно разложить без остатка в ряд Фурье, то есть на конечное число гармоник (тригонометрические функции, имеющие периоды, кратные длине ряда), которые рассчитываются по формуле, где

k – номер гармоники; A_k – амплитуда k -той гармоники; ω_k – частота k -той гармоники; T_k – период k -той гармоники; φ_k – фаза k -той гармоники; t – время:

$$G_k = A_k \cos(\omega_k * t - \varphi_k), \omega_k = 2\pi/T_k$$

Современные статистические программы рассчитывают разложение Фурье методом быстрого преобразования Фурье, теряя при этом информацию о характеристиках гармонических составляющих. Результатом является периодограмма, представляющая собой зависимость дисперсии гармонических составляющих от их частоты, гармоники, у которых больше

дисперсия и амплитуда, будут представлены «пиками». Обычно достаточно выявить частоты и периодов, для которых отмечаются пики периодограммы. Однако, необходимо восстановить исходный процесс по нескольким значимым гармоникам, прибегая к процедуре гармонического анализа на основе рассчитанной периодограммы. Тогда по таблицам и графикам определяется период для пиков спектра, проводится гармонический анализ: рассчитываются характеристики гармоник, для них формулируются уравнения, рассчитываются ряды этих гармоник и путем сложения этих рядов получается восстановленный ряд».[12]

Модель Шефера:

«В модели Шефера предполагается, что эксплуатируемая популяция стремится к стабилизации, то есть к такому состоянию, когда общий прирост будет равен объему вылова. Такой вылов называется уравновешенным, и его концепция ложится в основу построения данной модели.

Модель Шефера удобна тем, что использует общие понятия: запас, вылов, промысловое усилие, и для своей реализации не требует никаких других данных кроме общих биологических и промысловых.

Рассматривается один изолированный вид с биомассой $P = P(t)$, где t - это время, под P может пониматься как биомасса общей, так и промысловой и нерестовой части популяции.

Исходное уравнение модели имеет вид:

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

Предполагая, что биомасса изменяется непрерывно во времени, скорость пропорциональна P . Постоянные параметры A и B определяются внутренними свойствами популяции: если промысел отсутствует, то

биомасса возрастает с течением времени по логистическому закону и стремится к своей максимальной величине, которая определяется соотношением параметров A/B .

Зная значения этих параметров, а так же величину запаса на данный момент времени, можно с помощью уравнения (1.1) оценить запас на будущий момент при отсутствии промысла, а если к тому же известен коэффициент q и задана величина промыслового усилия на промежуток времени, отделяющий момент прогноза от данного, то можно оценить величину вылова и оценить дальнейшее изменение запаса при определённом уровне промысла.

Записывается уравнение модели Шефера:

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

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

Для нахождения коэффициентов A и B применяется метод наименьших квадратов. Дифференциальное уравнение Шефера нужно привести к дискретному виду, шаг по времени равен одному году. Далее проводится ряд преобразований этого уравнения:

$$P_{i+1} - P_i = P_i(A - BP_i) - C_i P_i \quad (1.3)$$

$$\frac{P_{i+1} - P_i}{P_i} = A - BP_i - C_i \quad (1.4)$$

$$K_i = \frac{P_{i+1} - P_i}{P_i} \quad (1.5)$$

Далее применяется алгоритм метода наименьших квадратов:

$$\sum_{i=2}^n (A - BP_i - C_i - K_i)^2 = \min \quad (1.6)$$

$$\frac{\partial f}{\partial A} = \frac{\partial}{\partial A} \sum_{i=2}^n (A - BP_i - C_i - K_i)^2 = 2 \sum_{i=2}^n (A - BP_i - C_i - K_i) \left(\frac{\partial A}{\partial A} - \frac{\partial BP_i}{\partial A} - \frac{\partial C_i}{\partial A} - \frac{\partial K_i}{\partial A} \right) = 0 \quad (1.7)$$

И по итогу получается:

$$2 \sum_{i=2}^n (A - BP_i - C_i - K_i) = 0 \quad (1.8)$$

$$\frac{\partial f}{\partial B} = \frac{\partial}{\partial B} \sum_{i=2}^n (A - BP_i - C_i - K_i)^2 = 2 \sum_{i=2}^n (A - BP_i - C_i - K_i) \left(\frac{\partial A}{\partial B} - P_i \frac{\partial B}{\partial B} - \frac{\partial C_i}{\partial B} - \frac{\partial K_i}{\partial B} \right) = 0 \quad (1.9)$$

$$2 \sum_{i=2}^n [(A - BP_i - C_i - K_i)P_i] = 0 \quad (1.10)$$

Из формулы (1.8) получается выражение для коэффициента А:

$$A = \frac{1}{N} (B \sum_{i=2}^n P_i + \sum_{i=2}^n C_i + \sum_{i=2}^n K_i) \quad (1.11)$$

Из формулы (1.10) получается для коэффициента В:

$$B \sum_{i=2}^n P_i^2 = - \sum_{i=2}^n C_i P_i - \sum_{i=2}^n K_i P_i + \sum_{i=2}^n A P_i \quad (1.12)$$

Подставив выражение (1.11) в формулу (1.12), получается окончательное выражение для коэффициента В:

$$B = \frac{1}{\sum_{i=2}^n P_i^2} \left[\sum_{i=2}^n C_i P_i + \sum_{i=2}^n K_i P_i - \frac{\sum_{i=2}^n P_i}{N} \left(B \sum_{i=2}^n P_i + \sum_{i=2}^n C_i + \sum_{i=2}^n K_i \right) \right] \quad (1.13)$$

$$B = \frac{\sum_{i=2}^n P_i \sum_{i=2}^n C_i + \sum_{i=2}^n P_i \sum_{i=2}^n K_i - N \sum_{i=2}^n P_i C_i - N \sum_{i=2}^n P_i K_i}{N \sum_{i=2}^n P_i^2 - \sum_{i=2}^n P_i \sum_{i=2}^n P_i} \quad (1.14)$$

Таким образом, нужно иметь ряд исходных данных промысловой информации, рассчитать величины коэффициентов А и В, и далее можно будет превратить уравнение (1.1) в инструмент прогнозирования».

2.2 Исходные данные

В данной выпускной квалификационной работе в качестве исходных данных использовались среднегодовые значения запасов и выловов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши Баренцева моря за период с 1951 по 2020 год, а так же среднегодовые значения температуры и солёности вод Баренцева моря в слое (0-200м) по данным Кольского разреза (станции 3-7), значения индекса САК, индексов атмосферной циркуляции за период с 1951 по 2020 год. Исходные данные представлены в виде таблицы, находящейся во Вложении.

Северо-восточная арктическая треска и северо-восточная арктическая пикша являются важнейшими и наиболее ценными промысловыми видами рыб Баренцева моря и сопредельных вод. Кроме того, эти виды – хороший индикатор состояния промысловой экосистемы водоема. Рассматривая состояние их запасов, можно провести параллель, отмечая сходства в экстремумах.

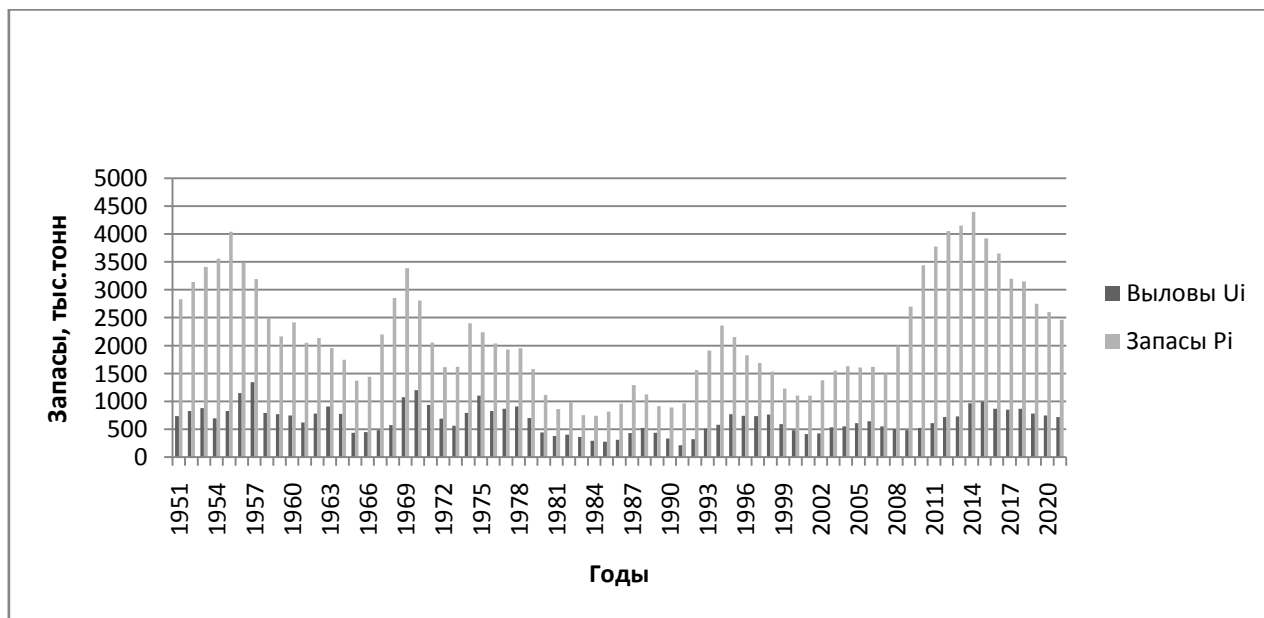


Рис.4 - Гистограмма распределения запасов и выловов северо-восточной арктической трески в период с 1951 по 2020 год

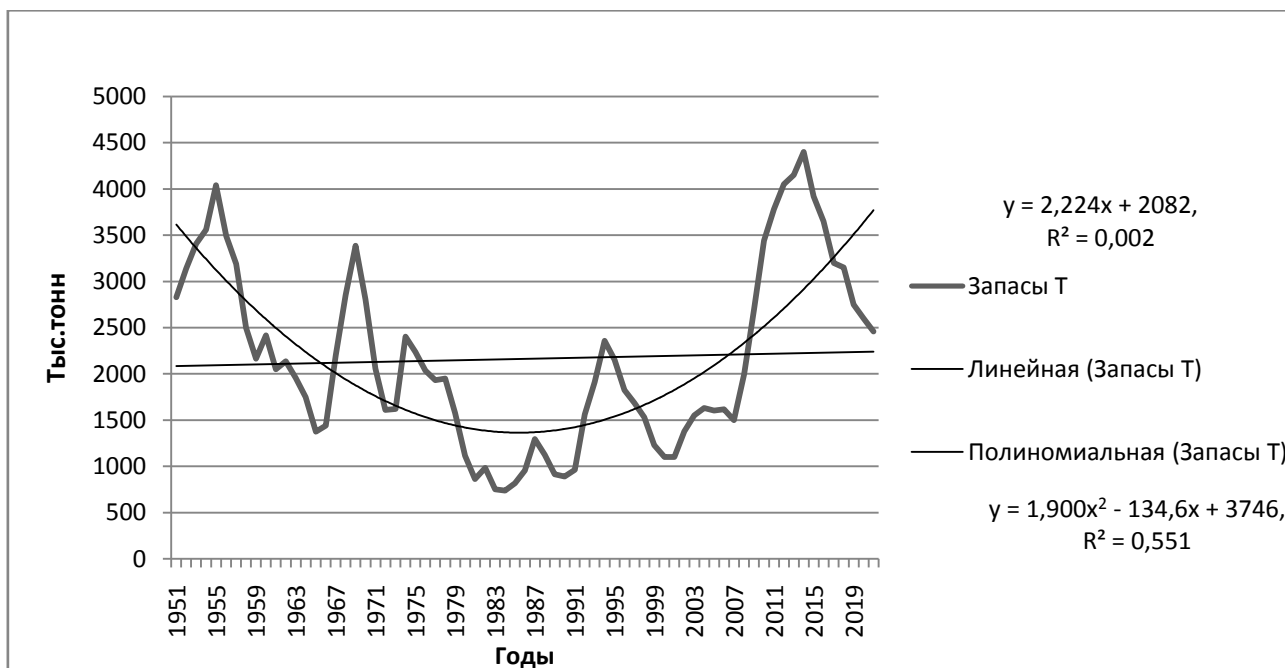


Рис.5 - Среднегодовой ход запасов северо-восточной арктической трески и их тенденции (линейная и полиномиальная) в период с 1951 по 2020 год

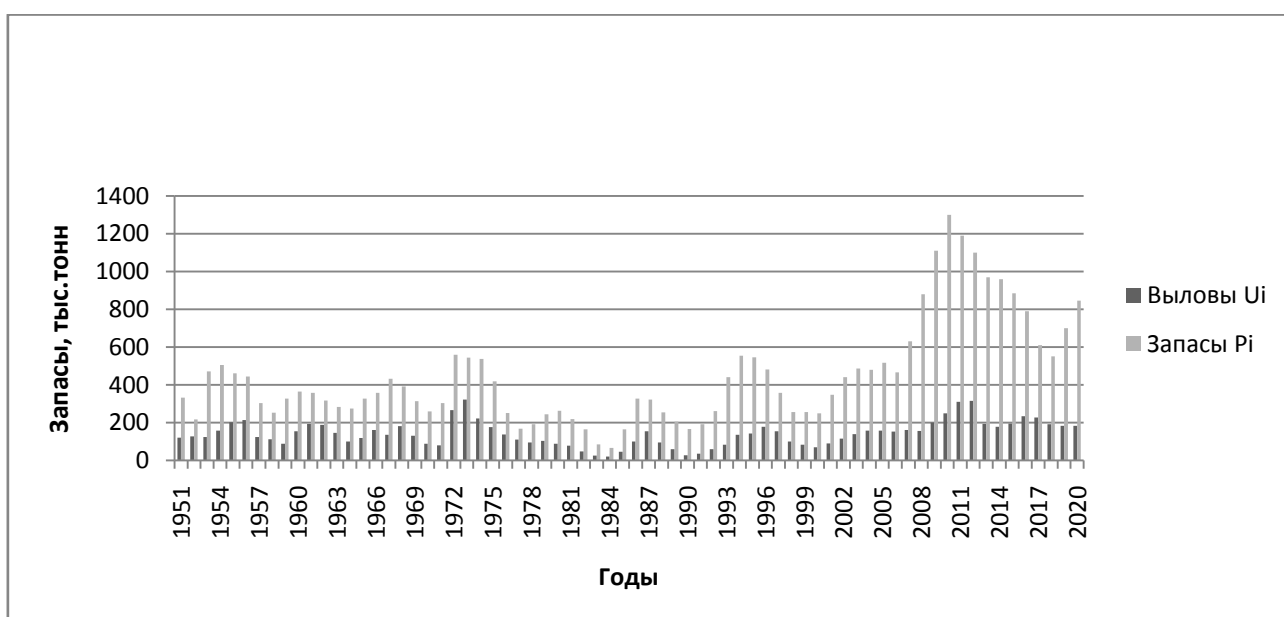


Рис.6 - Гистограмма распределения запасов и выловов северо-восточной арктической пикши в период с 1951 по 2020 год

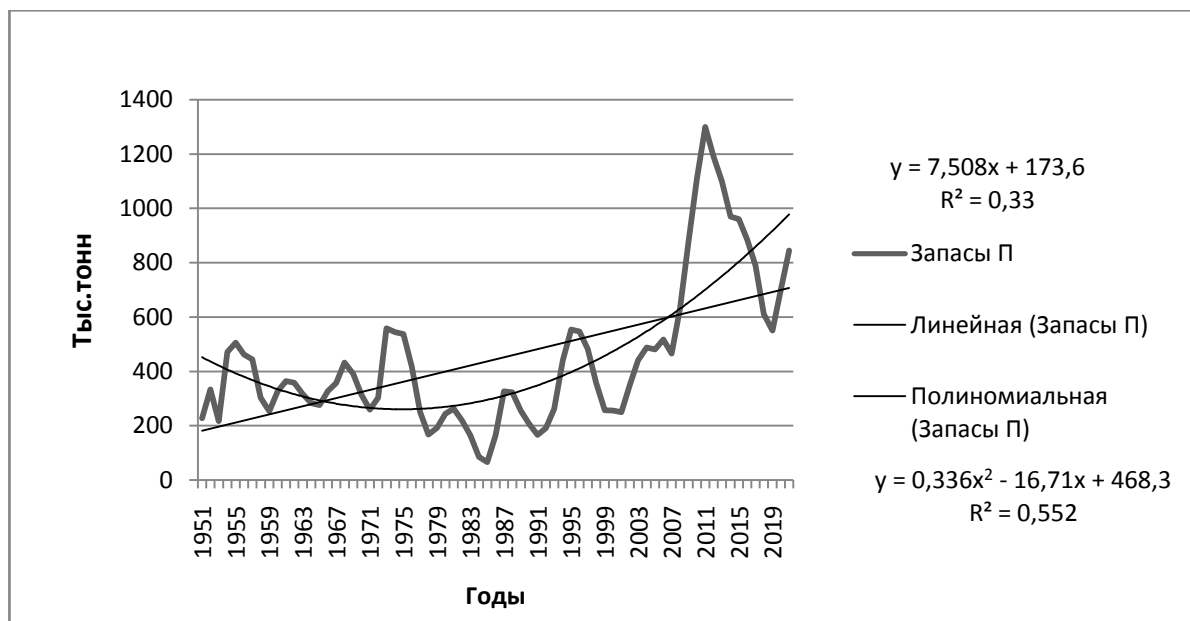


Рис.7 - Среднегодовой ход запасов северо-восточной арктической пикши и их тенденции (линейная и полиномиальная) в период с 1951 по 2020 год

Рассматривая гистограммы распределения, можно сказать, что в целом, колебания выловов были невелики даже при значительных изменениях запасов. Так, с 1951 по 2020 г. общая добыча северо-восточной арктической трески составила 46,7 млн.тонн, а северо-восточной арктической пикши 9,9 млн.тонн. Количество годовых выловов у трески находилось в пределах 212-1343 тыс.тонн, у пикши 21-322 тыс.тонн.

