Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной океанографии и комплексного управления прибрежными зонами

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему Оценка и прогноз запасов промысловых видов рыб Дальневосточного бассейна

Исполнитель Пикалова Дарья Александровна

Руководитель Доктор географических наук, доцент

Аверкиев Александр Сергеевич

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой _____

кандидат географических наук

Хаймина Ольга Владимировна

«10» июня 2026 г.

Санкт-Петербург

2026

Содержание

Введение....3
Глава 1. Район исследования и описание промыслового вида....5
1.1 Охотское море....5
1.1.1 Физико-географическая характеристика Охотского моря....5
1.1.2 Гидрологический режим Охотского моря....6
1.1.3 Метеорологическая обстановка в Охотском море....9
1.2 Берингово море....9
1.2.1 Физико-географическая характеристика Берингова моря....9
1.2.2 Гидрологический режим Берингова моря....10
1.2.3 Метеорологическая обстановка в Беринговом море....12
1.3 Описание промыслового вида и место обитания....13
1.3.1 Минтай. Биология и общие сведения....13
1.3.2 Промысел минтая в России....16
Глава 2. Материалы и методы....17
2.1 Оценка временной изменчивости запасов и уловов минтая в Охотском и Беринговом морях....17
2.2 Методы исследования....21
2.2.1 Корреляционный анализ и регрессионная модель....21
2.2.2 Спектральный анализ....23
2.2.3 Модель Шеффера....24
Глава 3. Результаты расчётов....27
3.1 Взаимнокорреляционный анализ....27
3.2 Автокорреляционный анализ....27
3.3 Множественная линейна регрессия (МЛР)....30
3.4 Спектральный анализ....35
3.5 Модель Шеффера....38
3.6 Сравнение результатов расчета, полученных с помощью разных моделей....41
Заключение....45
Список литературы....47

Введение

В настоящее время дальневосточный бассейн занимает лидирующее место по добыче водных биоресурсов в России. К примеру, в 1990-е годы на Дальний восток приходилось 58.7% всего улова в стране, а в 2005 году доля вылова увеличилась до 61.4%. При этом остальные 38.6% уловов были распределены на остальные районы (33.1% северо-запад и 5.5% другие промысловые районы). Более того, роль Дальнего востока продолжает расти, так В 2025 году доля дальневосточного вылова в ИЭЗ России составила 76 %, а основу уловов (92.5%) составила рыба. При этом основными и определяющими зонами промысла являются Охотское и Берингово моря [3, 21].

Объектом изучения в работе и одним из основных объектов промысла в Дальневосточном бассейне является минтай.

Его доля в общем вылове российских рыбаков в 2025 году составила 61%. Это придонно-пелагическая холодолюбивая рыба, обитающая преимущественно в северной части Тихого океана на глубине 200–300 м. Добывается минтай в основном Россией и США. Ведущее положение в промысле на Дальнем востоке минтай занимает с 70-х годов, когда был отмечен существенный рост его добычи, и в настоящее время объем допустимых уловов может достигать 2.0 млн.т.

Целью настоящей выпускной бакалаврской работы является оценка состояния и возможность прогноза запасов минтая Охотского и Берингова морей.

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Составить ряды запасов и уловов минтая Охотского и Берингова морей с 1963 по 2024гг. для охотоморской популяции и с 1969 по 2024гг. для западноберинговоморской части популяции;

2. Подобрать предикторы и составить уравнения регрессии для прогноза запасов двух популяций минтая;

3. Провести спектральный анализ рядов запасов двух популяций минтая и прогноз запасов с помощью суммирования спектральных составляющих;

4. Провести расчеты запасов и прогноз с помощью модели Шеффера для двух популяций минтая;

5. Дать оценку качества и сравнить восстановление и прогноз рядов запасов минтая. Показать преимущества и недостатки каждого метода;

6. Сравнить результаты прогноза с имеющимися данными специалистов

В первой главе работы приведено описание районов обитания выбранных популяций минтая и описание вида.

Вторая глава содержит рассмотрение временной динамики запасов и уловов минтая и описание используемых методов исследования.

В третьей главе анализируются результаты расчетов с полученные помощью выбранных методов.

В заключении изложены основные результаты и выводы работы.

Глава 1. Район исследования и описание промыслового вида

1.1 Охотское море

1.1.1 Физико-географическая характеристика Охотского моря

Охотское море расположено в северо-западной части Тихого океана и отделяется от океана цепью Курильских островов и полуостровом Камчатка (Рис. 1). На юге и западе оно ограничено островом Хоккайдо, восточным берегом острова Сахалин и побережьем Азии. За исключением небольшой области у Хоккайдо море находится на территории России. Расположено Охотское море в пределах 43°43'– 62°42' с.ш. и 135°10'–164°45' в.д., наибольшая длина акватории равна 2463 км, а ширина равна 1500 км. Его площадь составляет около 1603 тыс. квадратных километров, а средняя глубина равна 859 м., максимальная глубина равна 3372 м. Протяженность береговой линии — 10 460 км, а суммарный объем вод моря — 1316 тыс. км3. Охотское море относится к окраинным морям и соединяется с Тихим океаном такими проливами Курильской островной гряды, с Японским морем соединяется проливом Лаперуза, также через Амурский лиман проливами Невельского и Татарским. Морское дно имеет уклон с севера на юг, шельфовая зона занимает около 20% площади моря и имеет глубину от 0 до 200 м., материковый склон имеет глубину от 200 до 2000 м и занимает около 65% площади, самая глубокая котловина, расположенная на юге, занимает 8% площади моря и имеет глубину более 2500 м. Дно глубоководной Курильской котловины представляет собой плоскую абиссальную равнину, а Курильская гряда является естественным порогом, отгораживающим котловину моря от океана [5, 24].

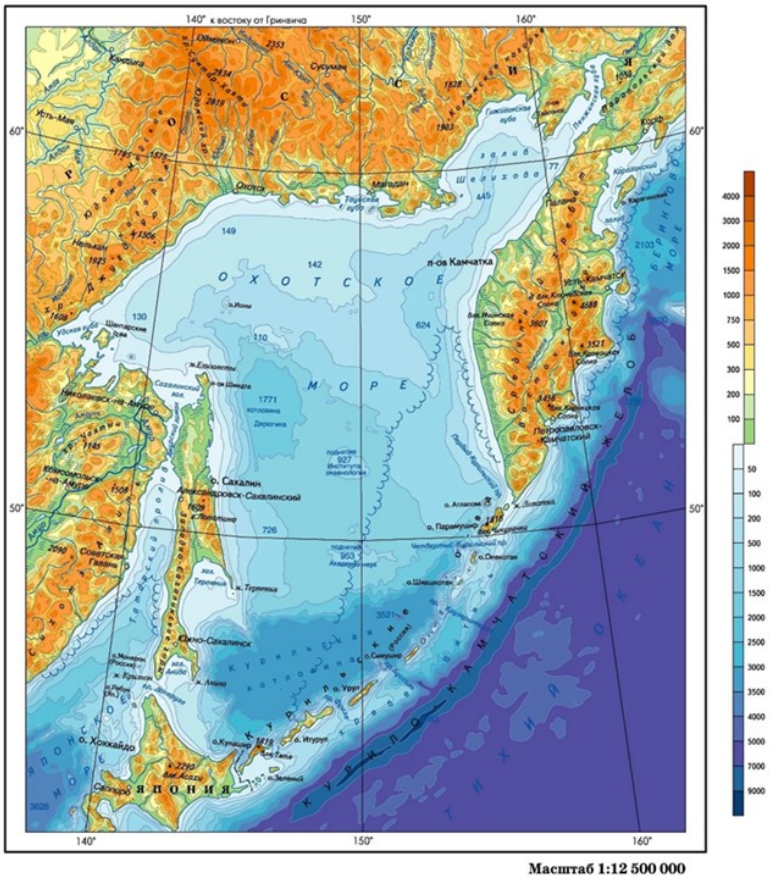


Рис. 1 Карта Охотского моря

1.1.2 Гидрологический режим Охотского моря

Основными факторами, которые наиболее существенно влияют на гидрологические условия Охотского моря являются: географическое положение, муссонная смена ветров, связь моря с океаном через проливы и материковый сток.

В Охотское море впадают крупные реки: Амур, Большая, Гижига, Охота, Пенжина, Уда. Речной сток составляет около 600 км3/год, около 65 % приходится на долю Амура. Водообмен с Тихим океаном во многом определяется проливами Буссоль с глубиной более 2300 м. и Крузенштерна с глубиной до 1764 м. После идут менее крупные проливы с глубинами до 500 м., такие как, Фриза, Четвертый Курильский, Рикорда и надежды [11].

В Охотском море выделяется несколько водных масс и их модификаций с присущими им характеристиками, распространением и источниками формирования [13].

А. Д. Добровольский п В. В. Тимонов давали следующие характеристики водным массам:

- Поверхностная охотоморская вода с температурой 10-12 °С и соленостью около 32.5 ‰;
- Охотоморская вода с температурой ниже нуля и соленостью 33.0-33.5 ‰;
- Глубинная тихоокеанская вода, отличается глубинным максимумом температуры до 2.4 °С и соленостью более 33.5 ‰;
- Придонная тихоокеанская вода с температурой 1.8-1.95 °С и соленостью 34.5-34.7 ‰ [5].

Эти водные массы образуют главные компоненты (отдельные слои и экстремумы) вертикальной структуры толщи вод. Основная масса вод моря имеет тихоокеанское происхождение [5, 14].

Вертикальное распределение: в деятельном слое температура воды наиболее изменчива (в различные годы от 9 до 19 °С), с горизонта 50 м. значения не превышают 3-4 °С, ниже 75-100 м. (в южной части 200 м.) составляет 2-2.5 °С. Также одной из основных характеристик является холодный промежуточный слой, который является результатом осенне-зимнего охлаждения [6].

Характеристики поля горизонтального распределения температуры воды: температура воды на поверхности в общем понижается с юга на север. На юге средние годовые значения температуры составляют 5-7 °С, а на севере – около 2-3 °С. Внутригодовые колебания температуры воды поверхностного слоя весьма значительны и составляют 10-19 °С (Рис. 2) [14].

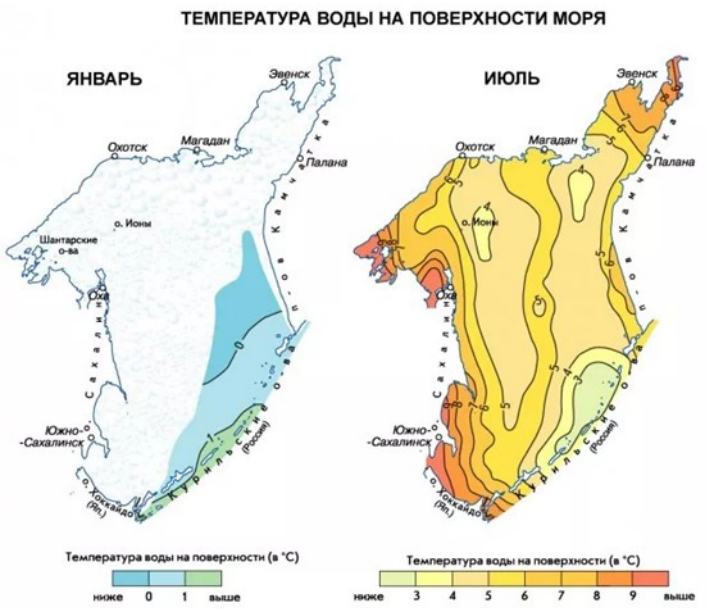


Рис. 2 Горизонтальное распределение температуры в Охотском море

Профили солености практически одинаковы во все сезоны года и характеризуются монотонным возрастанием солености от поверхности до дна. Значительные изменения проявляются в слое 50-100 метров. В теплое время года поверхностные воды распресняются и образуется сезонный галоклин. В прибрежных районах и на северо-западе моря в течение года соленость поверхностного слоя изменяется уже в более широких пределах от 20 до 33 ‰. С октября по март наблюдается максимум солености. В августе и сентябре происходит максимальное опреснение поверхностного слоя (Рис. 3) [14].

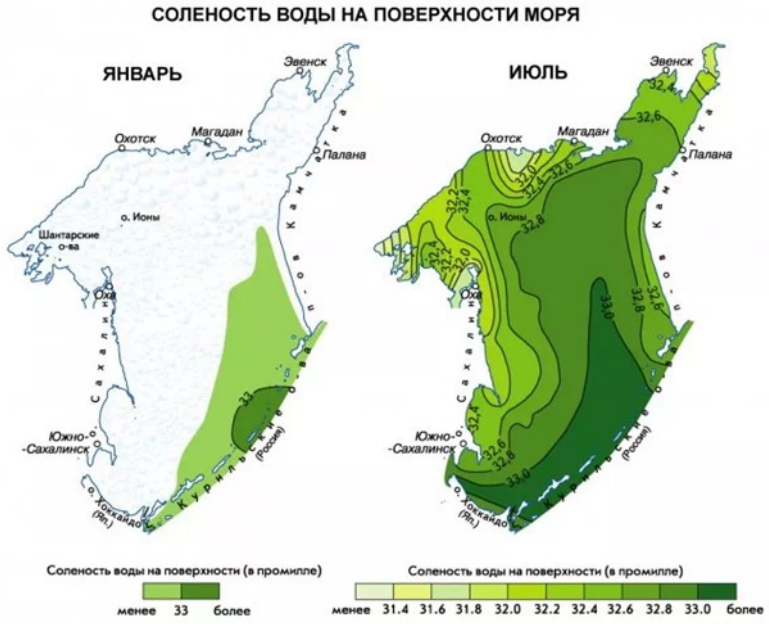


Рис. 3 Горизонтальное распределение солености в Охотском море

1.1.3 Метеорологическая обстановка в Охотском море

Охотское море — самое холодное море Восточной Азии; зимой климат и термический режим большей части региона лишь незначительно отличаются от арктических. Также для Охотского моря характерен муссонный климат умеренных широт. На юге и юго-востоке близость Тихого океана приводит к более мягкому морскому климату. Самый холодный месяц - январь, температура воздуха от -5 до -25 °С. С мая по сентябрь море находится под влиянием Гавайского антициклона со слабыми юго-восточными ветрами 6-7 м/с. Летние температуры воздуха (август) от 18 °С на юго-западе до 10 °С на северо-востоке. Среднегодовое количество осадков составляет 400 мм на севере, 710 мм на западе и около 1040 мм на юге и юго-востоке [14, 24].

