



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)

«Оценка и прогноз запасов промысловых видов рыб Дальневосточного
бассейна»

Исполнитель: Гайдукова Арина Евгеньевна

Руководитель: доктор географических наук, доцент

Аверкиев Александр Сергеевич

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____


(подпись)

Кандидат географических наук

(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

«Ок» Ов 2024 г.

г. Санкт-Петербург

2024

Оглавление

Введение	2
Глава 1. Район и объект исследования.....	4
1.1. Физико-географическое описание Охотского моря.	4
1.2. Климат и гидрология Охотского моря	6
1.3. Состав промысловых видов и их прогноз в Дальневосточном бассейне. Особое значение минтая.	7
1.4. Описание вида.	12
Глава 2. Оценка изменчивости запасов и уловов минтая в Охотском море. ..	16
Глава 3. Воспроизведение и прогнозирование запасов минтая.....	19
3.1. Автокорреляционный анализ. Взаимно корреляционный анализ. Модель регрессии.....	19
3.2 Модель Шефера.....	25
3.3 Спектральный и гармонический анализ.....	28
Глава 4. Сравнение результатов, полученных разными методами.	32
Заключение	33
Список литературы	35

Введение

Дальневосточный бассейн является самым крупным промысловым бассейном в России. Из 5,3 т. млн. общего улова РФ, на Дальневосточный бассейн приходится 75%. Формирование рыбного хозяйства связано с различными факторами, такими как, например, природные условия, ресурсная база, экономические нужды потребителей, технические возможности и международные условия хозяйственной деятельности. Все эти факторы оказывают сильное влияние на промысел минтая. В связи с этим актуальность темы состоит в том, что исследования, касающиеся состояния этого вида рыбы будут иметь практический интерес. База данных на постоянной основе обновляется. Популяция охотоморского минтая не зависит от других популяций, поэтому представленные расчеты касаются именно охотоморского минтая.

Исходные данные об общих запасах и уловах минтая Охотского моря получены из статьи [1]. Данные о значениях Охотского индекса получены на сайте ТИНРО [4].

Цель работы – дать оценку состояния общего запаса и вылова минтая Охотского моря и выполнить прогноз запаса несколькими методами на 3 года вперед.

Для достижения этой цели необходимо решить несколько задач.

Задачи работы:

1. Составить ряды запасов и вылова минтая Охотского моря и провести статистический анализ рядов.
2. Подобрать ряды предикторов, влияющих на состояние запаса минтая. Провести взаимно-корреляционный и автокорреляционный анализ общего запаса и предикторов минтая Охотского моря. Построить уравнение регрессии и дать прогноз.
3. Рассчитать параметры модели Шефера и выполнить анализ изменения запасов минтая Охотского моря по модели Шефера и дать прогноз.

4. Провести спектральный анализ запасов минтая Охотского моря и дать прогноз состояния запаса с помощью суммирования отдельных составляющих и тренда.

5. Провести сравнительный анализ результатов прогнозирования запасов минтая Охотского моря различными методами.

низменные территории. В северной части морское дно в основном представлено континентальной отмелью, занимающей около 20% его поверхности. Приблизительно 65% дна покрыто континентальным склоном с глубиной от 200 до 1500 метров; оставшаяся часть находится на участке шельфа. Море тянется с северо-востока на юго-запад на расстояние около 2500 километров.

Окружѐнное гористыми территориями, море имеет несколько заметных заливов и губ: на северо-востоке расположен залив Шелихова, включающий Гижигинскую и Пенжинскую губы, а на западе выделяется Сахалинский залив с Амурским лиманом. На южной стороне, у острова Сахалин, находятся заливы Анива и Терпения. Западное побережье Камчатки отличается прямолинейностью и аккумулятивными особенностями. Крупнейшие острова этого региона - Шантарские, Завьялова и Спафарьева, расположены неподалѐку от берегов. В открытых водах находится маленький остров Ионы. Курильские острова, состоящие из 28 крупных и множества мелких островов и скал, образуют вулканическую цепь с 39 действующими вулканами на внутренней гряде и несколькими подводными. Они также являются зоной высокой сейсмической активности и вулканизма. Землетрясения в этом районе могут достигать 9 баллов по шкале, а берега часто подвержены цунами. Через Сахалинский залив в море впадает мощная река Амур, ежегодный сток которой составляет около 370 кубических километров. Поверхность моря в северной и западной частях больше подвержена мелководью на континентальной отмели, занимая свыше 42% его площади. Шельф в этих местах может быть шириной до 400 км. Южные и юго-восточные участки моря у 17 Курильских островов представляют собой глубокую котловину, занимающую более 9% площади моря. В центральной части моря расположены пологий материковый склон и низменности, где наблюдаются чередования с подводными возвышенностями, занимающие почти половину площади моря. Прибрежные области богаты терригенными осадками, которым на больших глубинах

добавляются диатомовые илы, а возле Курильских островов — вулканические отложения [7].

1.2. Климат и гидрология Охотского моря

Охотское море располагается в умеренном муссонном климате. Это море характеризуется муссонной циркуляцией воздушных масс. В зимние месяцы преобладают северные и северо-западные ветры, дующие до 75% времени, с температурами понижающимися до -25°C . Зимой море покрывается льдом на срок до 6-7 месяцев, при этом наблюдается интенсивное вертикальное перемешивание воды до глубины нескольких сотен метров. Летом ветра слабее, а температура поверхностных вод достигает $10-18^{\circ}\text{C}$. На глубине от 50 до 500 метров присутствует слой холодной воды с температурой до -1.6°C .

Глубина в Курильских проливах достигает до 2300 метров, что способствует обмену вод на больших глубинах. В море проникает океаническая вода с температурой около $+2.5^{\circ}\text{C}$ и соленостью 33.6‰, распространяясь под холодным слоем на глубинах 750-1500 метров. Через пролив Лаперуза в южную часть моря входит слабое течение Куроисио (Цусимское течение), переносящее планктон из южных районов.

Осадки в южной части моря достигают до 1240 мм в год, что в основном связано с летним юго-восточным муссоном, снижая соленость поверхностных вод до 30-33‰. В море формируется мощная циклоническая система течений, простирающаяся до глубоких слоев. Приливы, приходящие из океана, вызывают сильные течения в проливах, и в узких северо-восточных участках моря приливы достигают более 13 метров в Пенжинской губе — это самые высокие приливы на российском побережье. Штормы чаще возникают в периоды усиления зимнего муссона и летом во время тайфунов, с волнами высотой до 10 метров.

Основная масса вод Охотского моря находится в субполярном

климатическом поясе, что способствует образованию холодных промежуточных вод. С Тихим океаном море соединено рядом проливов в Курильской гряде, которые отличаются своей шириной и глубиной. Причём значительная часть обмена воды происходит через Буссольский пролив (около 40%) и Крузенштерновский пролив (около 25%). Проливы Лаперуза и Невельского, выходящие в Японское море, более мелководные, и водообмен через них ограничен.

В море обнаружено высокое содержание кислорода и биогенных элементов, что ведет к высокой биопродуктивности. Преобладающими являются холодноводные диатомовые водоросли. Биомасса зоопланктона в слое от поверхности до 100 метров колеблется от 200 до 500 мг/м³. Вдоль побережья произрастает обильное количество макрофитов, таких как ламинария и фукусы. Ихтиофауна моря богата и насчитывает 300 видов рыб, из которых 30 видов являются промысловыми. Жизненно важное значение для промысла имеют лососёвые рыбы, такие как горбуша, кета, кижуч и чавыча. Среди пелагических рыб выделяются минтай и сельдь (охотоморская популяция), а среди донных и придонных видов – камбала и треска. Особо ценным животным бентоса является камчатский краб крупных размеров. В морских водах встречаются тюлени и сивучи, а летом здесь можно наблюдать кашалотов [5].

1.3. Состав промысловых видов и их прогноз в Дальневосточном бассейне. Особое значение минтая.

Структура сырьевой базы позволяет заново взглянуть на тенденции изменений численности основных видов, упрощающих доступ пользователей к добыче многих видов, что меняет статистику промысла — одного из важных элементов разработки любых прогнозов.

В последние десятилетия вылов всех биологических ресурсов в дальневосточных морях российскими и иностранными рыбаками растёт и

достиг 4 млн. т. В исключительной экономической зоне (ИЭЗ) России отечественными рыбаками добывается около 3 млн. т., иностранные рыбаки добывают порядка 0,1 млн. т. Небольшую доля вылова российских рыбаков приходится на открытую часть Тихого океана и ИЭЗ Японии. Это традиционный подход, и он оправдан для Дальнего Востока.

