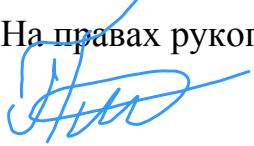


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ»
АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ФИЛИАЛ («АзНИИРХ»)

На правах рукописи


ПЯТИНСКИЙ
Михаил Михайлович

СОСТОЯНИЕ ЗАПАСА И ПРОМЫСЛА ШПРОТА (*SPRATTUS SPRATTUS PHALERICUS* (RISSO, 1827)) В СЕВЕРНОЙ И СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИХ ЧЁРНОГО МОРЯ

Специальность 1.5.13 – «Ихтиология»

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель
доктор биологических наук
А.Г. Архипов

Москва – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТОЯНИЯ ЗАПАСОВ, ПРОМЫСЛА И ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ШПРОТА В ЧЁРНОМ МОРЕ	11
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	26
ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ	43
ГЛАВА 4. СОСТОЯНИЕ ПРОМЫСЛА ЧЕРНОМОРСКОГО ШПРОТА	51
4.1 Особенности международного промысла шпрота в Чёрном море	51
4.2 Особенности регионального промысла на шельфе Крыма и Кавказа ...	60
4.3 Структура регионального вылова на крымско-кавказском шельфе	78
4.4 Некоторые экономические особенности российского промысла шпрота на крымско-кавказском шельфе	86
ГЛАВА 5. СОСТОЯНИЕ ЗАПАСА ЧЕРНОМОРСКОГО ШПРОТА	91
5.1 Состояние общечерноморского запаса шпрота	91
5.2 Настройка модели XSA для оценки биомассы нерестового запаса, численности пополнения и промысловой смертности крымско- кавказской единицы запаса шпрота	95
5.3 Динамика численности и состояние крымско-кавказской единицы запаса шпрота	103
5.4 Описание зависимости «запас-пополнение» крымско-кавказской единицы запаса шпрота	111
5.5 Биологические ориентиры управления крымско-кавказской единицы запаса	115
5.6 Стратегия управления промыслом крымско-кавказского запаса шпрота	121
ГЛАВА 6. ВЛИЯНИЕ БИОТИЧЕСКИХ И АБИОТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СОСТОЯНИЕ ЗАПАСА ШПРОТА	127

6.1 Влияние климатических изменений (температурного фактора) на размерно-массовые характеристики крымско-кавказской единицы запаса	127
6.2 Влияние некоторых биотических факторов на состояние крымско-кавказской единицы запаса	135
ГЛАВА 7. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЗАПАСА И ПРОМЫСЛА КРЫМСКО-КАВКАЗСКОЙ ЕДИНИЦЫ ЗАПАСА ШПРОТА	142
7.1 Прогнозирование численности пополнения нерестового запаса	142
7.2 Прогнозирование на основе сценариев промысловой смертности	142
7.3 Прогнозирование сценариев состояния запаса	144
ВЫВОДЫ	150
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ	152
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	154

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Европейский (черноморский) шпрот (*Sprattus sprattus phalericus* (Risso, 1827)) – наиболее массовый представитель пелагического сообщества рыб Чёрного моря. Исследование биологических особенностей и способов промышленного рыболовства этого вида началось в 1950-х гг. по мере сокращения доступности для промысла более ценных видов рыб (Асланова, 1954; Домашенко, Юрьев, 1978).

Черноморский шпрот является короткоцикловым, холодолюбивым, зимненерестующим видом. Предельная продолжительность жизненного цикла составляет 6 лет, в промысловых уловах особи старше 4 лет встречаются единично. Половой зрелости черноморский шпрот достигает уже на первом году жизни в возрасте 9–12 месяцев.