Максимум запасов обоих видов приходится примерно на одинаковые периоды времени. Это связано с отрицательными и положительными аномалиями температуры воды Баренцева моря. Так, за период с 1951 по 2020 г. наибольшая величина запаса северо-восточной арктической трески пришлась на 2013 год и составила 4400 тыс.тонн, а у северо-восточной арктической пикши максимум был в 2010 году и составлял 1300 тыс.тонн. Минимумы же пришлись на 1983 и 1984 год, соответственно, и составляли 739 и 66 тыс.тонн. Такое снижение запасов нельзя объяснить только климатическими условиями Баренцева моря. Свою роль также сыграли неудовлетворительное состояние кормовой базы, перевылов данных

промысловых видов и, как следствие, снижение их воспроизводительной способности и появление неурожайных поколений.

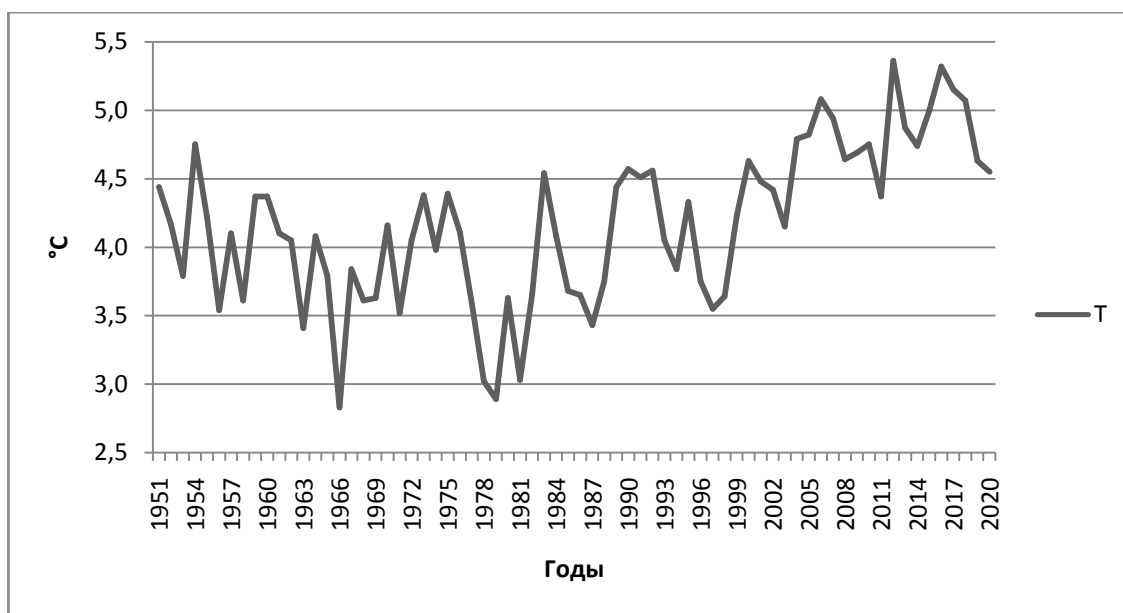


Рис.8 - Среднегодовой ход температуры вод Баренцева моря в слое (0-200м) на Кольском разрезе (станции 3-7) в период с 1951 по 2020 год

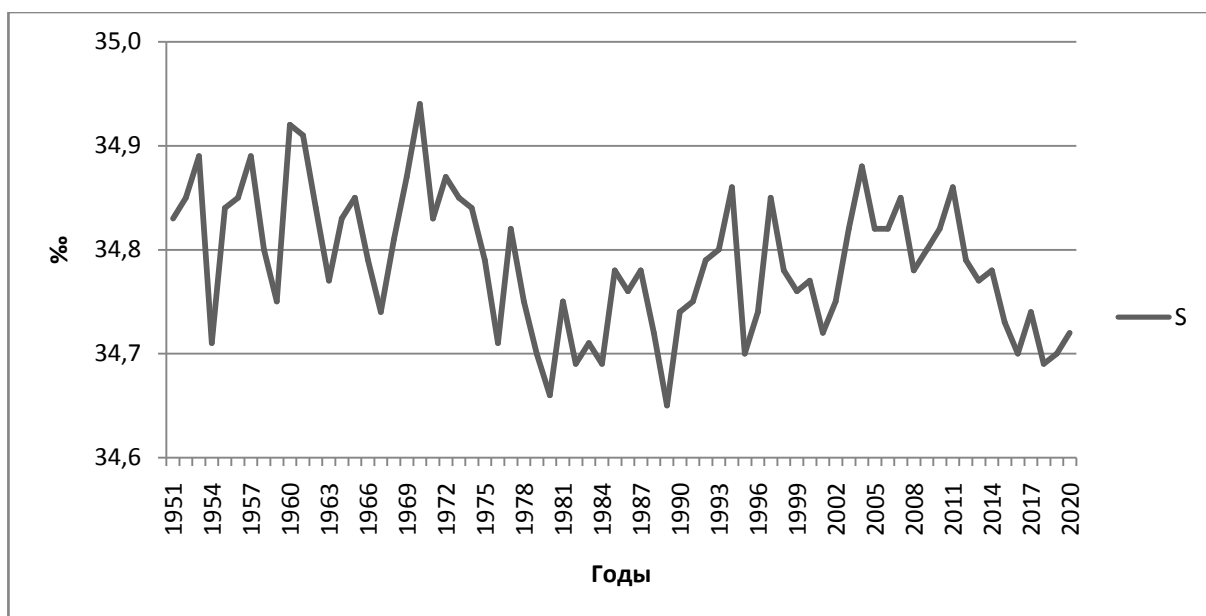


Рис.9 - Среднегодовой ход солёности вод Баренцева моря в слое (0-200м) на Кольском разрезе (станции 3-7) в период с 1951 по 2020 год

«При рассмотрении вопросов промысловой океанографии, к важнейшим из которых относятся системные исследования и разработка прогностических зависимостей в рыбопромысловых целях, используются

данные об изменении океанографического режима Баренцева моря, выполняемые на стандартных разрезах. Одним из таких является вековой разрез «Кольский меридиан», расположенный в центральной части моря вдоль 33°30' в.д. Основными океанографическими параметрами, за которыми проводятся наблюдения, являются температура и солёность воды».[17, 32, 34]

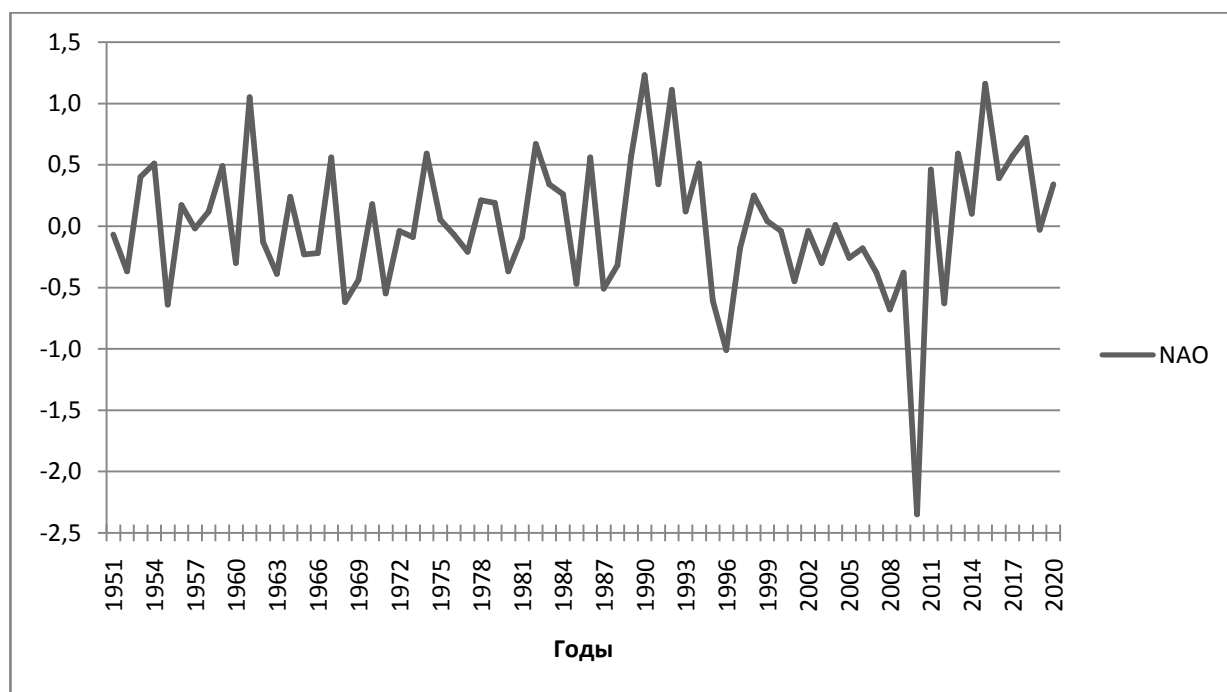


Рис.10 - Среднегодовой ход индекса североатлантического колебания в период с 1951 по 2020 год

В качестве классического индекса североатлантического колебания рассматривают разницу между приземным давлением в районе Азорских островов (39° с. ш., 24° з. д.) и в районе Исландии (64° с. ш., 24° з. д.). Индекс североатлантического колебания является вычислительно простым, доступным для понимания и имеет ясную физическую интерпретацию, поэтому он часто используется в качестве предиктора в различных методиках долгосрочных прогнозов. [42]

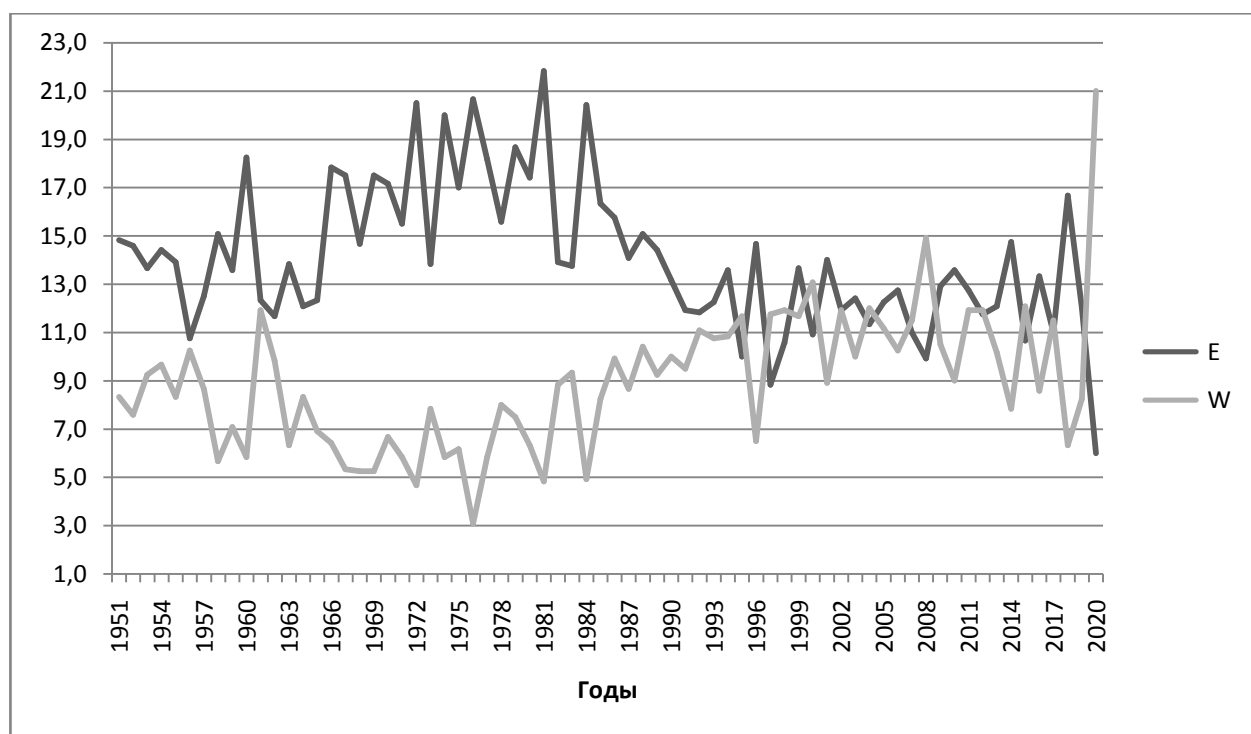


Рис.11 - Среднегодовой ход индексов атмосферной циркуляции в период с 1951 по 2020 год

К числу наиболее известных классификаций атмосферных процессов относятся типизации Вангенгейма-Гирса. Вангенгеймом было выделено три формы атмосферной циркуляции - западная (W), восточная (E) и центральная (C). «Три формы атмосферной циркуляции являются минимально допустимым набором, так как при сильном нарушении зонального переноса возможно противоположное расположение гребней и ложбин.» Наиболее устойчивыми являются западная (W) и восточная (E) формы, которые могут сохраняться до пяти месяцев.

Глава 3. АНАЛИЗ ЗАПАСОВ

3.1 Корреляционный анализ

Для проверки предикторов на значимость и тесноту связи с исходными рядами запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши был проведён корреляционный анализ.

В ходе корреляционного анализа выявились следующие связи (жёлтым в таблицах выделены значимые коэффициенты корреляции):

Таблица1

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

	<i>Треска зап.</i>	<i>Треска выл.</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>NAO</i>	<i>E</i>	<i>W</i>
Треска зап.	1						
Треска выл.	0,66	1					
T	0,41	0,05	1				
S	0,25	0,38	-0,08	1			
NAO	-0,05	-0,04	0,11	-0,17	1		
E	-0,19	-0,03	-0,43	-0,05	-0,04	1	
W	0,09	-0,13	0,42	-0,03	0,14	-0,84	1

Таблица2

Корреляционная матрица для ряда среднегодовых значений запасов северо-восточной арктической пикши.

	<i>Пикша зап.</i>	<i>Пикша выл.</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>NAO</i>	<i>E</i>	<i>W</i>
Пикша зап.	1						
Пикша выл.	0,75	1					
T	0,54	0,33	1				
S	0,09	0,30	-0,08	1			
NAO	-0,21	-0,20	0,11	-0,17	1		
E	-0,35	-0,15	-0,43	-0,05	-0,04	1	
W	0,38	0,11	0,41	-0,03	0,14	-0,84	1

Смотря на таблицы, можно сделать выводы о том, что между рядами запасов северо-восточной арктической трески и температурой и солёностью вод Баренцева моря существует связь, а так же между рядами запасов северо-восточной арктической пикши и температурой вод Баренцева моря и индексами атмосферной циркуляции тоже существует связь. Но не стоит забывать о том, что при наличии значимой корреляции между двумя переменными не всегда определяется причинно-следственные отношения между ними, то есть это не означает, что одна переменная зависит от другой.

Стоит отметить, что наибольшим коэффициентом корреляции в обоих случаях является коэффициент между запасами промысловых видов и температурой вод Баренцева моря.

3.2 Автокорреляционный анализ

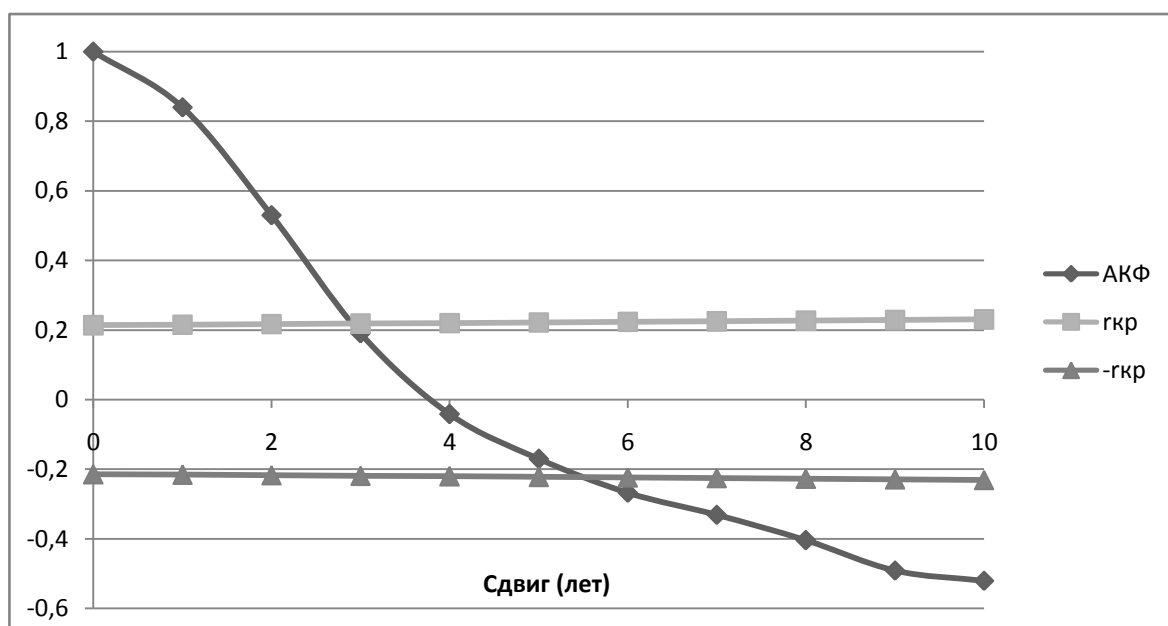


Рис.12 - Автокорреляционная функция межгодовой изменчивости запасов северо-восточной арктической трески.

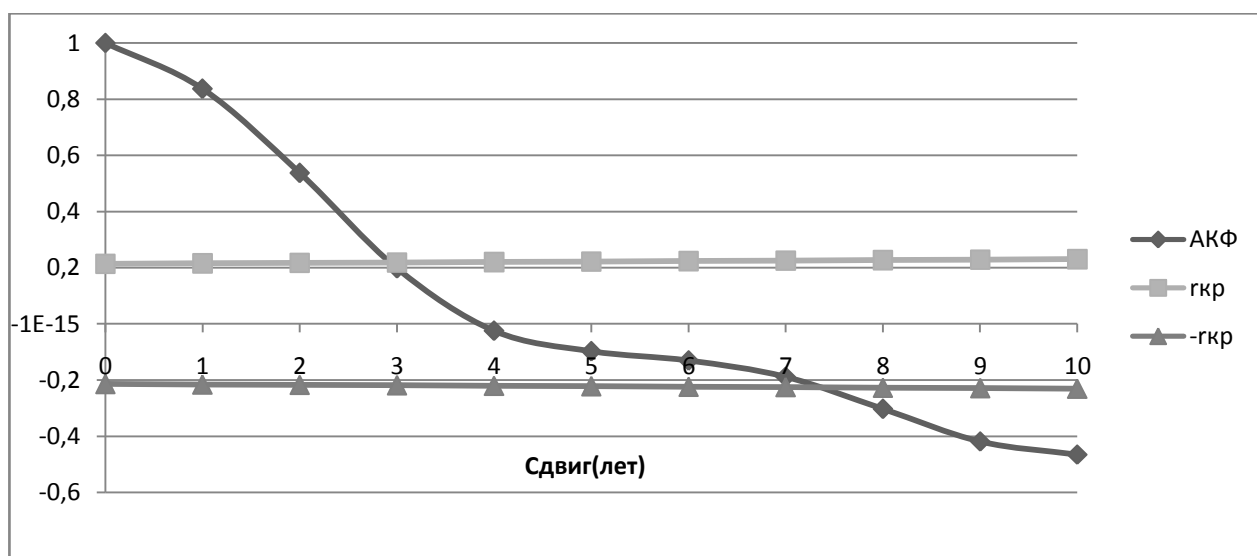


Рис.13 - Автокорреляционная функция межгодовой изменчивости запасов северо-восточной арктической пикши.