1.2 Берингово море

1.2.1 Физико-географическая характеристика Берингова моря

Берингово море — самое северное из Дальневосточных морей, занимает пространство между параллелями 66º30' и 51°22' с. ш. и меридианами 162°20' в.д. и 157° з.д. Оно отделено от Тихого океана островами Командорско-Алеутской дуги (Рис. 4) [12]. На северо-западе его ограничивают побережья Северной Камчатки, Корякского нагорья и Чукотки; на северо-востоке — побережье Западной Аляски. Южная граница моря проводится по цепи Командорских и Алеутских островов. Беринговым проливом на севере оно соединяется с Северным Ледовитым океаном и многочисленными проливами в цепи Командорско-Алеутской гряды на юге — с Тихим океаном [7]. Имеет площадь 2315 тыс. км2, объем 3796 тыс. км3 и является третьим по величине бассейна морем в Мировом океане. Среднее значение глубины моря составляет 1640 м, а максимальное – 4420 м (в Камчатском проливе). Общая протяженность береговой линии, имеющей сложные, изрезанные очертания, равняется 13340 км. [13] Береговая линия сильно изрезана. В рельефе дна Берингова моря четко

разграничиваются несколько зон. На севере и востоке моря находится шельфовая зона, которая занимает немного меньше половины от всего морского пространства. Здесь глубина не превышает 200 м. В пределах этой части дном моря является большая равнина. С северо-запада на юго-восток простирается материковый склон. Глубина моря здесь варьируется от 22 до 3000 м. Дно моря имеет множество подводных долин. В юго-западной и центральной частях Берингова моря находится глубоководная зона. Она занимает значительную часть всего водного пространства (около 40% от всей площади) [4].

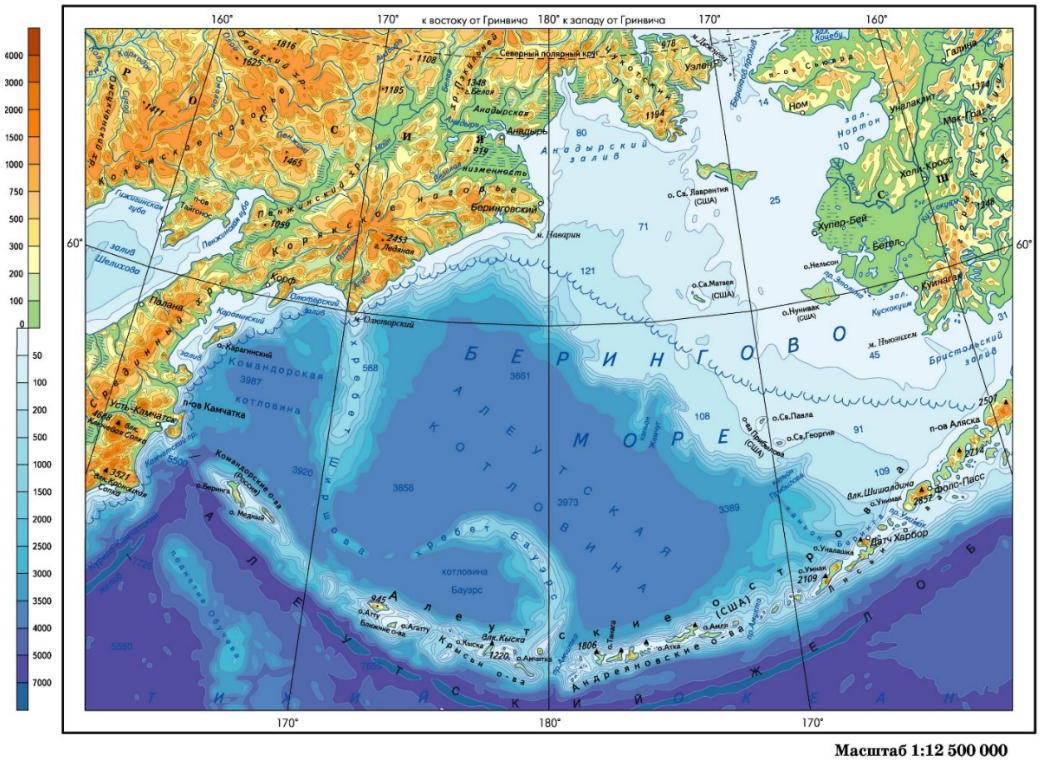


Рис. 4 Карта Берингова моря

1.2.2 Гидрологический режим Берингова моря

Гидрологический режим моря в основном определяется его географическим положением, климатическими условиями и его водообменом с океаном. У побережий существенное значение приобретают, кроме того, материковый сток, приливо-отливные явления и конфигурация береговой черты [13].

Материковый сток в Берингово море невелик и составляет около 400 км3 за один год. Самые большие реки, которые несут свои воды в море, – это Юкон, Кускоквим и Анадырь [4].

Под водными массами обычно понимают сравнительно большие объемы вод. В целом, вся толща вод глубоководной части моря летом четко разделена на четыре слоя: поверхностный, холодный промежуточный, теплый промежуточный и глубинный:

- Поверхностная водная масса: температурой 7-10 °С на поверхности и 4-6 °С на нижней границе и соленостью около 32-33 ‰.
- Промежуточная беринговоморская водная масса: значения температуры ядра возрастают от +1…-10 на северо-востоке (шельф) - до 3,0-3,5 °С у Алеутских островов.
- Промежуточная тихоокеанская водная масса: соленость варьирует от 33,4 до 34,0 ‰, а температура – от 3,4 до 4,0 °С.
- Глубинная водная масса: максимальные значения солености 34,7 ‰ и минимальные значения температуры около 1,5 °С [13].

На поверхности температура воды понижается с севера на юг, при этом в западной части моря холоднее, чем в восточной. На западе зимой температура равна 2-3 °С, а на востоке 2-3 °С. Летом температура воды на поверхности равна 9—11 °С на юге западной части и 8—10 °С на юге восточной части. В северных районах моря она равна 4—8 °С на западе и 4—6 °С на востоке (Рис. 5).

Вертикальное распределение температуры воды в открытой части моря характеризуется сезонными изменениями до глубин 250-300 м., глубже изменения практически отсутствуют. Зимой до горизонтов 140-150 м. температура равна примерно 2 °С, выше, на горизонтах 200-250 м., повышается приблизительно о 3.5 °С [12].

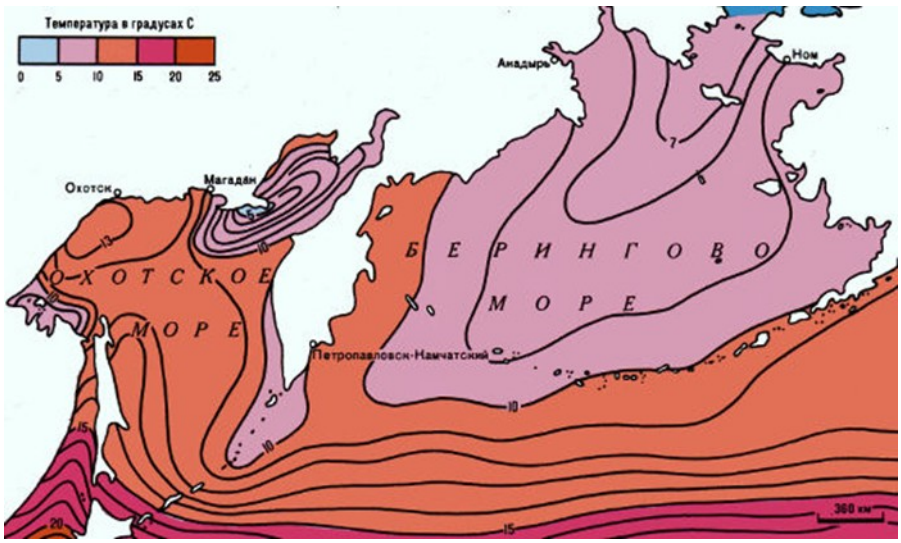


Рис. 5 Горизонтальное распределение температуры Берингова моря летом

Соленость поверхностных вод моря изменяется от 33,0—33,5‰ на юге, до 31,0‰ на востоке и северо-востоке и 28,6‰ в Беринговом проливе (Рис. 6). Наиболее существенное опреснение происходит весной и летом в районах впадения рек Анадырь, Юкон и Кускоквим. Вертикальное распределение солености почти одинаково во все сезоны года. От поверхности до горизонтов 100—125 м она примерно равна 33,2—33,3‰, глубже 250 м. она остается почти неизменной до дна [12].

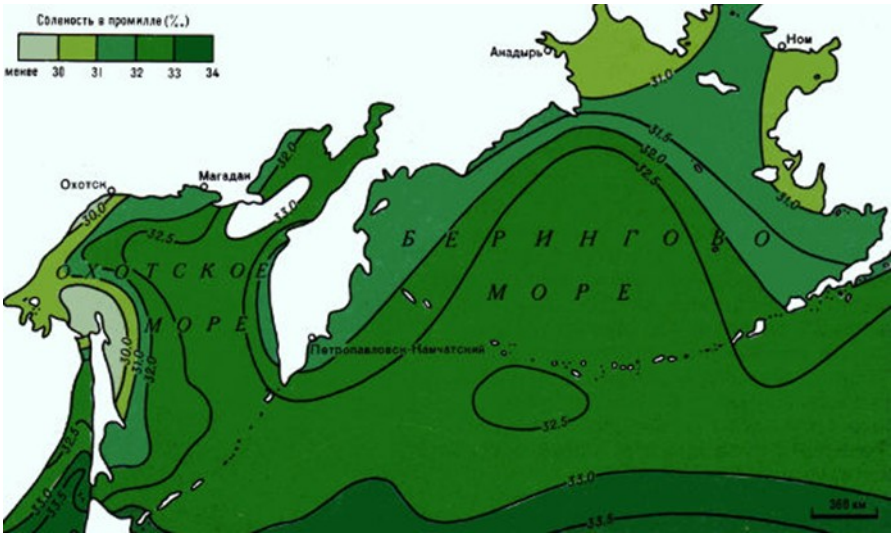


Рис. 6 Горизонтальное распределение солености Берингова моря летом

1.2.3 Метеорологическая обстановка в Беринговом море

Южная и западная части характеризуются прохладным, дождливым летом с частыми туманами и сравнительно теплыми, снежными зимами. Зимы являются экстремальными в северной и восточной частях, с температурами от -35 до -45 °C и сильными ветрами. Лето на севере и востоке прохладное, со сравнительно низкими осадками. Годовое количество осадков в южной части моря составляет более 1000 миллиметров. Январь и февраль - самые холодные месяцы, июль и август - самые теплые [23].

1.3 Описание промыслового вида и место обитания

1.3.1 Минтай. Биология и общие сведения

Минтай (Theragrachalcogramma) – придоннопелагическая холодолюбивая рыба семейства тресковых. Обитает как на мелководьях от 30 до 100 м., так и в эпипелагиали глубоководных котловин свыше 2000-3000 м. Обитает в водах как с положительной, так и с отрицательной температурой. Скопления обычно образуются в водах с температурой от -1 до 5 °C. Также локальные стада могут отличаться особенностями экологии и темпом роста. Ареал минтая обширен: азиатское побережье — в Японском, Охотском и Беринговом морях; американское побережье — Берингово море, залив Аляска, залив Монтерей; океанские воды — до Сангарского пролива, южнее встречается редко. Минтай — наиболее распространённая рыба в северной части Тихого океана и является самым массовым видом тресковых (Рис. 7) [15, 20].