Впервые специализированный промысел шпрота в Чёрном море разноглубинными тралами был реализован у побережья Болгарии в 1971 г., через 5 лет к массовому промыслу присоединился СССР. Уже к концу 1990-х гг. ежегодные уловы шпрота всеми причерноморскими странами стали достигать рекордных 100 тыс. т. С начала 2000-х гг. специализированный промысел шпрота близнецовыми тралами и кошельковыми неводами начала Турция, уловы которой в некоторые годы достигали 50–80 тыс. т. Черноморский шпрот стал важным объектом продовольственной безопасности СССР и по настоящий момент является таковым для современной России.

Для обеспечения рациональной эксплуатации запасов черноморского шпрота во времена СССР выполнялась оценка запаса его популяции, распределявшейся от Батуми до границы Болгарии с Турцией. В период 1970–1990 гг. регулярно проводились массовые исследования биологических параметров популяции, условий питания и размножения. При оценке запасов вплоть до начала 1990-х гг. применялось когортное моделирование (VPA). Учётные траловые съёмки и специализированные ихтиопланктонные и гидроакустические учётные съёмки по всей акватории Чёрного моря, исключая

воды Турции, выполнялись до начала 2000-х гг. (Шляхов, Чащин, 2004). После распада СССР качество и количество собираемого материала существенно снизилось. Более того, значительное сокращение черноморских акваторий, на которых регулирование рыболовства осуществляла Россия, привело к невозможности выполнения оценки общечерноморского запаса (запас всей черноморской популяции) шпрота.

В первой половине 1990-х годов международной группой экспертов под руководством К. Проданова была предпринята первая попытка оценки общечерноморских запасов основных промысловых рыб, включая шпрота, и обоснования мер регулирования рыболовства для всего Чёрного моря. Материалы и подробные результаты были опубликованы Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных наций (ФАО) (Prodanov et al., 1997). С 2009 г. оценку запаса черноморского шпрота и обоснование мер регулирования рыболовства для всей его популяции, но без установления и распределения национальных квот вылова, стали производить рабочие группы экспертов при различных международных организациях: до 2017 г. – при Научном, техническом и экономическом Комитете по рыболовству Европейской комиссии (STECF), в последующие годы – при Генеральной Комиссии по Рыболовству в Средиземном море (GFCM). Последние результаты оценки состояния общечерноморского запаса опубликованы в 2017 г. (Cardinale et al., 2017). За всю историю функционирования международных рабочих групп Россия не выполняла фактическую реализацию рекомендаций международных рабочих групп на внутригосударственном уровне при регулировании промысла – в условиях отсутствия всеобъемлющего международного соглашения о рыболовстве в Чёрном море и как страна, не имеющая членства в GFCM.

В период 1993–2017 гг. регулирование промысла шпрота на Крымском и Кавказском шельфе выполнялось раздельно без учёта результатов работы международных рабочих групп по причине отсутствия соглашений о международном регулировании промысла. Оценка запасов шпрота, обитающего на крымском и кавказском шельфе (региональная крымско-кавказская единица

запаса), и регулирование промысла осуществлялось на основе региональных оценок запаса трендовыми и когортными моделями по длине (крымский шельф), и по результатам прямого учёта (кавказский шельф). Применение данных подходов не позволяло получить высокую прогностическую надёжность при оценке запасов и регулировании промысла.

Данное исследование выполнено для совершенствования мер научного регулирования промысла крымско-кавказской единицы запаса черноморского шпрота (обособленная часть общечерноморского запаса, обитающая в пределах территориальных вод крымско-кавказского шельфа) в условиях отсутствия актуальных результатов оценки состояния запаса и промысла общечерноморского запаса. Дополнительно к изучению крымско-кавказской единицы запаса выполнена работа по анализу имеющейся информации о единой черноморской популяции шпрота. В работе представлен анализ многолетних материалов, обобщённых автором, и результаты оценки состояния запасов и промысла региональной крымско-кавказской единицы запаса черноморского шпрота.

Цели и задачи работы. Целью данной работы является разработка подхода к рациональной эксплуатации черноморского шпрота в северной и северо-восточной частях Чёрного моря (крымско-кавказская единица запаса) на основе результатов анализа многолетних данных по динамике запаса, промысла и биологическим характеристикам этого вида с учётом влияния факторов окружающей среды.

