



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водных биоресурсов, аквакультуры и гидрохимии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Бакалаврская работа)

На тему «Влияние климатических факторов на добычу водных биоресурсов
в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне»

Направление подготовки 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура,

профиль «Управление водными биоресурсами и аквакультура»

Исполнитель _____ Кириллова Кира Алексеевна

(подпись) (фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ Мухин И.А., заведующий кафедрой,
к.б.н.

(подпись) (фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____ Королькова С.В., к.т.н.

(подпись) (фамилия, имя, отчество)

« ____ » _____ 2025 г.

Оглавление

Введение	3
Материалы и методы исследования	5
1.1. Проанализированные данные	5
1.2. Краткая физико-географическая характеристика Берингова моря	5
1.3. Рыбопромысловое районирование	12
1.4. Основные тенденции промысла гидробионтов	13
2. Характеристика тихоокеанской трески (<i>Gadus macrocephalus</i>) как объекта промысла	22
2.1. Биологические особенности	22
2.2 Влияние климатических факторов на развитие трески	25
Заключение	32
Приложение	34
Список литературы:	44

Введение

Дальневосточный рыбохозяйственный бассейн является основным районом, обеспечивающим на современном этапе наибольшую долю общероссийского вылова водных биоресурсов — свыше 70%, или около 3,7 млн т. Акватория этого бассейна включает в себя Охотское, Берингово, Японское и Чукотское моря с прилегающими к ним в пределах 200-мильной экономической зоны РФ акваториями Тихого океана. Наибольший вылов ВБР по данным последних лет наблюдался в Охотском и Беринговом морях, где осваивается около 83% морских рыб и 39% беспозвоночных, рекомендованных к вылову в пределах Дальневосточного бассейна.

Российские воды Берингова моря занимают второе место по добыче водных биологических гидробионтов среди дальневосточных морей и прилегающих к ним акваторий, преимущественно за счет ресурсов морских рыб.

Актуальность исследования обусловлена непрерывным развитием Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна, необратимыми изменениями климатических условий и нестабильной оценкой промысловых запасов в целом.

Целью работы является выявление закономерностей между климатическими факторами и выловом гидробионтов на Дальнем востоке.

В качестве задач можно выделить следующее:

- 1) Охарактеризовать Дальневосточный рыбохозяйственный бассейн
- 2) Дать краткое географическое, геоморфологическое и гидрологическое описание Берингово моря
- 3) Представить биологические основы естественного нереста репрезентативного гидробионта (тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus*)
- 4) Проанализировать динамику температур и солёности Берингова моря

5) Сопоставить данные по вылову тихоокеанской трески с имеющимися тенденциями климата и сделать обоснованный вывод

Объект исследования – водные биологические ресурсы Берингова моря;
предмет исследования – динамика вылова трески тихоокеанской в условиях изменения климатических факторов.

Материалы и методы исследования

1.1. Проанализированные данные

Для дальнейшего анализа была оцифрована работа Савина А.Б. Запас и промысел трески (*Gadus macrocephalus*, Gadidae) Северо-Западной части Берингова моря [9], извлечены данные о запасах тихоокеанской трески и её вылове с 1977 до 2011 года. С 2011 по 2024 год данные о вылове были взяты из открытых источников Федерального Агентства по Рыболовству в виде отчётной статистики по форме 1-П РЫБА.

1.2. Краткая физико-географическая характеристика Берингова моря

Берингово море, занимающее третье место в мире по площади, располагается на обширной территории в северной части Тихого океана. От вод Арктического бассейна его отделяет одноименный пролив. Южную границу моря формируют Алеутская островная дуга, Командорские острова и мыс Африка (восточное побережье Камчатки). В пределах акватории Берингова моря происходит взаимодействие водных масс, имеющих разное происхождение (полярное и умеренное) и, соответственно, отличающихся своими физико-химическими свойствами.[4].



Рис. 1. Географическое положение Берингова моря [4]

Акватория водоема простирается от $51^{\circ} 15'$ с.ш. (южная граница) до $66^{\circ} 24'$ с.ш. (северная граница) и в меридиональном направлении – между $162^{\circ} 00'$ в.д. и $156^{\circ} 55'$ з.д. Протяженность с севера на юг максимальна и равна 909 морским милям, с запада на восток – 1290 милям. Эти огромные размеры обуславливают широкий спектр характеристик донного рельефа и климато-океанологических параметров. Существенная особенность геоморфологии – деление на две приблизительно равные области: мелководную северо-восточную и глубоководную юго-западную. Глубоководный сектор включает: заливы Камчатки (Озерной, Карагинский, Олюторский), Анадырский залив и район между мысами Олюторский и Наварин, изобилующий множеством сравнительно мелких бухт. Здесь же, наряду с Командорскими островами, находится значительный по размерам остров Карагинский.

Глубины западной части моря преимущественно составляют 3700-3900 м. Площадь продуктивных мелководий (до 200 м) здесь незначительна –

немногим выше 30%, в то время как в среднем для всего моря этот показатель близок к 45%. Шельф западной части Берингова моря контрастирует с восточной материковой отмелью не только величиной. Он представляет собой более молодые геосинклинальные (в отличие от эпиконтинентальных/платформенных на востоке) структуры, отличающиеся также ограниченной шириной и сложной изрезанностью. Рыболовство в западных районах моря затруднено. Неблагоприятны не только геолого-морфологические условия, но и климато-океанологические. Становление припая начинается уже в ноябре; ключевыми очагами льдообразования выступают глубоко вдающиеся Анадырский и Карагинский заливы. Благодаря тёплому Западно-Аляскинскому течению климат восточной части моря мягче. На обширных акваториях востока ледовые явления наступают позже и прекращаются раньше, обеспечивая более длительный промысловый сезон. Циркуляция вод характеризуется циклоническими чертами и подвержена значительным колебаниям в сезонном и межгодовом масштабе, что существенно влияет на локализацию районов с высокой или низкой рыбопродуктивностью. [1].

Для исследования были выбраны две точки: остров Беринга (пос. Никольское) с координатами 55.197903, 165.996367 и пос. Оссора с координатами 59.251470, 163.074560 соответственно.

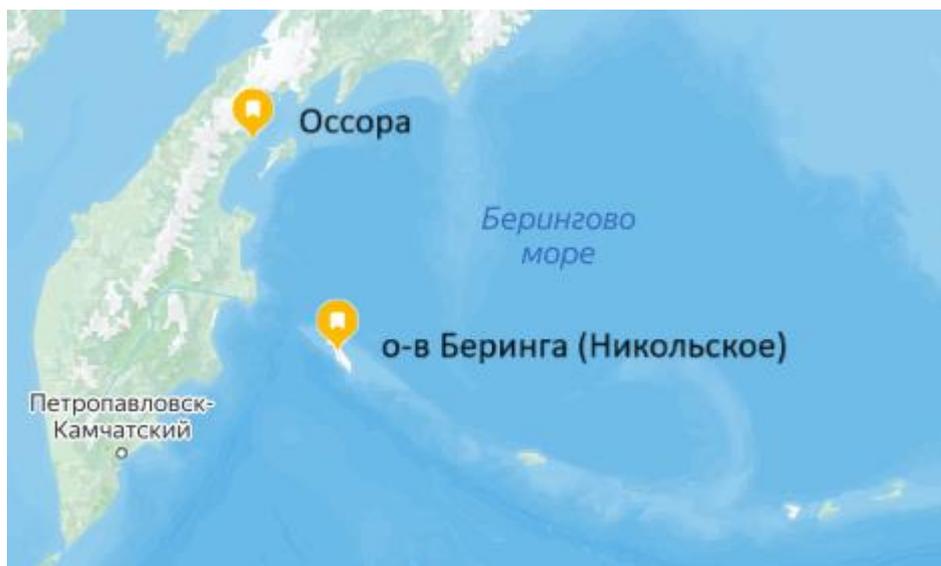


Рис. 2. Схема расположения точек мониторинга (жёлтыми флажками обозначены населённые пункты; отредактированный скриншот Yandex.maps)

Для анализа выбран интервал с 1977 по 2022 год. Данные о температуре и солёности получены из открытого источника базы данных ЕСИМО. Выбор обусловлен полнотой данных и географическим положением; для межгодового анализа выбрали апрельские показатели, что связано с периодом нереста у тихоокеанской трески. Точка отбора проб, располагающаяся в поселении Оссора, находится в бухте с одноимённым названием Оссора. Поселение Никольское расположено на острове Беринга в открытой части Берингова моря. Из-за сезонной циркуляции воздушных и водных масс, разных гидроморфологических параметров климатические условия в этих точках различаются.

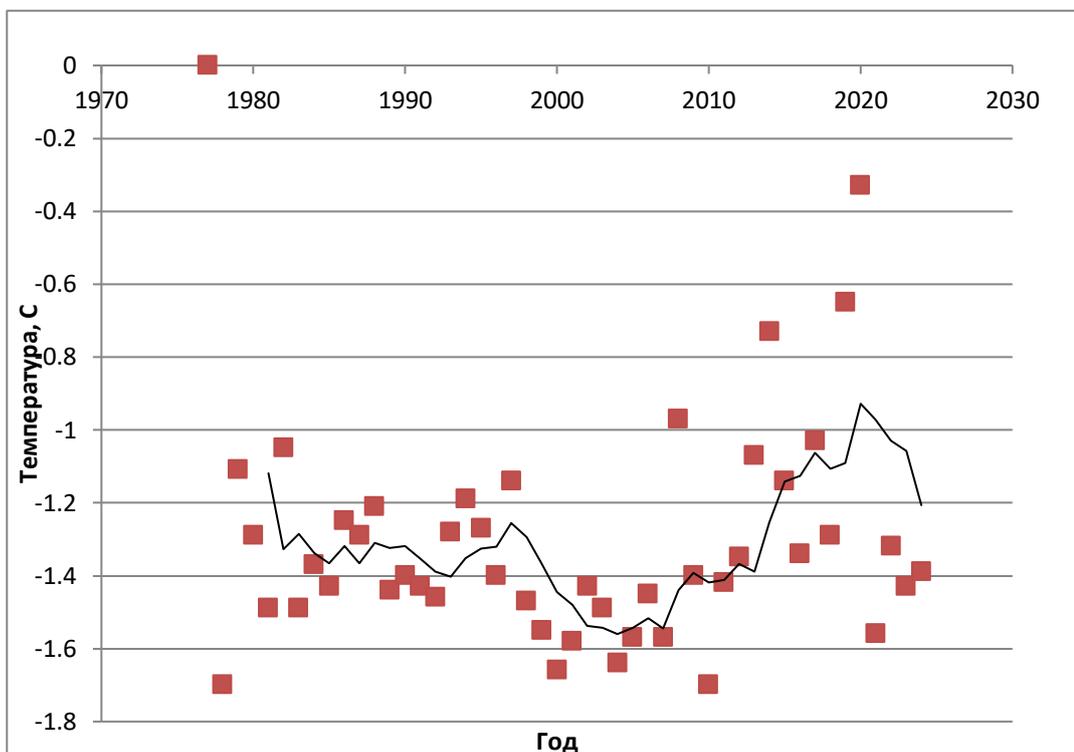


Рис. 3. Динамика изменения средней температуры воды в апреле в точке Оссора.

Средняя температура в Оссоре на протяжении всего выбранного периода ниже, чем в Никольском, и не превышает 0°C . В динамике изменения температуры (Оссора) цикличность не наблюдается, но флуктуации присутствуют: резкий подъём в 2010-2020 года. В 2020 году температура в апреле достигла $-0,33^{\circ}\text{C}$; максимум наблюдался в 1977 году (0°C).