Добыча гидробионтов российскими рыбаками довольно мала, несмотря на достаточно высокие запасы отдельных видов. В то время как страны Азиатско-Тихоокеанского бассейна наоборот увеличивают интенсивность промысла. В основном это может быть связано с высокими экономическими рисками на таких промыслах. В исключительной экономической зоне Японии ведется добыча только лемонемы, что также приводит к уменьшению промысла российскими рыбаками в этом районе. За пределами ИЭЗ России дальневосточными рыбаками добывается несколько тысяч тонн рыбы. В сравнении с добычей рыбаками северного и западного бассейна России в зонах иностранных государств, добыча дальневосточными рыбаками за пределами ИЭЗ России значительно меньше.

В последние годы доля гидробионтов в общем вылове в Дальневосточном бассейне не изменилась. Основу уловов составила рыба почти 95%. Минтай остался основным промысловым видом и составил 54%, но, если сравнивать с началом 2000-х годов его соотношение несколько уменьшилась. Доля сельди и тихоокеанских лососей довольно высока составила 10% и 17% соответственно. Вылов трески, камбалы, терпуги и сайры имел меньшую значимость и составил примерно 2-3%. В промысел беспозвоночных преобладали кальмары – больше 50%, крабы составили 26% и креветки имели наименьшую долю – 6% [2].

В Дальневосточном бассейне неравномерное распределение промысловых нагрузок на те или иные виды биоресурсов и на отдельные промысловые зоны является особенностью использования сырьевой базы в этом районе. В настоящее время вылов наиболее ценных промысловых видов рыб достигает уровня рекомендованной величины вылова, а иногда и

превышает его. В то же время присутствует большой объем ресурсов многих видов, которые недоиспользуются или они не востребованы промышленностью.

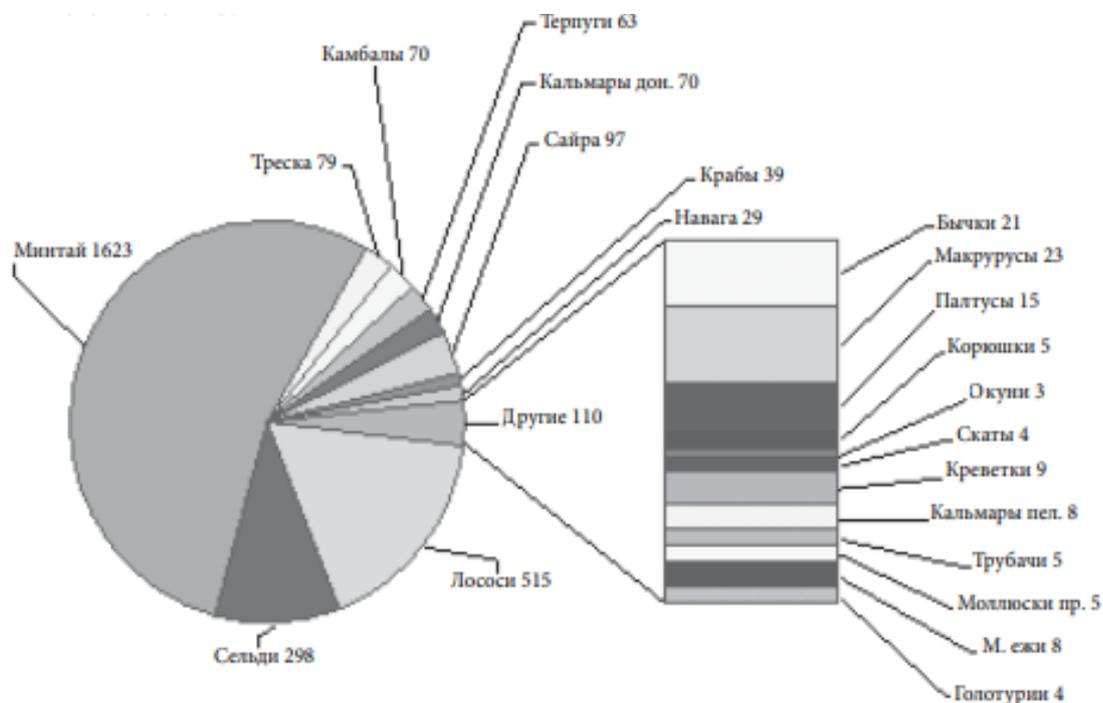


Рис. 1.3.1. Вылов объектов промысла на Дальневосточном бассейне российскими и иностранными рыбаками в 2011 г.

В последние годы соотношение улова основных промысловых видов, таких как минтай, сельдь, тихоокеанские лососи и сайра, сохраняется. Также начался прирост вылова не востребованных видов, таких как кальмар Бартрама и японский морской лещ, которые мигрируют в исключительную экономическую зону России из открытых вод северной части Тихого океана.



Рис. 1.3.2. Сырьевая база востребованных промысловых ресурсов в 2005-2011 гг.

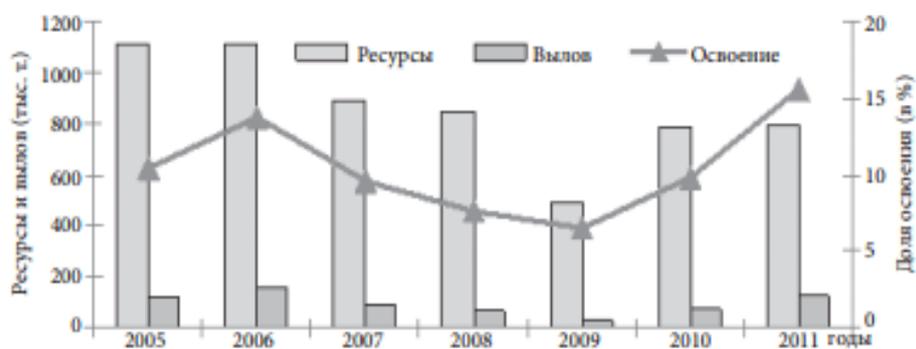


Рис. 1.3.3. Сырьевая база не востребованных промысловых ресурсов в 2005-2011 гг.

Запасы сельди стабильно постепенно возрастают и общий допустимый улов остается неизменным.

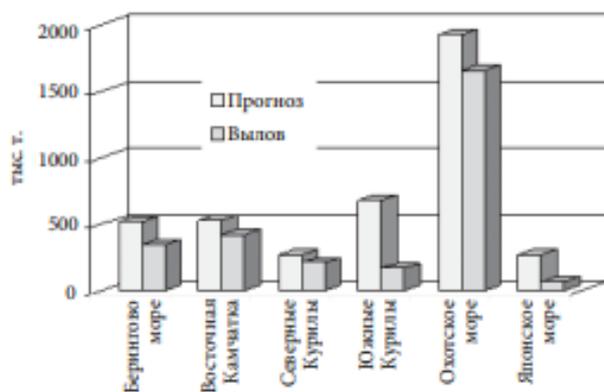


Рис. 1.3.4. Прогнозируемый и фактический вылов водных биоресурсов в крупных промысловых районах в 2011 г.

В последние годы появляются более полные данные по статистике запаса и вылова, а также новые модели прогнозов, это позволяет давать ученым более надежные долгосрочные прогнозы. Так составлен прогноз возможных уловов на период до 2025 г., который основан составе сырьевой базы и наиболее вероятном изменении численности массовых промысловых видов (см. таблицу 1.3.2)

Табл.1.3.2. Прогнозируемый вылов на 2015-2025г.

Гидробионты	Возможный вылов (тыс. т.)		
	2015	2020	2025
Рыбы	2984	3092	3463
Ракообразные	65	70	77
Моллюски	434	376	337
Водоросли	223	226	232
Всего	3730	3788	4133

В таблице 1.3.2 показан прогноз с учетом новых данных по вылову гидробионтов на 2025 год и сильных изменений в сырьевой базе не предполагается.

Основу вылова, как и в предыдущие годы, будут составлять рыбы (85%). При этом минимальный объем вылова может прийти на 2015 г., что связано в первую очередь со снижением численности и возможного вылова минтая в Охотском море. Доля ракообразных не превысит 2%, при этом основу возможного вылова составят креветки и крабы. Доля моллюсков будет изменяться от 8 до 11%. Как и на современном этапе, основу вылова может составить командорский кальмар [2].

1.4. Описание вида.

Минтай — придоннопелагическая рыба, но иногда встречается у поверхности. Обитает как на мелководьях (30-100 м), так и в эпипелагиали глубоководных котловин (2000-3000 м). Минтай - эвритермная рыба, встречается как при отрицательной (-1,8 °С), так и при положительной температуре (10-12 °С) воды. Скопления образует обычно в водах с температурой от -1 до 5 °С. Существуют локальные стада, отличающиеся особенностями экологии, темпом роста [6].