Для достижения представленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Систематизировать, обобщить и проанализировать многолетние промысловово-биологические показатели вылова шпрота на крымско-кавказском шельфе Чёрного моря.
2. Реализовать когортную модель динамики численности популяции для оценки биомассы нерестового запаса, численности пополнения и промысловой смертности крымско-кавказской единицы запаса шпрота.

3. Определить биологические ориентиры управления для крымско-кавказской единицы запаса шпрота, исследовать её состояние относительно ориентиров по биомассе и промысловой смертности.

4. Выявить закономерности формирования численности пополнения нерестового запаса для прогнозирования.

5. Исследовать основные абиотические и биотические факторы воздействия на крымско-кавказскую единицу запаса черноморского шпрота.

6. Разработать принципы рациональной эксплуатации крымско-кавказской единицы запаса шпрота в прогнозный период 2024–2025 гг.

Положения, выносимые на защиту.

1. Повышение температуры воды в Чёрном море в результате изменений климата негативно сказывается на размерно-массовых характеристиках популяции шпрота и величине биомассы её запаса.

2. Современное состояние крымско-кавказской единицы запаса шпрота соответствует «серединному», характеризуемому нахождением в буферной зоне между предосторожным и граничным биологическими ориентирами.

3. В условиях продолжающихся изменений климата перспективы улучшения состояния крымско-кавказской единицы запаса шпрота и эффективности его промысла в ближайшие годы отсутствуют.

Научная новизна. В рамках выполнения данной работы представлены результаты моделирования динамики биомассы нерестового запаса, численности пополнения и промысловой смертности региональной крымско-кавказской единицы запаса черноморского шпрота при помощи расширенного анализа выживания XSA (Darby, Flatman, 1994; Shepherd, 1999). Данный подход к оценке запаса региональной единицы запаса применяется впервые после начальной попытки выполнения когортного моделирования на XSA для всего региона Чёрного моря (Prodanov et al., 1997). Для подтверждения применимости данного подхода к оценке запаса региональной единицы запаса выполнено всестороннее тестирование модели, которое показало высокую устойчивость модели к стартовой параметризации, удовлетворительную надёжность при

прогнозировании на период до 5 лет вперёд, отсутствие значимых расхождений с наблюдёнными в ходе научных съёмок параметрами популяции.

При выполнении данной работы впервые представлен анализ промысла шпрота на крымско-кавказском шельфе за продолжительный период 1994–2022 гг. Представлены результаты оценки производительности промысла и количества промысловых усилий при добыче шпрота. Впервые представлен обзор некоторых экономических особенностей промысла, объясняющий снижение величины годового вылова в 2022 г.

Также впервые представлен прогноз стратегии рациональной эксплуатации шпрота на основе обзора и анализа состояния запаса, условий среды обитания и экономических перспектив ведения промысла.

Теоретическая и практическая значимость. В ходе выполнения работы выявлены основные закономерности формирования регионального запаса шпрота и осуществления промысла в российских водах (территориальные воды крымско-кавказского шельфа) Чёрного моря. Установлены закономерности влияния промысла на состояние возрастной и размерно-массовой структуры региональной крымско-кавказской единицы запаса шпрота. Выявлены особенности влияния глобальных климатических изменений на региональной единице запаса шпрота.

Результаты, полученные в ходе выполнения исследования, применяются при подготовке прогноза рекомендованного вылова шпрота в водах России. На основе прогнозных сценариев регулярно выполняется определение величины рекомендованного вылова для регулирования промысла.

Перспективы дальнейшей разработки темы. В ходе выполнения работы отмечена необходимость совершенствования подходов к сбору, обработке и анализу биологических данных о кормовой базе шпрота на крымско-кавказском шельфе. Отмечена необходимость налаживания сбора биологических данных и учёта численности хищников – мерланга, луфаря, а также морских млекопитающих. В условиях совершенствования подходов к сбору и обработке информации в дальнейшем могут быть выполнены всеобъемлющий анализ и описание функциональных зависимостей в трофической цепи. Функциональное

описание трофических связей позволит повысить точность прогнозирования запаса и вылова.