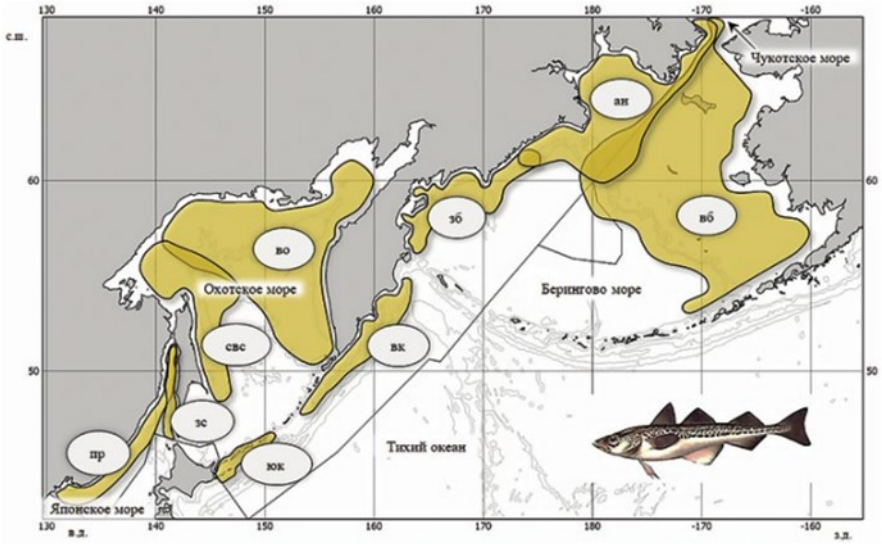


Рис. 7 Ареал минтая [15]

Тело минтая прогонистое, голова небольшая, нижняя челюсть выдается вперед, на подбородке короткий усик. Начало анального плавника начинается позади вертикали переднего, а хвостовой плавник слабо выемчатый, полулунный, брюшные плавники находятся перед грудными. Боковая линия с резким изгибом, после, прерывистая. Тело покрыто мелкой чешуей серебристого цвета, которая в области спины выглядит зеленовато-серой с темными пятнами. На голове, как и на теле рыбы, можно заметить темные пятна округлой формы. Для минтая характерны большой рот и крупные глаза, которые приспособлены для жизни на глубине в условиях недостаточного освещения (рис. 8) [15, 18].

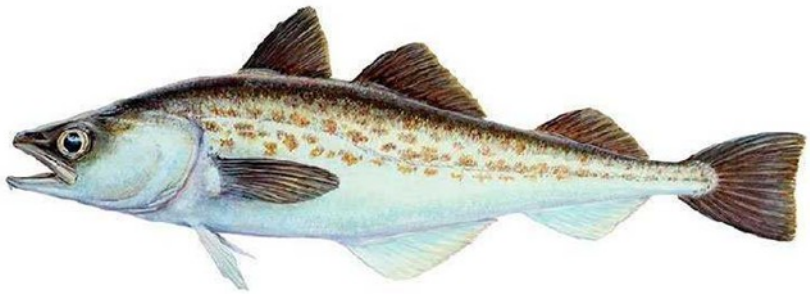


Рис. 8 Минтай

Средние особи в длину достигают 30–42 см, масса тела не превышает 1,5 кг. Продолжительность жизни – до 15 лет. Минтай – рыба быстрорастущая, уже

на втором году жизни молодые особи вырастают в длину до 20 см. Половозрелой рыба становится в возрасте 3–4 лет. К этому времени минтай становится пригодным для промысла [18].

Нерестится минтай в основном в прибрежной зоне на глубинах 50-200 м., где стационарные круговороты предотвращают вынос икры. В Охотском и Беринговом морях нерест может идти даже подо льдом. Нерестовый сезон обычно продолжается от трех до семи месяцев, при этом в разных морях периоды нереста различны (Таблица 1). Плодовитость от 38 до 540 тыс. икринок, но может достигать и 1 млн [20].

Таблица 1 Периоды нереста минтая в различных регионах Тихого океана

Районы нереста	Периоды нереста	Сроки массового нереста
Берингово море	Январь—июль	Март—май
Залив Аляска	Февраль—июнь	Март—апрель
Восточная Камчатка	Февраль—май	Апрель—май
Западная Камчатка	Февраль—май	Март—апрель
Северо-западная часть Охотского моря	Март—июнь	Апрель—май
Восточный Сахалин	Апрель—июль	Май—июнь
Курильские острова	Февраль—июнь	Март—апрель
Татарский пролив	Февраль—май	Март—апрель
Залив Петра Великого	Октябрь—июнь	Ноябрь—декабрь Март—апрель
Северная Корея	Октябрь—апрель	Ноябрь—декабрь

В уловах преобладают рыбы длиной 30-50 см., но также длина может достигать 80-85 см. Масса обычно составляет 300-700г., но у отдельных особей доходит до 4.8 кг. Темп роста снижается на 3-4 году жизни, в возрасте 8 лет прирост массы начинает уменьшаться, а затем резко падает [20].

По мере роста минтай начинает питаться более крупной добычей – мелкими рыбами (мойвой, азиатской корюшкой) и кальмарами. Также как и другие представители тресковых, минтай может питаться мальками и икрой своего вида [18].

1.3.2 Промысел минтая в России

В пределах российских вод относительная биомасса минтая, как в прошлом (1935-2009 гг.), так и на современном этапе (2010-2025 гг.), достигает наибольших величин в Охотском море (соответственно 62,2% и 63,3%). Из общего количества, добытого в 2010–2020 гг. минтая (18 218,5 тыс. т) в Охотском море добыто 11260,2 тыс. т (61,8 % суммарного улова), в Беринговом море — 3931,4 тыс. т (21,6 %), в прочих районах промысла 3026,9 тыс. т (16,6 %). Однако в последние 26 лет запасы данного вида увеличились в Беринговом море и сопредельных водах (тихоокеанские воды Камчатки, западная часть Чукотского моря), что отразилось на общем соотношении его ресурсов по всему Дальневосточному бассейну (Тресковые рыбы дальневосточных морей и тихоокеанских вод Камчатки и Курильских островов: запасы и перспективы промысла) [10, 15].

В последние годы рыбаки перевыполняют плановые показатели вылова и производства продукции из минтая. Например, совокупный результат промысла судов Русской Рыбопромышленной Компании в 2020 году превзошел прошлогодний почти на 10 тыс. т. [18]. В 2024 году общий российский вылов минтая составлял 2.0 млн. тонн, в 2025 – 2.15 млн. тонн [22].

Глава 2. Материалы и методы.

2.1 Оценка временной изменчивости запасов и уловов минтая в Охотском и Беринговом морях.

Датский А.В.: «Вследствие региональных особенностей исследуемых акваторий северо-западной части Тихого океана и различающихся условий обитания рыб в них, общая динамика обилия минтая естественным образом не отражает флюктуации численности отдельных популяций морских рыб» (Рис. 9) [10].

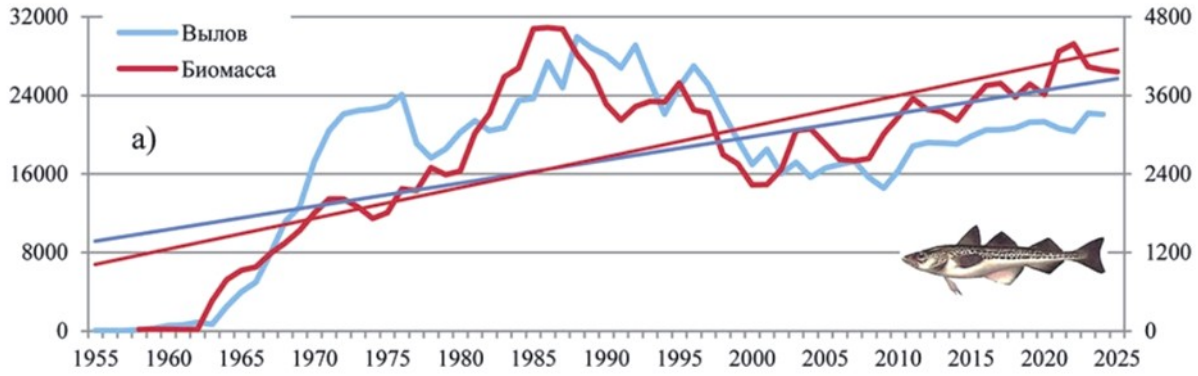


Рис. 9 Суммарная биомасса и вылов минтая в Дальневосточном бассейне [10].

Левая шкала - биомасса, правая вылов в тыс. тонн

Так, в 1970-е гг. наблюдались довольно высокие значения биомассы западноберинговоморской и восточнокамчатской популяций минтая, у Северо-Восточного Сахалина и Приморья. В 1980-е гг. наибольшие значения обилия показали восточно-, западноберинговоморская, южнокурильская и восточноохотоморская популяция, а также приморский минтай.

С начала 2000-х гг. и по настоящий момент максимальное обилие данного вида выявлено у анадырско-наваринской, восточнокамчатской и восточноохотоморской популяций, прочие популяция, за исключением рыб из восточной части Берингова моря, находятся на своём минимуме [1].

При рассмотрении суммарной биомассы и вылова минтая выделяется рост вплоть до второй половины 80-х годов, который приходится на становление минтая массовым промысловым видом. После пика, наблюдается падение, которое было спровоцировано чрезмерными выловами и небольшой

урожайностью поколений. В 2010-х годах и после снова наблюдается постепенный рост биомассы.

Важнейшее значение для российского промысла имеет минтай Охотского моря, он обеспечивает в среднем около 20 и 42 % общего вылова водных биологических ресурсов, соответственно, в ИЭЗ РФ и Дальнего Востока, что делает его одним из важнейших стратегических ресурсов России [1].

В качестве исходных данных использовались данные о биомассе (запасы) и вылове двух популяций минтая в Охотском и Беринговом морях [10].

В работе были рассмотрены ряды запасов и уловов охотоморского минтая с 1963 по 2024 год и беринговоморского минтая (западная часть Берингова моря, Российские воды) с 1969 по 2024 год. Также имеются данные о запасах двух популяций минтая за 2025 год, которые были использованы в качестве проверки качества прогнозов [10].

Анализ рядов показал, что средние значения биомассы и уловов минтая в Охотском и Беринговом морях значительно различаются (рис. 10). Так в Беринговом море за период с 1963 по 2024 год средняя величина запасов составляет 3215.7 тыс.т., а выловов 522.5 тыс.т. В Охотском же море величины запасов и уловов в 2.5 и 2 раза выше, средняя величина биомассы – 8136.4 тыс.т., выловов – 1019.6 тыс.т.

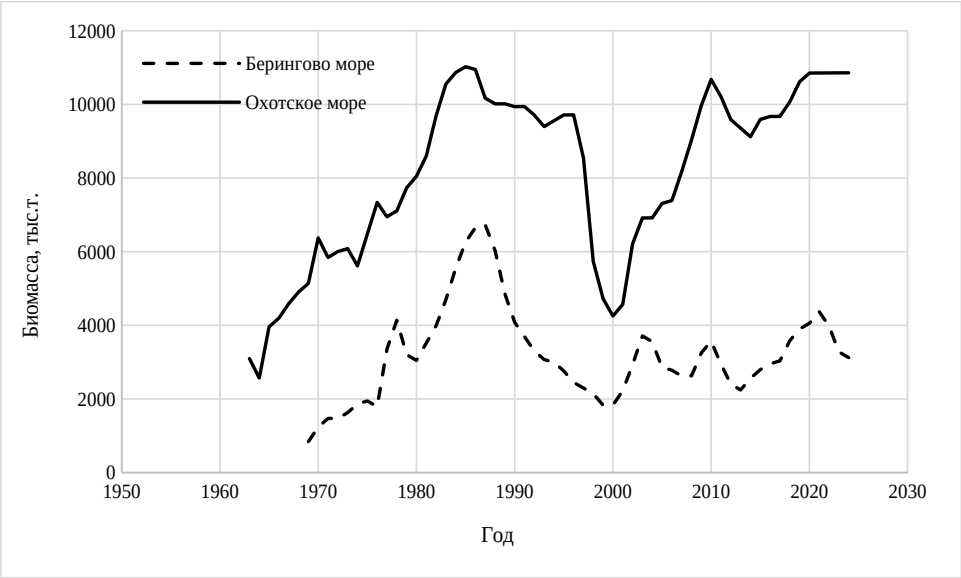


Рис. 10 Динамика запасов охотоморского и беринговоморского минтая

На графиках видно, что отслеживание количества вылова и запасов минтая началось с 1963 года в Охотском море и с 1969 года в Беринговом море.

Оценивая динамику запасов охотоморского минтая (Рис. 10), можно сделать следующие выводы: С 1963 года по 1985 год наблюдался стремительный рост запасов с 3096.6 тыс.т. до 11025.3 тыс.т., при этом в 1974 году наблюдалось небольшое понижение запасов до 5615.6 тыс.т., в 1985 году был достигнут максимум запасов минтая в Охотском море за весь рассматриваемый период. До 1996 года наблюдалось постепенное снижение биомассы до 9715.7 тыс.т. и в 2000 году было резкое уменьшение численности до 4253.9 тыс.т., что можно объяснить тем, что поколения, появившиеся во второй половине 90-х годов, были низкочисленными, также в то время происходили изменения климатических эпох, что привело к снижению общей биопродуктивности Охотского моря. [2] После, до 2011 года снова наблюдался рост биомассы, ее количество выросло до объемов 1980-90х годов практически до 11 млн. тонн.

Динамика запасов Беринговоморского минтая схожа с Охотоморской популяцией. С 1969 года по 1987 год наблюдается повышение запасов с 841.4 тыс.т. по 6731.7 тыс.т., в этот период был достигнут максимум количества биомассы. После этого, как и в Охотском море наблюдался спад до 2000 года до 1832.2 тыс.т., что обусловлено вышесказанными причинами. В последующие наблюдался рост запасов с периодическими понижениями, но максимальных значений второй половины 80х годов достигнуто не было. В настоящее время наблюдается снижение биомассы с 4368.2 тыс.т. в 2021 году до 3123.4 тыс.т. в 2024 году.