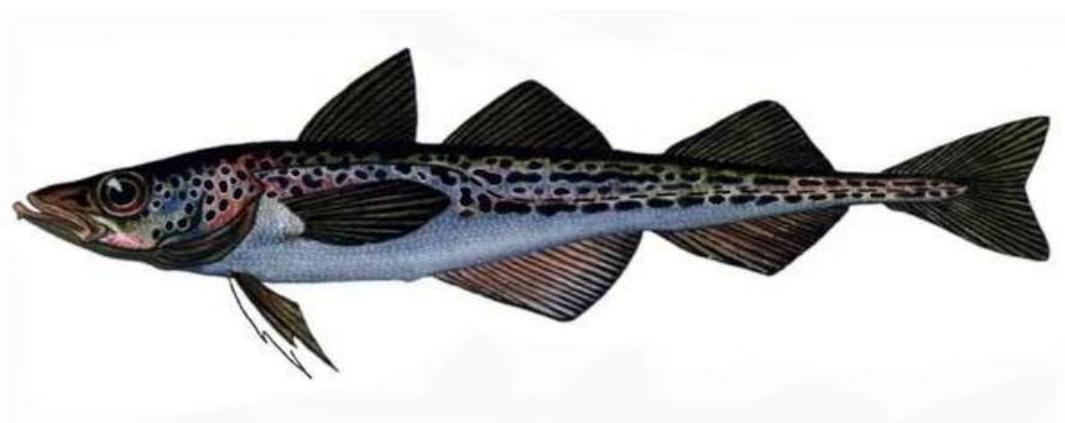


Рис. 1.4.1. Минтай - *Theragra halcogramma*.

Тело прогонистое, голова небольшая. Начало первого анального плавника находится позади вертикали первого спинного. Нижняя челюсть выдается вперед. На подборке имеется очень короткий усик. Хвостовой плавник слабо выемчатый, полулунный. Боковая линия с резким изгибом, после изгиба прерывистая. Окраска тела лилово-оливковая. На поверхности тела многочисленные темные пятна.

Нерестилища минтая находятся в основном к прибрежной зоне с

глубинами 50-200 м, там, где часто имеются стационарные круговороты, предотвращающие вынос икры и личинок в районы с неблагоприятным режимом. В Беринговом море минтай нерестится в основном в районе материкового склона, где также существуют круговые течения. В некоторых районах (Берингово и Охотское моря) нерест минтая протекает даже подо льдом.

Начало и продолжительность нереста в разных районах различны (таблица 1.4.1).

Табл. 1.4.1. Период нереста минтая в различных районах Тихого океана.

Района нереста	Период 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
С-З 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

Обычно, начало нереста совпадает с разгаром весеннего (в северных районах) и осеннего (в южных районах) развития фитопланктона. Нерестовый сезон продолжается от трех до семи месяцев.

Нерест порционный. Плодовитость от 38 до 540 тыс. икринок, но иногда превышает 1 млн. шт.

Икринки минтая пелагические, без жировой капли, диаметром от 1,19 до 1,81 мм (чаще 1,41-1,66 мм). Икра выметывается на глубине и постепенно выплывает в поверхностные слои воды, где происходит ее последующее развитие [6].

Развитие стадии икры при температуре воды 3,4°C длится 20 сут.

Выключившиеся предличинки имеют длину около 3,5мм и держатся в поверхностном слое воды, при длине 8мм уходят на большие глубины.

В уловах преобладают рыбы длиной 30-50 см, которые обычно составляют около 60 % всего улова. Длина достигает 80-85 см; масса отдельных особей 4,8 кг, но основу уловов обычно составляют рыбы массой 300--700 г. Наибольший прирост у минтая отмечается в первые три года, после чего рост замедляется. Почти во всех районах наиболее резко снижается темп роста на 3-4-м году жизни, что связано с массовым половым созреванием. Самцы и самки растут одинаково. Интенсивное нарастание массы происходит после наступления половой зрелости. В возрасте 8 лет прирост массы начинает уменьшаться, а затем резко падает.

Основу уловов составляют особи в возрасте 3-7 лет, Предельный возраст 20 лет.

Основу пищи минтая составляют планктонные ракообразные, главным образом Euphausiacea и Copepoda. Также активно потребляются придонные ракообразные (в частности, Amphipoda и Decapoda), собственная молодь, малоротая корюшка, мойва и другие рыбы.

Для нереста минтай преимущественно мигрирует в шельфовые воды, после нереста рассредотачивается и нагуливается как на шельфе, так и в районах больших глубин. Нерестилища в первую очередь покидают самки. В период нагула также формируются нагульные скопления, совершающие миграции. Наблюдаются заметные различия в характере распределения минтая днем и ночью. Ночью скопления становятся более «рыхлыми», поднимаются ближе к поверхности.

Минтай - важнейший объект отечественного и мирового промысла. Лов его ведут главным образом Россия (около 50%), на остальные страны США, Корея, Япония и Китай приходится остальные 50%.

Как объект мирового рыболовства минтай не имеет обширную историю. До середины XX века минтай ловили практически только в водах Кореи и Японии. В 60-70-е годы начался стремительный вылов минтая

российскими, азиатскими и американскими рыбаками. Около 50% приходилось на Охотское море. Так как в промысловых зонах России и США было ограничение иностранного промысла это привело к снижению вылова минтая в 70-х годах до 4 млн. т. Однако за счет развития промысла в исключительной экономической зоне России и США и увеличения иностранного вылова по двусторонним соглашениям произошло возрастание улова минтая в 80-е годы [6].

В период с 1986-1988г. произошел максимальный улов минтая и составил почти 7 млн. т. Из-за снижения численности минтая во многих районах промысла в 90-х годах произошел упадок вылова рыбы. Это произошло из-за слишком большого вылова в конце-80-х годах.

В целом динамизм промысла минтая зависит от различных факторов. Так как в 60-70-е годы произошло развитие техники морского промысла было увеличение вылова минтая. Также отмечается значительные колебания воспроизводства, проявляющиеся в урожайности и неурожайности поколений, что определяет колебания численности, вызванные естественными факторами. В различных районах изменение численности минтая происходит не в одно и то же время. Из-за этого роль различных районов в добыче минтая постоянно меняется.

В Охотском море в 90-х годах был высокий спрос на преднерестовую («икряную») рыбу, что привело к уменьшению выхода судов в другие районы промысла минтая. Поэтому результат рыболовства зависит от качества добываемого сырья.

Изначально промысел минтая был незначительным, но к концу XX века все изменилось. Запасы минтая уменьшились, однако спрос был все также высок. Это и привело к существенному перелову рыбы. К началу XXI века запас минтая настолько сильно упал, что сформировавшийся спрос на него уже не удовлетворялся. В связи с этим возникла необходимость в ограничении вылова минтая [6].

Глава 2. Оценка изменчивости запасов и уловов минтая в Охотском море.

Для минтая Охотского моря характерны значительные колебания численности. В 2000-е годы его запасы изменялись от минимального до максимального значения и различались примерно в 6 раз. Изменение численности минтая в Охотском море в основном связано с появлением поколений разной урожайности. В начале XXI века численность молодежи минтая была невысокой, также относительно низкими значениями характеризовалась численность производителей. Появились высокочисленные генерации, что привело к обильному росту промыслового запаса охотоморского минтая. При изменении запаса минтая меняется и его вылов. Благодаря росту промысловой биомассы растет и общий допустимый улов минтая [3].

Исходными данными послужили ряды общего запаса и вылова минтая с 1963 по 2021 год.

Анализ основных характеристик показал, что среднее значение запаса составило почти 8 млн. т., а вылова 1 млн. т. Стандартное отклонение среднего значения запаса составило почти 3 млн. т., а вылова 0,5 млн. т.

Таблица 2.1. Статистические характеристики запаса и вылова минтая с 1963-2021г.