По ходу совершенствования математического аппарата моделирование динамики крымско-кавказской единицы запаса может быть выполнено на наиболее современных когортных моделях типа “statistical catch-at-age”: a4a, SAM в соответствии с рекомендациями ICES. Применение данных стохастических подходов позволит учесть воздействие селективности орудий лова при промысле на запасы, а также внедрить процедуру сглаживания межгодовых флюктуаций в зависимости «запас-пополнение».

Личный вклад автора. Автор лично сформулировал тему, цель и задачи данного исследования, выполнял систематизацию, обработку и анализ материалов, настройку и программную реализацию когортной модели и оценок параметров популяции, сформулировал и выполнил проверку основных гипотез.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность представленных результатов и выводов обусловлена большим объёмом многолетних систематизированных и унифицированных данных, характеризующихся высокой репрезентативностью. Обработка данных выполнена современными методами моделирования динамики численности популяций, включённых в международные рекомендации ИКЕС (Международный Совет по исследованию моря) и методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов, разработанные ФГБНУ «ВНИРО» (Бабаян и др., 2018).

Материалы представленного исследования начиная с 2020 г. используются при подготовке обоснования рекомендованного вылова крымско-кавказской единицы запаса шпрота. Результаты регулярно представляются на учёном совете Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО». Методический подход и результаты исследования представлены на профильном методологическом семинаре о методиках оценки запаса и промысла им. В.К. Бабаяна в 2021 и 2023 гг. Материалы исследования были представлены на конференциях: «Морские исследования и образование (Maresedu) - 2022», «Экология. Экономика.

Информатика» (2022 г.), «Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Рубрика “Экологические исследования и экологический мониторинг”» (2021 г.), «Вестник научных конференций» (2021 г.), «Научный альманах» (2021 г.).

Публикации. По теме диссертации автором опубликовано 9 работ, из них 4 - в журналах, рекомендуемых ВАК, 1 - в журналах из перечня Scopus. В перечень РИНЦ входят 9 работ.

Объём и структура работы. Диссертация представлена на 171 страницах машинописного текста, включает 36 рисунков и 23 таблицы, состоит из введения, 7 глав, выводов, списка терминов и сокращений, списка литературы. Список литературы включает 167 источников, из них 73 иностранных.

Благодарности. Автор выражает глубокоеуважение В.А. Шляхову за многочисленные научные консультации, помошь в выполнении исследований и совместные публикации. Искреннюю признательность выражают А.Г. Архипову за помощь в подготовке материалов диссертации. Выражаю благодарность сотрудникам Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» за многолетний труд по сбору первичного материала и его обработке: О.В. Шляховой, А.Е. Исачкову, С.Н. Негоде, О.А. Перевалову. Автор благодарит С.Н. Кульбу, В.Н. Белоусова, С.И. Дудкина, В.П. Надолинского, Д.Ф. Афанасьева за ценные советы и рекомендации по улучшению работы.

ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТОЯНИЯ ЗАПАСОВ, ПРОМЫСЛА И ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ШПРОТА В ЧЁРНОМ МОРЕ

Первые наиболее массовые исследования распределения азово-черноморских рыб и рыболовства в Азово-Черноморском бассейне были проведены в ходе экспедиции 1863–1864 гг и опубликованы её руководителем Н.Я. Данилевским (Данилевский, 1871). В этой и последующих работах вплоть до 1950-х гг. (Тихонов, 1950) не рассматривались перспективы промысла шпрота по причине осуществления в те годы промысла более ценных видов рыб: осетровых (белуги, севрюги, русского осетра, шипа, стерляди) и частиковых проходных видов (судак, тарань, рыбец, черноморско-азовская сельдь).