На рисунках представлены графики автокорреляционных функций межгодовой изменчивости запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши Баренцева моря. Можно заметить, что на обоих графиках критическое значение коэффициента корреляции $\rho_{кр}$ примерно равно 0,22. Данная автокорреляционная функция представляется в виде простой цепи Маркова первого порядка. Для представленной автокорреляционной функции радиус корреляции τ 2 кор. составил четыре сдвига, то есть четыре года. Таким образом, в данном случае среднегодовой процесс изменения запасов является малоинерционным. Так же он является не периодичным. Для данной функции можно составить автопрогноз, который определяется как сдвиг, где коэффициент автокорреляции значим. В обоих случаях это получается первый сдвиг, где коэффициент автокорреляции = 0,84. То есть, можно сказать, что по данному анализу получается автопрогноз с заблаговременностью в один год.

Таблица 3

Регрессионная статистика изменчивости запасов северо-восточной арктической трески (с учетом вычета тренда).

Регрессионная статистика					
Множественный R			0,93		
R-квадрат			0,87		
Нормированный R-квадрат			0,87		
Стандартная ошибка			356,52		
Наблюдения			70		
Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	56800036	56800036	446,87	1,32E-31
Остаток	68	8643220	127106,2		
	Коэффициенты		Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение
Y-пересечение	147,81		103,97	1,42	0,16
Переменная X 1	0,93		0,04	21,14	1,32E-31

Таблица 4

Регрессионная статистика изменчивости запасов северо-восточной арктической пикши (с учетом вычета тренда).

Регрессионная статистика					
Множественный R			0,93		
R-квадрат			0,86		
Нормированный R-квадрат			0,86		
Стандартная ошибка			102,40		
Наблюдения			70		
Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	4333707	4333707	413,32	1,31E-30
Остаток	68	712988,5	10485,13		
		Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение
Y-пересечение		36,23	23,62	1,53	0,13
Переменная X 1		0,94	0,05	20,33	1,31E-30

Уравнение авторегрессии 1-ого порядка ($P_{i+n} = a_1 * P_i + a_0$) для значений запасов северо-восточной арктической трески северо-восточной арктической пикши в Баренцевом море:

$$P(\text{треска})_{i+1} = 0,93 * P_i + 148$$

$$P(\text{пикша})_{i+1} = 0,94 * P_i + 36$$

Теперь можно рассмотреть характеристики качества полученных моделей. Коэффициенты детерминации для запасов северо-восточной арктической трески северо-восточной арктической пикши в Баренцевом море составили 87 и 86% соответственно. Это свидетельствует о том, что независимой переменной достаточно для описания дисперсии исходного ряда запасов промысловых видов. Не все коэффициенты моделей являются значимыми, поэтому модели нельзя назвать очень качественными. Стандартное отклонение моделей меньше, чем стандартное отклонение исходных зависимых выборок, что указывает на незначительность ошибок. Стандартные ошибки независимого прогноза меньше, чем стандартные

отклонения исходных зависимых выборок, поэтому можно утверждать, что внутренняя структура изменчивости характеристик не меняется со временем. Модели являются адекватными, так как статистика Фишера больше его критического значения.

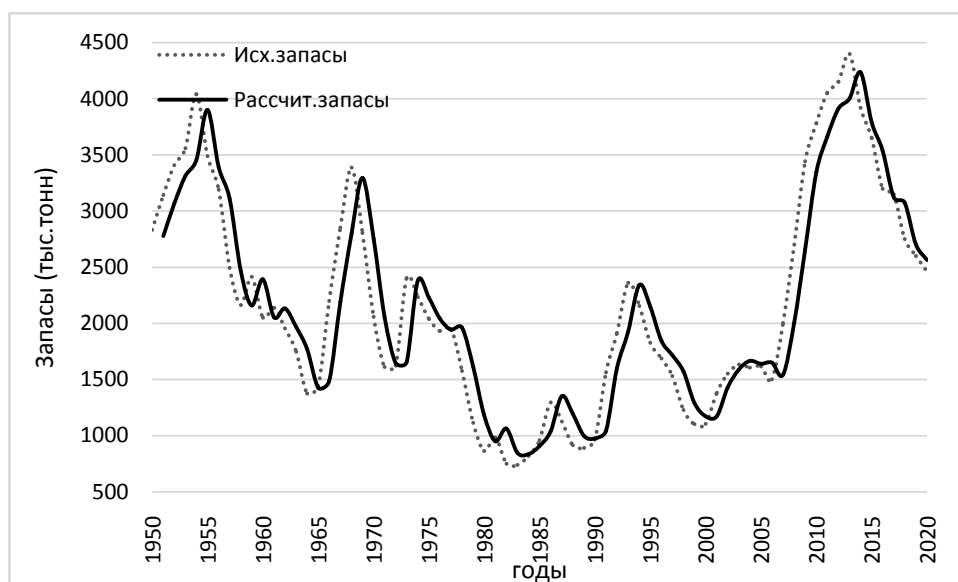


Рис.14 - Исходные и рассчитанные при помощи автокорреляционного анализа значения запасов северо-восточной арктической трески.

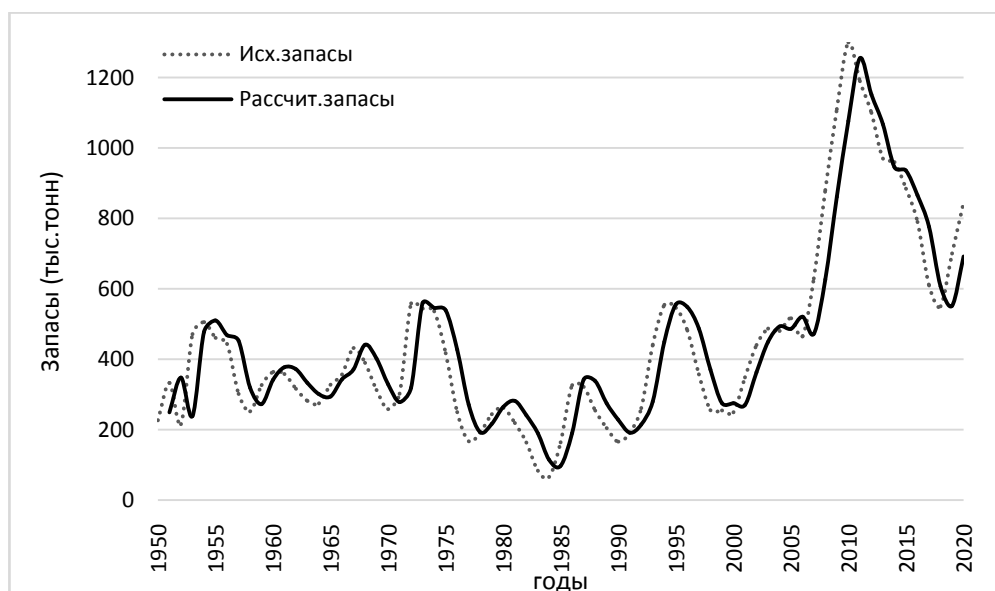


Рис.15 - Исходные и рассчитанные при помощи автокорреляционного анализа значения запасов северо-восточной арктической пикши.

На рисунках представлены графики исходных и рассчитанных при помощи автокорреляционного анализа значений запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши. Глядя на них, можно сказать, что траектории фактических и прогнозируемых данных практически совпадают друг с другом, однако отмечается отклонение, но отклонение рассчитанных моделей не велико.

Таким образом, можно сделать вывод, что полученные модели авторегрессии адекватны и имеют очень хорошее качество, их значения, сравнивая с независимыми выборками, почти совпадают с исходными данными, поэтому данные модели можно использовать для прогноза.

3.3 Кросскорреляционный анализ

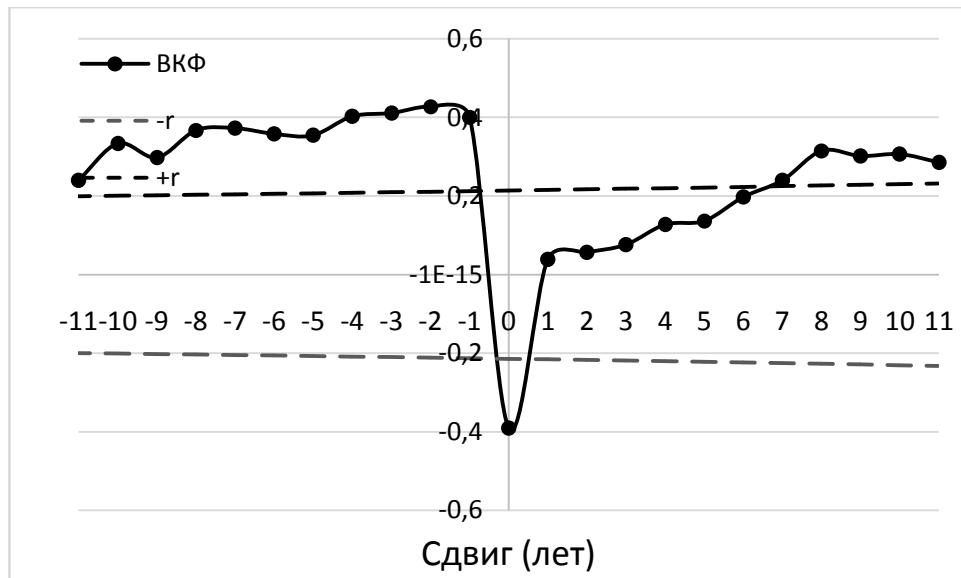


Рис.16 – Кросскорреляционная функция межгодовой изменчивости запасов северо-восточной арктической трески.

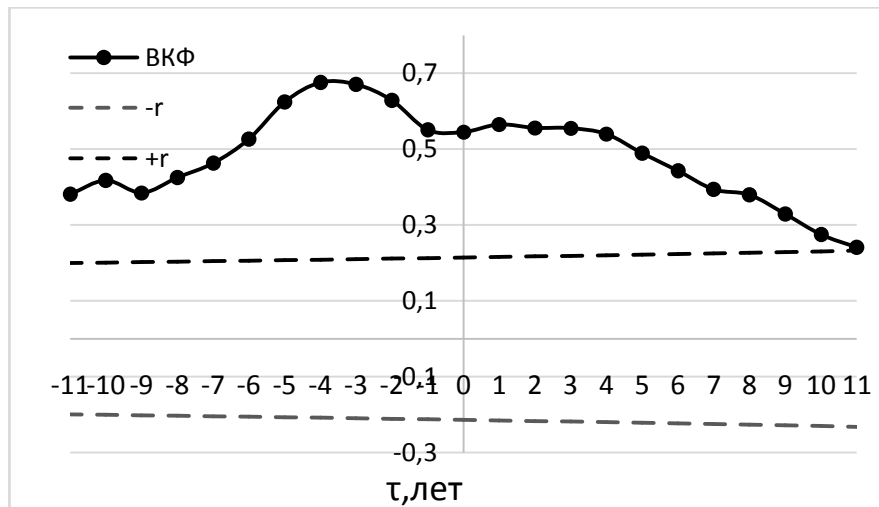


Рис.17 – Кросскорреляционная функция межгодовой изменчивости запасов северо-восточной арктической пикши.

На рисунках представлены графики кросскорреляционной функции межгодовой изменчивости ряда запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши и температуры воды Баренцева моря в слое 0-200 м по Кольскому разрезу (станции 3-7). Можно заметить, что на обоих графиках критическое значение коэффициента корреляции $\rho_{кр}$ примерно равно 0,21. На данных кросскорреляционных функциях отмечается несколько значимых коэффициентов корреляции, которые отличаются от нуля, таким образом, из этого следует, что запасы северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши и температура Баренцева моря связаны асинхронно, поэтому можно определить направление запаздывания. На графиках положительному направлению сдвигов соответствует прогноз температуры Баренцева моря, а отрицательному направлению сдвигов соответствует прогноз запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши. По задачам данной выпускной квалификационной работы необходимо составить прогноз именно запасов, следовательно, рассматривается сторона с отрицательными сдвигами. Для кросскорреляционной функции можно составить прогноз, который определяется как сдвиг, при котором коэффициент корреляции наиболее значим. В данном случае это получается третий сдвиг, что у северо-восточной арктической трески, что у северо-восточной арктической пикши

Таблица 5

Регрессионная статистика для среднегодовых значений запасов северо-восточной арктической трески и температуры Баренцева моря (0-200м).

Регрессионная статистика					
Множественный R				0,54	
R-квадрат				0,29	
Нормированный R-квадрат				0,28	
Стандартная ошибка				812,32	
Наблюдения				67	
Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	17828488	17828488	27,0200	2,18E-06
Остаток	65	42891330	659866,6		
	Коэффициенты		Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение
A0	-1648,38		727,60	-2,27	0,03
A1	903,29		173,78	5,20	0,00

Таблица 6

Регрессионная статистика для среднегодовых значений запасов северо-восточной арктической пикши и температуры Баренцева моря (0-200м).

Регрессионная статистика					
R				0,67	
R-квадрат				0,45	
Нормированный R-квадрат				0,44	
Стандартная ошибка				205,31	
Наблюдения				67	
Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	2238256	2238256	53,1	5,39E-10
Остаток	65	2739997	42153,8		
	Коэффициенты		Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение
A0	-875,72		183,90	-4,76	0,00
A1	320,06		43,92	7,29	0,00

Уравнение парной линейной регрессии ($Y_{i+n} = a_1 \cdot X_i + a_0$) для значений запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши:

$$P(\text{треска})_{i+3} = 903,29 \cdot T_i - 1648,38$$

$$P(\text{пикша})_{i+3} = 320,06 \cdot T_i - 875,72$$

Рассмотрим характеристики качества моделей. Коэффициенты детерминации для запасов северо-восточной арктической трески северо-восточной арктической пикши в Баренцевом море составили 29 и 45% соответственно. Это свидетельствует о том, что независимой переменной не совсем достаточно для описания дисперсии исходного ряда запасов, нужны еще данные по другим предикторам. Опираясь на данные таблицы, можно сказать, что все коэффициенты моделей являются значимыми, поэтому модели можно назвать качественными. Стандартное отклонение моделей меньше, чем стандартное отклонение исходных зависимых выборок, что указывает на незначительность ошибок. Стандартные ошибки независимого прогноза меньше, чем стандартные отклонения исходных зависимых выборок, поэтому можно утверждать, что внутренняя структура изменчивости характеристик не меняется со временем. Модели являются адекватными, так как статистика Фишера больше его критического значения.

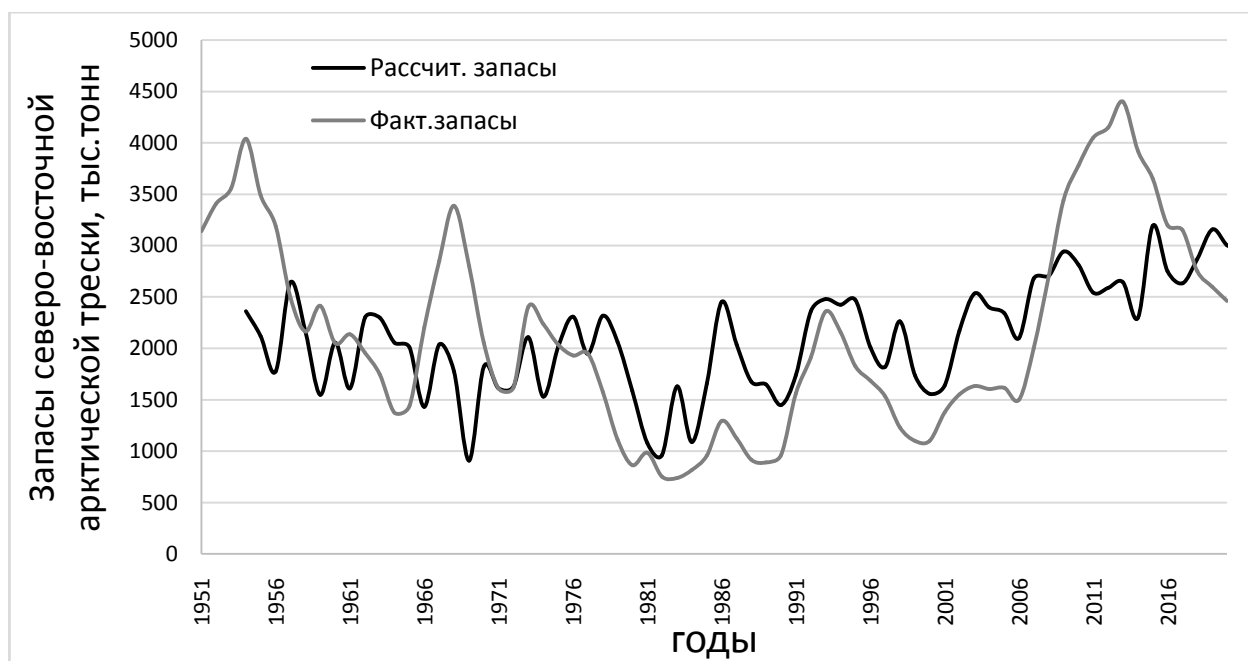


Рис.18 - Исходные и рассчитанные при помощи кросскорреляционного анализа значения запасов северо-восточной арктической трески.