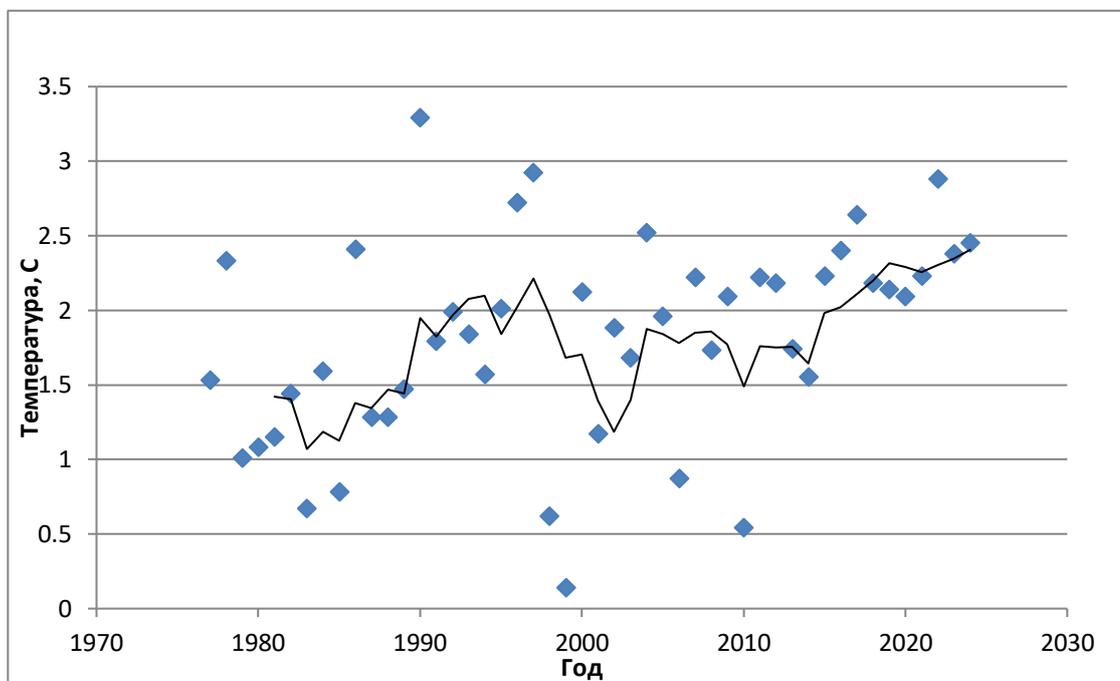


Рис. 4. Динамика изменения средней температуры воды в апреле в точке Никольское (о-в Беринга).

Динамика температуры в пос. Никольское также носит флуктуационный характер, без явных циклов (либо выборка недостаточно широкая, чтобы сделать вывод о цикличности). Можно выделить два периода спада температуры: 1983-1985 и 1998-2001 года. В 1999 году температура опустилась минимум до $0,14^{\circ}\text{C}$, пик повышенной температуры пришелся на 1990 год – $3,29^{\circ}\text{C}$.

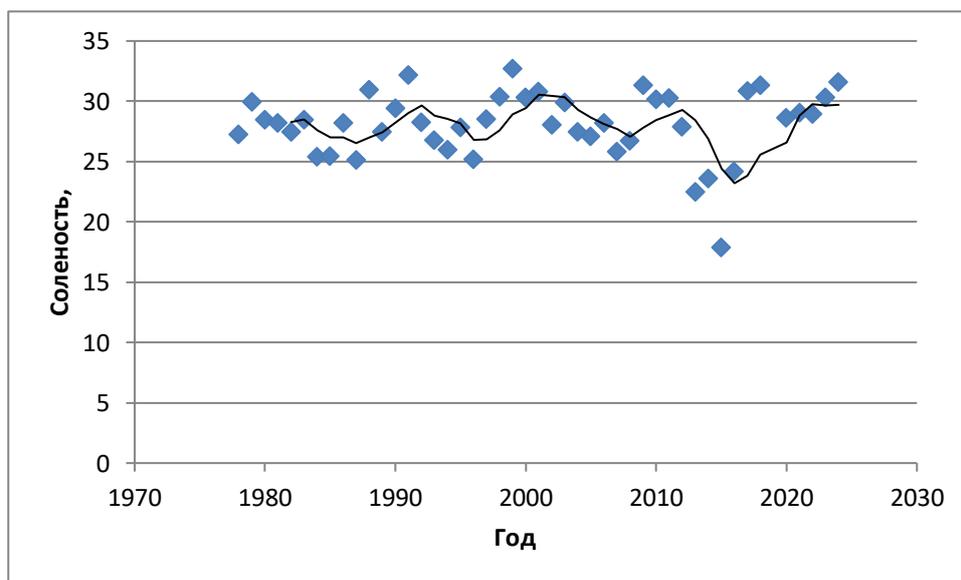


Рис. 5. Средние значения солёности в точке Оссора

Значения солёности в Оссоре имеют циклический характер с периодизацией примерно в 10 лет в диапазоне 22,49-32,72 ‰.

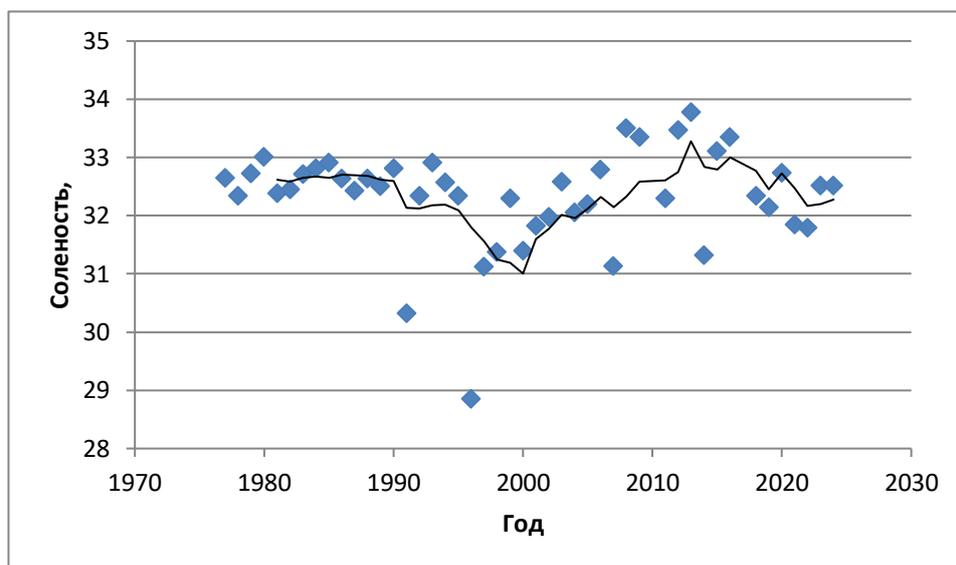


Рис. 6. Средние значения солёности в точке Никольское (о-в Беринга)

Солёность в Никольском не имеет циклов, но также нестабильна на протяжении всего выбранного временного отрезка; минимум достигался в 1996 году – 28,85‰, максимум—в 2013 году со значением 33,78‰. При линейной фильтрации в 5 лет такие отклонения не составляют серьёзного значения.

Не выявлено связи между температурой воды и солёности в отдельные года (квадраты величин достоверности корреляции не превышали 0,1373, прил.). Скорее всего, разброс температур слишком небольшой, чтобы влиять на содержание солей в данных точках отбора проб.

1.3. Рыбопромысловое районирование

Берингово море районировано на рыбопромысловые районы: Чукотскую зону, Западно-Берингоморскую зону и Карагинскую подзону, часть Восточно-Камчатской зоны. Подзоны выделены на основе гидрологических, гидроморфологических характеристик разных частей Берингова моря, оценка улова различных гидробионтов Федеральным Агентством по Рыболовству проводится в соответствии с этими подзонами (рис. 7) Наибольшей площадью акватории характеризуется Западно-Берингоморская зона (табл.1). Незначительная часть акватории (всего чуть больше 5%) приходится на Чукотскую зону. Такая небольшая площадь обусловлена географией и гидрологией района - расположением в узком проливе, пониженные температуры.

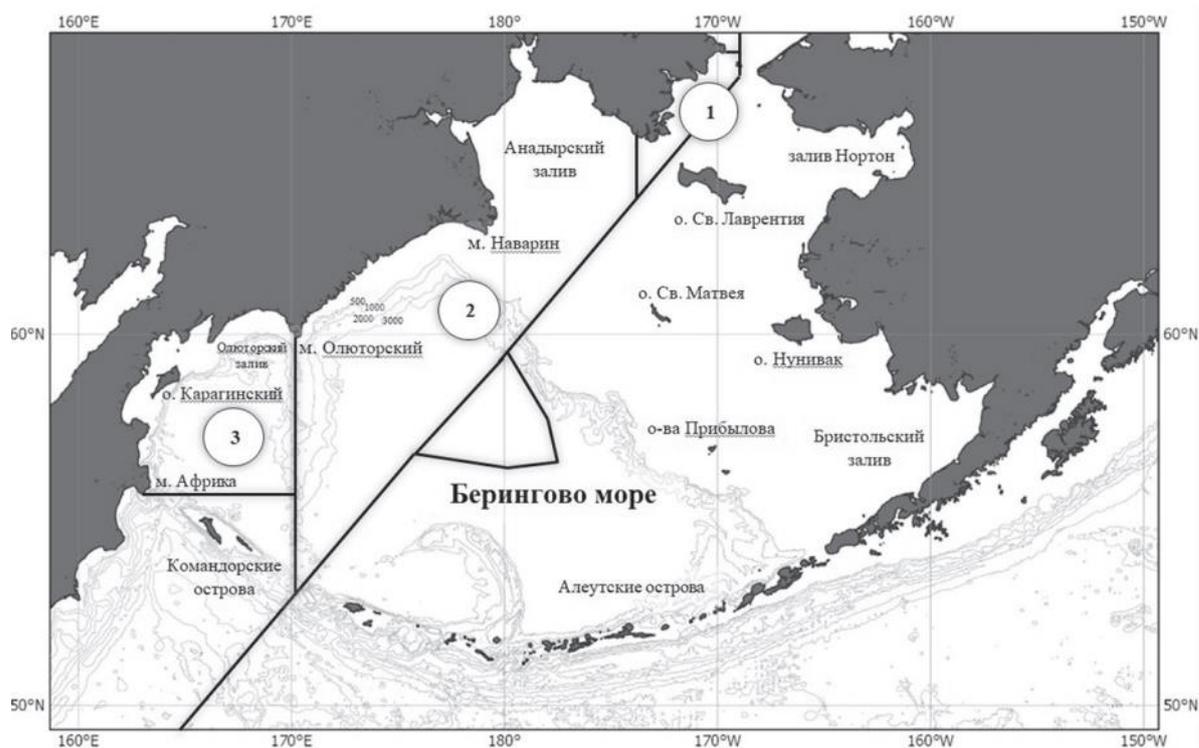


Рис.7. Рыбопромысловое районирование западной части Берингова моря. Районы: 1 — Чукотская зона, 2 — Западно-Берингоморская зона, 3 — Карагинская подзона [4].

Таблица 1. Площади рыбопромысловых районов западной части Берингова моря, км² [4]

Рыбопромысловый район	Площадь, км ²	Площадь, %	Промысловые запасы, тыс. т
Чукотская зона	34 772,5	5,1	68
Западно-Берингоморская зона	446 465,7	66,0	3456
Карагинская подзона	195 697,6	28,9	1151
Берингово море (Российские воды)	676 855,7	100	4675

Основные рыбные запасы сосредоточены в Западно-Берингоморской зоне — 3456 тыс. т, или 73,9%. В юго-западной части моря (в Карагинской подзоне) и его северных водах (Чукотская зона) морские рыбы формируют значительно меньшие ресурсы: соответственно 1151 тыс. т (24,6%) и 68 тыс. т (1,5%).