Комплексные исследования распределения, жизненного цикла и перспектив промысла черноморского шпрота (*Sprattus sprattus phalericus*) выполнены в 1948–1949 гг. (Асланова, 1954). Черноморский шпрот – пелагический, стайный, короткоциклический вид, обитающий повсеместно в Чёрном море. Шпрот является зимнерестующим видом холодноводного комплекса. Максимальная продолжительность жизни достигает 6 лет, половая зрелость наступает на 1–2 году жизни. В Чёрном море шпрот обитает на всей его акватории, в том числе в открытой части моря. Черноморский шпрот не совершает протяжённых пространственных миграций, за исключением нерестовой, что позволяет рассматривать единицу популяции, локализованную в территориальных водах России обособленно (региональная единица запаса).

В жизненном цикле шпрота можно условно выделять 3 различных периода, в которые радикально изменяется его поведение и пространственное распределение:

- период нагула: апрель – сентябрь (октябрь). В данный период шпрот активно питается в шельфовой прибрежной зоне. Этому периоду предшествует непродолжительная нагульная миграция из открытого моря в шельфовую зону (март – апрель);

– период преднерестовой миграции и рассредоточения шпрота в открытом море: октябрь – ноябрь. В этот период шпрот изменяет своё поведение – больше не собирается в плотные скопления и устремляется в открытое море;

– период нереста: ноябрь – март. В данный период шпрот, как правило, не образует на шельфе плотных скоплений, рассредоточен по всей акватории Чёрного моря, совершают порционное икрометание.

На момент публикации обзорной работы (Асланова, 1954) специализированное рыболовство шпрота в Чёрном море не осуществлялось. Отмечены незначительные приловы шпрота в прибрежные орудия лова с другими видами рыб.

На основе данной и последующих работ (Чаянова, 1958; Юрьев, 1972, 1978; 1979; Дехник, 1973; Архипов, Ровнина, 1990; Архипов, 2006) были установлены спектр питания и гидрологические условия, обуславливающие нагульно-нерестовые миграции, сроки и районы распределения взрослых особей, их потомства на ранних стадиях онтогенеза и урожайность поколений. Основой питания черноморского шпрота является зоопланктон. В отличие от многих других планктофагов, черноморский шпрот питается зоопланктоном как тепловодного, так и холодноводного комплекса. Интенсивность питания шпрота обусловлена биологическими особенностями его жизненного цикла и пространственным распределением. Отличительной особенностью биологии черноморского шпрота является активное питание во время нереста, а также выраженные суточные вертикальные миграции в поисках зоопланктона как холодноводного, так и тепловодного комплекса.

«Пусковым механизмом», определяющим начало и окончание как нерестовой, так и нагульной миграции является температурный фактор. Преднерестовое состояние популяции шпрота начинается с момента понижения температуры воды до 12–13 °С и ниже, в этот момент температура поверхности воды переходит отметку 10 °С. После снижения температуры до этого уровня скопления шпрота начинают рассредоточиваться, и рыба мигрирует в глубоководную открытую часть моря. Икрометание шпрота происходит

порционно, при температурах 7,5–8 °С. В период нереста шпрот продолжает питаться зоопланктоном холодноводного комплекса (*Calanoida*), сосредоточивается на глубинах уровня залегания термоклина 30–80 м и совершает суточные кормовые вертикальные миграции. Нагульная миграция к прибрежному шельфу начинается в апреле по мере прогрева температуры поверхностных вод до 10 °С, придонных до 5–6 °С. Наибольшей интенсивности нагульная миграция достигает в мае, когда температура поверхностных вод достигает 16 °С, а в придонном слое – 8 °С.

В период с 1982 по 1992 г., по результатам ежегодно проводимых ЮгНИРО ихтиопланкtonных и мальковых съёмок зимненерестующих рыб, численность 0-группы шпрота в северной половине Чёрного моря оценивалась в диапазоне 24–441 млрд шт., при этом в 8 случаях из 11 поколения оценивались как высокоурожайные, урожайные и среднеурожайные. В учётных съёмках максимальные уловы молоди шпрота отмечены на траверзах Севастополя, Новороссийска и Сочи (от 40 до 250 тыс. экз. за 1 получасовое трапление мальковым трапом Данилевского) (Шляхов, Архипов, 1992).