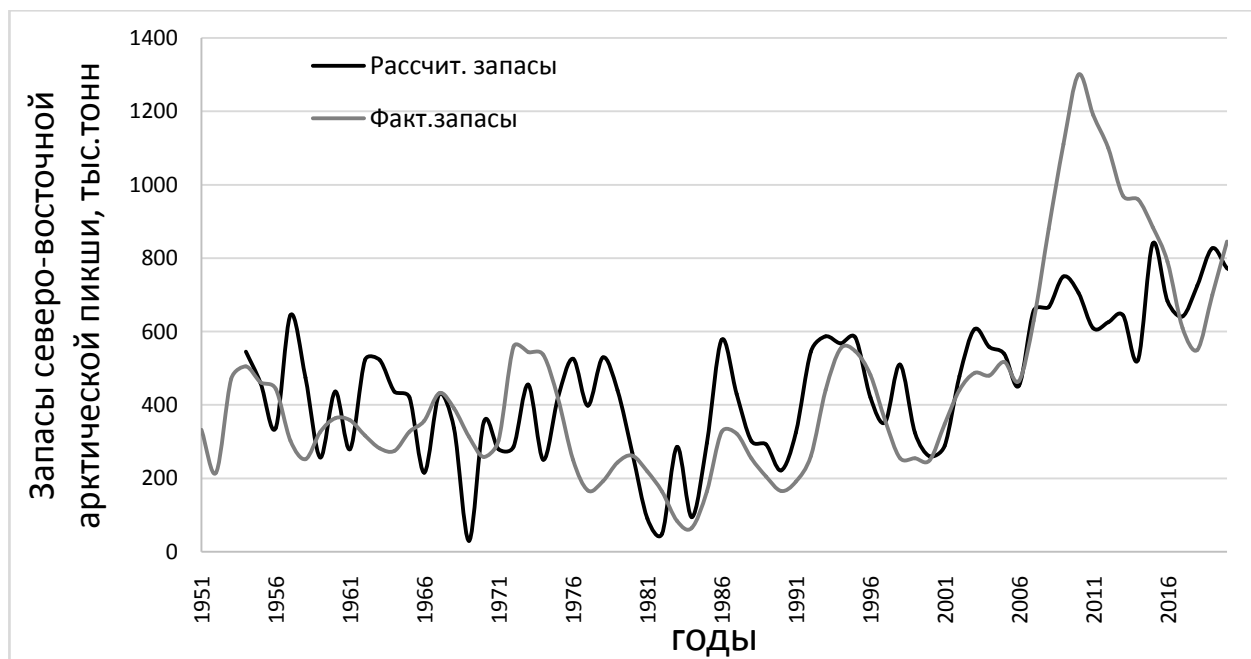


Рис.19 - Исходные и рассчитанные при помощи кросскорреляционного анализа значения запасов северо-восточной арктической пикши.

На рисунках представлены графики исходных и рассчитанных при помощи кросскорреляционного анализа значений запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши. По ним видно, что фактические и рассчитанные значения запасов имеют значительные расхождения между собой. Это объясняется тем, что только температура воды Баренцева моря не может определять состояние запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши, для этого нужны еще другие характеристики. Во многих случаях отклонение рассчитанных значений не так велико и общие тенденции временного хода запасов отражены верно.

Таким образом, можно сделать вывод, что полученные модели кросскорреляции адекватны, они имеют очень хорошее качество. Значения моделей при сравнении с независимыми выборками почти совпадают с исходными данными ряда запасов, поэтому данные модели можно использовать для прогноза.

3.4 Множественная линейная регрессия

После проведения автокорреляционного и кросскорреляционного анализа было принято решения объединить их результаты в одно уравнение множественной линейной регрессии.

Таблица 7

Регрессионная статистика для среднегодовых значений запасов северо-восточной арктической трески.

Регрессионная статистика					
Множественный R				0,93	
R-квадрат				0,87	
Нормированный R-квадрат				0,87	
Стандартная ошибка				349,34	
Наблюдения				67	
Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	2	52909437,27	26454719	216,77	3,15E-29
Остаток	64	7810380,38	122037,2		
	Коэффициенты		Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение
Y-пересечение	-423,62		309,10	-1,37	0,175279
Запас	0,88		0,059	18,45	2,6E-27
Температура	159,23		78,89	2,02	0,04774

Таблица 8

Регрессионная статистика для среднегодовых значений запасов северо-восточной арктической пикши.

Регрессионная статистика					
Множественный R				0,93	
R-квадрат				0,87	
Нормированный R-квадрат				0,87	
Стандартная ошибка				98,99	
Наблюдения				67	
Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	2	4351146,83	2175573	222,03	1,62E-29
Остаток	64	627106,22	9798,53		
	Коэффициенты		Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение
Y-пересечение	-44,63		93,92	-0,47	0,63
Запас	0,92		0,05	16,96	2,32E-25
Температура	20,07		25,06	0,80	0,43

Уравнение множественной линейной регрессии $(Y_{i+n}=a_1 \cdot X_{1i}+a_2 \cdot X_{2i}+a_0)$ для значений запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши:

$$P(\text{треска})_{i+3} = 159,23 \cdot T_i + 0,88 \cdot P_i - 423,62$$

$$P(\text{пикша})_{i+3} = 20,07 \cdot T_i + 0,92 \cdot P_i - 44,63$$

Рассмотрим характеристики качества моделей. Коэффициенты детерминации для запасов северо-восточной арктической трески северо-восточной арктической пикши в Баренцевом море составили 87% для обоих случаев. Это свидетельствует о том, что независимой переменной более чем достаточно для описания дисперсии исходного ряда запасов. Не все коэффициенты моделей являются значимыми. Стандартное отклонение моделей меньше, чем стандартное отклонение исходных зависимых выборок, что указывает на незначительность ошибок. Стандартные ошибки независимого прогноза меньше, чем стандартные отклонения исходных зависимых выборок, поэтому можно утверждать, что внутренняя структура изменчивости характеристик не меняется со временем. Модели являются адекватными, так как статистика Фишера больше его критического значения.

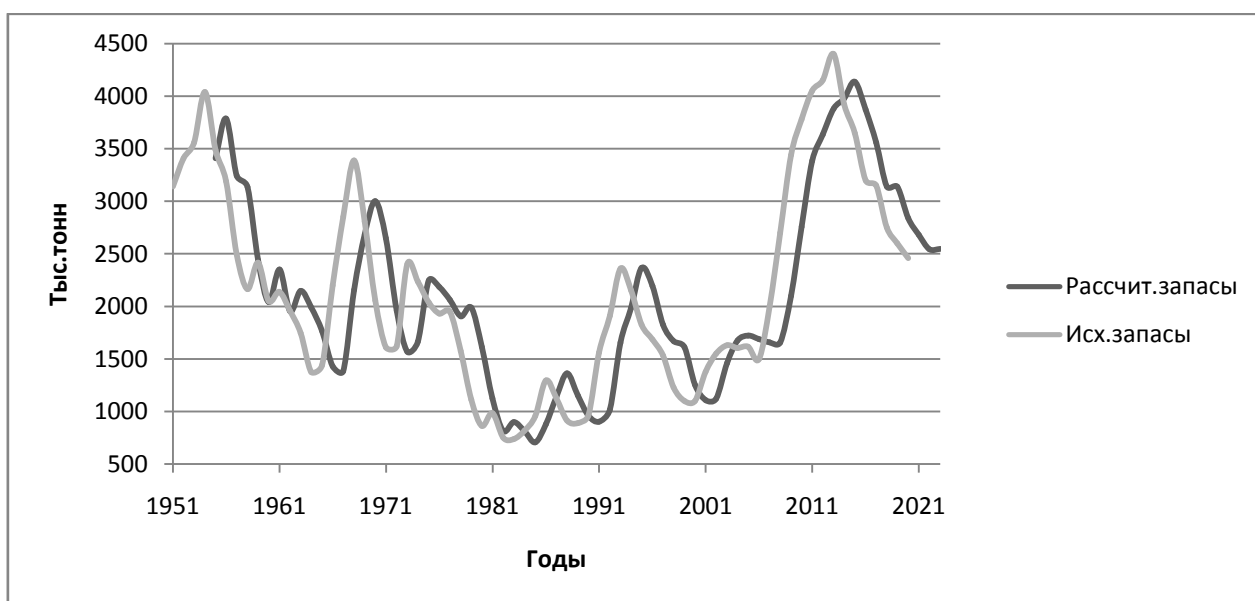


Рис.20 - Исходные и рассчитанные при помощи модели множественной линейной регрессии значения запасов северо-восточной арктической трески.

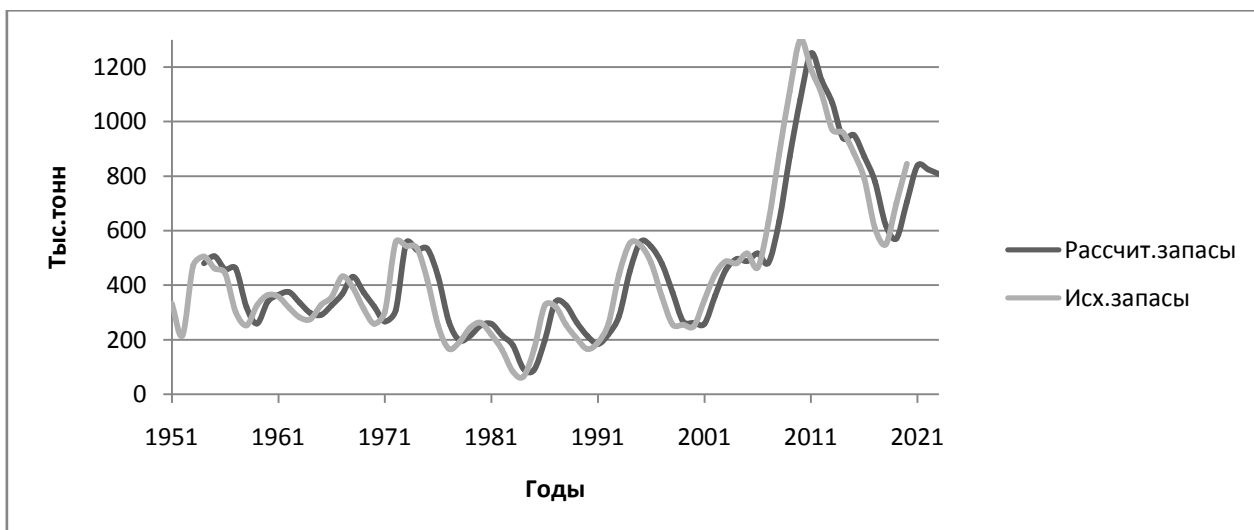


Рис.21 - Исходные и рассчитанные при помощи модели множественной линейной регрессии значения запасов северо-восточной арктической пикши.

На рисунках представлены графики исходных и рассчитанных при помощи модели множественной линейной регрессии значений запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши. По ним видно, что траектории фактических и прогнозируемых данных практически совпадают друг с другом, однако существует отклонение, но отклонение рассчитанных моделей не велико.

Таким образом, можно сделать вывод, что полученные модели множественной линейной регрессии адекватны и имеют очень хорошее качество, их значения, сравнивая с независимыми выборками, почти совпадают с исходными данными, поэтому данные модели можно использовать для прогноза.

3.5 Спектральный анализ

При анализе гармонических составляющих, можно сказать, что между рядами значений запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши наблюдались сходства в периодах гармоник. Но вследствие того, что у ряда значений запаса северо-восточной арктической трески первая гармоника вносит больший вклад в исходный ряд, в отличие от ряда значений запаса северо-восточной арктической пикши, где все три гармоники вносят равномерный вклад, дальнейший анализ будет проходить не параллельно, а последовательно.

Сначала были рассмотрены и проанализированы запасы северо-восточной арктической трески Баренцева моря.

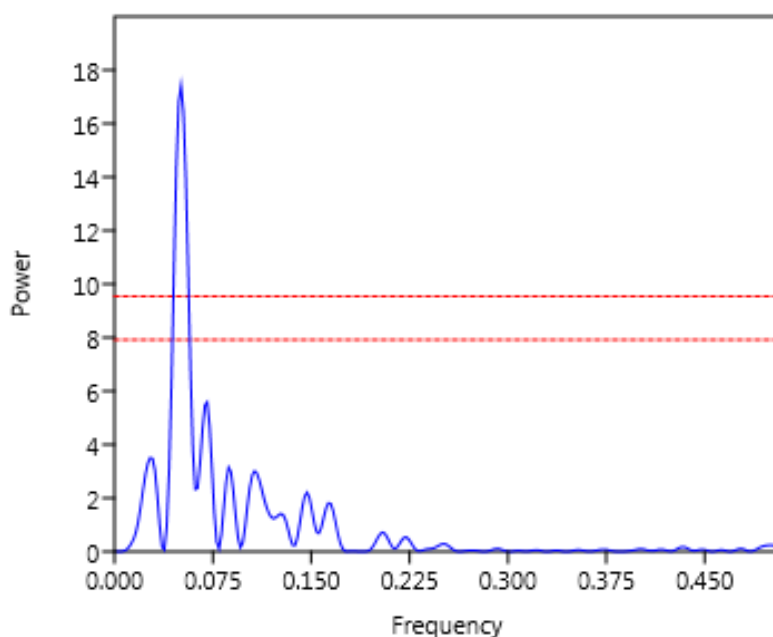


Рис.22 - Периодограмма для среднегодовых значений запасов северо-восточной арктической трески.

По данному спектру были взяты три наиболее явные и выраженные гармоники для их дальнейшего анализа.

Таблица 9

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

1 гармоника	
частота, год-1	0,05
период	19,72
частота, рад./год	0,32
амплитуда, тыс.тонн	651,01
фаза, рад	3,92
фаза, год	77,39
дисперсия, тыс.тонн	211906,11
вклад в исх ряд	0,50
a _n	457,51
b _n	463,14
Значимость	
t _{кр}	1,99
t*	20,53
R ²	0,50
2 гармоника	
частота, год-1	0,03
период	36,81
частота, рад./год	0,17
амплитуда, тыс.тонн	283,82
фаза, рад	3,94
фаза, год	144,87
дисперсия, тыс.тонн	40278,03
вклад в исх ряд	0,10
a _n	-202,36
b _n	-199,01
Значимость	
t _{кр}	1,99
t*	3,75
R ²	0,10
3 гармоника	
частота, год-1	0,07
период	14,16
частота, рад./год	0,44
амплитуда, тыс.тонн	372,22
фаза, рад	1,93
фаза, год	27,42
дисперсия, тыс.тонн	69273,28
вклад в исх ряд	0,17
a _n	348,38
b _n	-131,07
Значимость	
t _{кр}	1,99
t*	5,72
R ²	0,17

Рассмотрим характеристики гармоник для среднегодовых значений запасов северо-восточной арктической трески. Для первой гармоники - колебания периодом почти в 20 лет получено уравнение вида: $P(\text{треска}) = 651 * \cos * (0,32 * t - 3,92)$, где t – время. Для второй гармоники- колебания периодом почти в 37 лет получено уравнение вида: $P(\text{треска}) = 284 * \cos * (0,17 * t - 3,94)$, где t – время. Для третьей гармоники - колебания периодом в 14 лет получено уравнение вида: $P(\text{треска}) = 372 * \cos * (0,44 * t - 1,93)$, где t – время. При проверке коэффициентов детерминации на значимость с помощью статистики Стьюдента (при уровне значимости 5% и числу степени свободы 70) выяснилось, что для первой гармоники критическое значение $t_{кр}$ равно 1,99, а эмпирическое значение t^* равно 20,53. Для второй гармоники критическое значение $t_{кр}$ равно 1,99, а эмпирическое значение t^* равно 3,75. Для третьей гармоники критическое значение $t_{кр}$ равно 1,99, а эмпирическое значение t^* равно 5,72. Сравнив эмпирическое значение с критическим, видно, что $t^* > t_{кр}$, следовательно, нулевая гипотеза отвергается и это значит, что коэффициенты детерминации у всех трёх гармоник значимы.



Рис.23 – Исходные (с вычетом нелинейного тренда) и восстановленные при помощи спектрального анализа (из одной и трёх гармоник) значения запасов северо-восточной арктической трески.

Вклад гармоник в исходный ряд запасов составил 50% - колебание периодом в 20 лет; 10% - колебания периодом в 37 лет и 17% - колебания периодом в 14 лет, соответственно. Наименьший вклад в исходный ряд вносит вторая гармоника, а наибольший первая гармоника. Глядя на рисунок, видно, что восстановленный ряд из трёх гармоник описывает исходный ряд запасов менее точно, об этом свидетельствует небольшая длина исходного ряда (она допускает большое количество незначимых гармоник). Так же на это влияют менее выраженные гармоники на рисунке спектра.

Стоит отметить, что восстановленный ряд из одной гармоники описывает исходный ряд запасов более точно. Об этом свидетельствует самый значимый вклад, составляющий 50%. Вторая и третья гармоники вносят не такой значительный вклад и искажают временной ход запасов северо-восточной арктической трески. Поэтому для прогноза была выбрана первая гармоника и нелинейный тренд, и, исходя из этого, был восстановлен ряд запасов северо-восточной арктической трески с учетом только этого колебания и получен следующий график:

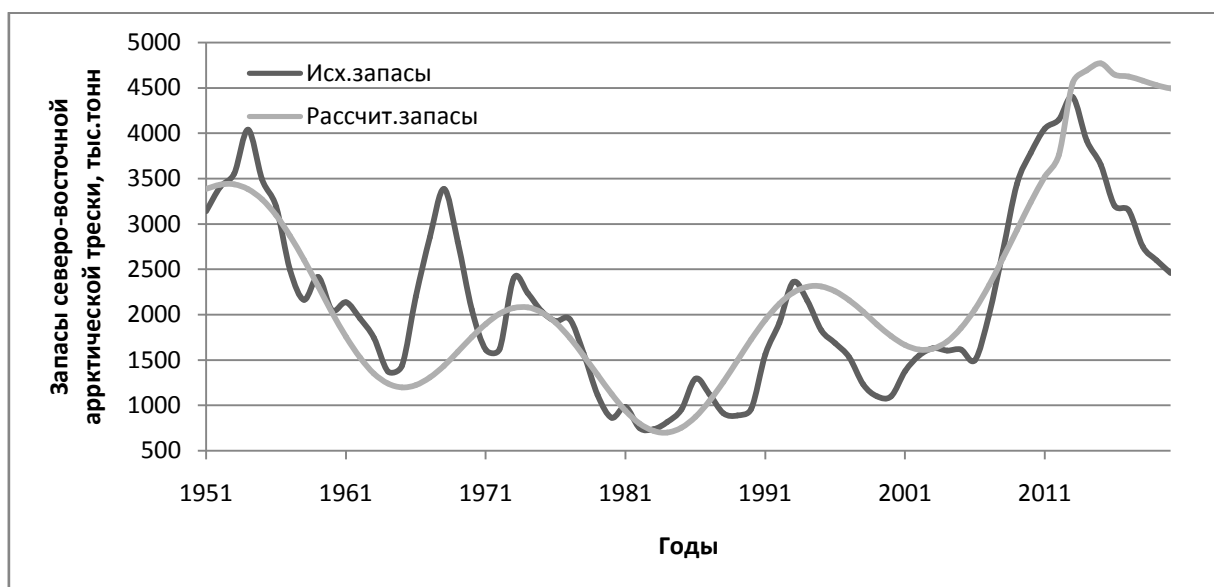


Рис.24 - Исходные и рассчитанные при помощи спектрального анализа (из одной гармоники) значения запасов северо-восточной арктической трески.