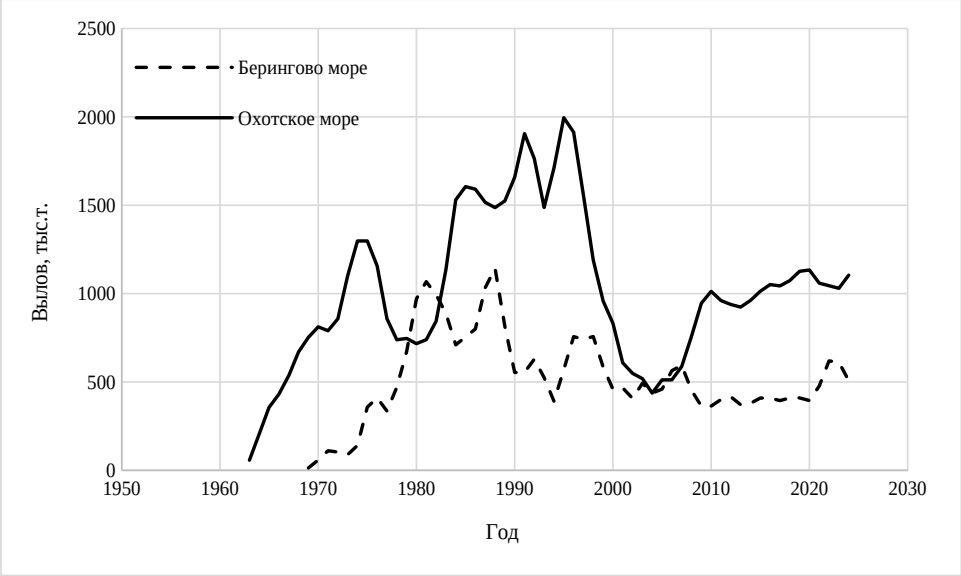


Рис. 11 Динамика выловов охотоморского и беринговоморского минтая

По данному графику (Рис. 11) видно, что динамика вылова двух популяций минтая за указанный период колеблется, но при этом в общих чертах совпадает с данными по запасам (Рис. 10).

Выловы охотоморского минтая с 1963 года достаточно быстро росли до 1975 года и с 56.99 тыс.т. выросли до 1297.76 тыс.т., но несмотря на продолжающееся увеличение биомассы в 1979-80-х годах наблюдается резкое уменьшение вылова до 739 тыс.т. После этого произошло увеличение выловов, и в 1995 они достигли своего максимума в 1995.1 тыс.т. В начале двухтысячных наблюдается второй, максимальный, спад вылова, когда в 2004 году вылов составил всего 436.84 тыс.т., что связано с резким уменьшением количества запасов минтая в эти годы (Рис. 10). В 2011 году вылов поднялся до 960 тыс.т. и остается в районе 1000 тыс.т. до настоящего времени.

Выловы беринговоморского минтая также достаточно хорошо отражают динамику его биомассы. Так с 1969 года по 1981 год объемы выловов повысились с 13.21 тыс.т. до 1067.4 тыс.т., и уменьшившись в 1985 году до 709.7 тыс.т. снова повысились и достигли максимума в 1143.18 тыс.т. в 1988 году. И несмотря на то, что уменьшение биомассы минтая со второй половины 1980х годов по начало 2000х было постепенным, объем вылова в 1994 году уменьшился до 390.4 тыс.т. и в 1997-98 годах повысился до 740-750 тыс.т., после, понизился

до объемов 1994 года. С 2009 по 2020 год количество вылова держалось в районе 390 тыс.т., затем немного повысившись в 2024 году вылов снова стал уменьшаться.

2.2 Методы исследования.

Минтай занимает лидирующее положение в промысле Российской Федерации, так в 2025 году минтай занимал 64% среди ключевых объектов промысла в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне.

Для эффективного управления ресурсами и промысла следует понимать динамику запасов вида и объемов вылова. Для расчёта биомассы минтая в данной работе рассматриваются три основных метода: это регрессионная модель, спектральный анализ и модель Шеффера

2.2.1 Корреляционный анализ и регрессионная модель.

При анализе некоторых характеристик или процессов следует установить связь между ними.

Анализ внутренней структуры исследуемого процесса проводится на основе автокорреляции. Автокорреляция – это корреляция статистического ряда самого с собой при разных сдвигах во времени. Знание АКФ (автокорреляционная функция) позволяет выделить скрытые периодичности, оценить степень связности ряда и т.д. [18, 19]

Для проведения автокорреляционного анализа из исходного ряда следует удалить тренд и гармонические колебания. Далее для расчета автокорреляционной функции и построения графика по формуле 1 рассчитываются коэффициенты корреляции на разных сдвигах.

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

Где N – длина реализации, σ – сдвиг, который меняется от 1 до максимума.

После, рассчитываются уровни значимости ($r_{кр}$) по формуле (2), которые наносятся на график в положительной и отрицательной областях.

$$|r(\tau)|>t_{кр}\sigma_{r(\tau)}\#(2)$$

$$\sigma_{r(\tau)} = \frac{1}{\sqrt{N - \tau - 1}} \#(3)$$

Где N – длина реализации, τ – сдвиг АКФ; tkp (α,ν= N-τ-1) – критерий Стьюдента, при α=0.05. При этом σ вычисляется по формуле (3).

Рассчитав коэффициенты корреляции, формулируется уравнение авторегрессии АР1 (формула (4)).

$$AP1: \; X_{i+n} = a X_i + b \#(4)$$

Восстановление ряда и прогноз рассчитываются по формуле (5).

$$X_{i+n} = AP1 + Tr + G \#(5)$$

Где X_{i+n} – прогноз характеристики на шаге i+n, АР1 – авторегрессия, Tr – трендовая составляющая, G – гармоники.

Взаимнокорреляционный анализ считается по тому же принципу за исключением того, что не требует удаления тренда и гармонических колебаний. При взаимно корреляционном анализе оценивается связь параметров при их взаимодействии. Определение корреляции звучит следующим образом: взаимная корреляция (кросскорреляция) – это корреляция двух статистических рядов друг с другом при разных сдвигах во времени.

Коэффициент корреляции считается по формуле (6), а уровни значимости по формуле (2).

$$r(\pm\tau) = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y (N - 1 - |\tau|)} \sum_{i=1}^{N-|\tau|} (x_i - \bar{x})(y_{i+\tau} - \bar{y}) \#(6)$$

После выполнения автокорреляционного анализа и кросскорреляции рассчитывается множественная линейная регрессия (МЛР) и строится прогноз.

МЛР рассчитывается для определения связи исследуемой характеристики с несколькими другими. Общее уравнение регрессии для этих переменных можно записать в следующем виде:

$$y_i = b_0 \sum_{j=1}^{m} b_j x_{ij} + \varepsilon_i = b_0 + b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + \ldots + b_m x_{im} + \varepsilon_i \#(7)$$

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

Малинин В.Н.: «Нетрудно видеть, что МЛР представляет собой обобщение линейной регрессии двух переменных на многомерный случай. Однако, если парная регрессия имеет четкую геометрическую интерпретацию, то для МЛР сделать это практически невозможно, так как для многомерного пространства не существует аналогичной интерпретации» [16].

Для данной работы уравнение 7 было записано в следующем виде:

$$Y_{i+2} = a_1 X_{i1} + a_2 X_{i2} + a_3 X_{i3} + b \#(8)$$

Где Y_{i+2} – прогноз зависимой переменной, а X_{i1}, X_{i3}, X_{i3} – независимые переменные на предыдущем шаге.

2.2.2 Спектральный анализ.

Вторым методом, используемым для восстановления ряда и прогнозирования запаса, является спектральный или гармонический анализ.

В основе гармонического анализа лежит идея, что любой ряд можно разложить без остатка в ряд Фурье, т.е. на конечное число гармоник. Гармониками называются тригонометрические функции, имеющие периоды, кратные длине ряда, т.е. каждая гармоника целое число раз «укладывается» в длину исходного ряда [8].

Для исследования внутренней структуры ряда следует удалить тренд, после удаление единственными крупными составляющими останутся циклические.

Гармоники рассчитывались по следующей формуле:

$$G_k = A_k \cos(\omega_k t - \varphi_k) \#(9)$$

$$\omega_k = \frac{2\pi}{T_k} \#(10)$$

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.

Для определения основных характеристик гармоник следует найти коэффициенты Фурье по формулам 11 и 12.

$$a_k \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{N} \left[x_i \sin\left(\omega_k t_i\right) \right] \#(11)$$

$$a_k \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{N} \left[x_i \cos\left(\omega_k t_i\right) \right] \#(12)$$

Где x_i – исходный ряд; N – длина ряда; ω_k – частота k-той гармоники; ti – ряд времени ti = i, i = 1,2, 3…N.

Характеристики гармоник определяются по следующим формулам:

Амплитуда гармоники:

$$A_k \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \#(13)$$

Фаза гармоники:

$$\varphi_k = arctg \frac{a_k}{b_k} \#(14)$$

Дисперсия гармоники:

$$D_k = \frac{A_k^2}{2} \#(15)$$

Вклад гармоники в общую длину ряда:

$$V_k = \frac{D_k}{D_y} \#(16)$$

Где D_y – дисперсия исходного ряда

2.2.3 Модель Шеффера.

Модель Шеффера в данной работе является третьим рассматриваемым методом. Это наиболее простая продукционная модель, основанная на рядах запасов вида и промысловой и естественной смертности.

В данной модели предполагается, что эксплуатируемая популяция стремится к стабилизации, то есть стремится к такому состоянию, когда общий прирост будет равен объему вылова. Такой улов называется уравновешенным. Концепция уравновешенного улова легла в основу построения модели Шефера.

Помимо биологических и промысловых данных эта модель не требует никаких других. Рассматривается один изолированный вид с биомассой P = P(t), где t — это время, под P может пониматься как биомасса общей, так и промысловой или нерестовой части популяции. Исходное уравнение имеет вид:

$$\frac{dP}{dt} = P(A - BP) - qfP \#(17)$$

Где коэффициент A отвечает за воспроизводство, а коэффициент B за естественную смертность. Данные параметры определяются только внутренними свойствами популяции, т.е. при отсутствии промысла биомасса возрастает с течением времени, стремясь к предельной величине (A/B).

q – коэффициент улавливаемости, f – мгновенное промысловое усилие, а qfP – улов в единицу времени.

Запишем уравнение модели в виде:

$$\frac{dP}{dt} = (A - BP)P - U \#(18)$$

Где U=CP — это промысловая смертность или улов, тогда C будет представлять собой коэффициент промыслового изъятия.

Если за ряд предшествующих лет для рассматриваемого вида определены коэффициенты A, B, и известен годовой улов CP для уравнения (18), то решение задачи прогноза становится возможным.

Уравнения для коэффициентов A и B, полученные методом наименьших квадратов по исходным рядам запасов и уловов вида, можно записать в виде:

$$A = \frac{1}{N}\left(B\sum_{i=2}^{n} P_i + \sum_{i=2}^{n} C_i + \sum_{i=2}^{n} K_i\right) \#(19)$$

$$B = \frac{\sum_{i=2}^{n} P_i \sum_{i=2}^{n} C_i + \sum_{i=2}^{n} P_i \sum_{i=2}^{n} K_i - N\sum_{i=2}^{n} P_i C_i - N\sum_{i=2}^{n} P_i K_i}{\sum_{i=2}^{n} P_i^2 - \sum_{i=2}^{n} P_i \sum_{i=2}^{n} P_i} \#(20)$$

Таким образом, рассчитав коэффициенты A и B, уравнение (17) можно превратить в инструмент прогноза.

В работе для восстановления ряда и прогноза использовалось проинтегрированное уравнение (18), которое в результате выглядит как:

$$P(t) = \frac{P_0(A - C)}{BP_0 - (BP_0 - A + C)\exp(-t(A - C))} \#(21)$$

Далее для прогнозирования запаса необходимо выбрать возможный коэффициент промыслового изъятия. Коэффициент промыслового изъятия

подбирается так, чтобы при прогнозировании биомасса возрастала, убывала и оставалась на том же уровне. Прогноз целесообразен не более чем на 3-4 шага.

Глава 3. Результаты расчётов

3.1 Взаимнокорреляционный анализ

Сначала для проверки возможной взаимосвязи запасов двух популяций между собой был произведен взаимнокорреляционный анализ (Рис. 12).

Оказалось, что две популяция связаны между собой как синхронно, так и на первых пяти сдвигах, т.е. наблюдаются значимые коэффициенты ВКФ. Например, на сдвиге 2 года коэффициент корреляции равен 0.64 при зависимости охотоморского минтая от беринговоморского, и 0.51 при обратной зависимости.

При этом данные популяция не влияют на популяции друг друга и не совершают масштабных миграций из одного моря в другое. Но данную зависимость можно объяснить схожестью в динамике запасов популяций (Рис. 10), о чем говорилось в Главе 2.