Аналогичная ситуация с ресурсами беспозвоночных с той лишь разницей, что в Чукотской зоне их промысел не ведется по причине отсутствия значимых скоплений, а около 96% резервов этих гидробионтов находятся в Западно-Берингоморской зоне [4].

1.4. Основные тенденции промысла гидробионтов

Существенный объем добычи здесь в силу значительных численности и биомассы обеспечивают тресковые (в основном минтай *Theragra chalcogramma*, треска *Gadus macrocephalus*, навага *Eleginus gracilis*),

лососевые (горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*, кета *O. keta*, нерка *O. nerka*), сельдевые (тихоокеанская сельдь *Clupea pallasii*) и камбаловые (чёрный *Reinhardtius hippoglossoides*, белокорый *Hippoglossus stenolepis* палтусы, желтопёрая *Limanda aspera*, двухлинейная *Lepidopsetta polyxustra*, желтобрюхая *Pleuronectes quadrituberculatus* и палтусовидные *Hippoglossoides robustus*, *H. elassodon* камбалы) рыбы, а также крабы и крабоиды (синий краб *Paralithodes platypus*, крабы-стригуны опилио *Chionoecetes opilio* и Бэрда *C. bairdi*), моллюски (командорский кальмар *Berryteuthis magister*) и креветки (северная *Pandalus borealis*, углохвостая *P. goniurus*). Помимо этого, с начала 2000-х гг. отмечается стабильный или эпизодический рост уловов макрурусов, скатов, бычков, терпугов, корюшек и морских окуней, ценных и перспективных для промысла объектов ВБР [4].

Тихоокеанская треска *Gadus macrocephalus* является эпимезобентопелагическим, элиторальным видом и имеет широкобореальное распространение. Ее ареал располагается на шельфе и верхней части склона северной Пацифики вдоль азиатского материка от Корейского полуострова и японских островов на юге до Берингова пролива на севере. В отдельные годы ее особи встречаются также в Чукотском море [11]. В северо-западной части Берингова моря треска относится к важнейшим объектам рыболовства. Динамика ее годовых уловов подвержена значительным колебаниям, связанным с флюктуациями запасов. Главной причиной, влияющей на динамику запасов нагульной трески в рассматриваемом секторе Берингова моря, предположительно является изменчивость акватории холодного Лаврентьевского пятна, которое ограничивает распространение скоплений трески на северо-запад моря [15]. При минимальной площади этой акватории треска свободно мигрирует в указанном направлении, а ее значительное развитие создает препятствие этому. В 2016–2019 гг. акватория, занимаемая Лаврентьевским холодным пятном, была не столь велика, и запасы нагульной трески существенно увеличились. В 2020 г. начался процесс похолодания

акватории Берингова моря и площадь холодного Лаврентьевского пятна существенно выросла, а запасы трески снизились [9].

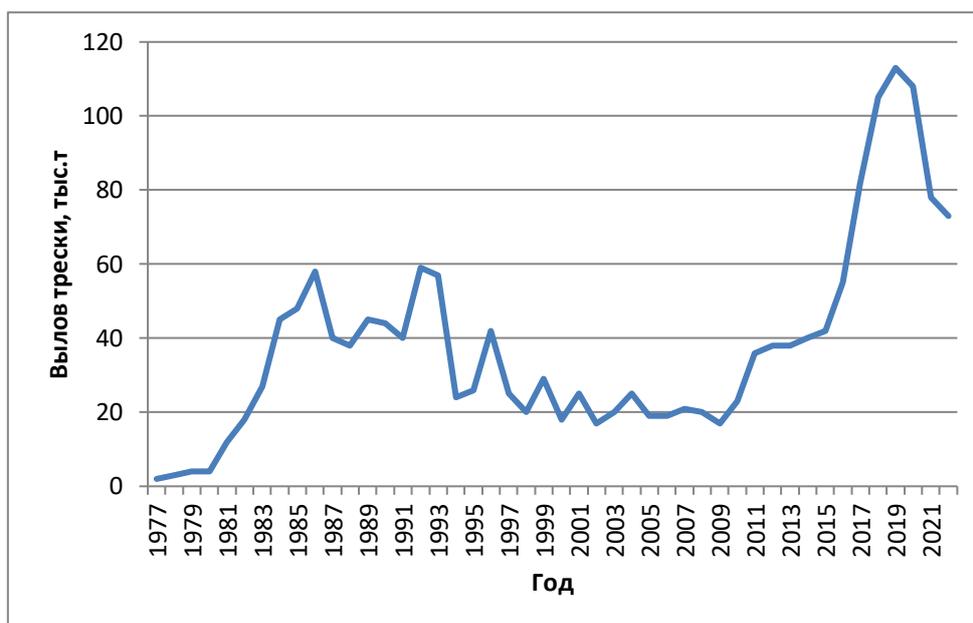


Рис. 8. Вылов тихоокеанской трески в Беринговом море в 1977-2022 гг

Ресурсы сельдевых рыб, представленных в западной части Берингова моря одним видом — тихоокеанской сельдью, зависят от запасов корфо-карагинской популяции, обитающей в основном в Олюторском и Карагинском заливах, и отмечающейся в северо- западной части моря группировки из разных популяций (анадырской и нагульных восточноберингоморской и корфо-карагинской). Запасы сельди в Чукотской зоне незначительны по причине отсутствия оптимальных условий для нагула и нереста [14].



Рис.9. Вылов сельди тихоокеанкой в Беринговом море в 2011-2023 гг

Макрусусы, рыбы семейства долгохвостовые, основу запасов которых составляет малоглазый макрурус (до 90%) и в меньшей степени пепельный макрурус *Coryphaenoides cinereus*, характеризуются тем, что их ресурсы в Беринговом море отмечаются исключительно на материковом склоне с изобатами 250–850 м и глубже. По этой причине в мелководной Чукотской зоне они отсутствуют, встречаясь в массе в пределах Западно-Берингоморской зоны. В силу слабого использования промыслом и специфики продукции из макрурусов динамика их обилия зависит исключительно от многофакторного влияния природной среды и воздействия эндогенных популяционных факторов [1].

Ресурсы терпуговых рыб в силу южного расположения их основных скоплений в пределах акваторий юго-восточной Камчатки и северных Курильских островов в Беринговом море закономерно сконцентрированы преимущественно в юго-западной части Берингова моря. Северо-западная часть моря (исключительно Западно-Берингоморская зона) считается периферией распространения терпугов [1].



Рис. 10. Вылов терпугов Беринговом море в 2011-2023 гг

Добыча тихоокеанских лососей в период их нерестовой миграции из моря в реки, за исключением пропуска необходимого для нереста числа производителей, является полноценным изъятием ежегодного промыслового запаса этих рыб. В западной части Берингова моря основу такого ресурса составляет горбуша, на которую приходится в среднем 83,5% всех запасов лососей. Причем около 99% всей добычи приходится на юго-западную часть моря, остальное изымается в пределах Западно-Беринговоморской зоны[1].



Рис. 11. Вылов горбуши в Беринговом море в 2011-2023 гг

Около 90 и 84% всех запасов кеты и нерки приходится на Карагинскую подзону, здесь же облавливаются все подошедшие на нерест производители кижуча и чавычи (за редким исключением). Величины ежегодных нерестовых подходов тихоокеанских лососей зависят от выживания молоди при переходе из рек в море и условиями последующего за этим морского нагула[1].

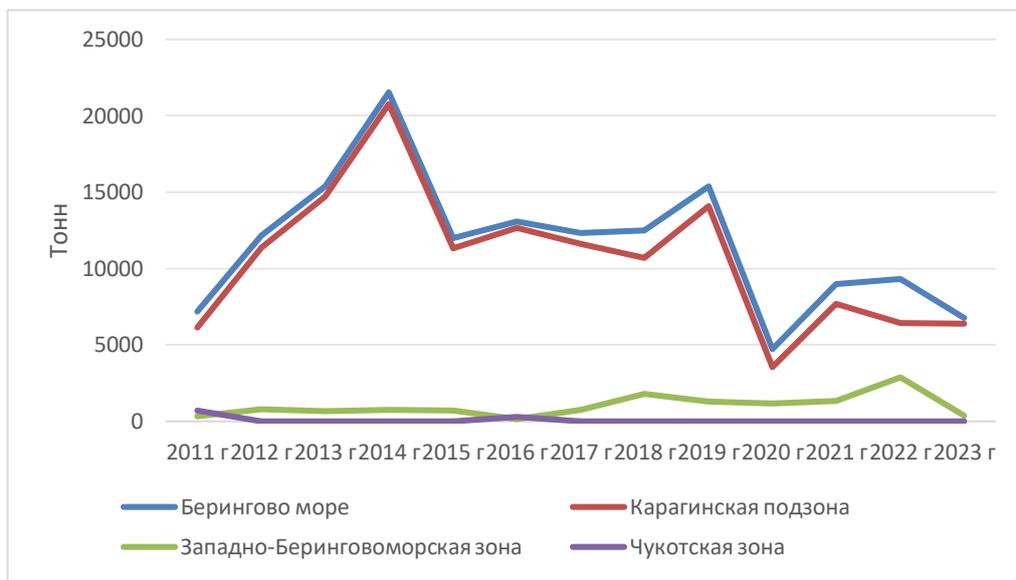


Рис. 12. Вылов кеты в Беринговом море 2011-2023 гг

Промысловые запасы камбаловых рыб в целом формируются ресурсами камбал и палтусов. Основа биомассы камбал в северо-западной части Берингова моря приходится на три массовых вида — желтобрюхую, северную палтусовидную и двухлинейную камбалы. В юго-западной части моря рыболовство базируется на желтоперой, составляющей до 80% уловов камбал, желтобрюхой и двухлинейной камбалах. В целом для западной части Берингова моря характерен тренд на снижение промысловых запасов камбал, более выраженный для его юго-западной акватории [1].

Сырьевая база берингоморских палтусов представлена белокорым, чёрным и двумя видами стрелозубых палтусов — азиатским *Atheresthes evermanni* и американским *A. stomias*. Около 46% запасов рыб приходится на белокорого палтуса, на стрелозубых и чёрного — соответственно 38,8 и 15,2%. Белокорый палтус доминирует по биомассе в Западно-Берингоморской зоне,

снижая её в Карагинской подзоне. Этот вид отмечается и в Чукотской зоне, достигая север Анадырского залива. Стрелозубые и чёрный палтусы формируют промысловые скопления исключительно в пределах материкового склона в северо-западной части моря. В целом общее состояние ресурсов камбаловых рыб во многом зависит от воздействия промысла (особенно актуально для камбал Карагинской подзоны, белокорого палтуса Западно-Беринговоморской зоны) и естественных условий среды их обитания [1].