Далее были рассмотрены и проанализированы запасы северо-восточной арктической пикши Баренцева моря.

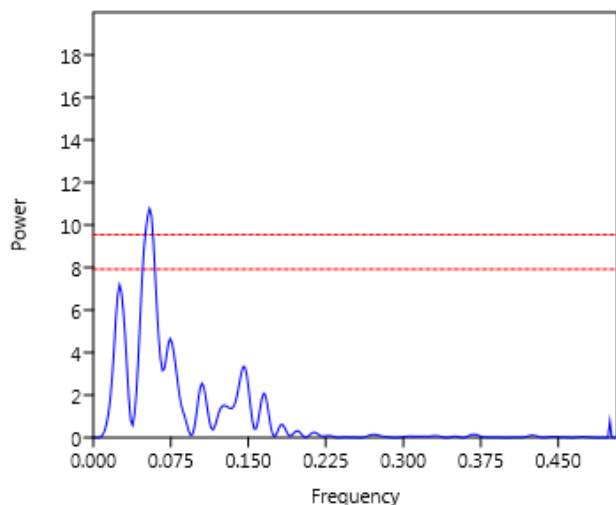


Рис.25 - Периодограмма для среднегодовых значений запасов северо-восточной арктической пикши.

По данному спектру так же, как и в предыдущем случае, были взяты три наиболее явные и выраженные гармоники для их дальнейшего анализа.

Таблица 10

Расчет характеристик гармоник для среднегодовых значений запасов северо-восточной арктической пикши

1 гармоника	
частота, год-1	0,05
период	18,42
частота, рад./год	0,34
амплитуда, тыс.тонн	143,16
фаза, рад	1,72
фаза, год	31,65
дисперсия, тыс.тонн	10247,41
вклад в исх ряд	0,32
an	141,66
bn	-20,65
Значимость	
tkp	1,99
t*	10,79
R2	0,32
2 гармоника	
частота, год-1	0,03

период	39,43
частота, рад./год	0,16
амплитуда, тыс.тонн	112,04
фаза, рад	3,15
фаза, год	124,06
дисперсия, тыс.тонн	6276,90
вклад в исх ряд	0,19
an	-0,45
bn	-112,04
Значимость	
ткр	1,99
t*	6,60
R2	0,19
3 гармоника	
частота, год-1	0,08
период	13,14
частота, рад./год	0,48
амплитуда, тыс.тонн	91,26
фаза, рад	3,79
фаза, год	49,87
дисперсия, тыс.тонн	4164,12
вклад в исх ряд	0,13
an	-55,00
bn	-72,82
Значимость	
ткр	1,99
t*	4,69
R2	0,13

Рассмотрим характеристики гармоник для среднегодовых значений запасов северо-восточной арктической пикши. Для первой гармоники - колебания периодом почти в 19 лет получено уравнение вида: $P(\text{пикша}) = 143 * \cos * (0,34 * t - 1,72)$, где t – время. Для второй гармоники - колебания периодом почти в 40 лет получено уравнение вида: $P(\text{пикша}) = 112 * \cos * (0,16 * t - 3,15)$, где t – время. Для третьей гармоники - колебания периодом в 13 лет получено уравнение вида: $P(\text{пикша}) = 91 * \cos * (0,48 * t - 3,79)$, где t – время. При проверке коэффициентов детерминации на значимость с помощью статистики Стьюдента (при уровне значимости 5% и числу степени свободы 70) выяснилось, что для первой гармоники критическое значение $t_{кр}$ равно 1,99, а эмпирическое значение t^* равно 10,79. Для второй гармоники критическое значение $t_{кр}$ равно 1,99, а эмпирическое значение t^* равно 6,60. Для третьей гармоники критическое значение $t_{кр}$ равно 1,99, а

эмпирическое значение t^* равно 4,69. Сравнив эмпирическое значение с критическим, видно, что $t^* > t_{кр}$, следовательно, нулевая гипотеза отвергается и это значит, что коэффициенты детерминации у всех трёх гармоник значимы.

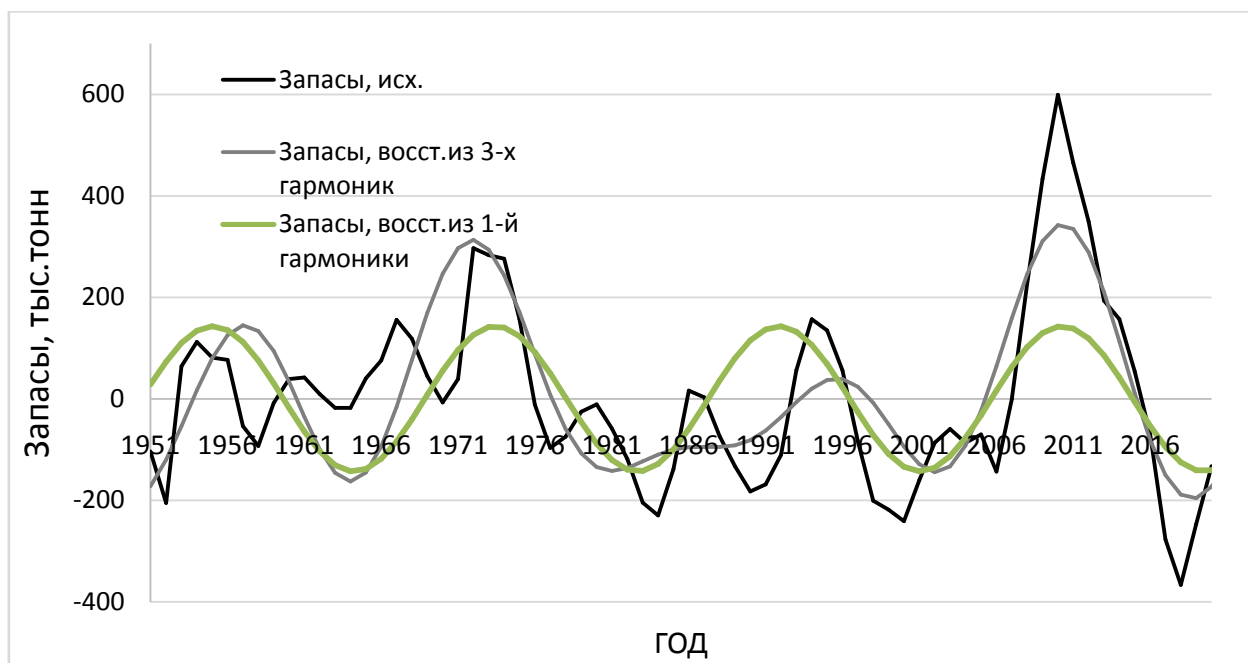


Рис.26 – Исходные (с вычетом нелинейного тренда) и восстановленные при помощи спектрального анализа (из одной и трёх гармоник) значения запасов северо-восточной арктической пикши.

Вклад гармоник в исходный ряд запасов составил 32% - колебание периодом в 19 лет; 19% - колебание периодом в 39 лет и 13% - колебания периодом в 13 лет, соответственно. Наименьший вклад в исходный ряд вносит третья гармоника, а наибольший первая гармоника. Глядя на рисунок, видно, что восстановленный ряд из трёх гармоник описывает исходный ряд запасов более точно, об этом свидетельствует относительно равномерное распределение вклада гармоник в исходный ряд. Исходя из этого, был восстановлен ряд запасов северо-восточной арктической пикши с учетом всех трёх колебаний и получен следующий график:

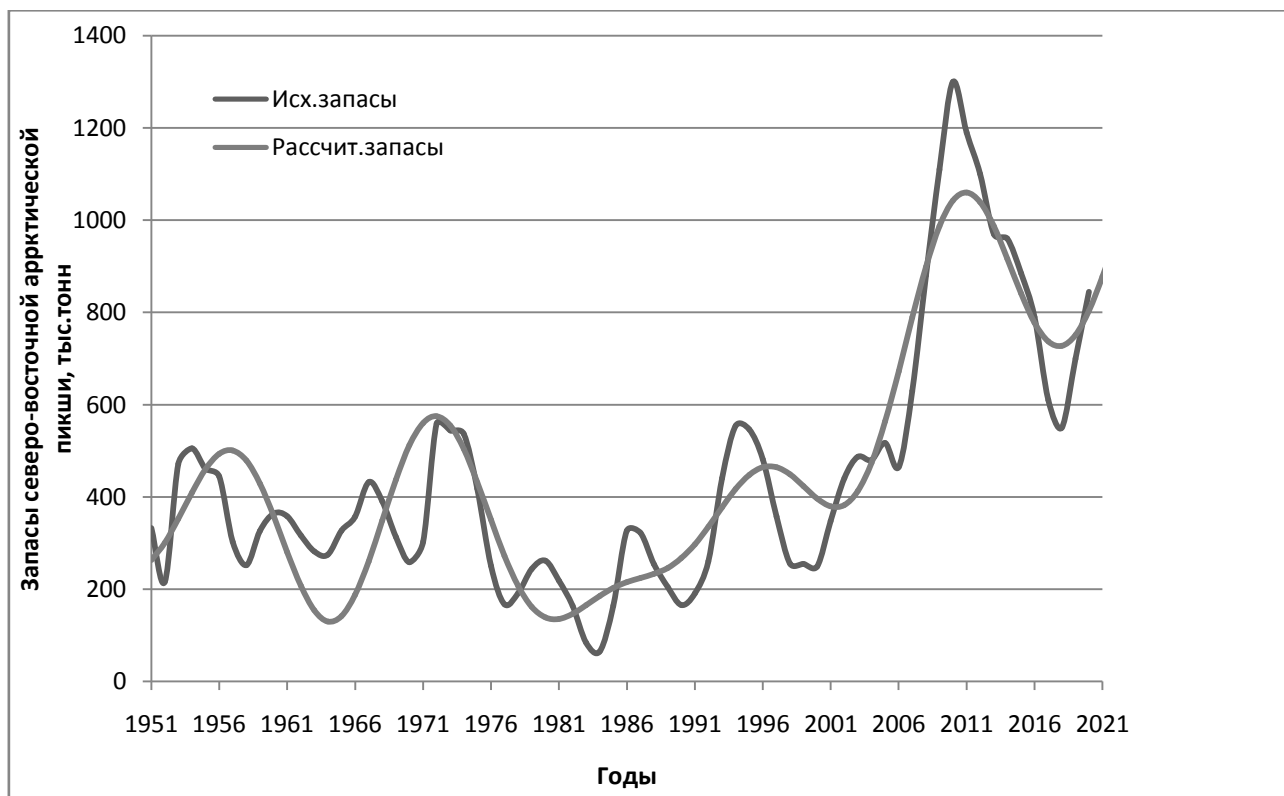


Рис. 27 - Исходные и рассчитанные при помощи спектрального анализа (из трёх гармоник) значения запасов северо-восточной арктической пикши.

3.6 Модель Шефера

Для расчёта значений запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши по модели Шефера, нужно рассчитать коэффициенты воспроизводства и естественной смертности. На основе имеющихся значений запасов и выловов были получены следующие значения коэффициентов:

A (треска) = 0,46, B (треска) = $5,4E-05$,

A (пикша) = 0,46, B (пикша) = $5,4E-05$.

Далее проверялась работоспособность модели. Для этого значения запаса промысловых видов были восстановлены с рассчитанными постоянными коэффициентами воспроизводства и естественной смертности и при известных выловах. Были получены следующие графики:

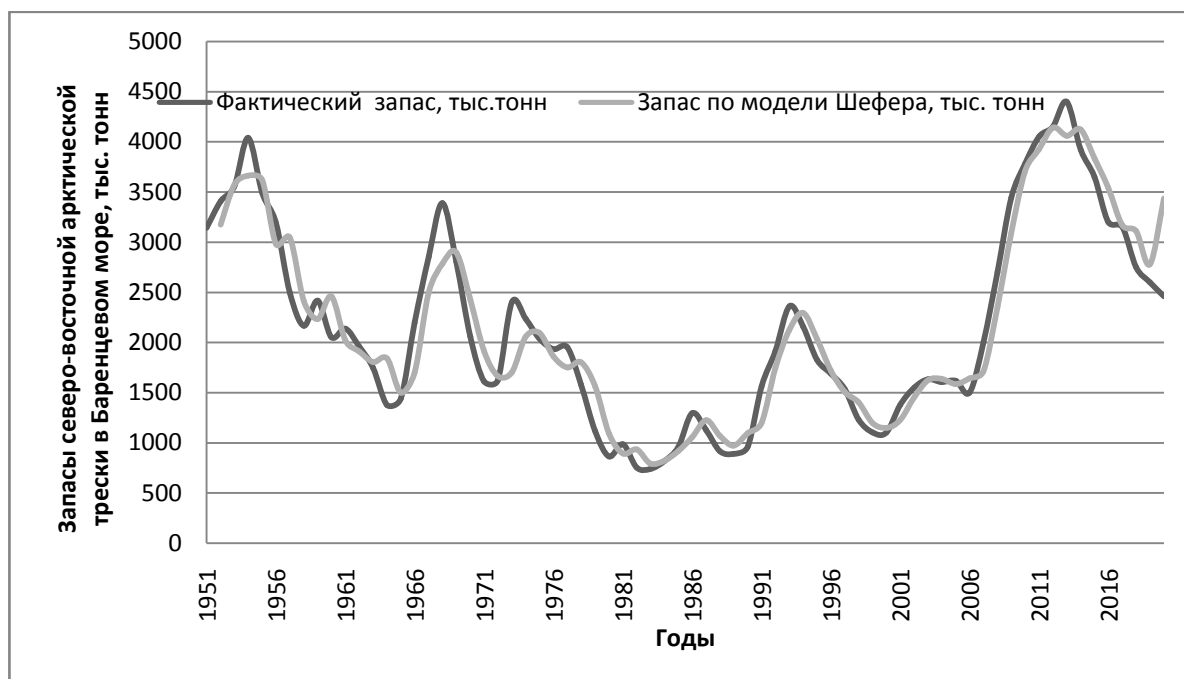


Рис.28 - Исходные и рассчитанные при помощи модели Шефера значения запасов северо-восточной арктической трески.

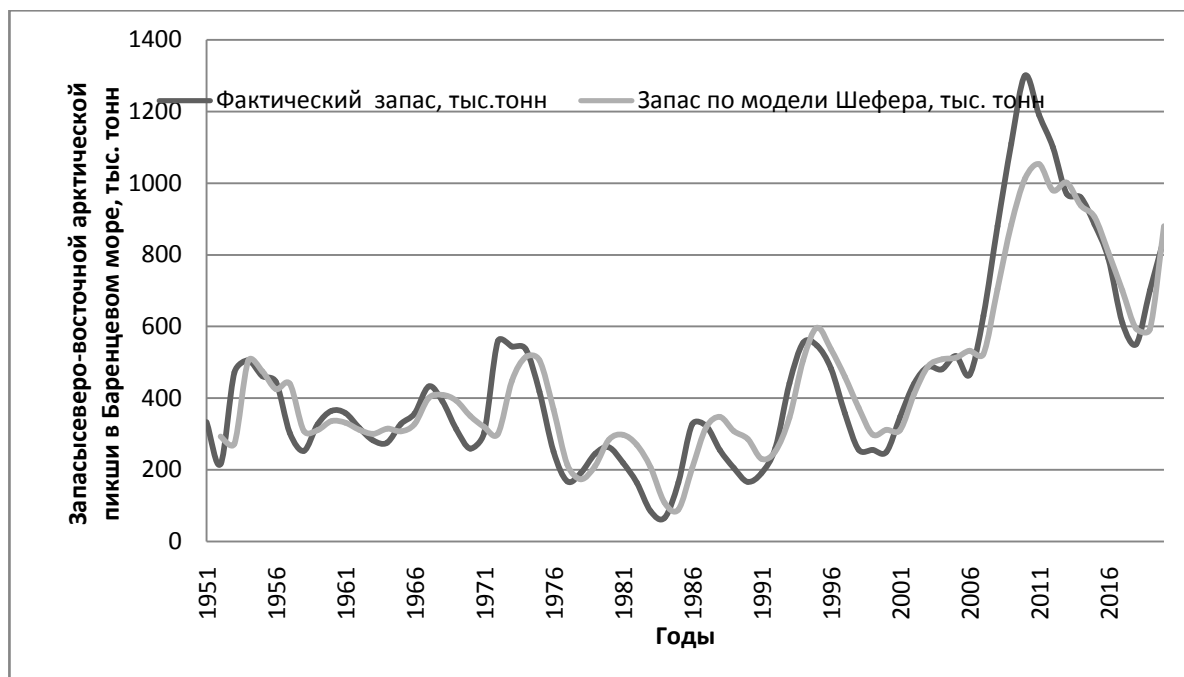


Рис.29 - Исходные и рассчитанные при помощи модели Шефера значения запасов северо-восточной арктической трески.

На рисунке приведены графики исходных и рассчитанных при помощи модели Шефера значений промыслового запаса северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши. Восстановление производилось на один шаг вперёд. Можно отметить, что расхождения имеются, но они менее 10% от фактических значений запасов.

Таким образом, модель Шефера с полученными коэффициентами воспроизводства и естественной смертности пригодна для использования для прогнозирования запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши при задании некоторых значений коэффициентов промыслового изъятия.