Статистические хар-ки	Запас	Вылов
Среднее значение, млн. т.	7,7	1,0
Стандартное отклонение, млн. т.	2,6	0,5

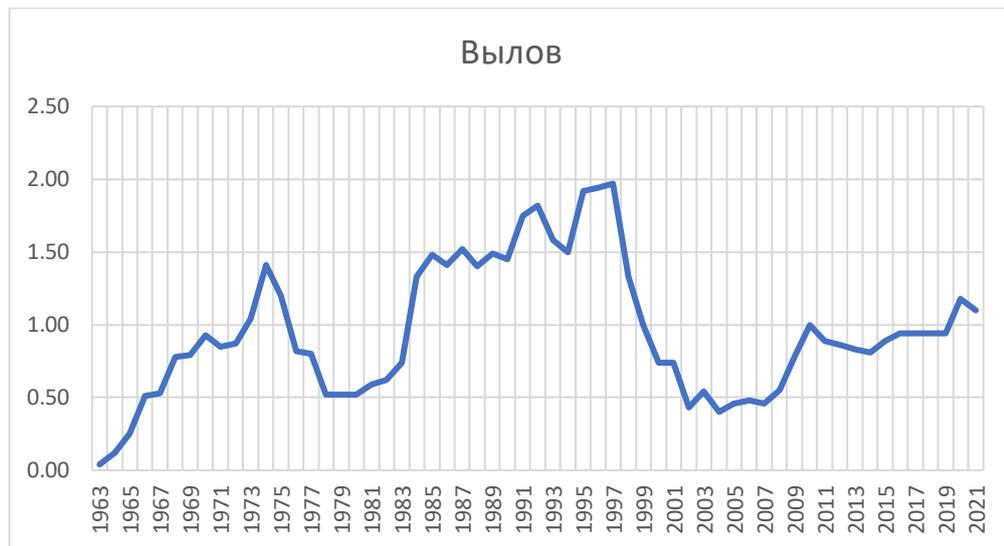


Рисунок 2.1.1. Общий вылов минтая.

На рисунке 2.1.1 видно, что вылов минтая на протяжении всего времени находился в постоянном изменении. От минимальных исторических значений до максимальных. С начала 60-х годов улов сильно возрос. В середине 70-х годов уловы выросли до 1,50 млн. т., а затем сократились до 0,5 млн. т, и вновь выросли в середине 80-х гг., достигнув исторического максимума в 1997г. – 2 млн.т. Значительное снижение уловов до 0,4 млн. т. отмечалось в начале 2000 годов. Последний максимум в 1,2 млн. т. был достигнут в 2007 году и затем происходит небольшое снижение. В настоящее время уловы увеличились и в последние несколько лет их значения колеблются в пределах 0,8-1,2 млн. т.

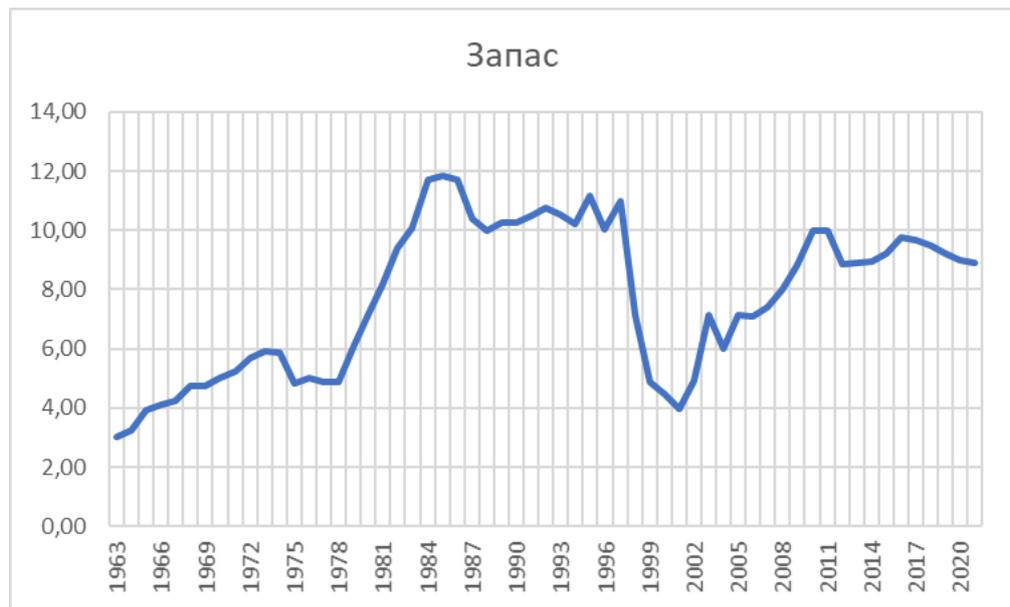


Рисунок 2.1.2. Общий запас минтая.

Из рисунка 2.1.2. видно, что временной ход запаса охотоморского минтая, который свидетельствует о значительной изменчивости этой величины и несомненном благополучном состоянии в настоящее время. Так, в 70-х гг. максимальные значения запаса достигло 5,90 млн. т. в 1973. Затем до 1985 отмечалось постоянное увеличение запаса до 11,85 млн. т. К началу 2000-х гг. происходит значительный спад запаса до 3,99 млн. т. в 2001г. В настоящее время происходит некоторое увеличение запаса до 10 млн. т. к 2010 году, однако после происходит незначительное уменьшение до 8,85 млн.т. в 2012 году. С 2014 года до 2021 общий запас держится на уровне от 8 до 9 млн. т.

Глава 3. Воспроизведение и прогнозирование запасов минтая.

Промысел минтая в Охотском море последние десятилетия занимает лидирующее положение в промысловой деятельности России. Минтай населяет почти всю территорию Охотского моря. Основной промысел рыбы в Охотском море ведется в районах нереста, где в зимне-весенний период наибольшее скопление рыбы в преднерестовом состоянии, имеющие высокую коммерческую ценность. Данные по общему запасу и вылову минтая последние десятилетия постоянно колеблются. Это происходит из-за нерегулированного вылова рыбы.

Есть несколько способов для расчета биомассы промысловых видов рыб. В данной работе рассматриваются три разных метода. Два физико-статистических метода, это регрессионная модель, и спектральный анализ, с последующим представлением ряда запаса в виде суммы гармонических колебаний. Третий использованный метод – это продукционная модель – модель Шефера.

3.1. Автокорреляционный анализ. Взаимно корреляционный анализ. Модель регрессии.

1. Автокорреляционный анализ.

Автокорреляция показывает степень линейной зависимости значений процесса от предшествующих значений, относящихся к различному сдвигу.

Автокорреляция – это корреляция статистического ряда самого с собой при разных сдвигах во времени [10].

Исходными данными послужили ряд общего запаса минтая с 1963 года по 2021 год и он же со сдвигом в один год, так как так как максимальный коэффициент корреляции был на сдвиге один год и составил 0,935.

Коэффициент автокорреляции $R(\tau)$ на каждом сдвиге рассчитывается по формуле:

$$R(\tau) = \frac{1}{\sigma^2(N - \tau)} \sum_{i=1}^{N-\tau} [(x_i - \bar{x})(x_{i+\tau} - \bar{x})] \quad (1)$$

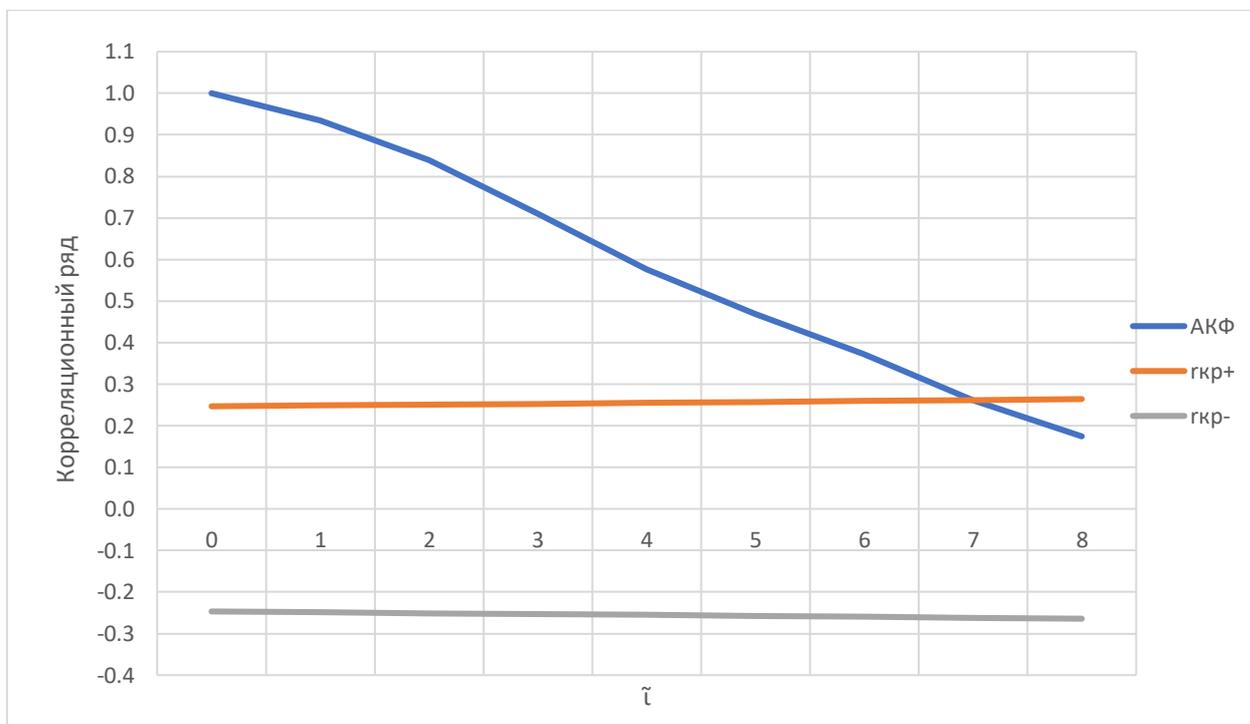


Рис. 3.1.1. Зависимость коэффициента автокорреляции ряда запаса минтая от сдвига.