Нерестящиеся особи встречаются в течение всего года, однако массовое икрометание приходится на холодное время года – с октября по март с пиком в декабре – феврале. Апрель – май – наиболее благоприятный период трапового учёта личинок и мальков шпрота, когда в поверхностных слоях моря встречается подросшая молодь всех зимних генераций.

Как было отмечено и в ранних работах, шпрот распределяется в Чёрном море повсеместно. Однако наиболее плотные его концентрации были отмечены в период нагула в северной (шельф Крыма) и северо-восточной (Кавказский шельф) частях моря.

На основании результатов исследований распределения и биологических особенностей жизненного цикла шпрота Г.П. Домашенко и Г.С. Юрьевым (1978) были выполнены первые работы по оценке его запасов и определению оптимальных районов промысла, объёмов и способа добычи. При оценке запасов шпрота в данной работе отечественными учёными изучался запас,

распределяющийся в водах Чёрного моря за исключением акватории исключительной экономической зоны (общечерноморский запас).

Оценка общечерноморского запаса шпрота выполнялась при помощи модифицированного подхода Баранова (Баранов, 1918; Ricker, 1975; Шибаев, 2015) на основе известных на тот момент биологических параметров популяции и результатов прямого учёта траловым орудием лова. В результате выполнения работы запасы шпрота были оценены на уровне от 145 до 370 тыс. т. Оптимальный вылов по мнению авторов мог составлять от 85 до 234 тыс. т, таблица 1.1. Была отмечена значительная недоэксплуатация общечерноморского запаса всеми странами Причерноморья.

Таблица 1.1 – Краткие результаты оценки общечерноморского запаса и перспектив промысла шпрота в Чёрном море по результатам исследований АзЧерНИРО (Домашенко, Юрьев, 1978)

Год	Нерестовый запас, тыс. т	Общий фактический вылов, тыс. т	Недоэксплуатация, %
1966	145	3,0	96,7
1967	187	3,0	97,5
1969	210	2,6	98,0
1970	218	2,8	97,1
1971	152	2,6	97,2
1972	134	5,5	93,5
1973	157	3,5	96,5
1974	370	5,0	97,9

В данной работе впервые представлена оценка важнейшего популяционного показателя – естественной смертности и оценка ориентира рациональной эксплуатации по промысловой смертности. По оценкам авторов, мгновенная средняя естественная смертность шпрота в этот период составила $M = 0,95$ (на шкале естественной убыли 61,3 %), а целевой ориентир рациональной эксплуатации по промысловой смертности $F_{tr} = 1,0$ (на шкале промысловой убыли – 63,2 %).

В качестве оптимальных районов промысла, где черноморский шпрот образовывал наиболее плотные промысловые скопления под уровнем термоклина,

были отмечены: район о-ва Тендры, Будаки-Шатаны, Констанцы, Тарханкута (северо-западная часть Чёрного моря) и район Керченского предпроливья. В данной работе сделано заключение о целесообразности внедрения и интенсификации тралового лова, основой которого должны стать рыбы в возрасте 1–2 лет.

Начиная с середины 1970-х гг. промышленное рыболовство черноморского шпрота начало осуществляться СССР (с 1993 г. промысел шпрота производится в шельфовой зоне Российской Федерации, Украины, Румынии, Болгарии, Турции и Грузии) (Daskalov, Ratz, 2010). Непродолжительное время до начала 1980-х гг. промысел шпрота осуществлялся при помощи донных тралов, после чего их применение было запрещено по причине нанесения значительного ущерба донным биоценозам (Чащин, 1997). В последующий период и вплоть до настоящего времени (1980–2022 гг.) промышленное рыболовство шпрота осуществляется преимущественно разноглубинными тралами. Размер допустимой ячей тралового орудия лова рассчитывался исходя из минимальной допустимой промысловой меры шпрота в диапазоне от 55 до 60 мм в разные исторические периоды регулирования промысла.