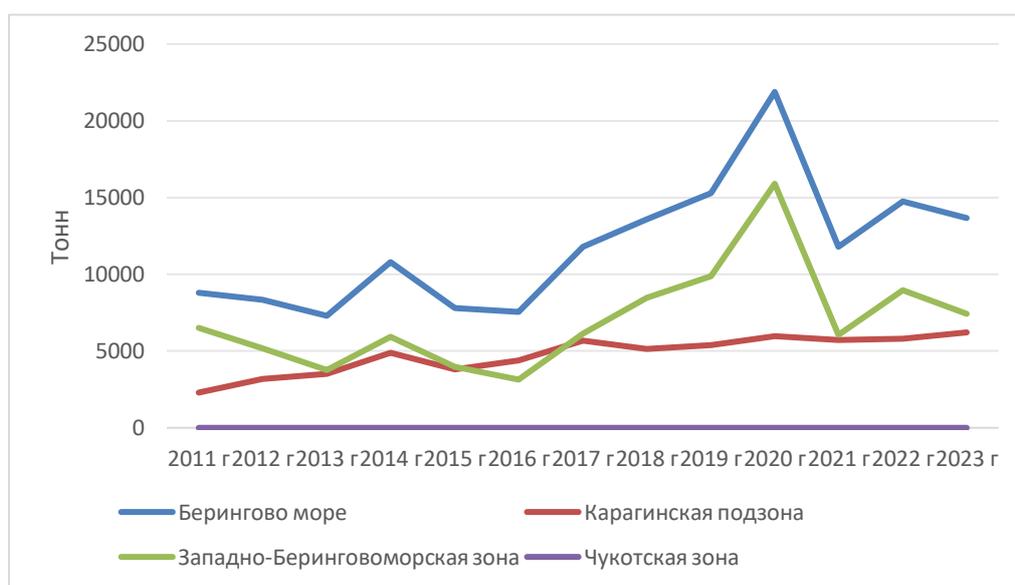


Рис. 13. Вылов камбалы в Беринговом море в 2011-2023 гг

Промысловые ресурсы корюшковых рыб, представленных в районе исследований мойвой *Mallotus villosus catervarius*, зубастой *Osmerus mordax dentex* и малоротой *Hypomesus olidus* корюшками, характеризуются значительными флюктуациями биомассы. Подобная особенность характерна для этих видов по причинам их невысокой относительно других видов продолжительностью жизни (в массе до 5 лет), высокой естественной смертностью и значительной зависимостью от условий среды во время нереста и нагула. Характерной особенностью мойвы является периодическое появление в популяциях одного высокоурожайного поколения, чем и объясняются ее значительные межгодовые колебания промыслового запаса.

Отличия в разных районах моря обусловлены динамикой биомассы разных группировок мойвы (западноберинговоморской и анадырской).

Подобная закономерность прослеживается и у корюшек, среди которых преобладает зубастая корюшка, однако вследствие того, что их жизненный цикл проходит преимущественно в лагунно-эстуарных комплексах прибрежной зоны моря и солонатоводных озерах с заходом на нерест в реки, их запасы в должной мере не оцениваются и, по всей видимости, являются заниженными [1].

Морские окуни и шипощёки, входящие в семейство морские окуни, образуют скопления повышенной плотности в западной части Олюторского залива, на подводном хребте Ширшова (к северо-востоку от м. Олюторский). Основную биомассу формируют крупные представители: тихоокеанский морской окунь *Sebastes alutus*, северный морской окунь *S. borealis*, аляскинский *Sebastolobus alascanus* и длинноперый *S. macrochir* шипощёки. Рост запасов этих типичных представителей материкового склона обусловлен преимущественно увеличением биомассы морских окуней в Западно-Беринговоморской зоне, динамика обилия шипощёков здесь же характеризуется относительной стабильностью [1].

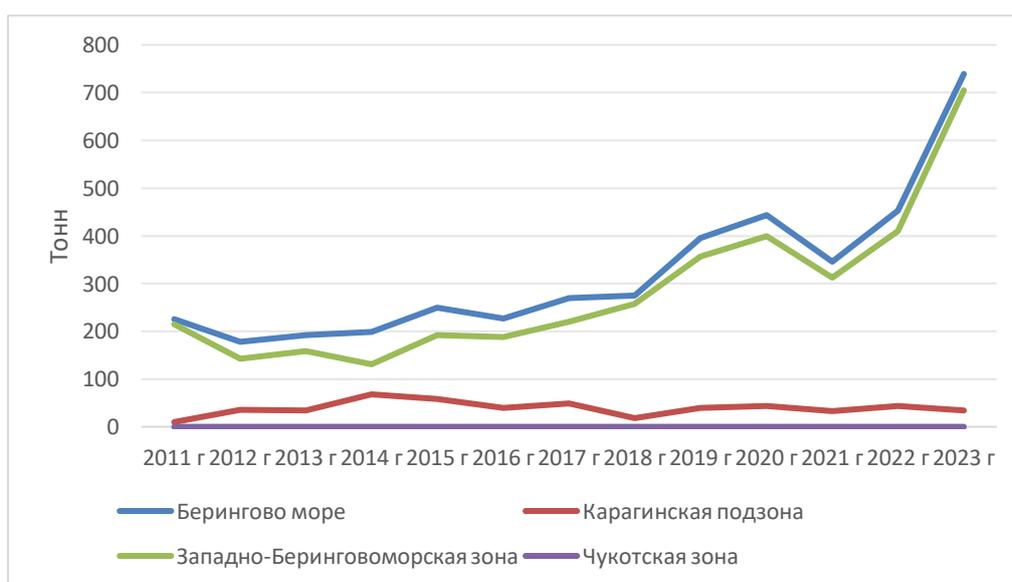


Рис. 14. Вылов морских окуней в Беринговом море в 2011-2023 гг

Минтай Берингова моря — для отечественного промысла стратегический ресурс России, он обеспечивает в среднем около 30% общего вылова вида на Дальнем Востоке. По данным 2000–2020 гг. осреднённый улов в российских водах моря достигал 426 тыс. т при максимуме 632 тыс. т в 2007 г. (около 51% всех уловов минтая в этот год). Если к этому объёму добавить ежегодный изымаемый ресурс минтая в восточной части моря, а это около 1300–1400 тыс. т в 2015–2021 гг., то приоритетное значение данного вида ВБР для рыболовства в Беринговом море и в дальневосточных морях и прилегающих к ним акваториях неоспоримо [3].



Рис. 15. Вылов минтая в Беринговом море в 2011-2023 гг

Минтай представлен в районе исследований двумя крупными группировками (восточно-беринговоморская преимущественно нагуливается в северо-западной части моря, корфо-карагинская нагуливается и нерестится в юго-западной части). В Чукотской зоне колебания биомассы минтая, как и трески, зависят от обилия рыб в соседней Западно-Беринговоморской зоне, из

которой в годы высокой биомассы рыбы мигрируют в северную акваторию Анадырского залива в поисках пищи. Треска и навага также показывают общий тренд на увеличение обилия рыб, причём у первого вида это наблюдается в пределах северо-западной части Берингова моря, у второго — в его юго-западной части. В целом динамика запасов минтая и трески в силу их высоких значений практически определяет общую изменчивость обилия морских рыб, как по всей западной части Берингова моря, так и по его отдельным районам [4].

2. Характеристика тихоокеанской трески (*Gadus macrocephalus*) как объекта промысла

2.1. Биологические особенности

Треска (атлантическая с подвидами и тихоокеанская) относится к роду *Gadus* семейству *Gadidae* и имеет амфибореальное распространение. Все подвиды трески разделяются на две группы—узко- и широкоголовые формы. Наряду с беломорской (*Gadus morhua maris-albi*) и гренландской треской (*Gadus m. ogac*) к широкоголовым формам относится и тихоокеанская (*G. m. macrocephalus*). Однако в 1985 году было предложено выделить три самостоятельных вида (*G. morhua*, *G. ogac* и *G. macrocephalus*) на основании явных различий в морфологии нерестовых бугорков на чешуе, головы и других признаков. В 2006 году другими отличительными признаками начали считать строение и характеристики оболочек икринок, пигментацию предличинок и личинок и другие онтогенетические различия [2].

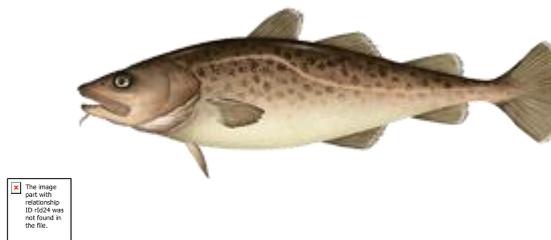


Рис. 16. Внешний вид тихоокеанской трески [8]

Яичники тихоокеанской трески содержат популяцию мелких прозрачных клеток – молодых ооцитов и ооцитов в однослойном фолликулярном окружении. Этот пул представляет собой единственный запас яйцеклеток у молодежи и постнерестовых рыб, выполняя роль резерва у созревающих самок. На фоне процессов вителлогенеза и созревания гонад происходит перестройка размерного состава резервных ооцитов: наиболее крупные экземпляры развиваются быстрее, вступая в фазу однослойного фолликула. Удельное содержание молодых ооцитов прогрессивно снижается в ходе гонадогенеза, достигая наименьших значений у производителей. Значительное обновление когорты ооцитов протоплазматической стадии происходит вскоре после завершения нереста.

Нерест трески распространён по всей акватории западнокамчатского шельфа. Созревшие особи обнаруживаются на глубинах 130-370 м, где придонная температура колеблется от -0.5°C до $+2.3^{\circ}\text{C}$, а субстрат представлен песчаными грунтами с включением гальки и мелких камней. Икрометание синхронное. После летнего откорма, в период с ноября по февраль, у половозрелых особей идет гаметогенез, причем созревание самок опережает самцов. Максимум нерестовой активности регистрируется в конце февраля – марте. Адгезивные свойства оплодотворенной икры крайне слабы; формирующиеся скопления оседают на дно, фиксируясь на субстрате. Сроки инкубации икры зависят от придонной температуры и составляют 10-30 дней [13].

Для самцов тихоокеанской трески характерны меньшие размеры (вследствие раннего созревания), что обуславливает их численное преобладание в нерестовой части стада. Дополнительными отличиями самцов являются сокращенный жизненный цикл (предельный возраст 10-11 лет против 12 лет у самок) и более низкие темпы роста. На нерестилищах соотношение полов поддерживается на уровне 2-3 самца : 1 самка, что является механизмом сохранения генетического разнообразия природных популяций [12]. Созревание самцов наступает на 3-м году, самок – на 4-м году жизни, однако массовый нерест начинается с 5 лет. Величина плодовитости определяется возрастом, физиологическим статусом, популяцией и связанными с ней температурными условиями. Индивидуальная плодовитость варьирует до 3.346 млн икринок (в среднем 1.854 млн). Относительная плодовитость составляет 276-661 икр./г массы тела; количество продуцируемой икры находится в прямой зависимости от размеров (длины и массы) самки.[10]



Рис. 17. Личинка тихоокеанской трески, 36 дней после вылупления [3]

Пищевой спектр тихоокеанской трески варьируется в зависимости от популяции и её географического положения, так как большая часть кормовых

объектов подвержена значительным сезонным колебаниям. Основа биомассы трески повсеместно формируется за счёт питания двумя группами кормовых объектов—рыб и десятиногих ракообразных[7].

Треска факультативный хищник, которому свойственна высокая пластичность питания, дающая возможность использовать многообразие потенциальных кормовых компонентов (90-120 видов). Основная пища трески длиной до 20 см— амфиподы, мизиды, эуфаузииды (мелкие ракообразные). При длине 20-30 см их значение в питании резко сокращается, и главными объектами питания трески 20-50 см становятся десятиногие ракообразные, причём более мелкая треска употребляет в основном креветок, а более крупная—крабов и раков-отшельников. Также треска этого размера потребляет мелких стайных рыб Треска длиной более 50-60 см переходит на питание различными рыбами, среди которых доминирует минтай. Половозрелая треска является консументом 3 порядка, основными кормовыми объектами которой являются минтай (74% по массе среди рыб) и крабы-стригуны (более 52% по массе среди остальных десятиногих ракообразных). Доля представителей промежуточного уровня фито- и зообентофагов (консументы порядков ниже), которые потребляются в основном молодью трески размером до 40 см, не превышает 5% массы пищи [7].