Значения АКФ, которые превышающие гкр - значимы, а значения АКФ, которые меньше гкр – отличаются от нуля случайным образом.

По рисунку 3.1.1 можно сделать вывод, что для восстановления ряда значений общего запаса минтая и прогноза лучше всего выбрать сдвиг на 1 год, где коэффициент корреляции для запаса наибольший. Это означает, что запас прошлого года существенно влияет на запас последующего года.

2. Взаимно корреляционный анализ.

Взаимная корреляция (кросскорреляция) показывает степень линейной связи одного процесса с другим процессом при различных сдвигах.

Взаимная корреляция (кросскорреляция) – это корреляция двух статистических рядов друг с другом при разных сдвигах во времени [10].

В данном анализе в качестве исходных данных взяты данные по общему запасу минтая с 1963 года по 2021 год и Охотский индекс за июнь с 1963 года по 2021 год. Охотский индекс был выбран как предиктор.

Охотский индекс — это интенсивность сезонной области высокого давления, которая формируется над Охотским морем в период с мая по август [8].

Обычно эта область на климатических картах приземного давления показана в виде гребня Северотихоокеанского (Гавайского) антициклона. Формирование антициклона обусловлено структурой термобарического поля атмосферы, при которой в средней тропосфере над дальневосточными морями образуется ложбина геопотенциала, которую хорошо видно на картах абсолютной топографии поверхности 500 мб (АТ-500).

При развитии первой стадии летнего дальневосточного муссона, происходящего в июне и июле, Охотский антициклон оказывает наибольшее влияние на термический и динамический режим поверхностных вод Японского моря и района острова Хоккайдо и южных Курильских островов. Интенсивный вынос холодных воздушных масс, который происходит при высоких значениях Охотского индекса, приводит к резкому понижению температуры воды. При развитии второй стадии летнего муссона, происходящей в августе, Охотский антициклон влияет на количество осадков в районах Приморского и Хабаровского краев [8].

Количественно значения индекса характеризуют интенсивность Охотского антициклона и рассчитываются как среднемесячные значения приземного атмосферного давления над всей акваторией моря, и определяются по результатам реанализа NCEP/NCAR в узлах регулярной сетки $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$

Рассчитываем коэффициент кросскорреляции между двумя рядами с помощью формулы:

$$r(\pm\tau) = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y (N-1-|\tau|)} \sum_{i=1}^{N-|\tau|} [(x_i - \bar{x})(y_{i\pm\tau} - \bar{y})] \quad (2)$$

После того как все коэффициенты взаимной корреляции нанесены на график зависимости r от сдвига и соединили плавной кривой, получили взаимно корреляционную функцию в зависимости от сдвига (см. рис. 3.1.2.).

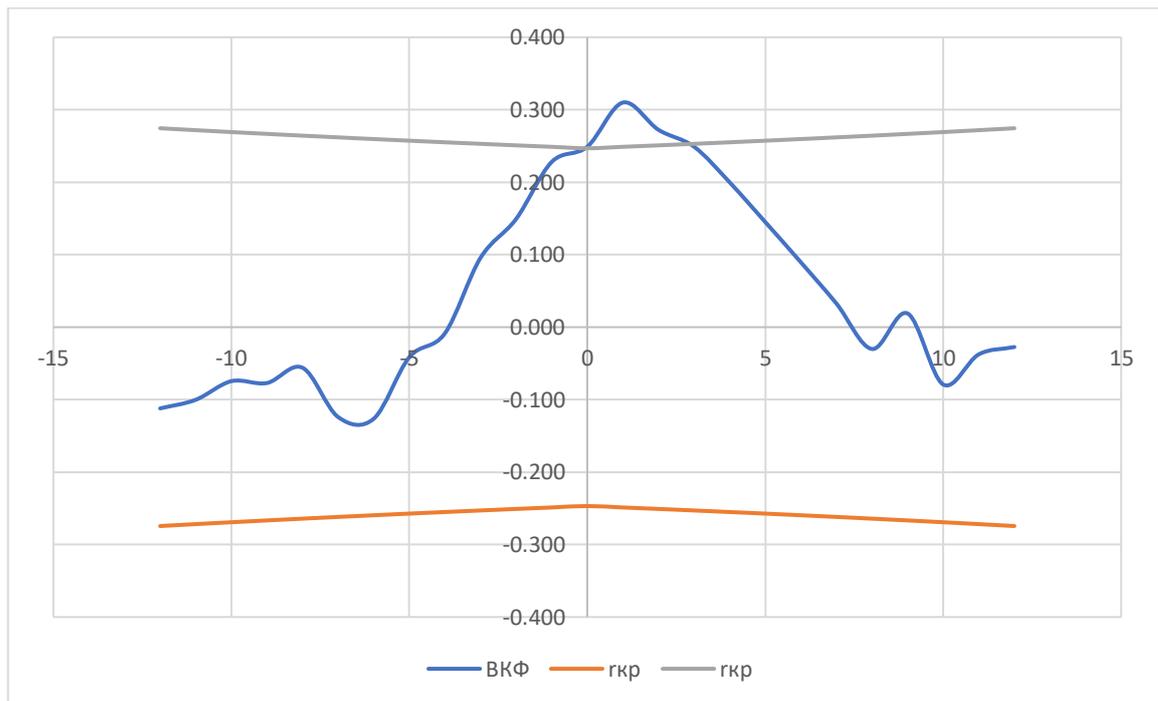


Рис.3.1.2. Зависимость коэффициента взаимной корреляции Охотского индекса и общего запаса минтая с 1963 по 2021 год от сдвига.

Значения ВКФ, которые превышают r - значимыми, а значения, которые находятся между уровнями значимости статистически равны нулю.

На рисунке видно, что наибольший коэффициент корреляции находится на сдвиге 1 и составляет 0,310.

3. Модель регрессии.

Модель регрессии строится на рядах предикторов и предиктантов. Так как в данной работе стоит задача спрогнозировать общий запас минтая, то предиктант будет ряд запаса минтая, а предиктором будет ряд значений Охотского индекса.

Так как нам известно, что иногда любая физическая характеристика может быть связана с несколькими другими характеристиками, то для определения связи между ними можно рассчитать множественную линейную регрессию (МЛР). Общее уравнение связи переменных может быть сформулировано в виде:

$$y_i = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j x_{ij} + \varepsilon_i = b_0 + b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + \dots + b_m x_{im} + \varepsilon_i, \quad (3)$$

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

МЛР в целом представляет собой обобщение линейной регрессии двух переменных на многомерный случай. Но если парная регрессия имеет геометрическое объяснение, то для МЛР это сделать очень трудно, так как для многомерного пространства не существует подобного толкования [9].

В работе проведены расчёты МЛР по формуле:

$$y_{i+1} = ax_1^i + bx_2^i + c \quad (4)$$

Где y_{i+1} - прогноз запаса на шаге $i+1$, x_1 -запас вида на предыдущем шаге, x_2 - значения Охотского индекса, a , b , c - коэффициенты уравнения регрессии.

Доказательством качества модели является неравенство $\sigma_\xi < \sigma_y$ (стандартная ошибка ряда меньше стандартного отклонения). Также коэффициент детерминации показал, что модель описывает 87% ($R^2=0,87$) дисперсии исходного ряда.

Табл. 3.1.1. Статистический характеристики.

R	a1	a2	b
0,94	0,051	0,952	-51,149
		σ_{ξ}	σ_{η}
		0,928	2,56
$\sigma_{\xi} < \sigma_{\eta}$			

Уравнение множественной линейной регрессии для общего запаса минтая будет:

$$P_{i+1} = 0,952 * P_i + 0,051 * T_i + 51,149 \quad (5)$$

Где P_i – запас минтая, а T_i – значения Охотского индекса.