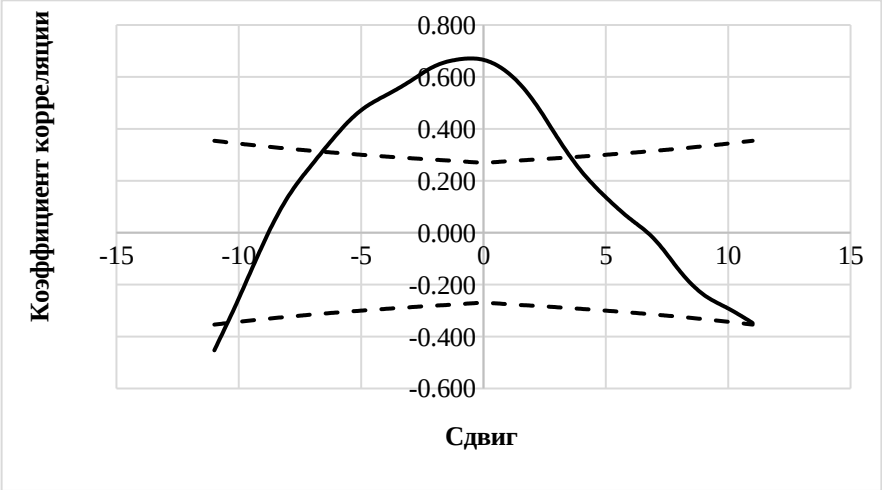


Рис. 12 Взаимнокорреляционная функция запасов охотоморского минтая и запасов беринговоморского минтая. Слева зависимость охотоморского от беринговоморского, справа - беринговоморского от охотоморского

3.2 Автокорреляционный анализ

Для выявления корреляции ряда запасов минтая от самого себя и возможности использования его в качестве предиктора был произведен автокорреляционный анализ. Для его выполнения из исходного ряда были удалены тренд и гармонические колебания.

Так на графике автокорреляционной функции для охотоморской популяция видно, что на сдвиге 1 год коэффициент корреляции равен 0.84, а на

сдвиге 2 года 0.54 (Рис. 13). После этого, выбрав сдвиг 2 года было сформулировано уравнение авторегрессии (АР1):

$$AP1:\ P_{i+2} = 0.87\,P_i + (-277.5)$$

Где P_{i+2} – прогнозируемое значение запасов на шаге i+2, а P_i – значение запасов минтая на i шаге.

После расчета модели АР1, было произведено восстановление ряда, расчет прогноза (Формула (5)) и собран временной ряд и построен график смоделированных значений запасов минтая и фактических (Рис. 14). Рассматривая график, видно, что рассчитанные значения хорошо описывают фактические, а обеспеченность равна 80%. Оценка качества восстановления производилась сравнением ошибки восстановления (прогноза) с 0.67СКО (стандартным отклонением ряда запаса)

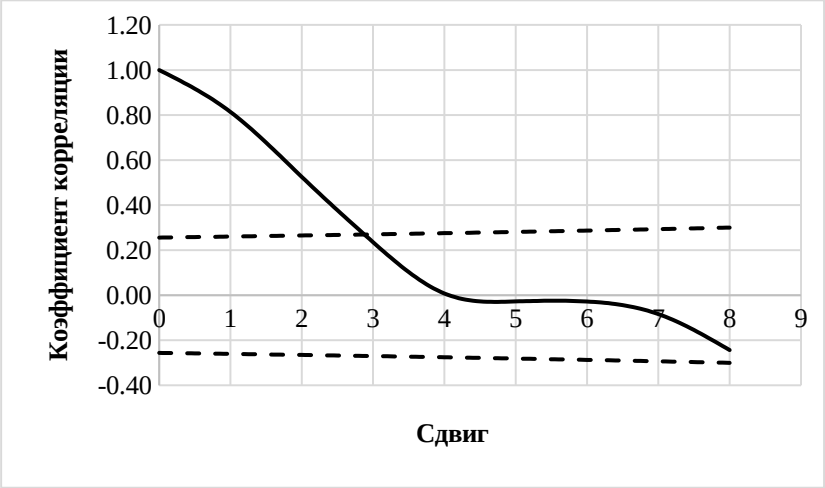


Рис. 13 Автокорреляционная функция межгодовой изменчивости запасов охотоморской популяция минтая

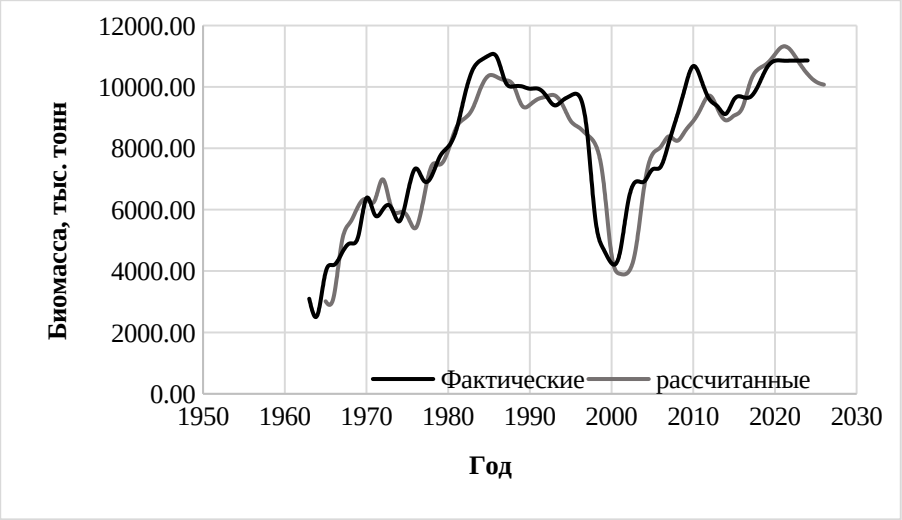


Рис. 14 Временной ход фактических запасов и рассчитанных по уравнению AP1 для охотоморской популяция минтая

Для ряда запасов беринговоморской популяция минтая были произведены те же действия, что и для охотоморской популяция.

Коэффициент корреляции на сдвиге 1 год равен 0.76, на сдвиге 2 года 0.26 (Рис. 15). Также сформулировано уравнение авторегрессии:

$$P_{i+2} = 0.23\,P_i + (26.1)$$

При этом построив график смоделированных запасов видно, что данные значения достаточно хорошо описывают исходный ряд, а обеспеченность равна 90% (Рис. 16).

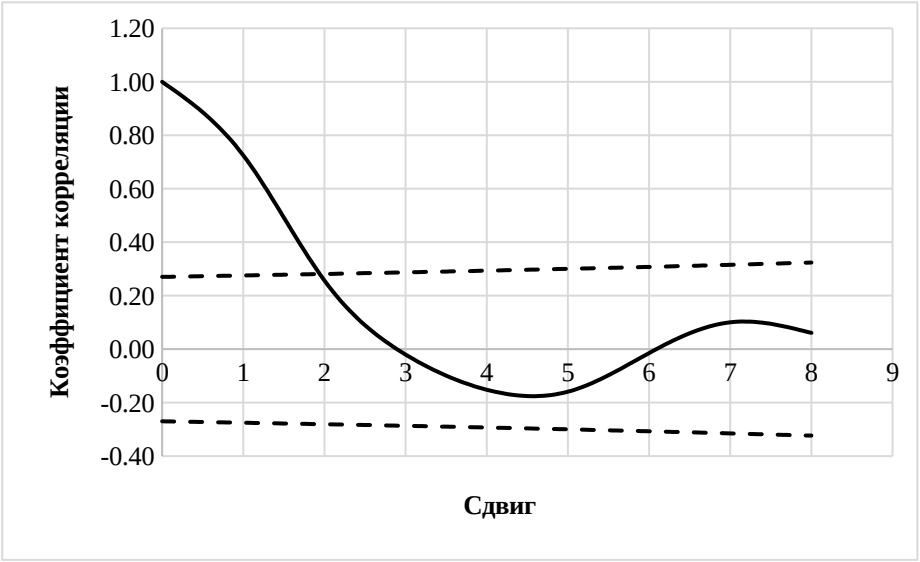


Рис. 15 Автокорреляционная функция межгодовой изменчивости запасов беринговоморской популяция минтая

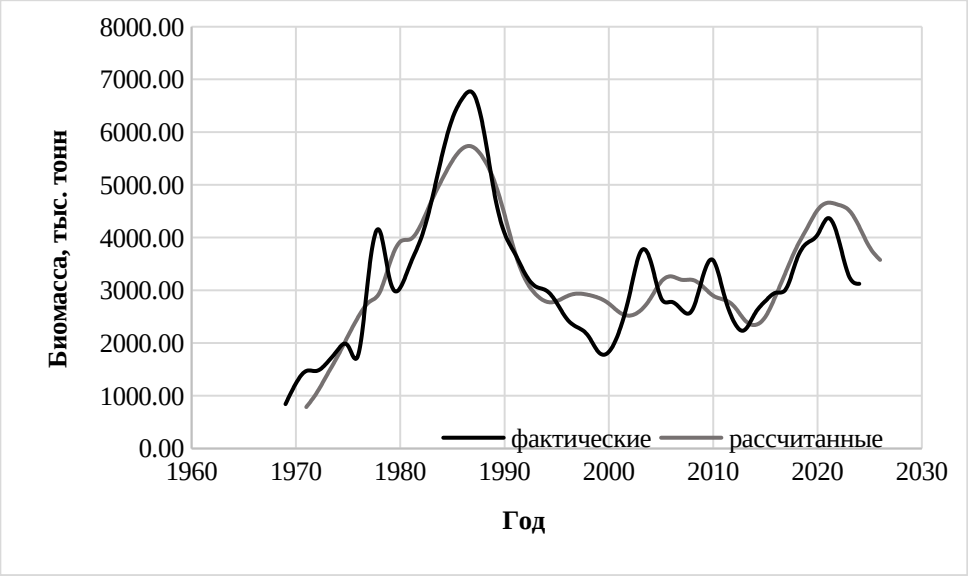


Рис. 16 Временной ход фактических запасов и рассчитанных беринговоморской популяция минтая

Исходя из полученной информации следует вывод, что взаимосвязь ряда с самим собой присутствует и использование самих запасов как предиктор возможно.

3.3 Множественная линейная регрессия (МЛР).

Предикторами для прогноза запасов минтая охотоморской популяция были выбраны температура воды на севере Охотского моря в координатах 152° в.д. 58° с.ш., охотский индекс и значения самих запасов. Температура воды в точке была получена из Библиотеки климатических данных (IRI Data Library) [24] охотский индекс взят на сайте ТИНРО [19]. Охотский индекс характеризует интенсивность сезонной области высокого давления, формирующейся над Охотским морем в период с мая по август. В работе используется усреднённое значение индекса за данный период.

Были рассмотрены коэффициенты корреляции исходного ряда запасов с тремя предикторами на разных сдвигах (Таблица 2), так можно увидеть, что лучшая корреляция наблюдается на сдвигах 1 и 2 года. На сдвиге 1 коэффициент корреляции с охотским индексом равен 0.213, с температурой 0.522, а с предыдущим значением запасов 0.958. На сдвиге 2 у охотского индекса наибольшая корреляция, равная 0.233, у температуры и запасов значения

коэффициентов снизились до 0.472 и 0.874. На основе полученной информации было решено рассмотреть коэффициент корреляции исходного ряда биомассы сразу с тремя предикторами на первых двух сдвигах.

Таблица 2 Коэффициенты корреляции запасов охотоморского минтая с выбранными предикторами

сдвиг	индекс	температура	запасы
1	0.213	0.522	0.958
2	0.233	0.472	0.874
3	0.186	0.361	0.770
4	0.111	0.262	0.658
5	0.008	0.246	0.563

После проведения расчетов коэффициент корреляции как на сдвиге 1 год, так и на сдвиге 2 года оказался достаточно высоким. Так в первом случае он равен 0.95, во втором 0.87. И как было сказано ранее, что оба коэффициента значительны, было принято решение использовать сдвиг в 2 года для повышения заблаговременности.

После выбора сдвига (2 года) было сформулировано уравнение модели:

$$P_{i+2} = 0.826\, I_i + (-100.2)\, T_i + (-2.84)\, P_i + 4897.8$$

Где P_{i+2} – прогнозируемое значение запасов на шаге i+2, I_i – охотский индекс на i шаге, T_i – температура воды на i шаге, P_i – значение запасов минтая на i шаге.

После расчета модельных значений запасов был построен график временной изменчивости фактических и модельных значений (Рис. 17). Рассчитанная модель в большинстве повторяет ход фактических значений со сдвигом в 2 года (выбранным ранее). Прогноз же показывает уменьшение запасов с 10857 тыс. тонн в 2024 году до 10592 тыс. тонн в 2025 году и 10614 тыс. тонн в 2026 году (Рис. 18).

Обеспеченность метода составила 91,67%, что говорит о хорошем качестве модели и описании ей исходного ряда. Количество оправдавшихся прогнозов составило 55 из 60, с учетом 0.67СКО равного 1578 тыс. тонн.