2.2 Влияние климатических факторов на развитие трески

Треска (*Gadus morhua*) — один из ключевых видов морских экосистем Северного полушария, чья популяция с одной стороны служит индикатором климатических изменений, а с другой стороны является основой экономики прибрежных регионов. Современные исследования демонстрируют, что динамика её ареала, репродукции и выживаемости напрямую зависит от климатических факторов, таких как температура воды, солёность, океанические течения и закисление океана. Эти процессы, усиленные

глобальным потеплением, уже оказывают значительное влияние на промысловую продуктивность вида, что подтверждается рядом научных работ [22].

Температура воды является критическим параметром для трески, определяющим её нерест, рост и миграцию. Исследование Дринквотер [18], основанное на климатических моделях IPCC, показало, что потепление на 2–4°C к 2100 году приведёт к сокращению ареала трески в Северном и Балтийском морях, но расширит его в Баренцевом море [18]. При температурах выше 12°C выживаемость икры снижается на 40–60%, что объясняет сокращение уловов в традиционных районах, таких как Северное море.

Ярким примером коллапса популяции под влиянием температурных аномалий стал залив Мэн. Работа Першинга выявила, что рост температуры на 3°C за период 2004–2014 гг. привёл к сокращению биомассы зоопланктона *Calanus finmarchicus* — основного корма молоди трески на 50%. Это спровоцировало замедление роста рыбы и падение уловов на 90%, поставив местный промысел на грань исчезновения [20].

Солёность воды влияет на вертикальное распределение икры трески, которая требует высоких значений (34–35‰) для поддержания плавучести. Исследование Сандбай, анализирующее данные гидрологических съёмки в Норвежском море, показало, что снижение солёности верхних слоёв на 0.5‰ из-за таяния арктических льдов уменьшило плотность икры в нерестовых горизонтах. Это стало причиной существенного (на 20%) сокращения численности молоди за два десятилетия, что напрямую отразилось на промысловой продуктивности [22].

Изменение интенсивности и траекторий океанических течений, таких как Гольфстрим, нарушает кормовую базу трески. В том же исследовании Першинга показано, что ослабление адвекции тёплых вод в залив Мэн привело к деградации экосистемы, лишив треску доступа к ключевым ресурсам. Подобные эффекты наблюдаются и в Баренцевом море, где, согласно

моделированию Кджесбу, рост температуры на 1.5°C к 2040 году потенциально увеличит биомассу трески на 20%, но только при условии сокращения вылова на 30%. Без регулирования промысла климатические преимущества будут нивелированы переловом [19,20].

Поглощение океаном углекислого газа и снижение кислотности среды негативно влияет на организмы, составляющие кормовую базу трески, а также на её собственные ранние стадии развития. Эксперименты Штясны в условиях контролируемого закисления (pH 7.6–8.1) продемонстрировали, что при повышении кислотности (pH < 7.8) смертность личинок трески возрастает на 25–30%, а их размеры уменьшаются на 15%. Эти данные указывают на долгосрочные риски для популяций в регионах с интенсивным поглощением углекислоты из атмосферы, таких как Северное море [21].

Климатические изменения требуют пересмотра подходов к управлению промыслом. Рост уловов в Баренцевом море, связанный с миграцией трески на север, сопровождается геополитическими конфликтами из-за ресурсов. Как показало исследование Кджесбу, устойчивое использование популяции возможно лишь при сочетании климатического мониторинга и жёсткого регулирования квот. Динамическое управление, учитывающее сезонные смещения ареалов, и создание «климатических коридоров» для миграции становятся необходимыми мерами [19].

Приведённые исследования иллюстрируют многогранное влияние климата на треску — от клеточного уровня до масштабов экосистем. Температурные аномалии, изменение солёности, деградация кормовой базы и закисление океана формируют комплекс угроз, требующих немедленных адаптационных решений. Успешное управление промыслом в условиях глобальных изменений возможно только через интеграцию научных данных, гибких квот и международного сотрудничества, что позволит сохранить треску как биоресурс и элемент морского биоразнообразия.

Тихоокеанская треска, наряду с минтаем, является основным объектом промысла в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне, регулирование которым начало осуществляться только ближе к 1990-ым годам. До применения экосистемного подхода, ОДУ рассчитывался на основе предыдущего результата и точечных тралений, что далеко не всегда являлось рациональным [16]. Запасы трески постоянно колебались, года с высокой антропогенной нагрузкой (переловом) индуцировали за собой сокращение запасов. Также на запас сильно повлияло изменение климата в Охотском море, где в 2000-ные средняя температура воды увеличилась на несколько градусов, что вынудило треску мигрировать в более холодные северные воды Берингова моря [17]. Учитывая это и используя современные промысловые модели популяционного анализа, запасы трески стали оцениваться, регулироваться и использоваться лучше.

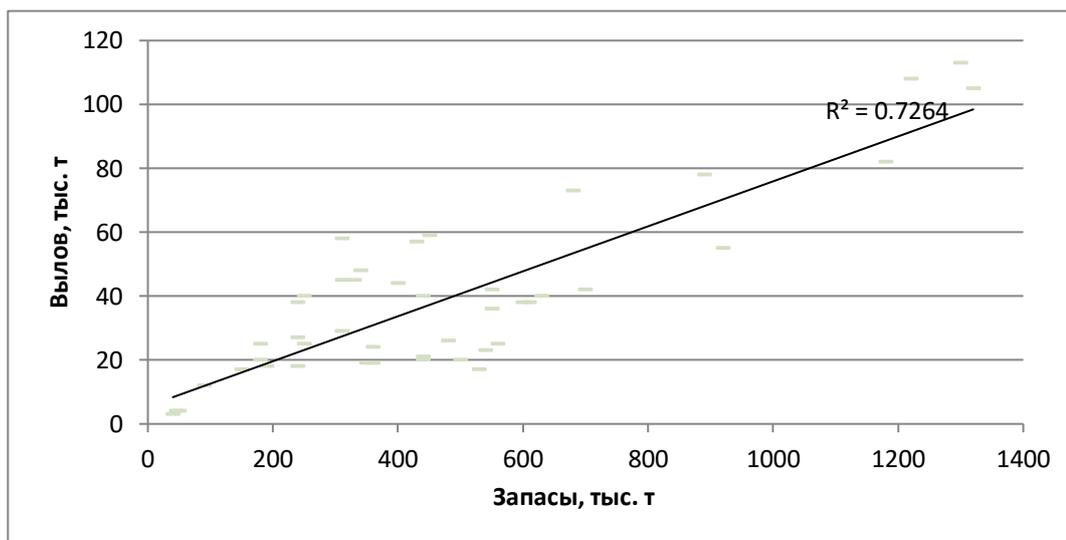


Рис. 18. Корреляция между выловом и запасами трески прошлого года

Анализ данных показал среднюю корреляцию между выловом трески и прошлогодними запасами, что и ожидалось, так как величина прошлогодних запасов присутствует при расчёте ОДУ на год.

Далее брались данные по вылову и запасу и поочерёдно сопоставлялись с данными по температуре и солёности Берингова моря в выбранных точках. Наиболее значимые результаты получились при анализе минимальных температур в точке «остров Беринга»—самые высокие коэффициенты

достоверности аппроксимации с величиной запасов (0,002; 0,1598; 0,2771). Это может быть связано с тем, что в данной точке нижний порог температур является более лимитирующим фактором, чем верхние пороги, то есть, треска более чувствительная к низким температурам.

Сопоставление данных по вылову и запасам трески с уровнем солёности не дало закономерностей или достоверных результатов на обеих точках.

Был составлен ряд данных по средним значениям температур за пять лет, так как можно обобщить, что средняя выборка возраста трески примерно пять лет—возраст массового созревания и нереста, от чего непосредственно зависит и промысел. Далее, многолетние средние параметры среды были сопоставлены с величинами запасов трески.

Получилось так, что в разных точках между квадратами наибольших величин достоверности аппроксимации не оказалось закономерности. Наибольшая корреляция в Никольском – между запасами и минимальной многолетней средней температурой, а в Оссоре – между запасами и средней многолетней температурой.

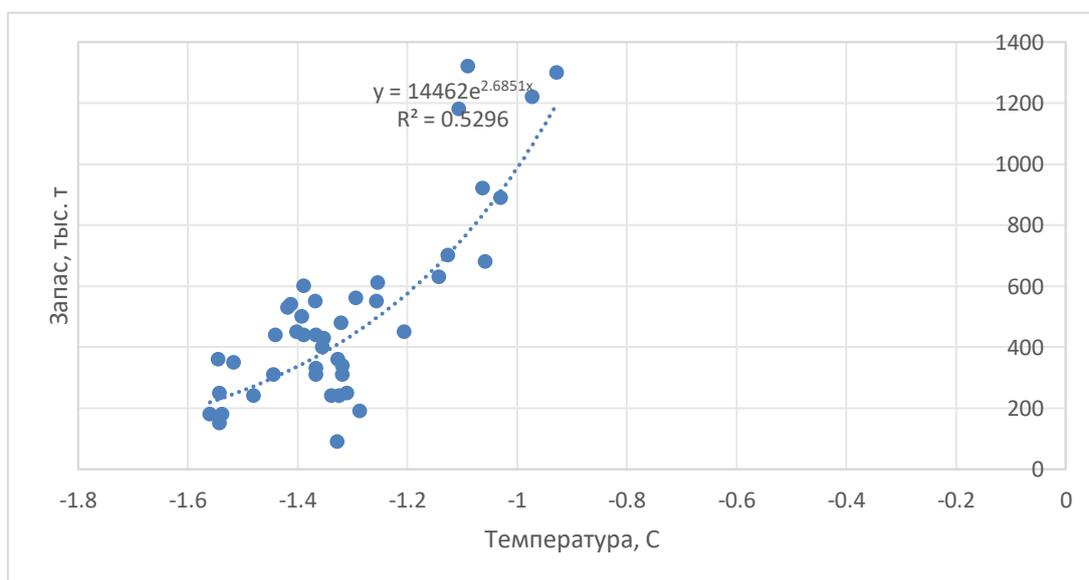


Рис. 19. Корреляция многолетней средней температуры в точке Оссора и запасов тихоокеанской трески

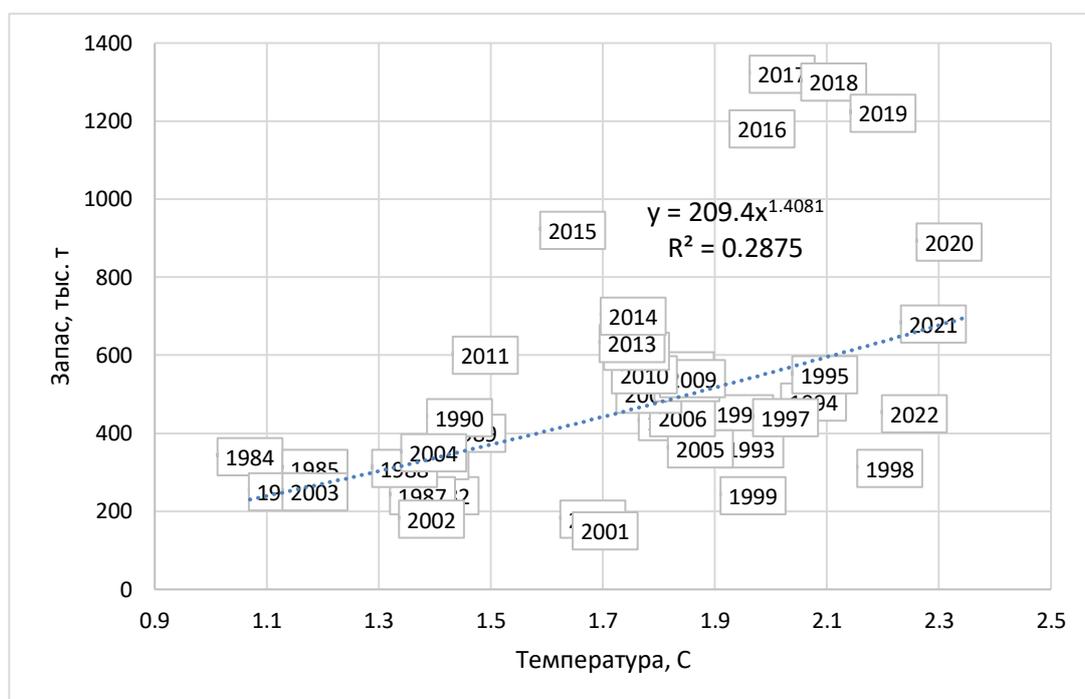


Рис. 20. Корреляция многолетней средней температуры в точке Никольское (о-в Беринга) и запасов тихоокеанской трески

Далее формула уравнения проверялась на вычисление процента ошибки, который в последствии сопоставлялся с среднемесячной температурой и выловом (см. Прил.). Данные приведены в таблице.