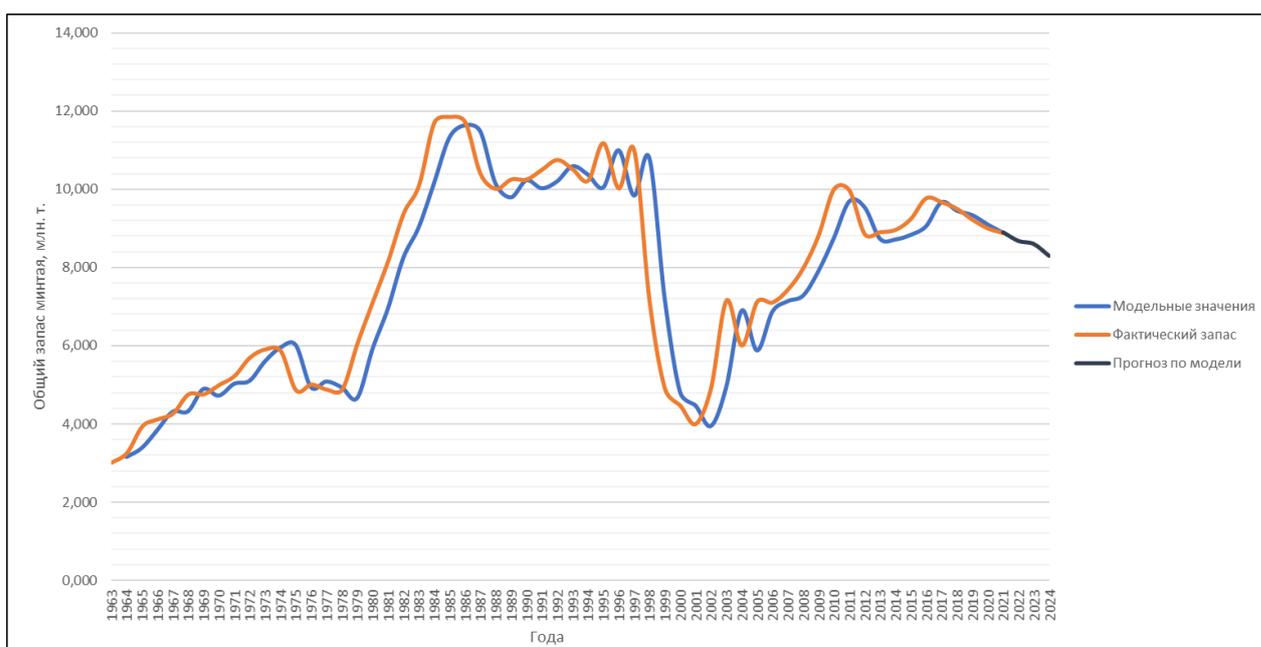


Рис.3.1.3. Восстановленные, фактические и спрогнозированные значения ряда общего запаса минтая с 1663 по 2024 год.

Из рисунка 3.1.3 видно, что качество восстановленного ряда хорошее. Это подтвердило и сравнение стандартной ошибки со стандартным отклонением ряда. Для восстановленного ряда запаса минтая обеспеченность уравнения МЛР по 0,676 составила 95%. Мы сравнили

ошибку с 0,67 Б, потому что наш прогноз является одношаговым, хотя прогноз с заблаговременностью в 1 год является долгосрочным прогнозом по классификации Росгидромета. Также в качестве критерия выбрана величина 0,67 Б, так как стандартное отклонения ряда довольно большое (2,56 млн. т.). Поэтому корректно сравнивать ошибку с 0,67 Б.

3.2 Модель Шефера.

Второй метод, который мы используем в этой работе – это модель Шефера.

Существует несколько способов для расчета биомассы и запасов промысловых видов рыб. Одной из простых является модель Шефера, которая основывается на временных рядах запаса 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.

Исходное уравнение модели выглядит таким образом:

$$\frac{dP}{dt} = P(A - BP) - qfP \quad (6)$$

Где A - коэффициент воспроизводства, B - коэффициент естественной смертности. Изменения биомассы происходят непрерывно, и их скорость пропорциональна биомассе P . Параметры A и B постоянны и определяются только внутренними свойствами популяции. Если промысла не происходит,

то биомасса со временем возрастает по логическому закону и стремится к предельной величине, определяемому соотношением A/B .

Коэффициент A рассчитывается по формуле, полученной после применения метода наименьших квадратов (МНК):

$$A = \frac{1}{N} (B \sum_{i=2}^n P_i + \sum_{i=2}^n C_i + \sum_{i=2}^n K_i) \quad (7)$$

C - представляет собой коэффициент промыслового изъятия, то есть улов делённый на запас: $C=U/P$ (3)

Коэффициент естественной смертности (B) рассчитывается по формуле:

$$B \sum_{i=2}^n P_i^2 = - \sum_{i=2}^n C_i P_i - \sum_{i=2}^n K_i P_i + \sum_{i=2}^n A P_i \quad (8)$$

Таким образом, рассчитав коэффициента A и B и имея ряд промысловых данных, можно и использовать уравнение (6) для прогноза запаса вида.

С помощью модели Шефера было произведено восстановление ряда общего запаса минтая.

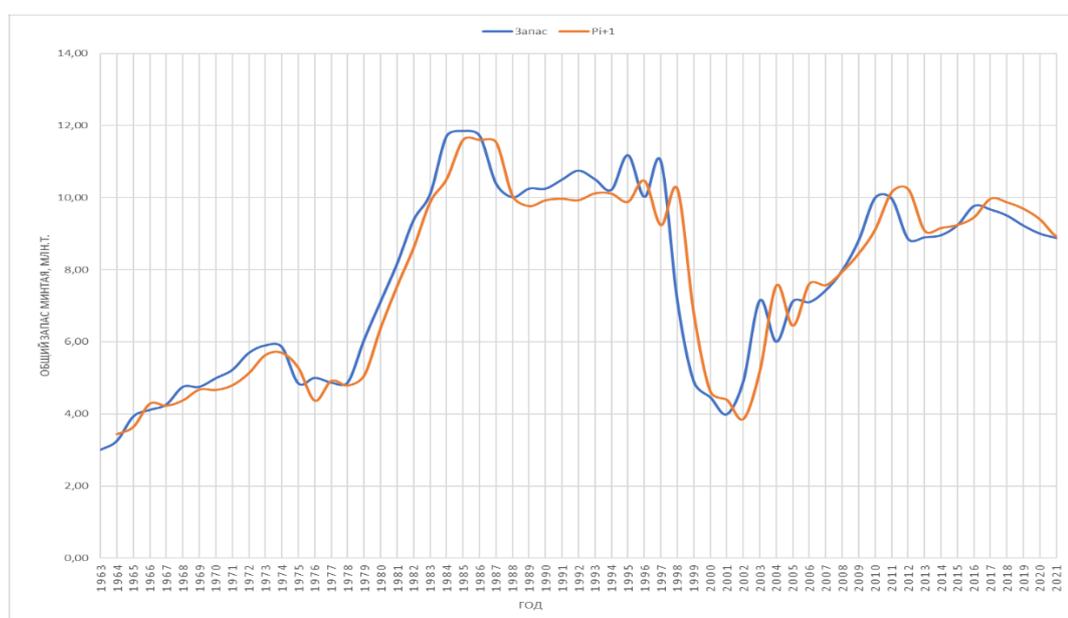


Рис.3.2.1. Совмещенный график исходного ряда запаса и рассчитанных значений минтая с 1963 по 2021 год.

На рисунке 3.2.1 видно, что расхождения с фактическими значениями имеются, но они не столь значительны. Для проверки качества модели используем тот же критерий, что и для уравнения МЛР. Рассчитываем обеспеченность сравнивая ошибки восстановления с 0,67б, для получения более точных данных. В итоге обеспеченность для ряда общего запаса минтая составила 95,1%.

Далее для прогнозирования запасов проводятся расчеты при трех различных значения коэффициентов промыслового изъятия, при которых он бы возрастал, убывал или бы оставался бы на том же уровне.

Для этого необходимо проинтегрировать уравнения:

$$\int_{P_0}^P \frac{dP}{(-BP^2 + (A-C)P)} = \int_{t_0}^t dt \quad (9)$$

Это табличный интеграл, решение которого является:

$$\frac{1}{(A-C)} \ln \frac{BP - (A-C)}{P} \Big|_{P_0}^P = t \Big|_{t_0}^t \quad (10)$$

В итоге получим уравнение:

$$P(t) = \frac{P_0(A-C)}{BP_0 - (BP_0 - A + C) \exp(-t(A-C))} \quad (11)$$

Зная коэффициенты A , B , C мы сможем с помощью уравнения (11) спрогнозировать биомассу популяции на последующий период.