Начиная с 1991 г. промысел шпрота осуществляется преимущественно в территориальных водах каждой из стран раздельно. Регулирование промысла в территориальных водах осуществляется в соответствии с нормативными документами каждой из причерноморских стран, которой они принадлежат. Промысел иностранных судов в территориальных водах не допускается, за исключением договоров между некоторыми странами (Грузия и Турция). Промысел в территориальных водах крымско-кавказского шельфа осуществляли суда под флагом СССР (до 1991 г.), а позже – России (по настоящее время) и Украины (до 2014 г.).

По мере интенсификации исследований в Азово-Черноморском бассейне были отмечены и другие важные особенности жизненного цикла черноморского шпрота в общем биогеоценозе Чёрного моря. В трофической цепи черноморский шпрот выступает в роли консумента второго порядка, которым питается ряд

других черноморских рыб. В качестве пищи шпрот используется пеламидой (Зуссер, 1954; Genç et.al., 2019), луфарём (Снигирев, 2015), акулой катран (Маклакова, 1976; Кирносова, Лушникова, 1990), камбалой-калкан (Надолинский и др., 2018), мерлангом (Бурдак, 1960; Шляхов, 1985) и другими. Помимо рыб, шпрот служит пищей морским млекопитающим (Tonay et.al., 2007; Кривохижен, Биркун, 2009). Наибольшее влияние на динамику численности черноморского шпрота могут оказывать виды хищников, в рационе питания которых шпрот занимает значимую долю (суперхищники), такие как мерланг, пеламида, дельфины. Менее значимый вклад в численность популяции шпрота оказывают хищники, в питании которых шпрот занимает второстепенное значение – камбала-калкан, скаты, луфарь и ставрида. Минимальный, близкий к незначимому, вклад в численность популяции шпрота могут оказывать малочисленные хищники, в рационе питания которых черноморский шпрот является второстепенным объектом, например черноморская сельдь (Состояние биологических ресурсов..., 1995; Козоброд и др., 2022).

Начиная с 1990-х гг. отдельным направлением исследований стал хищный гребневик мнемиопсис (*Mnemiopsis leidyi*), вселение которого стало результатом серьёзных экологических изменений условий обитания в Чёрном море. Инвазия этого гребневика началась в 1988 г., когда вместе с балластными водами судов из Атлантики он попал в Чёрное море (Виноградов и др., 1995; Игнатьев и др., 2001). Гребневик мнемиопсис является хищником, который питается всеми классами зоопланктона, выступая в качестве конкурента в питании зоопланктоноядных рыб (Shiganova, Bulgakova, 2000; Gucu, 2002; Шляхов, Гришин, 2009; Гришин, Шляхов, 2012). Пика численности и биомассы гребневик мнемиопсис достигает в летние месяцы по мере повышения температуры воды. Основными объектами питания мнемиопсиса является зоопланктон тепловодного комплекса, в результате чего от инвазии данного вселенца наиболее пострадали популяции азовской и черноморской хамсы. Отмечено и негативное воздействие мнемиопсиса на упитанность и индексы наполнения желудков шпрота в летний период нагула, однако ввиду высокой кормовой пластичности шпрота, выражющейся в

способности к переходу на питание холодноводными формами зоопланктона, малодоступными для мнемиопсиса, его популяция пострадала не столь значимо. Вселение другого хищного гребневика, *Beroe ovata*, основной кормовой базой которого является гребневик *Mnemiopsis leydyi*, существенно сократило численность и влияние мнемиопсиса на кормовую базу планктоядных рыб с 2000 г. (Shiganova et.al., 2003).