Глава.4 ПРОГНОЗ ЗАПАСОВ

После всех проведённых анализов и вычислений рассматриваются результаты. По ним можно дать оценку и прогноз запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши.

Автокорреляционный анализ:

При автокорреляционном анализе в обоих случаях получен сдвиг на один год. Рассчитанные ряды хорошо описывают исходные, а прогностические значения в обоих случаях показывают плавное снижение запасов с 2021 по 2023 год.

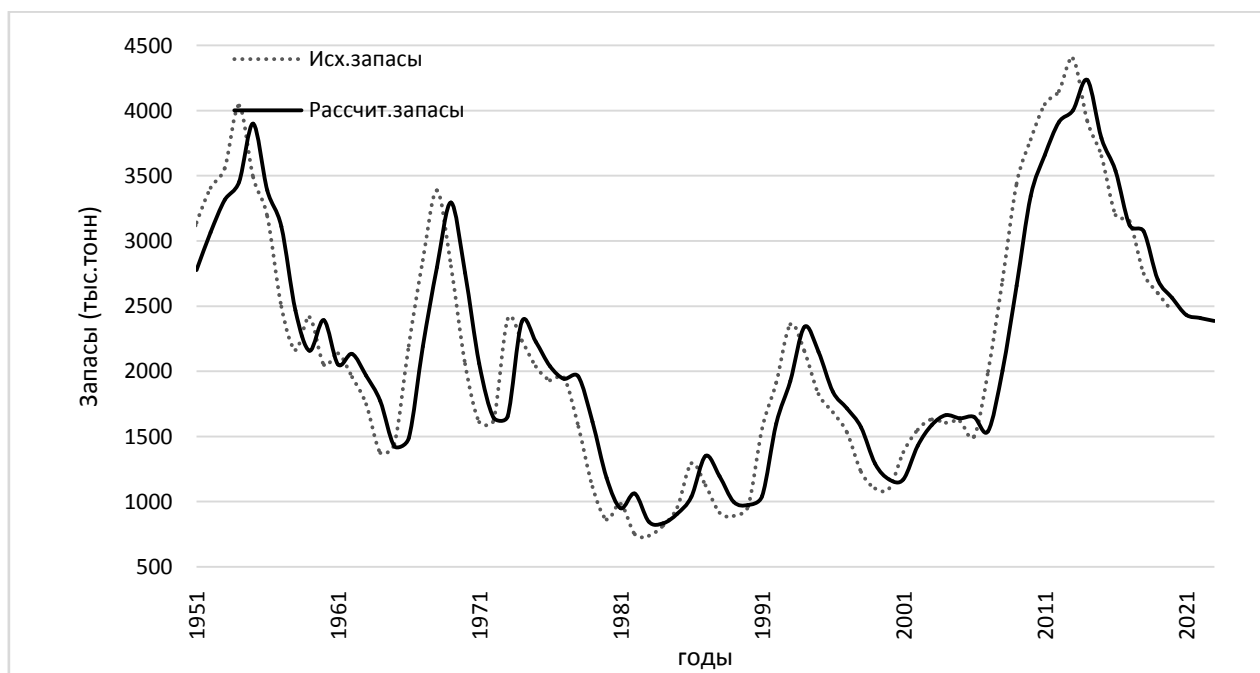


Рис. 30 - Исходные и прогнозируемые до 2023 года при помощи автокорреляционного анализа значения запасов северо-восточной арктической трески.

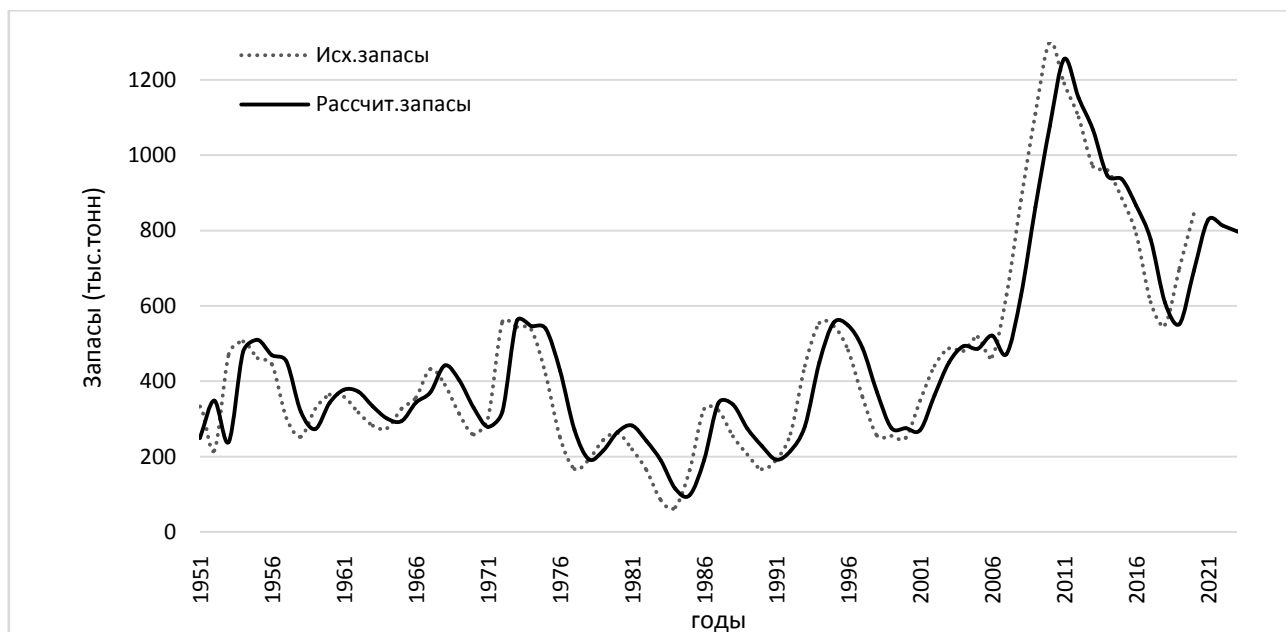


Рис. 31 - Исходные и прогнозируемые до 2023 при помощи автокорреляционного анализа значения запасов северо-восточной арктической пикши.

Кросскорреляционный анализ:

При кросскорреляционном анализе в обоих случаях получен сдвиг на три года. При выборе предиктора наиболее информативной оказалась температура вод Баренцева моря в слое 0-200 м по данным Кольского разреза (станции 3-7). Прогностические значения в обоих случаях показывают плавное снижение запасов с 2021 по 2023 год.

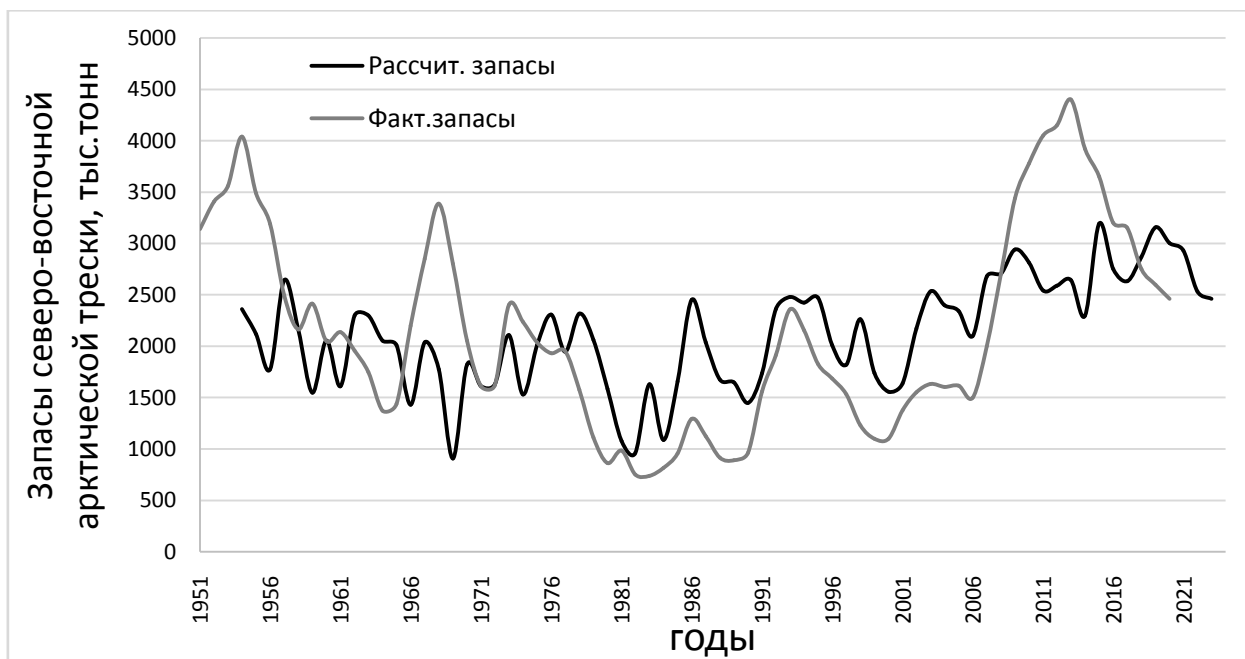


Рис. 32 - Исходные и прогнозируемые до 2023 при помощи кросскорреляционного анализа значения запасов северо-восточной арктической трески.

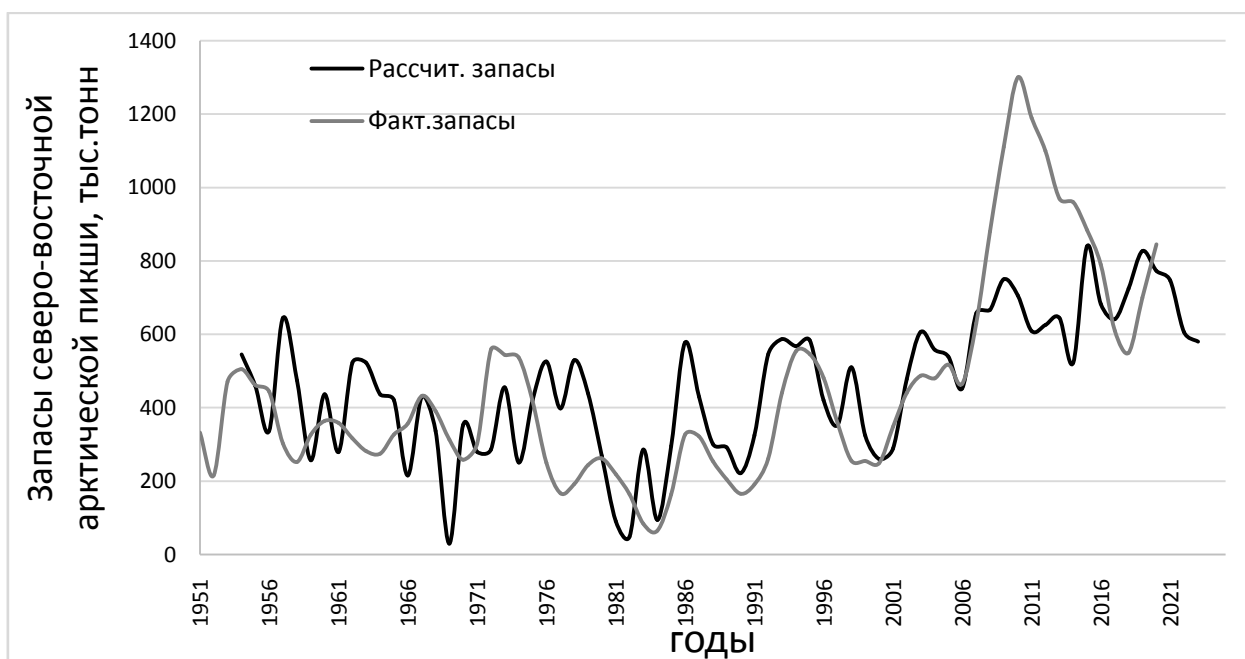


Рис. 33 - Исходные и прогнозируемые до 2023 при помощи кросскорреляционного анализа значения запасов северо-восточной арктической пикши.

Модель множественной линейной регрессии:

При построении модели множественной линейной регрессии рассчитанные ряды хорошо описывают исходные, а прогностические значения в обоих случаях показывают плавное снижение запасов с 2021 по 2023 год.

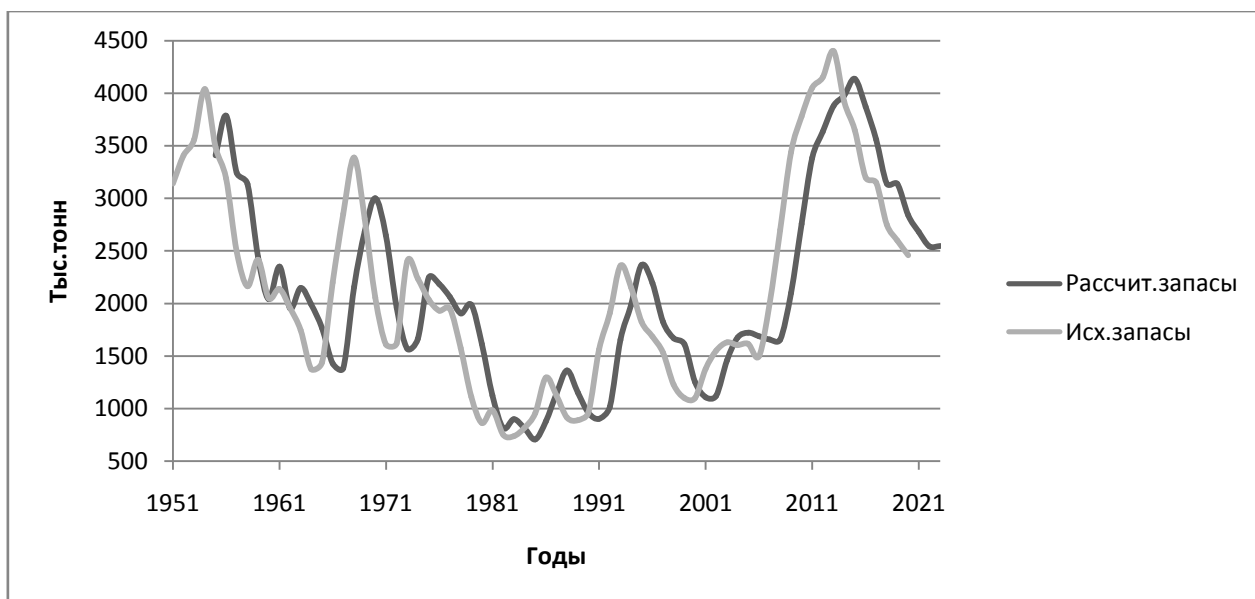


Рис. 34 - Исходные и рассчитанные при помощи модели множественной линейной регрессии значения запасов северо-восточной арктической трески.

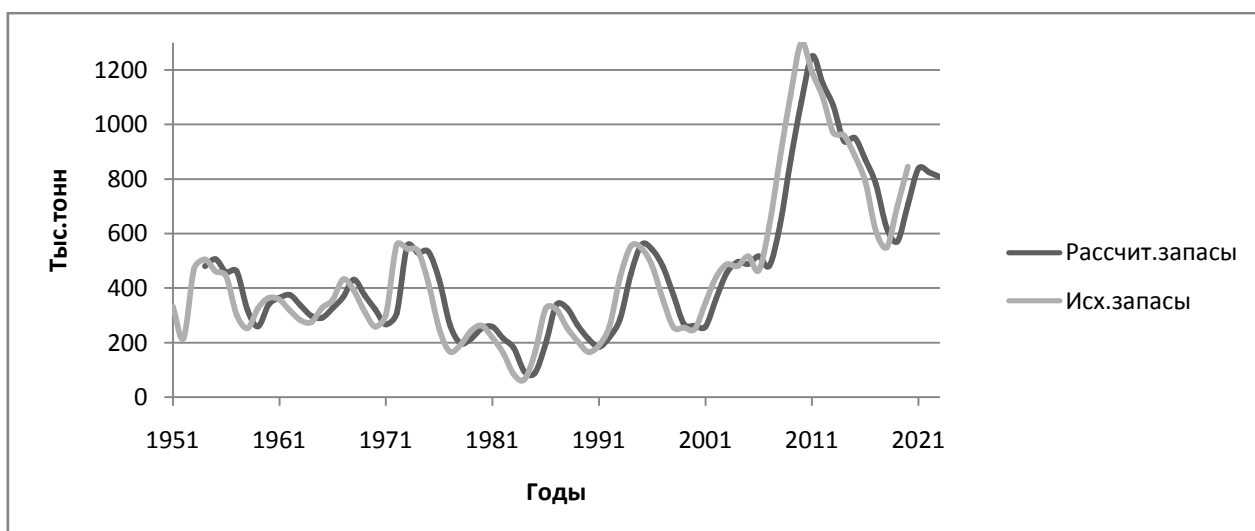


Рис. 35 - Исходные и рассчитанные при помощи модели множественной линейной регрессии значения запасов северо-восточной арктической пикши.

Спектральный анализ:

При спектральном анализе между рядами значений запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши наблюдались сходства в периодах гармоник. Но у ряда значений запаса северо-восточной арктической трески первая гармоника вносит больший вклад в исходный ряд, в отличие от ряда значений запаса северо-восточной арктической пикши, где все три гармоники вносят равномерный вклад. Прогностические значения в обоих случаях показывают рост запасов с 2021 по 2023 год.