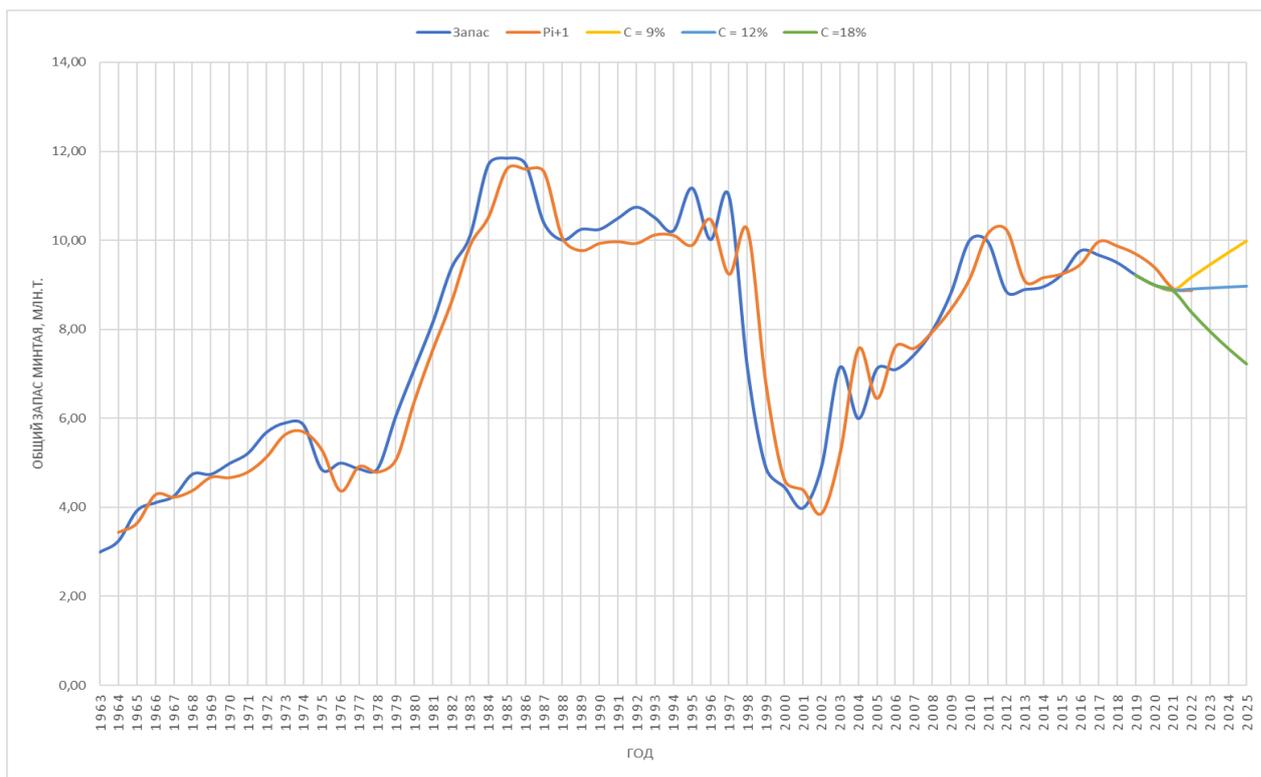


Рис.3.2.2. Фактические и рассчитанные значения общего запаса минтая и ее прогностическое значение при уровне изъятия при 9%, 12% и 18%.

Из рисунка 3.2.2 мы видим, что при промысловом изъятии в 9% общие запасы минтая будут сильно увеличиваться. Серьезное уменьшение запасов происходит при изъятии 18%. Из этого можно сделать вывод, что в ближайшие годы рыбкам не стоит чрезмерно вылавливать данный вид, чтобы не привести к уменьшению его запаса. При промысловом изъятии равном 12% уровень запаса находится в благоприятном или устойчивом состоянии, поэтому этот процент изъятия наиболее предпочтительный.

3.3 Спектральный и гармонический анализ.

Третий метод, который мы используем в нашей работе – это спектральный анализ и представление ряда в виде суммы гармонических колебаний.

Временной ряд может содержать n -е количество циклических составляющих. Гармонический анализ позволяет разложить ряд без остатка в ряд Фурье, то есть 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 [10].

Для прогнозирования ряда нужно разложить ряд на конечное число гармоник и определить периоды и частоты, на которых присутствуют наиболее значимые гармоники. Далее рассчитываются характеристики гармоник и складываются ряды этих гармоник. Для этого используются формулы:

1. Формула гармоники:

$$G_k = A_k \cos(\omega_k \cdot t - \varphi_k), \quad (12)$$

где k – номер гармоники; A_k – амплитуда гармоники; ω_k – частота гармоники; T_k – период гармоники; φ_k – фаза гармоники; t – время.

2. Частота гармоники:

$$\omega_k = 2\pi/T_k \quad (13)$$

3. Коэффициенты Фурье:

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N [x_i \sin(\omega_k \cdot t_i)], \quad (14)$$

$$b_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N [x_i \cos(\omega_k \cdot t_i)] \quad (15)$$

где x_i – исходный ряд; N – длина ряда; ω_k – частота гармоники; t_i – ряд времени.

4. Амплитуда гармоники:

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (16)$$

5. Фаза гармоники:

$$\phi_k = \arctg \frac{a_k}{b_k} [\pm\pi] \quad (17)$$

6. Дисперсия гармоники:

$$D_k = \frac{A_k^2}{2} \quad (18)$$

7. Вклад гармоники в общую дисперсию ряда:

$$V_k = \frac{D_k}{D_y} \quad (19)$$

где D_y – дисперсия исходного ряд.

В ходе расчетов было получено, что значимы вклад в изменчивость ряда общего запаса минтая вносят 2 гармоники с периодами 12 и 38 лет.

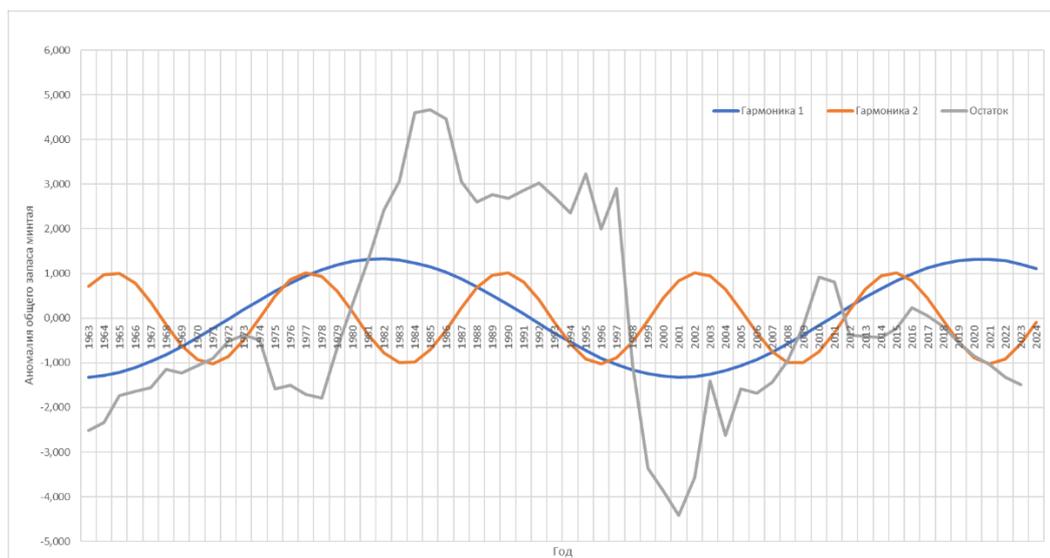


Рис.3.3.1. Совмещенный график запаса минтая и двух гармоник с периодами 12 и 38 лет с удаленным линейным трендом.

Гармоника с периодом 38 лет имеет наибольший вклад – 18% и большую амплитуду и следовательно, имеет большее влияние на изменчивость запаса, а гармоника с периодом в 12 лет имеет вклад более меньший – 11%.