Таблица 2. Результаты корреляционного анализа

Точка	Наибольшая величина достоверности аппроксимации (в квадрате)	Наибольшая корреляция процента ошибки
О-в Беринга (Никольское)	$0,523 > 0,2875 > 0,0615$ (минимальная > средняя > максимальная)	Вылов ($R^2=0,5017$)
Оссора	$0,5296 > 0,3336 > 0,1919$ (средняя > максимальная > минимальная)	Среднемесячная температура ($R^2=0,6265$)

В первом случае, можно сделать вывод, что минимальная температура является одним из ключевых компонентов в расчётах ОДУ как значимый

лимитирующий фактор для популяций тихоокеанской трески. Во втором случае, можно сказать о том, чем больше флуктуаций в температурном режиме, тем недостовернее являются прогнозы запасов популяции; а также это говорит о том, что с повышением температуры эмпирически построенная модель теряет актуальность.

Заключение

Климатические изменения трансформируют морские экосистемы через комплекс взаимосвязанных факторов — закисление океана, рост температуры воды и колебания солёности, — что ставит под угрозу будущее мирового рыболовства. Закисление океана, вызванное поглощением антропогенного CO₂, нарушает жизненные циклы рыб: снижение pH воды повреждает жабры и ткани, деформирует отолиты, отвечающие за ориентацию, а у личинок трески при кислотности, прогнозируемой к 2100 году, выживаемость падает на 74%. Параллельно рост температуры воды смещает ареалы обитания — холодолюбивые виды, такие как треска или пикша, мигрируют к полюсам, дестабилизируя местные экосистемы. Термальный стресс ускоряет метаболизм, приводя к гипоксии. Третий фактор — изменение солёности из-за таяния ледников и изменения речного стока — вызывает осморегуляционный шок.

Дальневосточный рыбохозяйственный бассейн — ключевой регион России по добыче водных биоресурсов, включающий акватории Берингова, Охотского, Японского морей и Тихого океана. Основные промысловые виды: минтай, сельдь, лососёвые, треска и крабы. По прогнозу Росрыболовства к 2030 году планируется увеличение грузооборота рыбы до 1.4 млн тонн за счёт роста добычи сардины, скумбрии и развития марикультуры. Инфраструктурные проекты включают модернизацию портов (Владивосток, Петропавловск-Камчатский, Корсаков) с вводом новых холодильных мощностей (до 170 тыс. тонн) и развитием контейнерных перевозок.

Берингово море — критически важная экосистема для рыболовства, но климатические изменения ставят под угрозу её устойчивость.

Тихоокеанская треска — ключевой промысловый вид Берингова моря. Нерест происходит в холодных водах (0–3°C) на шельфе и материковом склоне, преимущественно весной. Икра развивается в придонных слоях,

выживаемость личинок зависит от температуры и наличия планктона. Нарушения в гидрологическом режиме (потепление, закисление) могут снижать успешность нереста.

На основе корреляции температурного режима и запасов трески с 1977 по 2022 года были построены несколько моделей, прогнозирующих состояние популяции. Были сделаны выводы, что температурный минимум является наиболее лимитирующим фактором, однако, была обнаружена средняя корреляция между средними температурами также. Динамика изменения солёности не влияет ни на запасы тихоокеанской трески, ни на её вылов.

Приложение

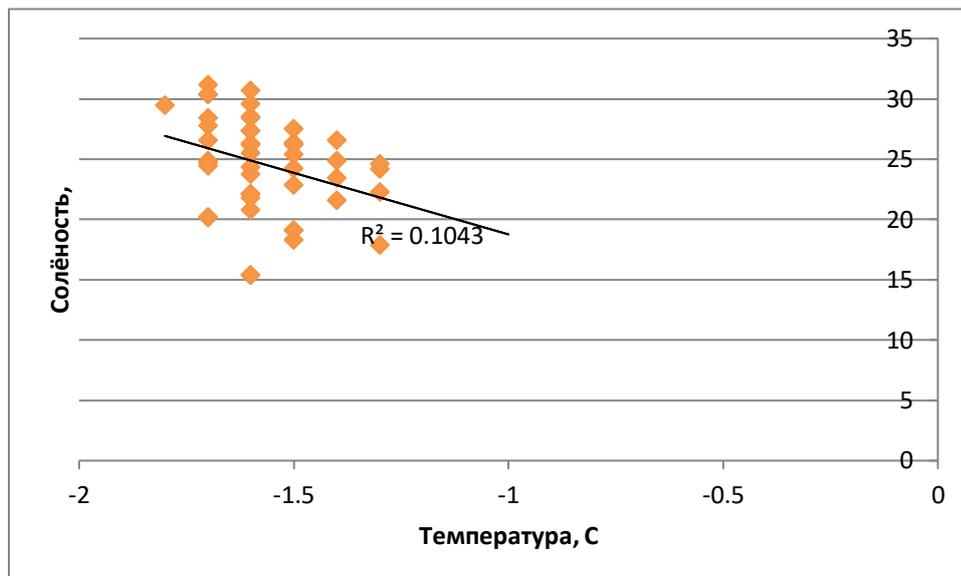


Рис. 21. Корреляция минимальных значений температуры и солёности в точке Никольское (о-в Беринга)

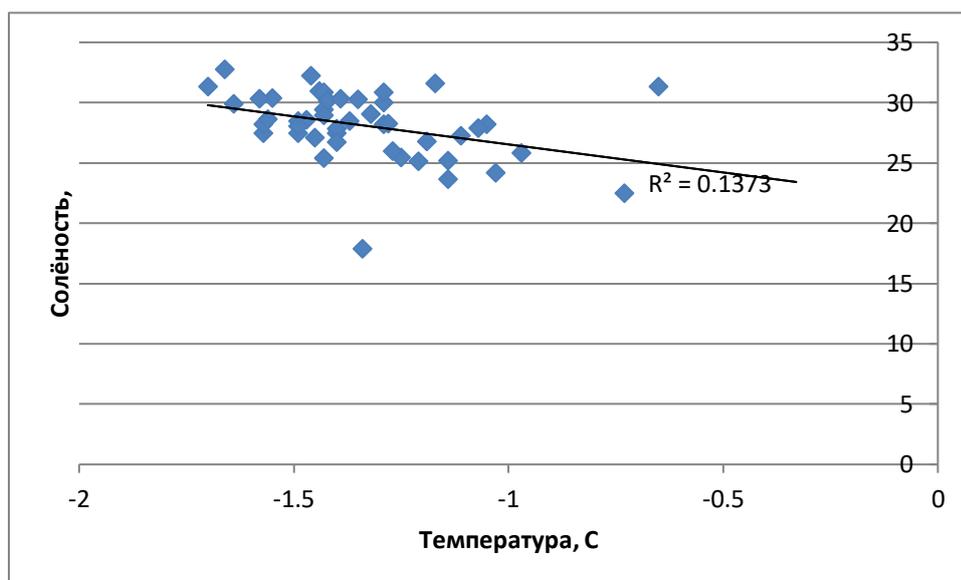


Рис. 22. Корреляция средних значений температуры и солёности в точке Никольское (о-в Беринга)

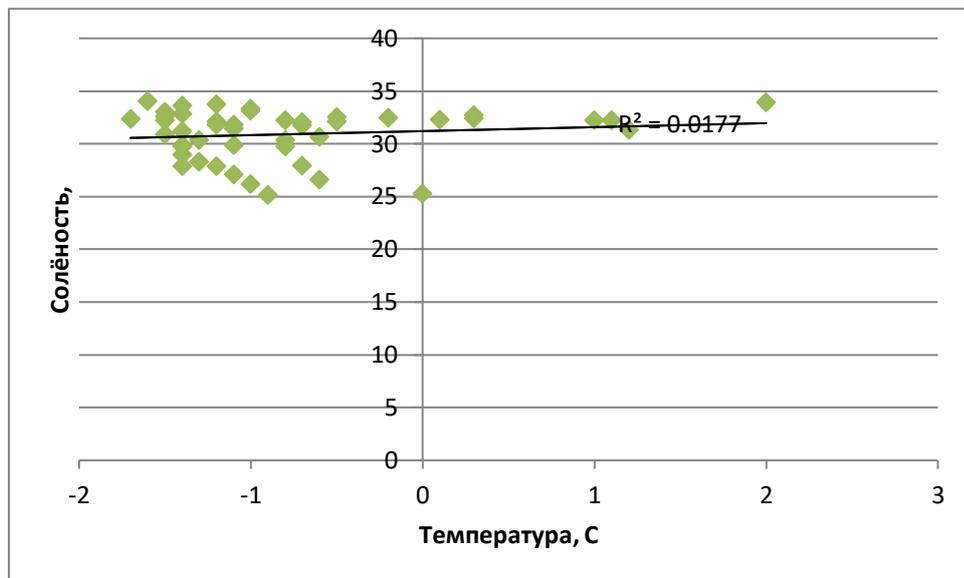


Рис. 23. Корреляция максимальных значений температуры и солёности в точке Никольское (о-в Беринга)