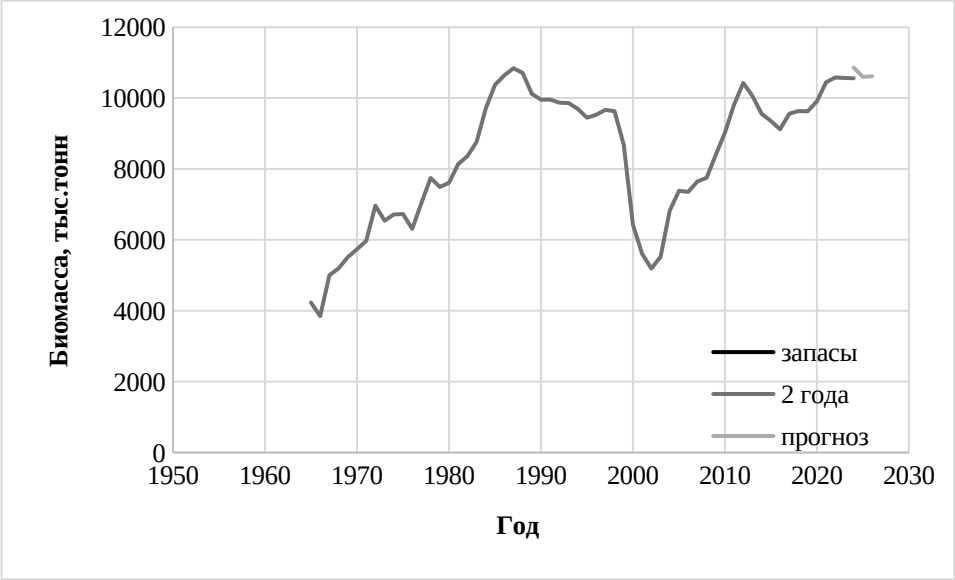


Рис. 17 Совмещенный график фактических значений запасов минтая Охотского моря и рассчитанных

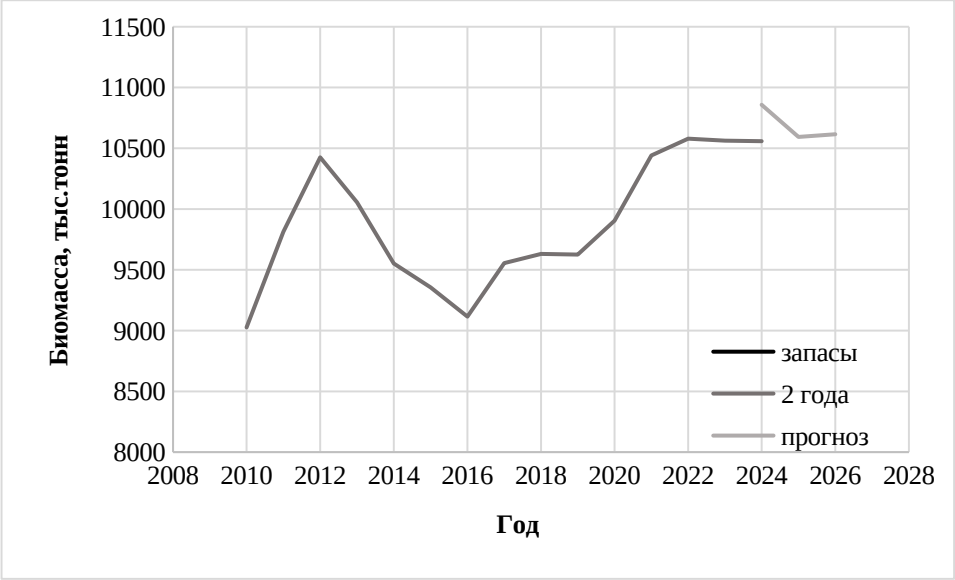


Рис. 18 График фактических значений запасов минтая Охотского моря и рассчитанных за период 2010-2024 гг. Показан прогноз запасов на 2025-2026гг.

Для расчета модели запасов беринговоморской популяция предикторами были выбраны сами значения запасов на предыдущем шаге, температура воды и Тихоокеанское десятилетнее колебание (Pacific decadal oscillation (PDO)). Температура воды была также как и для охотоморского

минтая была получена из Библиотеки климатических данных (IRI Data Library) в координатах 174° в.д. 61° с.ш., Тихоокеанское десятилетнее колебание получено на сайте NOAA [26]. Тихоокеанское десятилетнее колебание — долговременная закономерность в изменчивости климата в Тихоокеанском регионе, сходная с более известной Южной осцилляцией, или Эль-Ниньо. Для работы данные были осреднены до среднегодовых.

Как и для охотоморской популяция были рассмотрены коэффициенты корреляции для различных сдвигов отдельно для каждого предиктора (Таблица 3). И также рассчитаны коэффициенты корреляции запасов беринговоморской популяция сразу с тремя предикторами для двух сдвигов: 1 год и два года. Получены коэффициенты 0.93 со сдвигом 1 год и 0.77 со сдвигом 2 года для ряда запаса. Было принято решение использовать сдвиг 2 года, несмотря на меньший коэффициент корреляции, с учетом не только повышения заблаговременности прогноза, но и использования данного сдвига для расчетов охотоморской популяция.

Таблица 3 Коэффициенты корреляции запасов беринговоморского минтая с выбранными предикторами

сдвиг	PDO	температура	запасы
1	0.379	0.101	0.922
2	0.350	0.078	0.764
3	0.328	0.092	0.608
4	0.338	0.094	0.448
5	0.322	0.114	0.294

Далее также было сформулировано уравнение модели со сдвигом 2 года:

$$P_{i+2} = 0.695\,PDO_i + (-57.15)\,T_i + 141.8\,P_i + 1309.9$$

Где P_{i+2} – прогнозируемое значение запасов на шаге i+2, PDO_i – Тихоокеанское десятилетнее колебание на i шаге, T_i – температура воды на i шаге, P_i – значение запасов минтая на i шаге.

На построенном графике временной изменчивости фактических запасов и модельных значений (Рис.19) видно, что модель описывает также хорошо фактические значения с небольшим сдвигом вправо. Прогноз показывает уменьшение запасов с 3123 тыс. тонн в 2024 году до 2973 тыс. тонн в 2025 году и 2878 тыс. тонн в 2026 году (Рис. 20).

Обеспеченность метода для беринговоморского минтая составила 74%, на основании чего можно сделать вывод, что модель достаточно неплохо описывает исходный ряд. Количество оправдавшихся прогнозов составило 40 из 54, с учетом 0.67СКО отклонения равного 870 тыс. тонн.

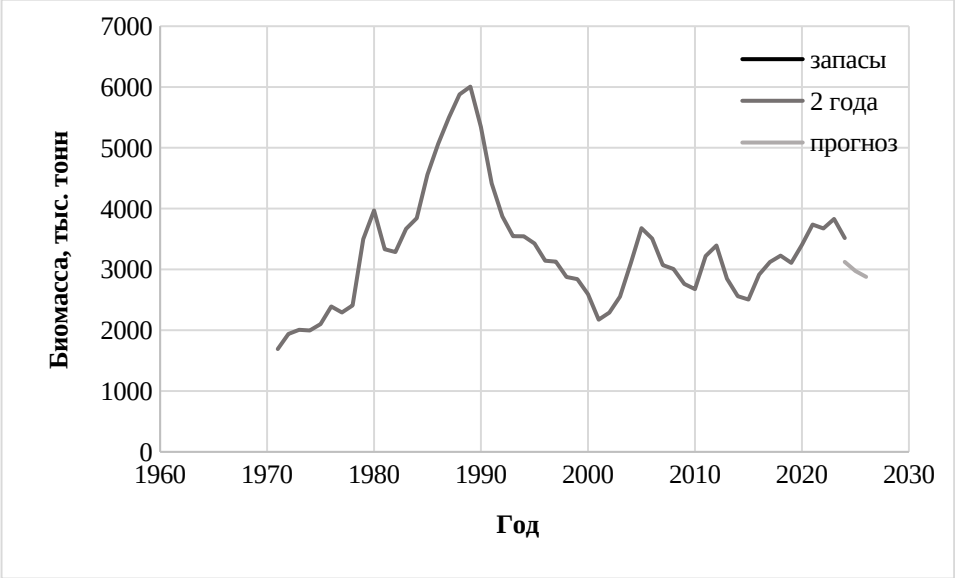


Рис. 19 Совмещенный график фактических значений запасов минтая Берингова моря и рассчитанных

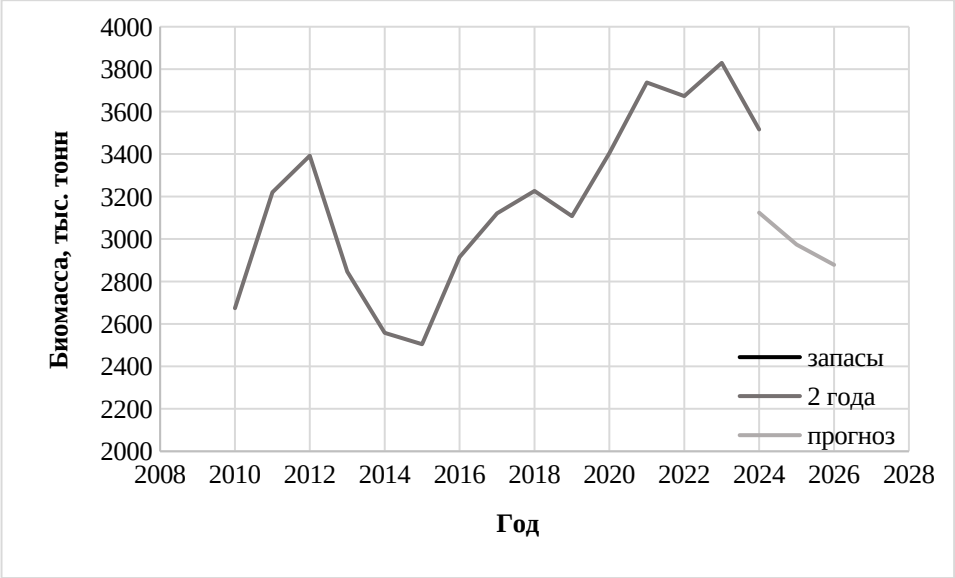


Рис. 20 График фактических значений запасов минтая Берингова моря и рассчитанных за период 2010-2024 гг. Показан прогноз запасов на 2025-2026 гг.

3.4 Спектральный анализ

В качестве второго метода был использован спектральный анализ. Для его осуществления из исходного ряда запасов минтая обеих популяций был удален нелинейный тренд для получения ряда отклонений, и после выделены гармоники.

Для популяции охотоморского минтая были выделены 3 значимые гармоники с периодами 41 год, 18 лет и 12.5 лет (Рис. 21). Гармоника с периодов 41 год вносит наибольший вклад в ряд отклонений от тренда, который равен 61.7%, фаза этой гармоники равна 21 году (Таблица 4) и амплитуда самая большая. Остальные же гармоники имеют меньший вклад 5.6% и 1.1% соответственно.

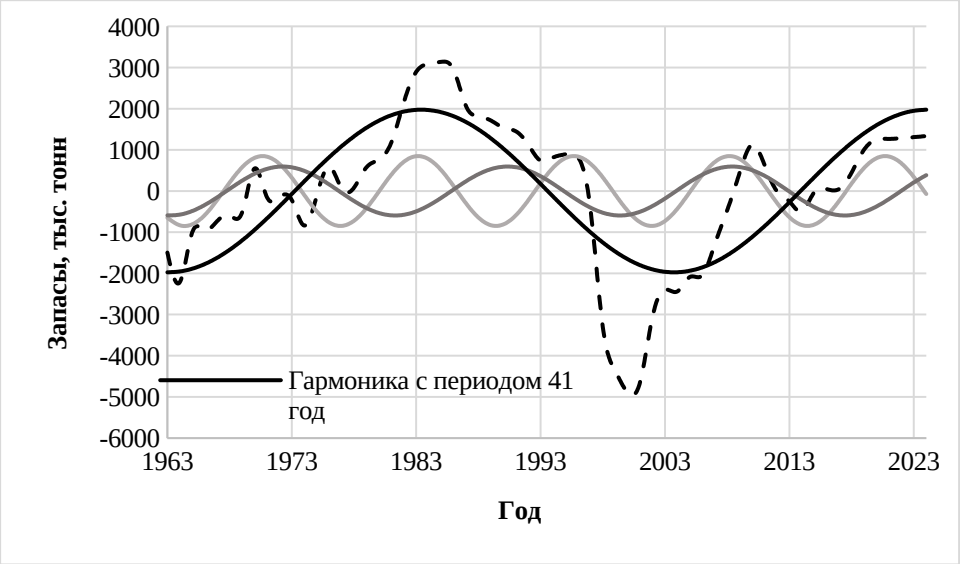


Рис. 21 Совмещенный график гармоник и ряда отклонений охотоморского минтая

Таблица 4 Основные параметры гармоник для ряда отклонений охотоморского минтая

Параметры гармоник	Гармоника с периодом 41 год	Гармоника с периодом 18 лет	Гармоника с периодом 12.5 лет
Фаза, год	21.399	10.272	8.647
Вклад гармоники (V)	0.617	0.056	0.114

Из графика фактических значений запасов минтая и рассчитанных с помощью спектрального анализа (Рис. 22) видно, что ряд восстановлен достаточно неплохо. Модель описывает основные изменения биомассы охотоморской популяция: увеличения и падения численности). Прогноз показывает сначала достаточно резкое увеличение запасов с 10857 тыс. тонн до 11492 тыс. тонн в 2025 году, а после уменьшение в 2026 году до 11181 тыс. тонн.

Обеспеченность метода составила 88,71%, это 55 оправдавшихся прогнозов из 62, что является хорошим результатом при 0.67СКО (среднеквадратическом отклонении).