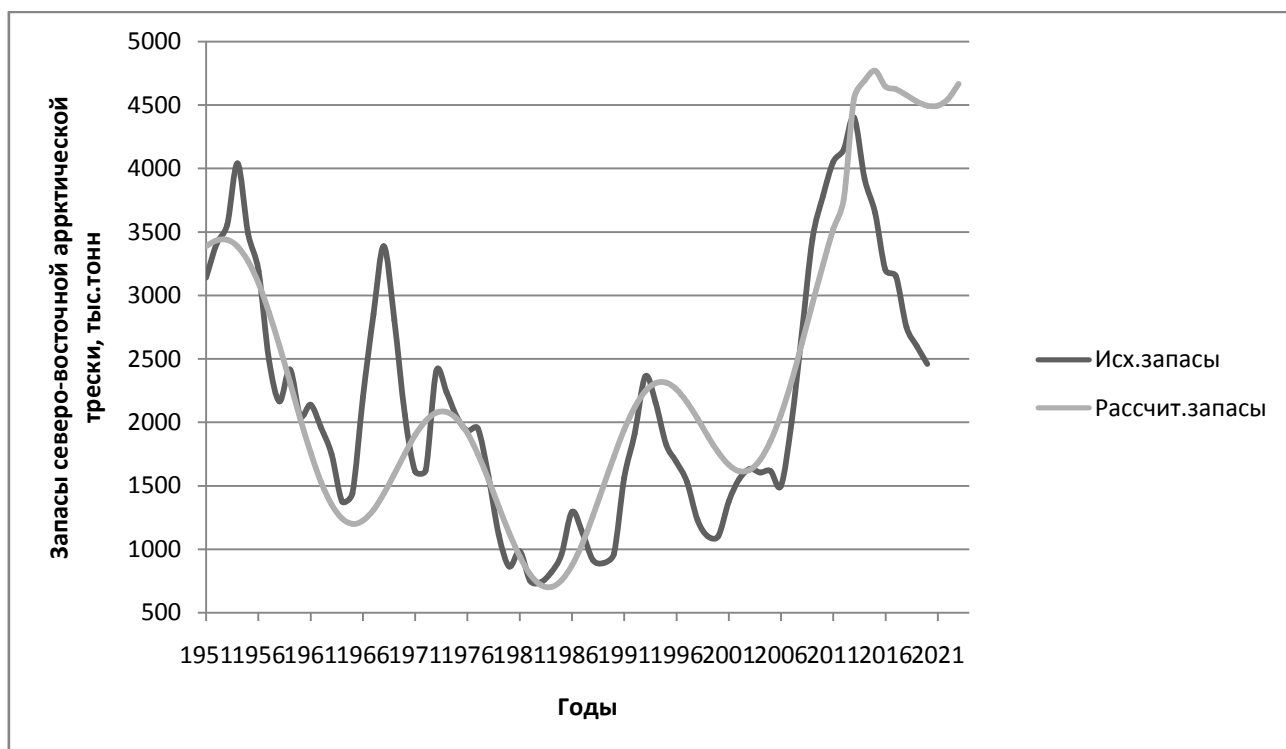


Рис. 36 - Исходные и прогнозируемые до 2023 при помощи спектрального анализа значения запасов северо-восточной арктической трески.

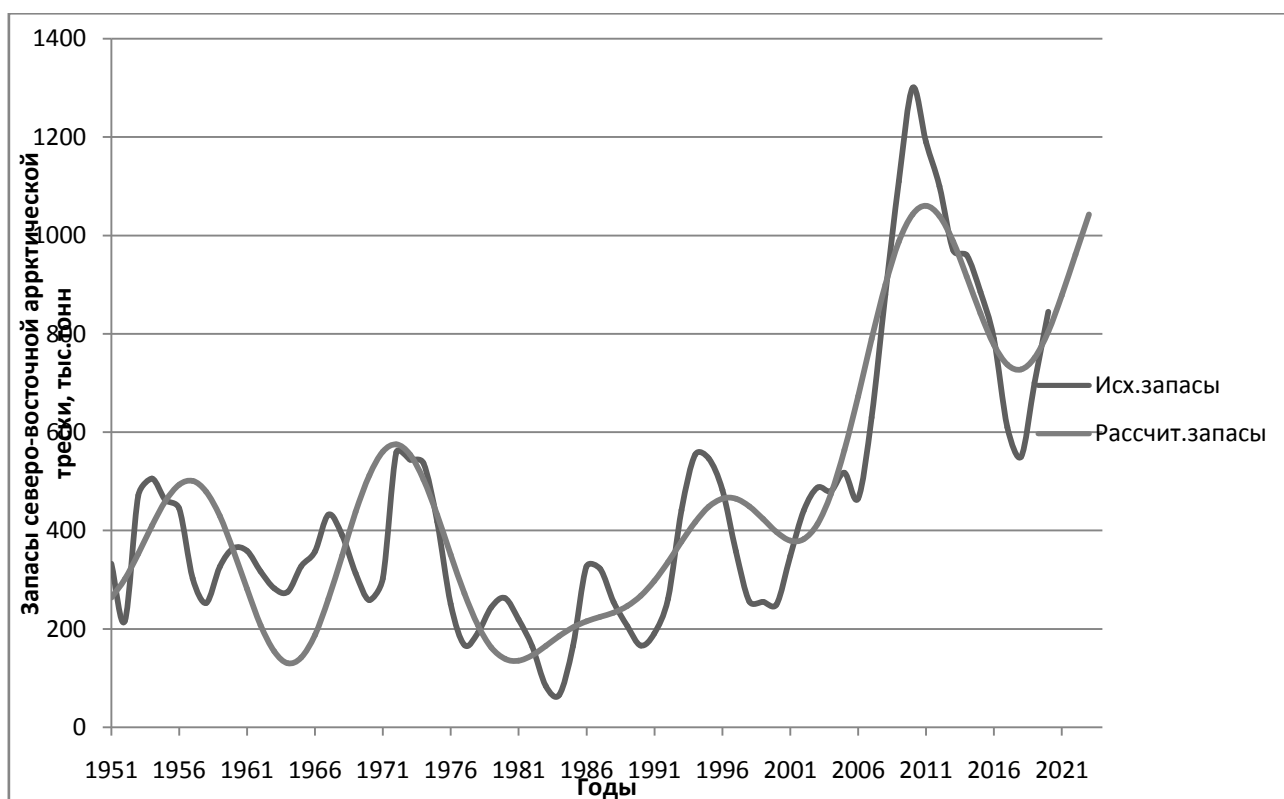


Рис. 37 - Исходные и прогнозируемые до 2023 при помощи спектрального анализа значения запасов северо-восточной арктической трески.

Модель Шефера:

Прогнозирование запасов промысловых видов по модели Шефера производилось при четырёх разных значениях коэффициентов промыслового изъятия. При этих коэффициентах запас промысловых видов увеличивался или снижался в течение всего срока прогнозирования (15, 20, 25 и 30%).

Таблица 11

Прогноз промыслового запаса северо-восточной арктической трески при разных процентах промыслового изъятия.

Промысловое изъятие	15%	20%	25%	30%
2021	2870,09	2742,96	2621,10	2504,32
2022	3399,02	3135,31	3305,96	2541,72
2023	3876,69	3485,75	3964,79	2573,09

Таблица 12

Прогноз промыслового запаса северо-восточной арктической пикши при разных процентах промыслового изъятия.

Промысловое изъятие	15%	20%	25%	30%
2021	882,20	846,86	812,74	779,83
2022	944,74	883,47	932,82	738,19
2023	986,62	908,19	1018,54	710,45

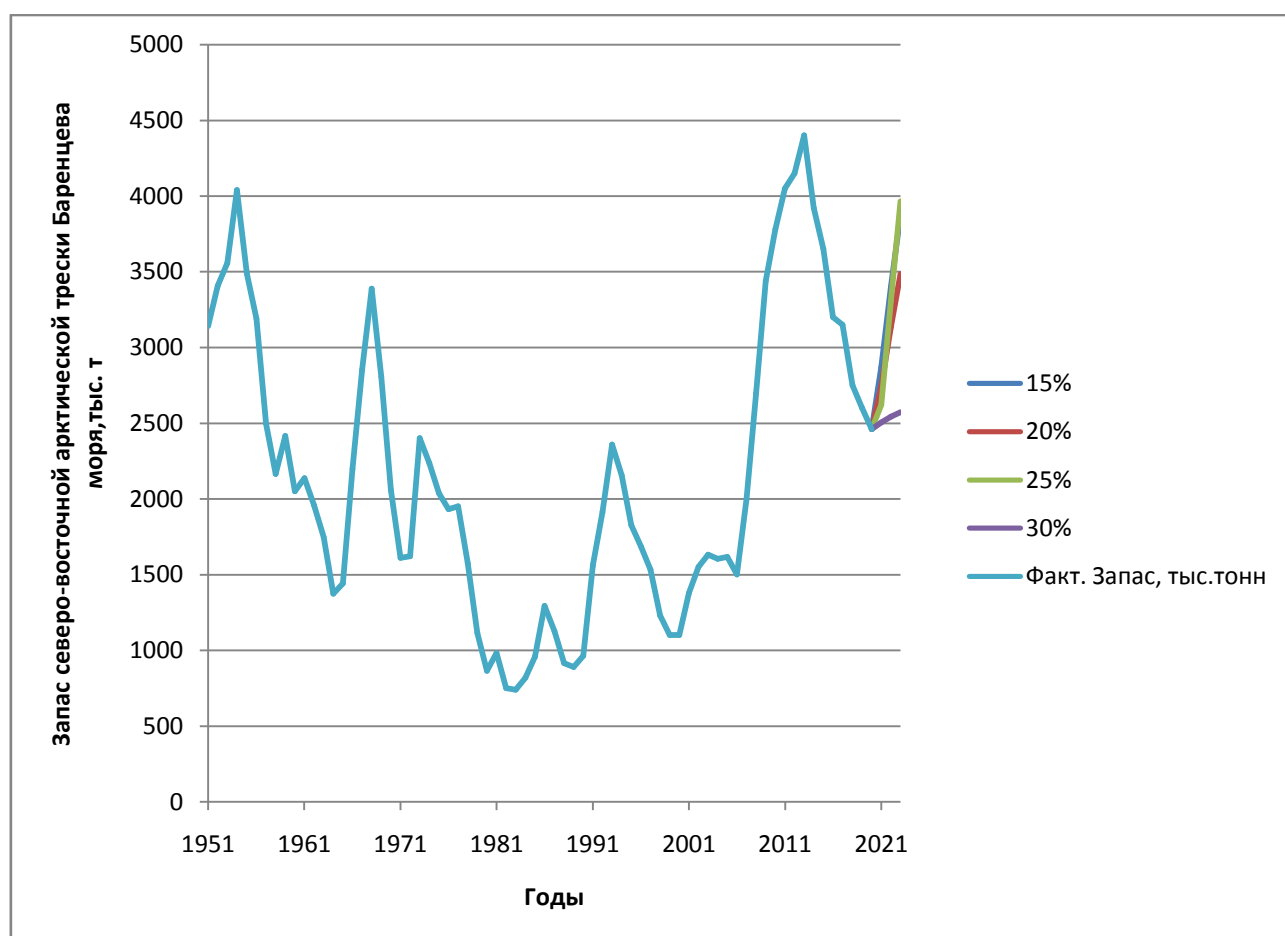


Рис. 38 — Исходные и рассчитанные при помощи модели Шефера значения запасов северо-восточной арктической трески при уровне изъятия 15, 20, 25, 30 %.

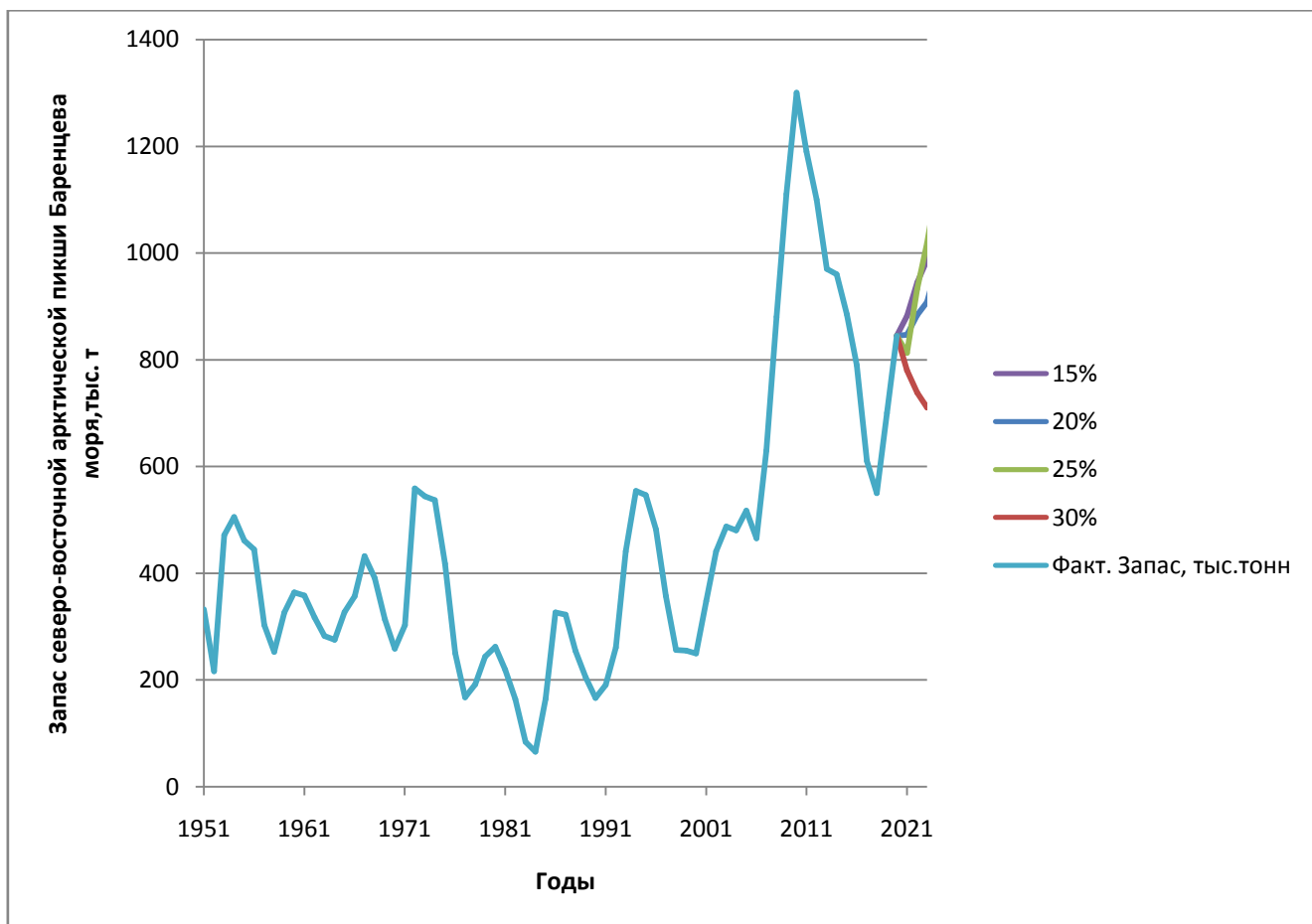


Рис. 39 – Исходные и рассчитанные при помощи модели Шефера значения запасов северо-восточной арктической пикши при уровне изъятия 15, 20, 25, 30 %.

На рисунках представлены графики исходных и рассчитанных, значений запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши при значениях коэффициента промыслового изъятия 15, 20, 25, 30%. Можно отметить, что у северо-восточной арктической трески при всех значениях коэффициента промыслового изъятия запас популяции растёт. У северо-восточной арктической пикши так же растёт запас популяции при всех значениях коэффициента промыслового изъятия, кроме значения 30% - здесь запас, наоборот, убывает.

Самым приемлемым для северо-восточной арктической трески является 30%, а для северо-восточной арктической пикши 20% коэффициент промыслового изъятия, так как при этих значениях запас популяции обоих видов плавно и равномерно растёт.

Таблица 13

Прогностические запасы северо-восточной арктической трески (тыс.т.).

	2021	2022	2023
Автокорреляционный анализ	2433	2408	2385
Кросскорреляционный анализ	2931	2534	2462
Модель множественной линейной регрессии	2544	2548	2538
Спектральный анализ	4501	4554	4670
Модель Шефера (30%)	2504	2542	2573

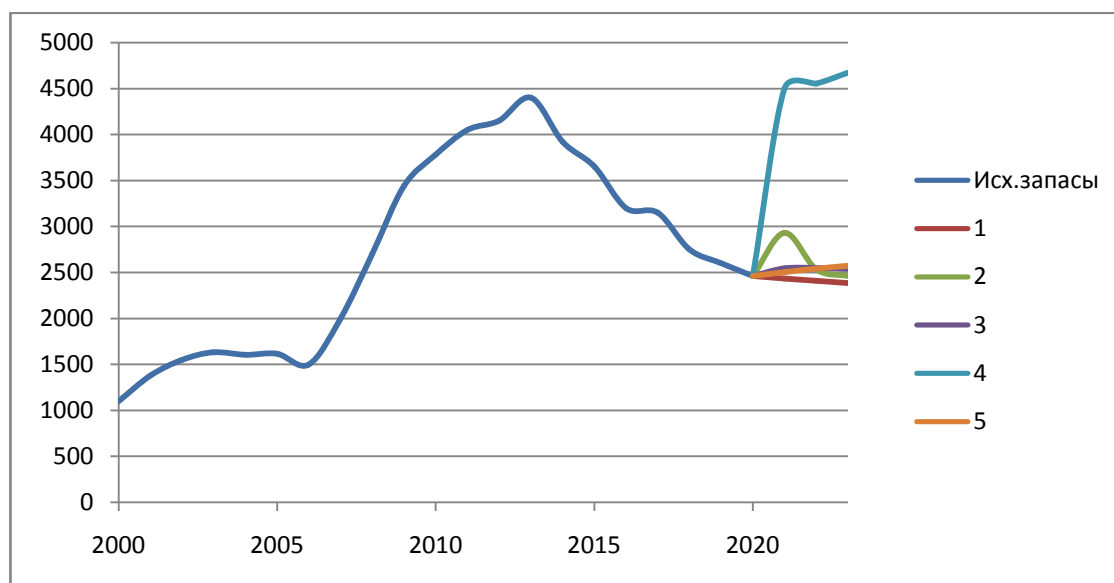


Рис. 40 – Совмещенный график исходных (с 2000 года) и прогностических (до 2023 года) запасов северо-восточной арктической трески, рассчитанных различными методами: 1 – при помощи автокорреляционного анализа, 2 – при помощи кросскорреляционного анализа, 3 – при помощи модели множественной линейной регрессии, 4 – при помощи спектрального анализа (1 гармоника), 5 – при помощи модели Шефера (промысловое изъятие 30 %).

Таблица 10

Прогностические запасы северо-восточной арктической пикши (тыс.т.).