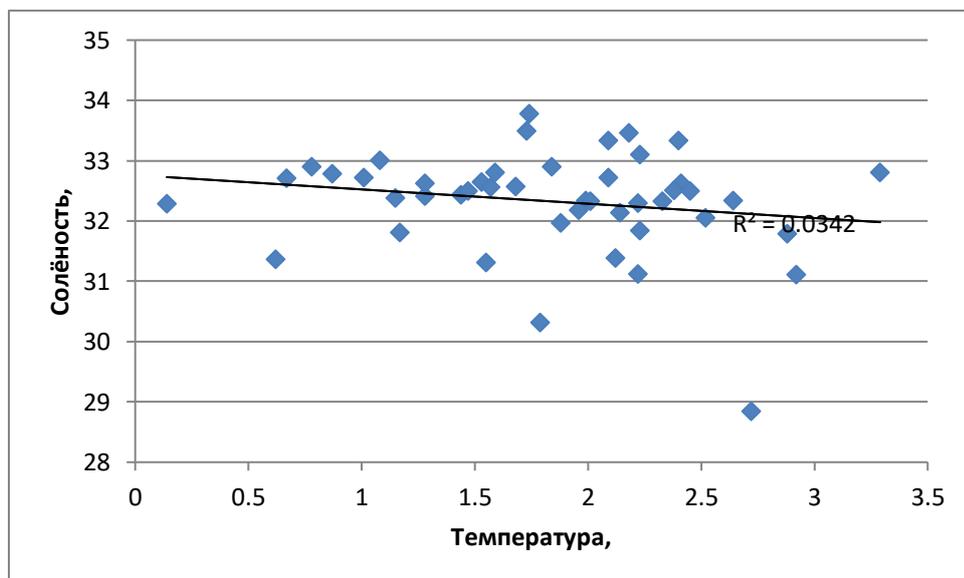


Рис. 24. Корреляция средних значений температуры и солёности в точке Оссора

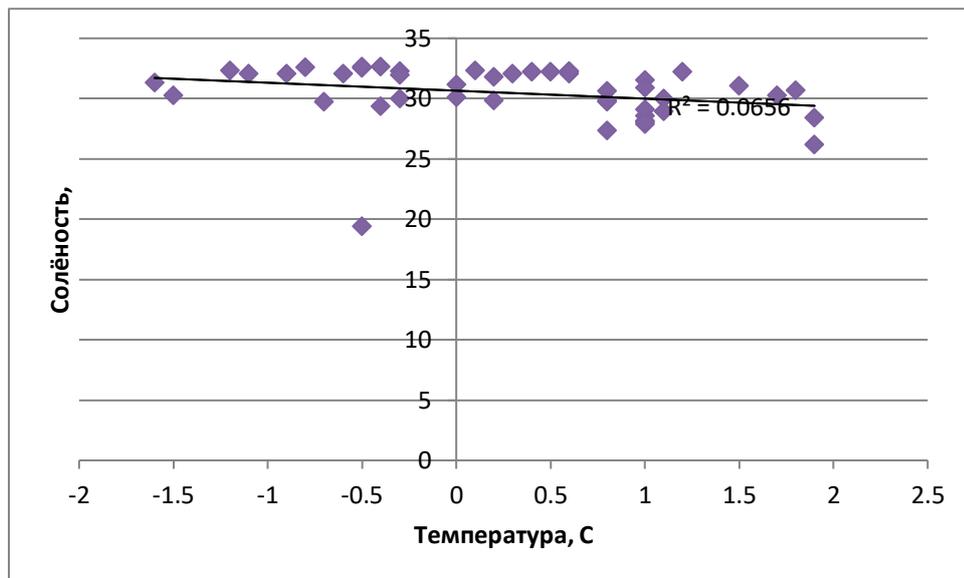


Рис. 25. Корреляция минимальных значений температуры и солёности в точке Оссора

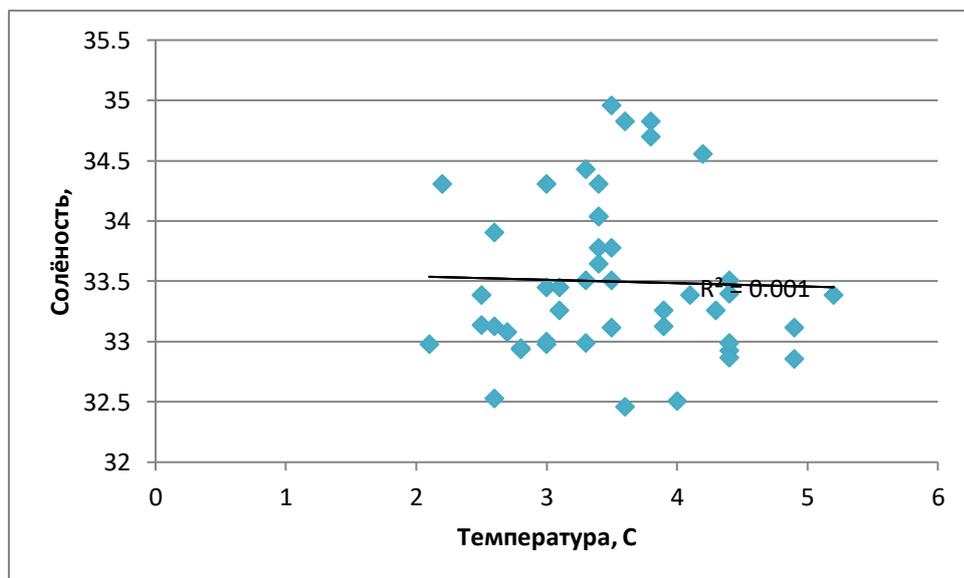


Рис. 26. Корреляция максимальных значений температуры и солёности в точке Оссора

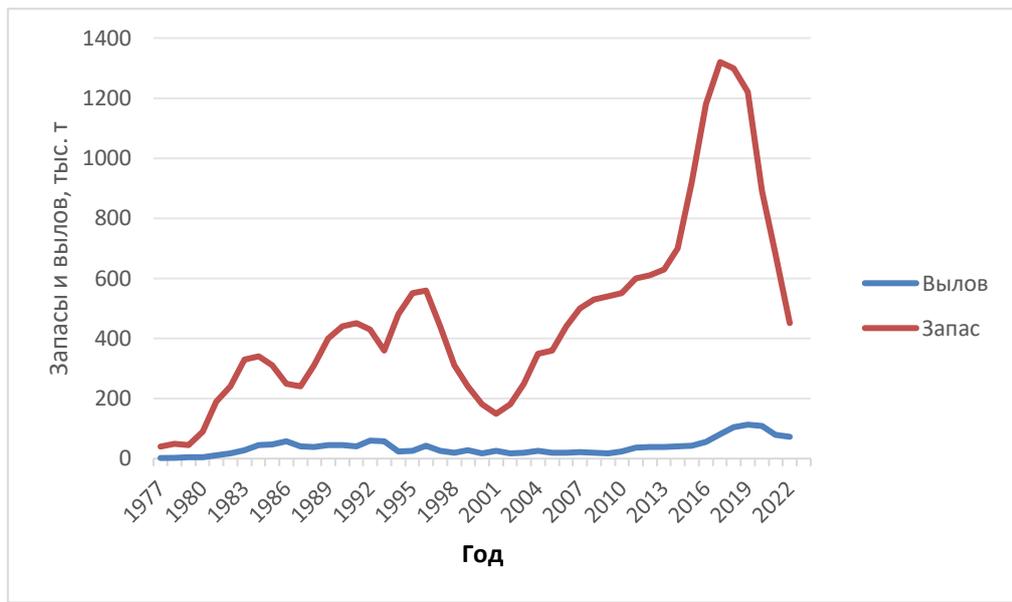


Рис. 27. Запасы и вылов тихоокеанской трески в Беринговом море за 1977-2022 годы

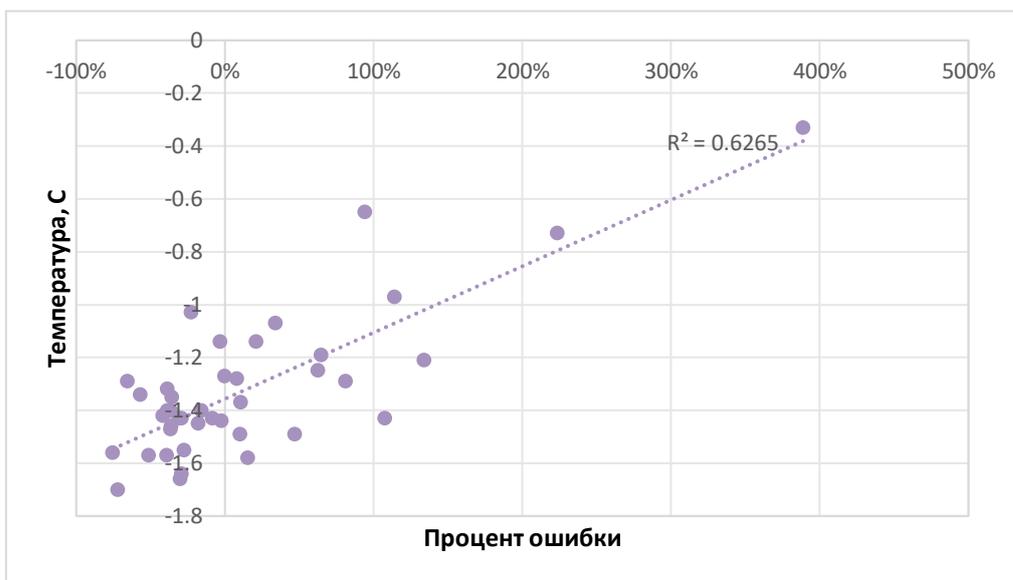


Рис. 28. Корреляция процента ошибки и средней температуры в точке Оссора

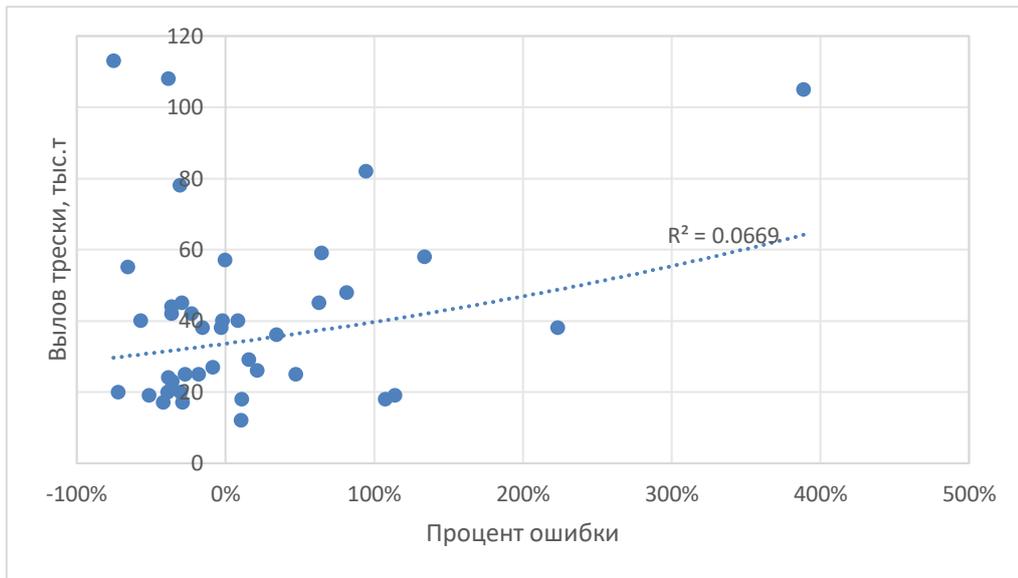


Рис. 29. Корреляция процента ошибки и вылова тихоокеанской трески в точке Оссора

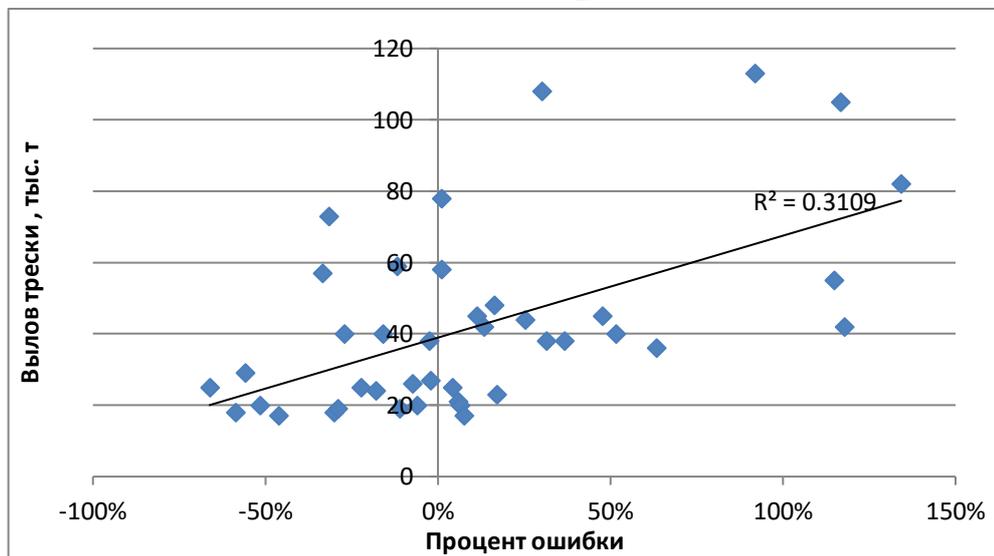


Рис. 29. Корреляция процента ошибки и вылова тихоокеанской трески в точке Никольское (о-в Беринга)