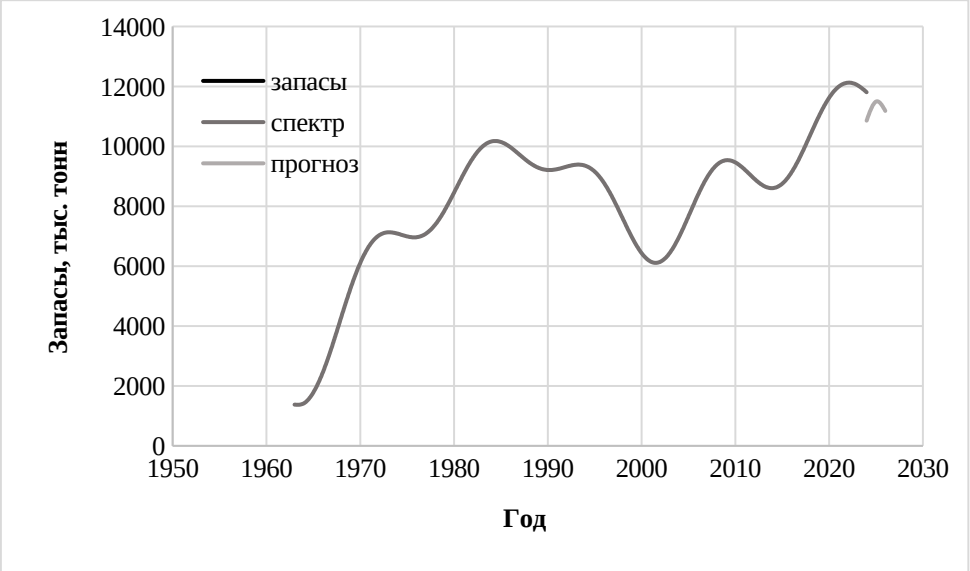


Рис. 22 Совмещенный график фактических запасов минтая Охотского моря и Рассчитанных с помощью спектрального анализа. Прогноз на 2025 и 2026 гг.

Для беринговоморской популяция минтая было выделено также три значимые гармоники с периодами 37, 20 и 11 лет (Рис. 23). Наибольший вклад в ряд отклонений от тренда, который равен 47%, вносит гармоника с периодом 37 лет, фаза данной гармоники равна 17.6 годам (Таблица 5). Как видно на рисунке 23 амплитуда этой гармоники самая большая. Вторая гармоника с периодом 20 лет также вносит существенный вклад, равный 19%. Фаза этой гармоники равна 16.5 годам. Последняя гармоника вносит самый незначительный вклад 4%.

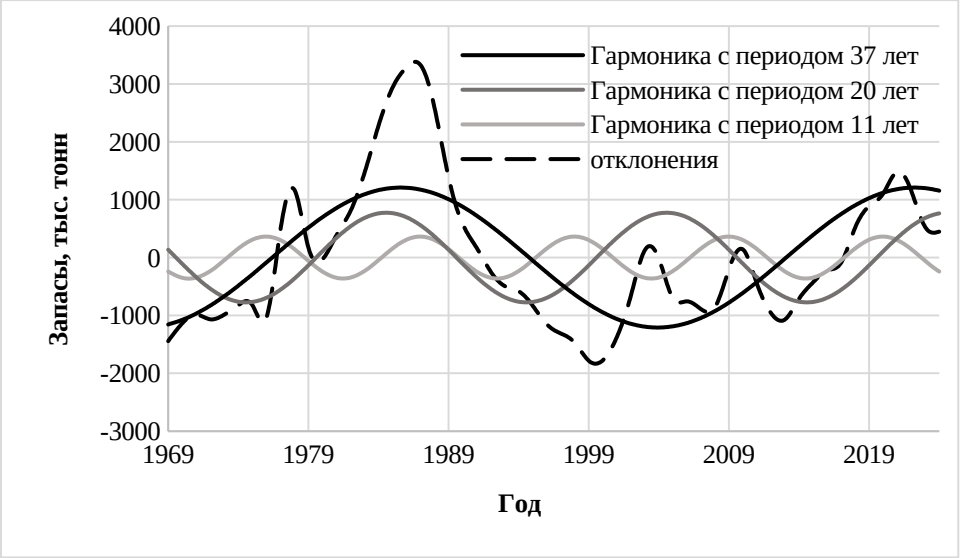


Рис. 23 Совмещенный график гармоник и ряда отклонений беринговоморского минтая

Таблица 5 Основные параметры гармоник для ряда отклонений беринговоморского минтая

Параметры гармоник	Гармоника с периодом 37 лет	Гармоника с периодом 20 лет	Гармоника с периодом 11 лет
Фаза, год	17.589	16.562	7.979
Вклад гармоники (V)	0.471	0.193	0.042

Восстановленный ряд запасов беринговоморской популяция в сравнении с фактическими запасами можно увидеть на рисунке 24. Ряд рассчитанных значений описывает исходный ряд неплохо, но недостаточно хорошо, несмотря на высокую обеспеченность равную 85,7%. 0.67СКО.

Прогноз показывает резкое увеличение запасов в 2025 году с 3123 до 4094 тыс. тонн, а в 2026 году снова уменьшение до 3838 тыс. тонн.

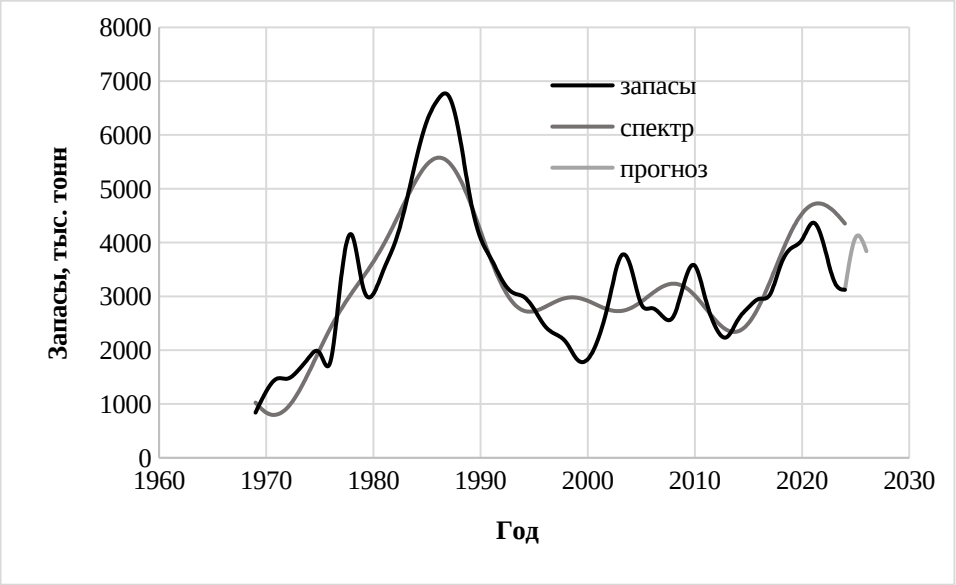


Рис. 24 Совмещенный график фактических запасов минтая Берингова моря и рассчитанных с помощью спектрального анализа. Показан прогноз на 2025 и 2026 гг.

3.5 Модель Шеффера

Для расчета запасов по модели Шеффера в качестве исходных данных были взяты ряды запасов обеих популяций минтая, и соответствующие ряды уловов.

На графиках с восстановленными рядами запасов (Рис. 25 и 26) видно, что модель описала фактические запасы минтая достаточно хорошо. Обеспеченность для охотоморской популяция равна 90%, а для беринговоморской 62.96%.

После восстановления были подобраны коэффициенты промыслового изъятия для построения прогноза. Так для минтая Охотского моря, если данный коэффициент равен 18%, то запасы минтая начинают снижаться, а при коэффициенте равном 10%, запасы, наоборот, начинают расти (Таблица 6). Поэтому для данной популяция оптимальное значение промыслового изъятия равно 14%, при котором запасы минтая остаются на, примерно, таком же уровне, немного повышаясь (Рис. 25).

Для минтая Берингова моря коэффициенты промыслового изъятия оказались выше, так значение коэффициента, при котором количество запасов растет оказалось равно 15%, а при которых падает 21% (Таблица 7). Оптимальный коэффициент изъятия равен 18%, при нем запасы минтая остаются на том же уровне, что можно увидеть на графике (Рис. 26).

Обеспеченность при данном методе у охотоморской популяция равна 90%, у беринговоморской 62.96%.

Таблица 6 Прогноз запасов охотоморской популяция минтая при разных уровнях изъятия

год	C = 10%	C = 14%	C = 18%
2024	10857.8	10857.8	10857.8
2025	11334.9	10890.51	10463.54
2026	11832.82	10923.31	10083.7
2027	12352.46	10956.21	9717.7

Таблица 7 Прогноз запасов беринговоморской популяция минтая при разных уровнях изъятия

год	C = 15%	C = 18%	C = 21%
2024	3123.4	3123.4	3123.4
2025	3214.6	3119.7	3027.5
2026	3308.5	3115.9	2934.5
2027	3405.1	3112.2	2844.5

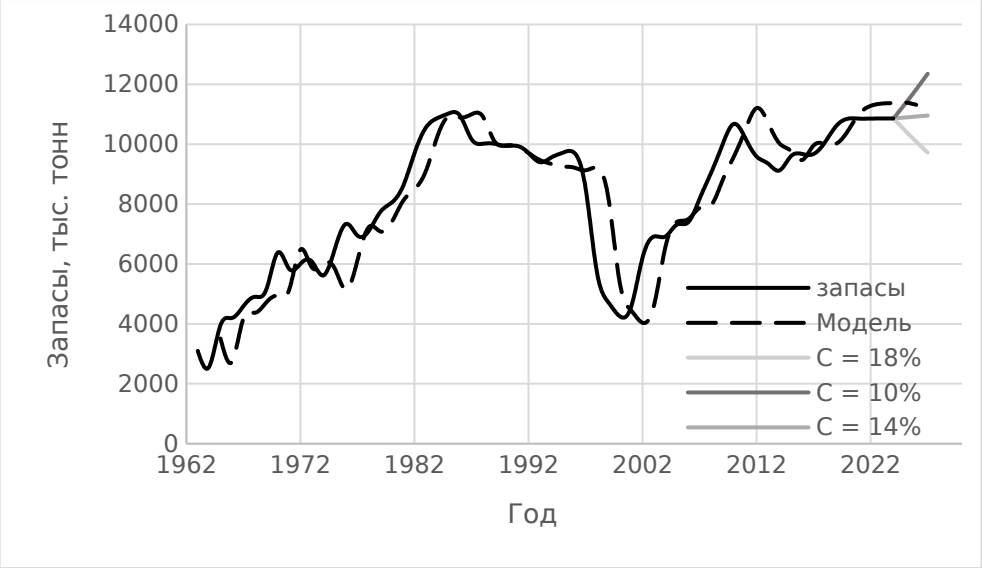


Рис. 25 Фактические и рассчитанные значения биомассы охотоморского минтая и его прогностические значения при уровнях изъятия 10, 14 и 18%

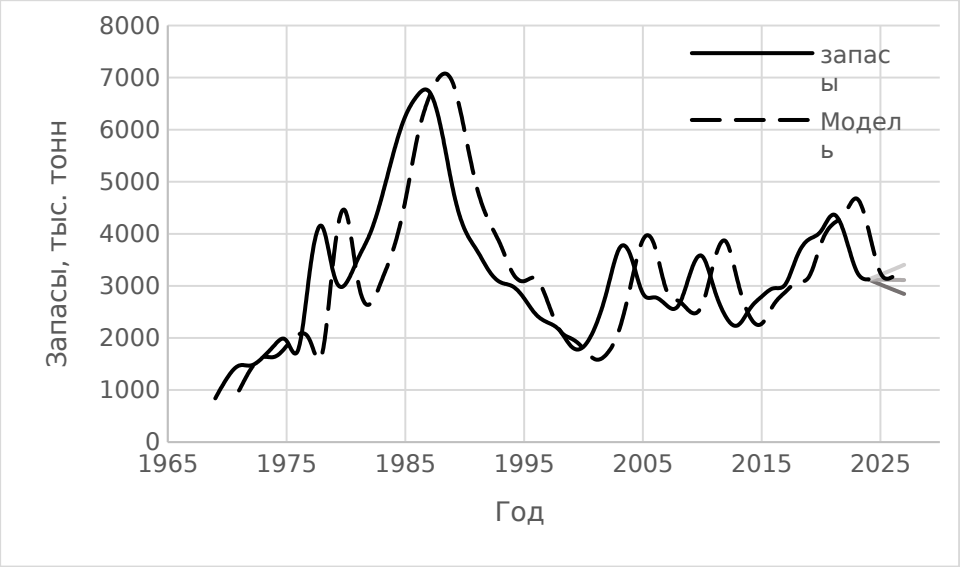


Рис. 26 Фактические и рассчитанные значения биомассы беринговоморского минтая и его прогностические значения при уровнях изъятия 15, 18 и 21%

3.6 Сравнение результатов расчета, полученных с помощью разных моделей

В качестве итогов приведены таблицы, где наглядно видно разницу в точности моделей и их прогнозов в сравнении с фактическими запасами (Таблицы 8 и 9). Прогноз составлялся на два года, поэтому значения 2025 года рассчитаны по значениям 2023 года, а 2026 год рассчитан на основе 2024 года. Прогноз на 2027 год на основе запасов 2025 года не делался, т.к. данных по уловам за 2025 год нет и было принято решение сократить исходный ряд запасов до 2024 года, а следующий год использовать для проверки точности прогноза.