	2021	2022	2023
Автокорреляционный анализ	828	813	799
Кросскорреляционный анализ	747	606	598
Модель множественной линейной регрессии	838	824	808
Спектральный анализ	878	961	1043
Модель Шефера (20%)	847	883	908

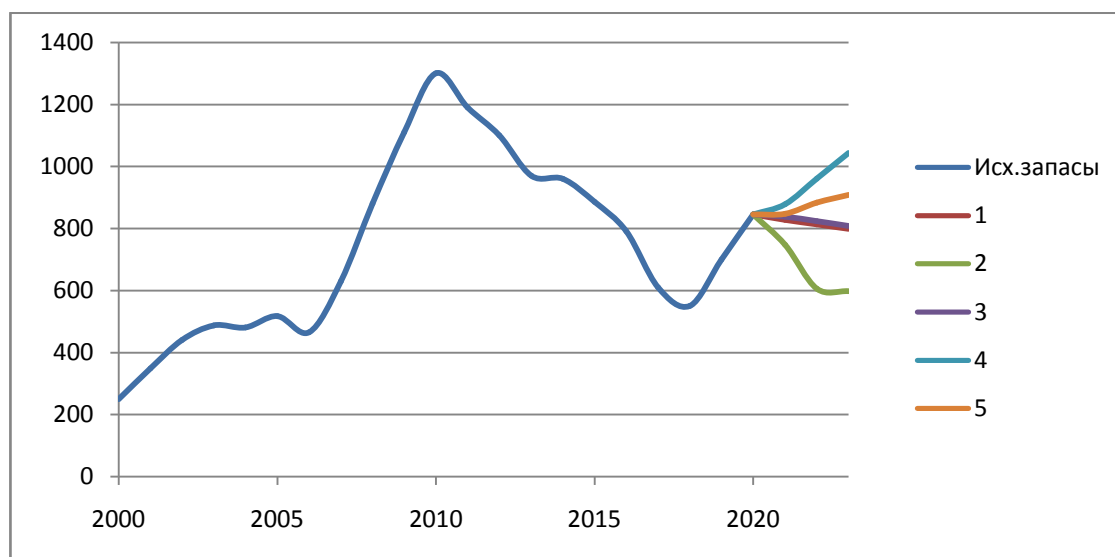


Рис. 41 – Совмещенный график исходных (с 2000 года) и прогностических (до 2023 года) запасов северо-восточной арктической пикши, рассчитанных различными методами: 1 – при помощи автокорреляционного анализа, 2 – при помощи кросскорреляционного анализа, 3 – при помощи модели множественной линейной регрессии, 4 – при помощи спектрального анализа (3 гармоники), 5 – при помощи модели Шефера (промысловое изъятие 20 %).

На рисунках представлены совмещенные графики исходных и прогностических значений запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши. По ним видно, что у обоих видов самыми приемлемыми и реальными являются прогнозы, которые были даны с помощью автокорреляционного анализа, модели множественной линейной регрессии и по модели Шефера. Прогноз, данный при помощи автокорреляционного анализа и по модели множественной линейной регрессии, показывает медленное снижение запасов, в то время как прогноз, данный по модели Шефера, даёт плавное их увеличение.

Заключение

Северо-восточная арктическая треска и северо-восточная арктическая пикша являются самыми массовыми и ценными промысловыми видами Баренцева моря, вследствие этого оценки состояния их запасов могут быть полезны и важны. Исследование и изучение этих промысловых видов проводилось ещё с 19-го века, так как они являются важными и значимыми для прибрежного населения северных стран. Треска и пикша играют главную роль в экосистеме Баренцева моря и сопредельных вод.

В ходе выпускной квалификационной работы была изучена изменчивость двух промысловых видов, произведены расчеты запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши при помощи различных статистических методов.

В качестве предикторов рассматривалось несколько характеристик, но при проверках корреляционных связей они оказались незначимы, поэтому не использовались в работе. Значимым предиктором оказалась температура воды Баренцева моря.

Выполнен прогноз с помощью уравнения авторегрессии первого порядка, парной линейной регрессии с использованием температуры воды Баренцева моря в слое (0-200 м), множественной линейной регрессии, гармонического анализа Фурье (спектрального анализа) и модели Шефера.

При автокорреляционном анализе у обоих видов получен сдвиг на 1 год. При кросскорреляционном анализе у обоих видов получен сдвиг на 3 года. При спектральном анализе у северо-восточной арктической трески прогноз дан при использовании нелинейного тренда и одной гармоники, а у северо-восточной арктической пикши при использовании нелинейного тренда и трех гармоник. При прогнозе по модели Шефера наилучшим процентом промыслового изъятия для северо-восточной арктической трески оказалось значение в 30%, а для северо-восточной арктической пикши в 20%.

Из графика видно, что в последние годы запасы северо-восточной арктической трески снижаются, поэтому ожидание резкого роста – маловероятно. Возможен небольшой рост или продолжение падения запасов (например, из-за наличия менее урожайных поколений).

У северо-восточной арктической пикши, наоборот, в последние года наблюдается рост запасов, который может продолжиться при соблюдении мер регулирования выловов, либо запас начнет плавно снижаться (например, из-за нехватки кормовой базы).

При оценке результатов прогнозов, данных при помощи различных методов, выбран наиболее оптимальный и лучший вариант. Если давать прогноз близкий к реальному состоянию запасов северо-восточной арктической трески и северо-восточной арктической пикши, то лучшее совпадение дает уравнение авторегрессии первого порядка, то есть автокорреляционная функция, модель множественной линейной регрессии и модель Шефера.

Список использованной литературы

1. Аверинцев С.В. Баренцево море как питомник промысловых рыб// Природа. – 1935. - №7. – с.25-45.
2. Аверкиев А.С., Чернышков П.П. Оценка запасов и управление рыболовством/ РГГМУ. – Санкт-Петербург, 2013. – с 54.
3. Аверкиев А.С., Густоев Д.В., Карсаков А.Л. Современное состояние океанографических наблюдений в Баренцевом море и проблемы долгосрочного прогнозирования/ ПИНРО, РГГМУ// Труды ВНИРО. – Москва, 2017. – с.64-71.
4. Аверкиев А.С., Густоев Д.В., Карпова И.П. Об оценке оправдываемости долгосрочных прогнозов гидрометеорологических элементов в Северном промысловом бассейне/ РГГМУ. – Санкт-Петербург, 2017. – с.73-81.
5. Адров Н.М., Голубев В.А., Гудимова Е.Н., Зуев А.Н., Любина О.С., Матишов Г.Г., Митина Е.Г., Пантелеева Н.Н., Тимофеев С.Ф., Фролова Е.А. Современный бентос Баренцева и Карского морей/ Рос.акад. наук. Кол.науч. центр. Мурман. мор.биол. ин-т; Редкол.: Г. Г. Матишов (отв. ред.) [и др.]// Апатиты : Рос.акад. наук. Кол.науч. центр им. С. М. Кирова, 2000. – с.8-22.
6. Биоэнергетика и рост рыб/Сокр.пер. с англ.: под ред. М.И. Шатуновского и Ю.Ю. Дгебуадзе. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 408с.
7. Бойцов В.Д. Треска Баренцева моря: биология и промысел /Бойцов В.Д. [и др.]; под ред. П.И.Савватимского.-Изд. 2-е.-Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2003. – 296 с.
8. Бойцов В.Д., Мухин А.И., Ярагина Н.А. Особенности нагульных миграций лофотено-баренцевоморской трески в южной части Баренцева моря в зависимости от изменчивости условий среды//Влияние океанологических условий на распределение и динамику популяций

промысловых рыб: Сб.докл.третьего сов.-норвюсимп./ПИНРО. – Мурманск, 1987. –С.260-268.

9. Вуколов В.И.Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICAи EXCEL. –М.: ФОРУМ-ИНФРА-М, 2004. – 462 с.

10. География России. Моря. Баренцево море [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<https://geographyofrussia.com/barencevo-more>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 27.04.2021).

11. Гирдюк Г.В., Дженюк С.Л., Зыкова Г.Г., Терзиев Ф.С. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 1. Баренцево море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия/ Гидрометеоиздат, Ленинград, 1990 г. – 11 с.

12. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине “Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации”/ РГГМУ. - Санкт–Петербург, 2017. – с.15.

13. Данилевский Н.Я. Рыбные и звериные промыслы на Белом и ледовитых морях. Отчеты начальников экспедиций за 1856, 1860 и 186 гг./Исследования о состоянии рыболовства в России. – СПб., 1862. – Т.4. – 257 с.

14. Дегтярев А.С., Драбенко В.А., Драбенко В.А. Статистические методы обработки метеорологической информации: учебник. – СПб: ООО «Андреевский издательский дом», 2015. – 225 с.

15. Дмитриев А.А., Дубравин В.Ф., Беязо В.А. Атмосферные процессы Северного полушария (1891–2018 гг.) их классификация и использование. – 2018 – 55 с.

16. Карамушко Л.И. Биоэнергетика рыб северных морей - Москва, 2007. – 23 с.

17. Карсаков А.Л. Мониторинг океанографических условий Баренцева моря на стандартном разрезе «Кольский меридиан»/ ПИНРО. – Мурманск, 2008

18. Книпович Н.М. Обзор работ парохода «Андрей Первозванный» в 1900 году// Экспедиция для науч.-промысл. Исслед. У берегов Мурмана. – СПб., 1902. – Отчет Т.1. – 65 с.
19. Книпович Н.М. траловый промысел в Баренцевом море// Вестник рыбопромышленности. – 1914. – Т.2, ч.1. – 112с.
20. Ковцова М.В., Шевелев М.С., Ярагина Н.А. Состояние запасов и перспективы промысла донных рыб Баренцева моря//Комплексные рыбохозяйственные исследования ПИНРО на Северном бассейне: итоги и перспективы: Сб.науч.тр./ПИНРО. – Мурманск, 1991. – С.145-165.
21. Лагунов И.И. Промысловые рыбы Баренцева и Белого морей – ПИНРО. - Мурманск, 1952. – С. 112-150.
22. Левасту Т.. Промысловая океанография / Левасту Т.,Хела И. – М: Гидрометеиздат, 1974. – 198 с.
23. Лепесевич Ю.М.Урожайность поколений, миграции и промысел северо-восточной арктической пикши *Melanogrammus aeglefinus* (Linnaeus) // ПИНРО. – Мурманск, 2003.
24. Лепехин И.И. Путешествие академика Ивана Лепехина 9дневные записки). Ч.4. – СПб.: Императорская АН, 1805. – 447с.
25. Макарова Н.В., Трофимец В.Я.Статистика в Excel.–М.: Финансы и статистика, 2002.–365 с.
26. Малинин В.Н «Статистические методы анализа гидрометеорологической информации»/ РГГМУ. - Санкт–Петербург, 2017. – С.128-328.
27. Манкевич Э.М. О промысле мурманской трески//Рыбное хозяйство. – 1975. - №11. – С.19-20.
28. Матишов Г.Г., Карманова И.В., Дворецкий А.Г. [и др.]; [отв. ред. Ишкулов Д.Г.]Симбионты промысловых видов крабов Охотского и

Баренцева морей /; Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра. – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2014. – 27 с.

29. Мухина Н.В. Динамика численности пикши (*Melanogrammus aeglefinus* L.) Баренцева моря в раннем онтогенезе/ автореферат// ПИНРО. – Мурманск, 2000.

30. Озерецковский Н.Я. Описание Колы и Астрахани. – СПб., 1804. – 131 с.

31. Овчинников В.В, Миграционное поведение и дальние миграции рыб//жизненные циклы, распределение и миграции промысловых рыб Атлантического и Тихого океанов: Сб.науч.тр./Атлант-НИРО. – Калининград, 1986. – С. 37-47.

32. Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М.Книповича[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pinro.ru>. -Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 27.04.2021).

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

34. Разрез «Кольский меридиан» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pinro.ru/labs/hid/kolsec22.php> -Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 27.04.2021).

35. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. – СПб.: РГГМУ, 2007. – 279 с.

36. Состояние сырьевых биоресурсов Баренцева и Белого морей, а так же Северной Атлантики в 2019 году / Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2020. – 95 с.

37. Состояние сырьевых биоресурсов Баренцева и Белого морей, а так же Северной Атлантики в 2020 году / Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2021. – 95 с.

38. Сошникова Л.А., Тамашевич В.Н., Уебе Г., Шефер М. Многомерный статистический анализ в экономике.-М.:ЮНИТИ-ДАНА, 1999.- 598 с.

39. Травин В.И., Попов Г.С. Наставление по поиску донных рыб в Баренцевом море/– М., 1959. – 112 с.

40. Шульц А.Я. техническое описание рыбных и звериных промыслов на Белом и Ледовитом морях// Исследование состояния рыболовства в России. – СПб., 1863. – Т.7. – 108 с.

41. ICESReportonOceanClimate (IROC) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ocean.ices.dk/core/iroc>- Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 27.04.2021).

42. NorthAtlanticOscillation (NAO)datafiles[Электронныйресурс]. – Режимдоступа: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/nao/nao.dat> - Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 27.04.2021).

Приложения

Таблица 1

Исходные данные

Год	Треска выл., тыс.тонн	Треска зап., тыс.тонн	Пикша выл., тыс.тонн	Пикша зап., тыс.тонн	T, °C	S, %	NAO	E	W
1951	827	3141	120	333	4,4	34,8	-0,1	14,8	8,3
1952	877	3408	128	216	4,2	34,9	-0,4	14,6	7,6
1953	696	3557	124	471	3,8	34,9	0,4	13,7	9,3
1954	826	4039	157	506	4,8	34,7	0,5	14,4	9,7
1955	1148	3488	202	461	4,2	34,8	-0,6	13,9	8,3
1956	1343	3190	214	444	3,5	34,9	0,2	10,8	10,3
1957	793	2496	124	303	4,1	34,9	0,0	12,5	8,7
1958	769	2164	113	253	3,6	34,8	0,1	15,1	5,7
1959	745	2416	88	327	4,4	34,8	0,5	13,6	7,1
1960	622	2051	155	364	4,4	34,9	-0,3	18,3	5,8
1961	783	2137	193	358	4,1	34,9	1,1	12,3	11,9
1962	909	1957	187	317	4,1	34,8	-0,1	11,7	9,8
1963	776	1748	146	282	3,4	34,8	-0,4	13,8	6,3
1964	438	1375	99	275	4,1	34,8	0,2	12,1	8,3
1965	445	1441	119	327	3,8	34,9	-0,2	12,3	6,9
1966	484	2198	162	357	2,8	34,8	-0,2	17,8	6,4
1967	573	2852	136	432	3,8	34,7	0,6	17,5	5,3
1968	1074	3387	182	391	3,6	34,8	-0,6	14,7	5,3
1969	1197	2806	131	313	3,6	34,9	-0,4	17,5	5,3
1970	933	2058	88	259	4,2	34,9	0,2	17,2	6,7
1971	689	1611	79	303	3,5	34,8	-0,6	15,5	5,8
1972	565	1621	266	559	4,1	34,9	0,0	20,5	4,7
1973	793	2402	322	544	4,4	34,9	-0,1	13,8	7,8
1974	1102	2236	221	537	4,0	34,8	0,6	20,0	5,8
1975	829	2037	176	418	4,4	34,8	0,1	17,0	6,2
1976	867	1931	137	251	4,1	34,7	-0,1	20,7	3,1
1977	905	1951	110	167	3,6	34,8	-0,2	18,2	5,8
1978	699	1577	95	192	3,0	34,8	0,2	15,6	8,0
1979	441	1114	104	244	2,9	34,7	0,2	18,7	7,5
1980	380	864	88	262	3,6	34,7	-0,4	17,4	6,3
1981	399	984	77	219	3,0	34,8	-0,1	21,8	4,8
1982	364	751	47	164	3,7	34,7	0,7	13,9	8,8
1983	290	739	25	84	4,5	34,7	0,3	13,8	9,3
1984	278	818	21	66	4,1	34,7	0,3	20,4	4,9
1985	308	958	45	164	3,7	34,8	-0,5	16,3	8,3
1986	430	1294	101	326	3,7	34,8	0,6	15,8	9,9
1987	523	1126	155	322	3,4	34,8	-0,5	14,1	8,7
1988	435	915	95	255	3,8	34,7	-0,3	15,1	10,4

1989	332	890	59	205	4,4	34,7	0,6	14,4	9,3
1990	212	963	27	166	4,6	34,7	1,2	13,2	10,0
1991	319	1562	36	191	4,5	34,8	0,3	11,9	9,5
1992	513	1912	60	261	4,6	34,8	1,1	11,8	11,1
1993	582	2360	82	441	4,1	34,8	0,1	12,3	10,8
1994	771	2155	135	554	3,8	34,9	0,5	13,6	10,8
1995	740	1826	142	546	4,3	34,7	-0,6	10,0	11,7
1996	732	1687	178	482	3,8	34,7	-1,0	14,7	6,5
1997	762	1532	154	358	3,6	34,9	-0,2	8,8	11,8
1998	593	1230	101	256	3,6	34,8	0,3	10,6	11,9
1999	485	1101	83	255	4,2	34,8	0,0	13,7	11,7
2000	415	1102	69	250	4,6	34,8	0,0	10,9	13,1
2001	426	1378	90	348	4,5	34,7	-0,5	14,0	8,9
2002	535	1551	115	441	4,4	34,8	0,0	11,9	11,9
2003	552	1632	139	487	4,2	34,8	-0,3	12,4	10,0
2004	606	1605	158	480	4,8	34,9	0,0	11,3	12,0
2005	641	1616	158	517	4,8	34,8	-0,3	12,3	11,2
2006	550	1500	153	465	5,1	34,8	-0,2	12,8	10,3
2007	500	2000	162	630	4,9	34,9	-0,4	11,0	11,5
2008	480	2700	156	880	4,6	34,8	-0,7	9,9	14,9
2009	523	3440	200	1110	4,7	34,8	-0,4	12,9	10,5
2010	610	3780	249	1300	4,8	34,8	-2,4	13,6	9,0
2011	720	4050	310	1190	4,4	34,9	0,5	12,8	11,9
2012	728	4150	316	1100	5,4	34,8	-0,6	11,8	11,9
2013	966	4400	194	970	4,9	34,8	0,6	12,1	10,2
2014	986	3920	178	960	4,7	34,8	0,1	14,8	7,8
2015	864	3650	195	885	5,0	34,7	1,2	10,7	12,1
2016	849	3200	233	790	5,3	34,7	0,4	13,3	8,6
2017	868	3150	228	610	5,2	34,7	0,6	11,0	11,5
2018	779	2750	191	550	5,1	34,7	0,7	16,7	6,3
2019	746	2600	183	700	4,6	34,7	0,0	12,0	8,3
2020	720	2460	183	845	4,6	34,7	0,3	6,0	21,0