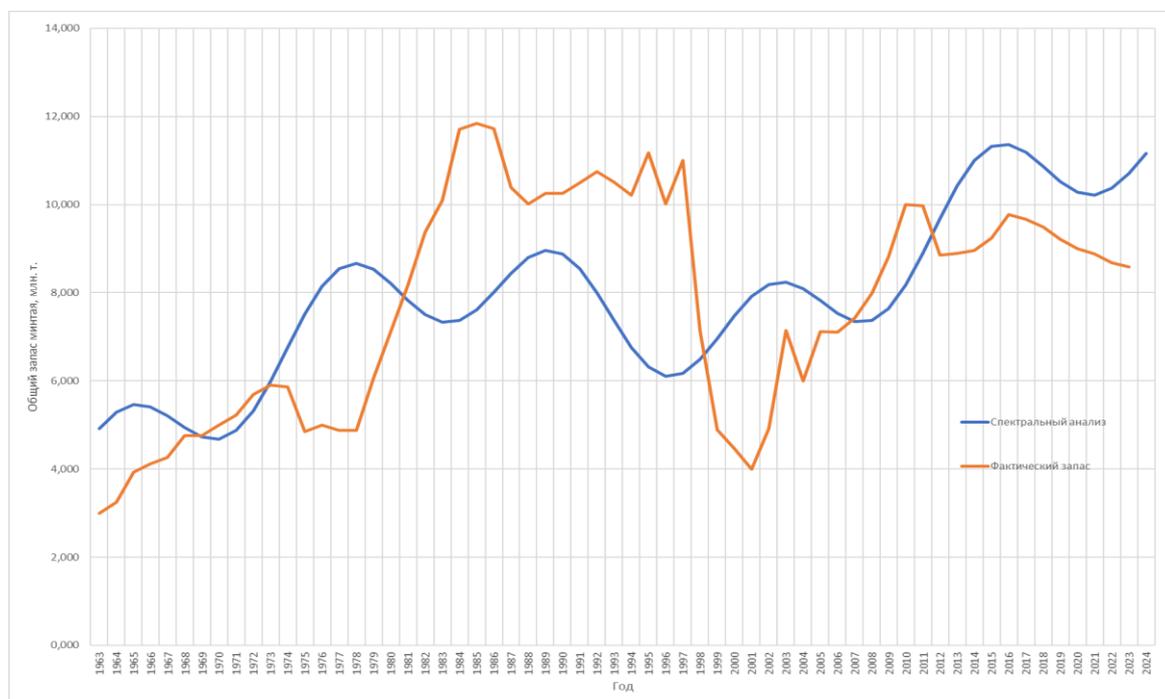


Рис.3.3.2. Совмещенный график исходного ряда и восстановленного ряда с помощью суммирования 2 гармоник и линейного тренда с прогнозом на 4 года вперед.

По рисунку 3.3.2 видно, что расхождения фактических значений и рассчитанных значений слишком велико. Расчёт обеспеченности проводили также как и для уравнения МЛР и модели Шефера, сравнивая ошибки восстановления с 0,67 сигма. Получили обеспеченность для общего запаса минтая всего 57,4%. Следовательно данный прогноз можно считать менее удачным, чем два предыдущих. Однако при прогнозировании на более длительный срок (несколько лет) уравнение МЛР и модель Шефера дадут монотонное возрастание или убывание запаса, а сумма гармоник даст колебательный процесс, что может оказаться более верным.

Глава 4. Сравнение результатов, полученных разными методами.

В данной работе были применены 3 метода прогноза – уравнение МЛР, модель Шефера и гармонический анализ, которые показали разные результаты. Итоги приведены в таблице 4.1.

Табл. 4.1. Прогноз значений общего запаса минтая.

Годы	Факт	Модель регрессии	Модель Шефера	Спектральный анализ
2021	8,88	8,89	8,87	10,22
2022		8,68	8,90	10,37
2023		8,60	8,93	10,71
2024		8,30	8,95	11,16
2025			8,97	10,22
				Величины запасов в млн тонн

Из представленной таблицы видно, что наилучшие результаты показали модель регрессии и модель Шефера. По модели Шефера получено, что общий запас минтая будет постепенно расти. Так как модель Шефера использует только промысловые данные, то он является наиболее вероятным. Так как модель Шефера показала наилучшую обеспеченность, то этот прогноз будем считать наилучшим.

По модели регрессии запас наоборот будет падать. Однако специалисты ТИПРО дают прогноз с уменьшением общего запаса в дальнейшем. Модель регрессии может давать прогноз на несколько шагов вперед, но при этом ошибка с каждым шагом будет расти, поэтому прогноз будет ухудшаться. Тем не менее при одношаговом прогнозе обеспеченность была довольно высокой.

По спектральному анализу запас будет то убывать, то опять возрастать. Прогноз не очень удачный. Но при прогнозировании на более длительный срок сумма гармоник даст колебательный процесс, что может оказаться более верным, чем в двух предыдущих методах.

Заключение

1. Минтай наиболее массовый промысловый вид Дальневосточного бассейна. В работе выполнен анализ состояния промыслового запаса и уловов охотоморского минтая с 1963 по 2021 гг. Эта популяция не перескается с другими популяциями минтая на Дальнем востоке, поэтому анализ и прогнозирование его запасов можно производить независимо от других популяций. Анализ состояния запаса и прогноз промыслового запаса охотоморского минтая на 2022-2024 гг выполнен с помощью трех методов: регрессионная модель, модель Шефера и гармонический анализ.

2. В настоящее время запас минтая находятся в благополучном состоянии. Общий запас в последний известный в источниках 2021 г. составил 8,88 млн. тонн.

3. При составлении уравнения множественной регрессии с двумя предикторами: охотский индекс и сам запас со сдвигом 1 шага. В модели Шефера учитывала рассчитаны коэффициенты воспроизводства и естественной смертности и заданы возможные проценты изъятия. При разложение ряда запаса на спектральные составляющие выделены две значимые гармоники.

Проверка качества методов производилась сравнением восстановленных и фактических значений рядов промысловых запасов. Критерий- абсолютная ошибка меньше или равна 0,67 СКО. Результаты сравнения методов показали, что лучшую обеспеченность дала модель Шефера- 95,1%. Восстановление ряда запаса на основе уравнения регрессии 95%, восстановление на основе спектрального разложения – 57%.

4. Прогноз запаса, выполненный на основе уравнения регрессии, в 2022 и 2023 гг. показал незначительное падение запаса от последнего фактического значения в 8,89 млн. тонн до примерно 8,3 млн тонн.

5. Прогноз запаса по модели Шефера при промысловом изъятии в 12 % показал рост запаса к 2025г до почти 9 млн. тонн.

6. Спектральный анализ и сложение двух гармоник с периодами 12 и 38 лет дает рост запаса с возможными колебаниями, прогноза на ближайшие 2-3 года. Возможно, прогноз на основе сложения гармоник дал бы хорошие результаты на более отдаленный срок.

7. Учитывая, что промышленный запас минтая в 2021 году находится на благополучном состоянии и растет в последние годы, то следует ожидать, что и дальше будет скорее всего незначительный рост запаса. Такую тенденцию в наших расчетах показывает модель Шефера и спектральное разложение.

Тогда, наиболее вероятным считаем прогноз, выполненный по модели Шефера, причем допустимое изъятие составляет 12% от промышленного запаса. В этом случае промышленный запас в ближайшие 2 года будет расти и к концу 2023 г. составит около 8,93 млн. тонн.

Список литературы

1. Варкентин А.И, Н.П. Сергеева, О.И. Ильин, Е.Е. Овсянников. Промысел, размерно-возрастной состав, состояние запасов и перспектива вылова минтая (*gadus chalcogrammus, pallas, 1814*) на акватории, прилегающей к Камчатскому полуострову и северным Курильским островам // сборник исследования водных биологических ресурсов Камчатки и Северо-Западной части Тихого океана. – УДК 639.22/23(265.2+265.53)
2. Мельников И.В., А.А. Байталюк. Современное состояние сырьевой базы рыбной промышленности Дальневосточного бассейна и перспективный прогноз ее развития на период до 2025 г. // Таможенная политика России на Дальнем востоке. - № 3(60)/2012
3. Овсянников Е.Е., С.С. Пономарев. Оценка состояния запасов минтая в охотском море весной 2013г. // Известия ТИНРО том 177. – УДК 597.562(265.53)
4. [Электронный ресурс]-данные по Охотскому индексу. Свободный доступ: <http://tinro.vniro.ru> (дата обращения 20.05.2024)
5. [Электронный ресурс]-данные по Охотскому морю. Свободный доступ: <https://geographyofrussia.com/morya-rossii-oxotskoe-more/> (дата обращения 20.05.2024)
6. Гриценко О.Ф., А.Н. Котляра, Б.Н. Котенёва. Промысловые рыбы России том 1 // УДК 597.1/.5(470)
7. Зонн И.С., Костяной А.Г. Охотское море. Энциклопедия. - М.: Междунар. отношения, 2009. - 256 е., ил. С. 214-250.
8. Мороз В.В., Шатилина Т.А. Влияние атмосферных процессов на формирование экстремальных гидрологических условий в южной части Охотского моря и на прилегающих акваториях в летний период // Метеорология и гидрология. - 2020.- № 9.- С. 78-88.
9. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. – 2020.- УДК [551.46+551.5+556]:519.23(075.8)

10. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине «Анализ временных рядов». - 2023.- УДК 551.46(07)