Таким образом, для минтая охотского моря все модели показали хорошую точность с обеспеченностью больше 90% или близко к этому значению (Таблица 8). При этом множественная регрессия и модель Шеффера имеют большую обеспеченность среди трех моделей, 91.67% и 90%, когда обеспеченность спектральной модели 88.71%. 2023 и 2024 года наиболее точно описала регрессионная модель с разницей 300 тыс. тонн. При фактических запасах равных 10856.1 тыс. тонн и 10857.8 тыс. тонн, регрессионная модель показала 10526.56 тыс. тонн и 10557.26 тыс. тонн. Спектральная модель и модель Шеффера дали завышенные результаты: 12045.02 тыс. тонн и 11356.99 тыс. тонн в 2023 году, 11807.84 тыс. тонн и 11374.4 тыс. тонн в 2024 году. В 2025 году в

исходном ряду наблюдался рост запасов с 10857.8 тыс. тонн до 10937.4 тыс. тонн. Все три модели показали данную динамику, но в прогнозе по спектральной модели наблюдается слишком резкий скачок запасов в сторону увеличения. При этом модель Шеффера показала наиболее точный результат, 10890.51 тыс. тонн, при фактических 10937.4 тыс. тонн. Спектральная модель при этом показывает уменьшение запасов с каждым годом, в 2025 году 11492 тыс. тонн, а в 2026 году 11181 тыс. тонн. Наиболее точной для прогноза 2025 года оказалась модель Шеффера с разницей с исходными значениями в 47 тыс. тонн.

Таблица 8 Сравнительная таблица с прогнозами запасов охотоморского минтая для трех методов

Характеристика		Исходный ряд	МЛР	Спектральная модель	Модель Шефера
Год	Обеспеченность Р, %	-	91,67	88,71	90,00
2023	Запас, тыс. тонн	10856,1	10856,1	10856,1	10856,1
2024		10857,8	10857,8	10857,8	10857,8
2025		10937,4	10592,72	11492,24	10890,51
2026		-	10614,93	11181,16	10923,31

При восстановлении запасов беринговоморского минтая, в отличие от охотоморского, обеспеченность выше 90% ни одна модель не показала (Таблица 9). Модель Шеффера показала худшую обеспеченность – 62.96%, среди трех методов. Обеспеченность регрессионной модели оказалась выше и равна 74.07%, что уже достаточно неплохой результат. Лучшая же обеспеченность при спектральном анализе, равная 87.71%. Такое высокое значение несмотря на то,

что прогноз оказался худшим среди трёх моделей, объясняется тем, что при расчете модель описала ряд фактических значений без сдвига (Рис. 24). Прогноз, составленный на 2025 год, лучший у регрессионной модели, разница всего 4.9 тыс. тонн (2968.8 тыс. тонн – фактические запасы, 2973 тыс. тонн – восстановленные). Модель Шеффера также показала неплохой результат, превысив фактические значения на 150.9 тыс. тонн. Прогноз спектральной модели показал худший результат в 4094.95 тыс. тонн, что больше, чем на 1000 тыс. тонн. В 2026 году все три модели показывают уменьшение запаса минтая, сохраняя тенденции к его уменьшению с 2023 года, но в 2025 году у спектральной модели наблюдается резкий скачок запаса в сторону увеличения, а после, в 2026 году запас снова уменьшаются.

Таблица 9 Сравнительная таблица с прогнозами запасов Беринговоморского минтая для трех методов

Характеристика		Исходный ряд	МЛР	Спектральная модель	Модель Шефера
Год	Обеспеченность Р, %	-	74,07	85,71	62,96
2023	Запас, тыс. тонн	3277,9	3277,9	3277,9	3277,9
2024		3123,4	3123,4	3123,4	3123,4
2025		2968,8	2973,71	4094,95	3119,66
2026		-	2878,19	3838,77	3115,93

Произведя расчеты биомассы минтая, используя три указанных метода, можно выделить для каждого преимущества и недостатки.

К преимуществу регрессионного метода можно отнести достаточно высокую обеспеченность и приближенные к фактическим восстановленные значения, несмотря на сдвиг. Также при расчете множественной регрессии есть возможность учета нескольких факторов (предикторов), влияющих на изменение биомассы минтая. Решение данной модели простое и не требует дополнительных действий, позволяя производить быстрые расчеты. Минусами регрессионной

модели могут быть случайные связи предиктора и предиктанта, а также поиск подходящих для расчета предикторов.

Главным преимуществом спектрального анализа является его независимость от внешних факторов, т.е. восстановление ряда и прогноз запасов происходят только за счет внутренней структуры ряда. Метод позволяет находить долгопериодные и коротко периодные колебания, спад и подъем численности запасов. К минусам можно отнести чувствительность модели к ложным колебания численности, например чрезмерный вылов, и невозможность учитывания зависимости от внешних факторов среды.

Преимущества модели Шеффера состоят в том, что для нее не требуется дополнительных данных, кроме запасов и уловов. Позволяет рассчитать коэффициент изъятия ресурса, для оптимального объема возможных уловов. К минусам можно отнести, как и в спектральной модели, невозможность учета внешних факторов, а также возможность получить неверный прогноз при чрезмерных уловах или их отсутствии.

Заключение

В заключении изложим основные результаты и выводы работы.

1. В работе были составлены и проанализированы ряды запасов и уловов минтая двух популяций. Ряд охотоморской популяции составлен с 1963 года по 2024 год, ряд беринговоморской популяции с 1969 года по 2024 год. При составлении рядов для беринговоморской популяции учитывалась только западная часть Берингова моря (Российские воды). Прогноз составлен на два года: 2025 и 2026 гг.

2. Запас охотоморской популяции в последние годы находится в устойчивом состоянии, у беринговоморской популяции наблюдается снижение запаса.

3. Для каждой популяции минтая были подобраны предикторы для восстановления ряда и прогноза с помощью множественной линейной регрессии. В качестве предикторов для охотоморского минтая выбраны – температура в точке 152° в.д. 58° с.ш. (Северо-Охотоморская подзона, один из важнейших районов промысла), охотский индекс и сами запасы минтая. Предикторами беринговоморского минтая были выбраны температура поверхности воды в точке 174° в.д. 61° с.ш. (Западно-Беринговоморская зона, где добывается крупная западно-беринговоморская популяция минтая), Тихоокеанское десятилетнее колебание и также сами запасы минтая.

4. Проведя расчеты по трем моделям и проанализировав результаты, можно сделать следующие выводы: по обеспеченности лучшей моделью для охотоморского минтая оказалась модель множественной линейной регрессии, которая показала 91.7% обеспеченности, для беринговоморского же минтая лучшую обеспеченность показала спектральная модель – 85.7%. Критерий для оценки качества восстановления и прогноза – не превышение абсолютной ошибки 0.67 СКО.

5. Прогноз запасов охотоморского минтая на 2025 и 2026 гг. показал, что ожидается спад запасов при расчете по спектральной модели и увеличение запасов при расчете по МЛР и модели Шеффера. Сравнение полученного

прогноза на 2025 год с фактическими также указало на то, что наиболее точный прогноз показала модель Шеффера: 10890 тыс. тонн, при фактических 10937 тыс. тонн в 2025 году при промысловом изъятии 14%.

6. Прогноз запасов беринговоморского минтая на 2025 и 2026 гг. показал спад запасов при расчете по всем трем моделям. Наиболее близкой к фактическим значениям оказалась регрессионная модель: фактических – 2968.8 тыс. тонн и рассчитанных – 2973.71 тыс. тонн 2025 году. При этом при прогнозировании по модели Шеффера оптимальным оказался уровень изъятия равный 18%.

Список литературы

1. Антонов Н.П., Датский А.В., Смирнов А.А., Кузнецова Е.В., Ведищева Е.В., Головатюк Г.Ю. Использование сырьевой базы морских рыб в российских водах дальневосточных морей и прилегающих районах открытой части Тихого океана в 2000–2020 гг. Труды ВНИРО. 2024;195(1):61-128. https://doi.org/10.36038/2307-3497-2024-195-61-128

2. Беломестнова Ю. Минтай-2020: состояние запасов опасений не вызывает // Fishnews. 2019. 22 февр. [Электронный ресурс] – URL: https://fishnews.ru/rubric/mintaevaya-putina-2017/11388 (дата обращения: 21.11.2024).

3. Бойцова Т. М., Бойцов А. Н. Исследование промысловой ситуации по освоению водных биологических ресурсов Дальневосточного бассейна // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 70, № 4. С. 115–123.

4. География России: Берингово море: [электронный ресурс]. – URL: https://geographyofrussia.com/beringovo-more-2/ (дата обращения: 21.11.2025).

5. География России: Данные по Охотскому морю: [электронный ресурс]. – URL: https://geographyofrussia.com/morya-rossii-oxotskoe-more/ (дата обращения: 21.11.2025).

6. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. IX. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / под ред. Ф. С. Терзиева, Б. Х. Глуховского. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1998. – 342 с.

7. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. X. Берингово море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / под ред. Ф. С. Терзиева. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1999. – 472 с.

8. Гордеева С.М. / Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации». - СПб, изд. РГГМУ, 2023. – с.

9. Гордеева С.М. / Практикум по дисциплине «Анализ временных рядов». - СПб, изд-во. РГГМУ, 2025. – с.

10. Датский А.В., Антонов Н.П. Тресковые рыбы дальневосточных морей и тихоокеанских вод Камчатки и Курильских островов: запасы и перспективы промысла. *Труды ВНИРО*. 2025;201(3):70-95. https://doi.org/10.36038/2307-3497-2025-201-70-95. EDN: CWMPNF

11. Деев М. Г. ОХОТСКОЕ МОРЕ // Большая российская энциклопедия. Электронная версия (2016); https://old.bigenc.ru/geography/text/2700092 Дата обращения: 29.05.2026

12. Добровольский, А. Д. Моря СССР / А. Д. Добровольский, Б. С. Залогин. — Москва : Изд-во МГУ, 1982. — 192 с.

13. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО): Берингово море: [электронный ресурс]. – URL: http://portal.esimo.ferhri.ru/portal/portal/esimo-user/services/kis_poi/pacificKISWindow (дата обращения: 21.11.2025).

14. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО): Природопользование и прибрежно-морские экосистемы ДВ морей: [электронный ресурс]. – URL: http://portal.esimo.ferhri.ru/portal/auth/portal/poi/okhot/pacificKISWindowOkhot (дата обращения: 21.11.2025).

15. Колончин К.В., Павлова А.О., Бетин О.И., Яновская Н.В. Минтай как объект российского и мирового промысла. *Труды ВНИРО*. 2022;189(3):5-15. https://doi.org/10.36038/2307-3497-2022-189-5-15

16. Малинин В.Н. / Статистические методы анализа гидрометеорологической информации: учебник, – издание 2, испр. и доп. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2020. – 424 с

17. Морошкин, К. В. Водные массы Охотского моря / К. В. Морошкин ; Акад. наук СССР, Ин-т океанологии. — Москва : Наука, 1966. — 67 с.

18. Неизвестный минтай. 2020. Русская рыбопромышленная компания. М.: PressPass. 156 с

19. Охотский индекс: описание // Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии. ТИНРО:

официальный сайт. – URL: https://tinro.vniro.ru/ru/operativnaya-informatsiya/okhotskij-indeks-opisanie (дата обращения: 25.02.2026).

20. Промысловые рыбы России: в 2 т. / под ред. О. Ф. Гриценко, А. Н. Котляра, Б. Н. Котенёва. — М.: ВНИРО, 2006. — 1280 с.

21. Подготовлено научное обоснование ОДУ на 2027 год // Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии. ТИНРО: официальный сайт. – URL: https://tinro.vniro.ru/ru/novosti/item/841-podgotovleno-nauchnoe-obosnovanie-odu-na-2027-god (дата обращения: 21.11.2025).

22. Российские рыбаки добыли более 4,6 млн тонн водных биоресурсов // Федеральное агентство по рыболовству: официальный сайт — 2025. — 30 декабря. — URL: https://fish.gov.ru/main-news/2025/12/30/rossijskie-rybaki-dobyli-bolee-46-mln-tonn-vodnyh-bioresursov/ (дата обращения: 01.06.2026)

23. Alekseev, Arkady Vladimirovich, Davies, Peter J., Bogdanov, Konstantin Trifonovich, Lisitsin, Aleksandr Petrovich. "Bering Sea and Strait". Encyclopedia Britannica, 7 Apr. 2026, https://www.britannica.com/place/Bering-Sea. Accessed 21 November 2025.

24. Alekseev, Arkady Vladimirovich, Supranovich, Tatyana Yosifovna, Bogdanov, Konstantin Trifonovich. "Sea of Okhotsk". Encyclopedia Britannica, 31 Jul. 2025, https://www.britannica.com/place/Sea-of-Okhotsk Accessed 21 November 2025.

25. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) v5 / NOAA National Centers for Environmental Information. – URL: https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version5/.sst/ (дата обращения: 25.02.2026).

26. Pacific Decadal Oscillation (PDO) / NOAA National Centers for Environmental Information. – URL: https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/pdo/ (дата обращения: 25.02.2026).