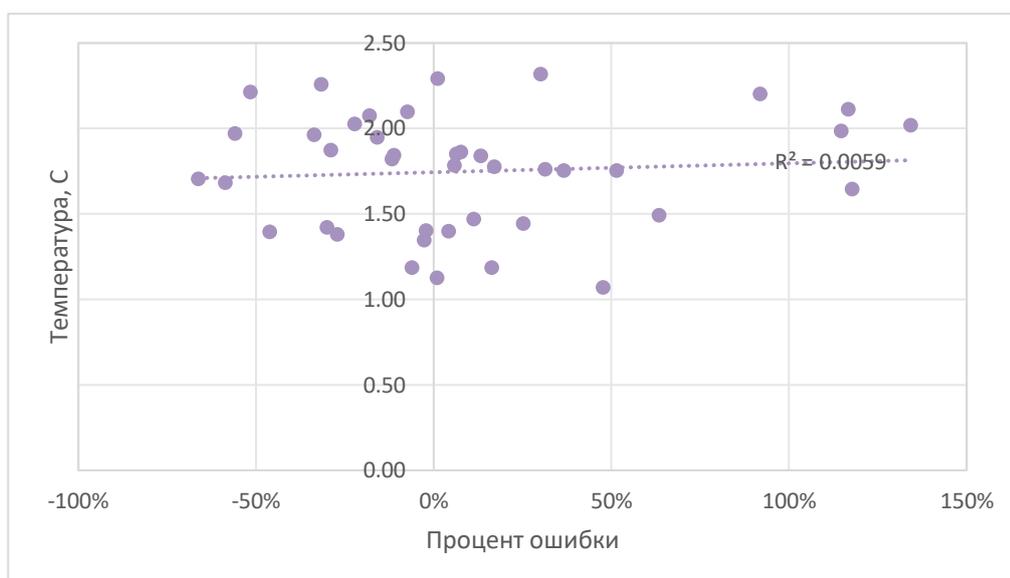


Рис. 30. Корреляция процента ошибки и средней температуры в точке Никольское (о-в Беринга)

Таблица 3. Проверка уравнения корреляции средних многолетних температур в точке Никольское (о-в Беринга) и запасов тихоокеанской трески

Год	Средняя многолетняя температура, С	Вычисленный запас, тыс. т	Фактический запас, тыс. т	Ошибка	Вылов, тыс. т
1982	1,42	343,09	240	-30%	18
1983	1,40	336,99	330	-2%	27
1984	1,07	230,33	340	48%	45
1985	1,19	266,25	310	16%	48
1986	1,13	247,48	250	1%	58
1987	1,38	328,89	240	-27%	40
1988	1,35	318,19	310	-3%	38
1989	1,47	359,54	400	11%	45
1990	1,44	351,29	440	25%	44
1991	1,95	534,71	450	-16%	40

1992	1,82	487,37	430	-12%	59
1993	1,96	541,69	360	-34%	57
1994	2,08	585,69	480	-18%	24
1995	2,10	593,65	550	-7%	26
1996	1,84	494,16	560	13%	42
1997	2,03	565,92	440	-22%	25
1998	2,21	640,43	310	-52%	20
1999	1,97	543,24	240	-56%	29
2000	1,68	435,47	180	-59%	18
2001	1,70	443,52	150	-66%	25
2002	1,39	334,28	180	-46%	17
2003	1,19	266,25	250	-6%	20
2004	1,40	335,63	350	4%	25
2005	1,87	507,06	360	-29%	19
2006	1,84	494,92	440	-11%	19
2007	1,78	472,37	500	6%	21
2008	1,85	497,94	530	6%	20
2009	1,86	501,74	540	8%	17
2010	1,77	469,38	550	17%	23
2011	1,49	367,15	600	63%	36
2012	1,76	464,18	610	31%	38
2013	1,75	461,21	630	37%	38
2014	1,75	461,95	700	52%	40
2015	1,65	422,41	920	118%	42
2016	1,98	549,47	1180	115%	55

2017	2,02	563,56	1320	134%	82
2018	2,11	600,04	1300	117%	105
2019	2,20	635,54	1220	92%	113
2020	2,32	684,06	890	30%	108
2021	2,29	672,45	680	1%	78
2022	2,26	658,44	450	-32%	73

Таблица 4. Проверка уравнения корреляции средних многолетних температур в точке Оссора и запасов тихоокеанской трески

Год	Средняя многолетняя температура, С	Вычисленны й запас, тыс. т	Фактическ ий запас, тыс. т	Ошибка	ВЫЛОВ, тыс. т
1982	-1,49	264,67	240	10%	12
1983	-1,37	365,29	330	11%	18
1984	-1,43	310,94	340	-9%	27
1985	-1,25	504,17	310	63%	45
1986	-1,29	452,82	250	81%	48
1987	-1,21	561,33	240	134%	58
1988	-1,44	302,70	310	-2%	40
1989	-1,40	337,02	400	-16%	38
1990	-1,43	310,94	440	-29%	45
1991	-1,46	286,87	450	-36%	44
1992	-1,28	465,15	430	8%	40
1993	-1,19	592,30	360	65%	59
1994	-1,27	477,81	480	0%	57

1995	-1,40	337,02	550	-39%	24
1996	-1,14	677,40	560	21%	26
1997	-1,47	279,27	440	-37%	42
1998	-1,55	225,29	310	-27%	25
1999	-1,66	167,67	240	-30%	20
2000	-1,58	207,85	180	15%	29
2001	-1,43	310,94	150	107%	18
2002	-1,49	264,67	180	47%	25
2003	-1,64	176,92	250	-29%	17
2004	-1,57	213,51	350	-39%	20
2005	-1,45	294,68	360	-18%	25
2006	-1,57	213,51	440	-51%	19
2007	-0,97	1069,27	500	114%	19
2008	-1,40	337,02	530	-36%	21
2009	-1,70	150,60	540	-72%	20
2010	-1,42	319,40	550	-42%	17
2011	-1,35	385,44	600	-36%	23
2012	-1,07	817,48	610	34%	36
2013	-0,73	2036,84	630	223%	38
2014	-1,14	677,40	700	-3%	38
2015	-1,34	395,93	920	-57%	40
2016	-1,03	910,17	1180	-23%	42
2017	-1,29	452,82	1320	-66%	55
2018	-0,65	2524,92	1300	94%	82
2019	-0,33	5962,21	1220	389%	105

2020	-1,56	219,32	890	-75%	113
2021	-1,32	417,78	680	-39%	108
2022	-1,43	310,94	450	-31%	78

Список литературы:

1. Балыкин П.А. Состояние и ресурсы рыболовства в западной части Берингова моря//. – М: Издательство ВНИРО, 2006./ – 142 с.
2. Богданов Г.А. Тихоокеанская треска. Вопросы биологии и запасы //—М.: ИПФ «Сашко», 2006.—136 с.
3. Буслов А.В., Овсянникова С.Л. Рост тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* на первом году жизни//– Изв. ТИНРО, Т. 201,-2021.—С. 849–865.
4. Датский А.В., Самойленко В.В. Сырьевая база водных биологических ресурсов в Российских водах Берингова моря и их стоимость// – ВОПРОСЫ РЫБОЛОВСТВА, 2021. Том 22. №1/.– 64–99 с.
5. Датский А.В., Шейбак, А.Ю., Антонов Н.П. Минтай Берингова моря: особенности распределения и биологии, запасы и промысел.//– Труды ВНИРО. Т.189.—2022.—С. 73-94
6. Макаревич П.Р. Современное состояние экосистемы западной части Берингова моря.// – Изд-во Южн. науч. центра РАН, 2010./ – 388с.
7. Напазаков В.В., Чучукало В.И., Кузнецова Н.А. Питание и некоторые черты экологии тресковых рыб западной части Берингова моря в летне-осенний период// Изв. ТИНРО.- Т.128.—2001.—С. 907-928.
8. Орлов А.М. Тихоокеанская треска дальневосточных вод России// М. : ВНИРО, 2013—320 с.
9. Савин А.Б. Запас и промысел трески (*Gadus macrocephalus*, *Gadidae*) Северо-Западной части Берингова моря//– Изв. ТИНРО, Т. 203,-2023.—С. 465–489.
- 10.Савин А.Б. Нерестилища тихоокеанской трески в северо-западной части Тихого океана// Изв. ТИНРО.—Т.187.—2016.—С. 48-71.
- 11.Савин А.Б. Сезонная изменчивость распределения тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus*, *Gadidae* на Западнокамчатском шельфе в связи с её

- миграциями в Охотском море и за его пределы// Изв. ТИНРО.—Т.138.—2004.—С. 154-167.
- 12.Сергеева Н.П., Варкентин А.И. Закономерности полового созревания, половой цикл и шкала стадий зрелости гонад тихоокеанской трески (*Gadus macrocephalus*)// Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Сб. научн. тр. КамчатНИРО.—Вып. 46.—2016.- С. 5-31
- 13.Сергеева Н.П., Винников А.В., Варкентин А.И. Некоторые особенности оогенеза тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* Tilesius (Gadidae)// Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Сб. научн. тр. КамчатНИРО.—Вып. 10.—2008.- С. 40-48
- 14.Смирнов А.А., Датский А.В., Антонов Н.П. Сельди западной части Берингова моря: распределение, основные черты биологии, состояние запасов и промысел.// ВОПРОСЫ РЫБОЛОВСТВА, 2022. Том 23. №2./ – 86–107 с.
- 15.Согрина А.В., Должанская В.В., Терпугова Н.Ю. Исследования тихоокеанской трески при проведении ярусного лова в Беринговом море в октябре 2024 г.//– Труды ВНИРО. Т.199.—2025.—С. 198-202
- 16.Тереньтев Д.А., Винников А.В. Анализ материалов по видовому и количественному составу уловов донными сетями в северо-западной части Берингова и восточной части Охотского морей// Изв. ТИНРО.- Т.138.—2004.—С. 299-310.
- 17.Тереньтев Д.А., Винников А.В. Тепнин О.Б. Прогнозирование запаса тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* Tilesius, 1810 (*Gadidae*) северо-западной части Берингово моря на основе анализа абиотических факторов//Изв. ТИНРО.—Т.137.—2004.—С. 292-300.
18. Drinkwater, K. F.. The response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to future climate change// ICES Journal of Marine Science, 62. – 2005—1327-1337 pp.

19. Kjesbu O. S., Alix M., Sando A. B., Strand E. Latitudinally distinct stocks of Atlantic cod face fundamentally different biophysical challenges under on-going climate change// *Fish and Fisheries*. 2023;24:297–320 pp.
20. Pershing A. J., Bailey B. A. A Nonlinear Model for Predicting Interannual Changes in *Calanus finmarchicus* Abundance in the Gulf of Maine// *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* – 2013- Vol. 18.-234-249 pp.
21. Stiasny MH, Mittermayer FH, Sswat M, Voss R, Jutfelt F, Chierici M, et al. Ocean Acidification Effects on Atlantic Cod Larval Survival and Recruitment to the Fished Population//. *PLoS ONE* 11(8) – 2016.—26 p.
22. Sundby S. Impacts of climate change on commercial fish stocks in Norwegian waters// SNF-project No. 5015 "Economic Impact of Climate Change on Norway's Fisheries" The project is financed by the Research Council of Norway Centre for Fisheries Economics Discussion paper No. 11 – 2003. – 20 p.