Параллельно с исследованиями экосистемы и всесторонним изучением всех элементов трофической цепи в Чёрном море, в границах акватории СССР, выполнялись работы по оценке запасов и возможного вылова в дополнение к ранее выполненным ресурсным исследованиям. Наиболее комплексно эти результаты представлены в работе (Шляхов, Чащин, 2004). Оценка запасов шпрота в период 1985–2000 гг. выполнялась различными способами: методом прямого учёта на основе траловой съёмки, при помощи гидроакустической съёмки с эхоинтегрирующей аппаратурой, аналитическими когортными моделями (VPA) и трендовыми методами, основанными на расчёте запаса через параметр улов на усилие. Представленные итоговые результаты комплексной работы авторов обобщены в таблице 1.2.

Наиболее высокие показатели биомассы запаса шпрота, превышающие 1 млн т, в соответствии с опубликованными оценками отмечены в 1986–1987 гг. Эти оценки запаса были выполнены методом прямого учёта тралами и подтверждались результатами гидроакустической съемки вплоть до 1999 г. Максимальный вылов в этот период отмечен в 1989 г. и составил почти 90 тыс. т, при этом показатели запаса, обеспечивающие данный вылов, были относительно невелики: 247 тыс. т в 1988 г. и 375 тыс. т в 1989 г. Другой особенностью динамики запаса можно считать колебания запаса вплоть до 5-кратных изменений в смежные годы.

Таблица 1.2 – Оценка запаса и параметры промысла черноморского шпрота в период 1985–2000 гг. по результатам работы (Шляхов, Чащин, 2004)

Год	Оценка запаса, тыс. т	Вылов (СССР, СНГ), тыс. т.	Средний улов на усилие, т/ч
1985	354,5	28,85	0,59
1986	1650,0	44,53	0,64
1987	1160,0	59,14	0,86
1988	247,4	54,16	0,72
1989	375,0	88,86	0,97
1990	200,0	48,05	0,59
1991	225,0	15,04	0,72
1992	425,0	14,70	0,95
1993	783,6	9,76	0,86
1994	600,0–800,0	13,52	0,95
1995	500,0	16,80	1,00
1996	-	22,23	0,82
1997	-	20,91	0,72
1998	-	31,55	0,92
1999	700,0	33,58	1,02
2000	800,0	29,00	1,15

Как считают авторы (Шляхов, Чащин, 2004), такие соотношения величин биомассы запаса и вылова, вероятно, обусловлены особенностями осуществления промысла шпрота (Состояние биологически ресурсов..., 1995). Формирование наиболее плотных промысловых скоплений шпрота, как было отмечено ранее, происходит с июня по сентябрь (наиболее интенсивно в июле – августе) в придонном слое по мере повышения температуры воды. Формирование скоплений происходит тогда, когда уменьшается интенсивность вертикальных миграций шпрота в поиске кормовых объектов, и основная часть рыбы сосредоточивается под слоем термоклина. Такие оптимальные промысловые условия делятся непродолжительное время, что по мнению авторов и не позволяло эксплуатировать запас максимально эффективно в рассматриваемые годы.

Авторы работы (Шляхов, Чащин, 2004) отмечают и попытки применения когортного моделирования (модель VPA) для оценки запасов шпрота. В ходе его выполнения была достигнута наименьшая стоимость относительно других способов оценки. Одновременно с этим отмечены и высокие требования к качеству собираемой биологической информации. По причине ухудшения качества и полноты биологической информации, прекращения научного

сотрудничества по обмену данными к середине 1990-х гг., применение ВРА было прекращено.

В современный период, начиная с 2000-х гг., был выполнен ряд комплексных работ по оценке общечерноморского запаса шпрота и оценке влияния на него промысла, объемы которого для всего бассейна стали превышать 100 тыс. т. Так, в обзорной работе (Шляхов, Шляхова, 2011) представлены результаты оценки запасов шпрота, полученные в ходе работы международной комиссии STECF в 2010 г (Daskalov, Ratz, 2010) и предшествовавших ей работах (Daskalov, 1998; Daskalov et.al., 2008). На основе обобщения материалов научных съемок и мониторинга промысла всеми странами Причерноморья за период 1950–2010 гг., были сформированы структурированные по возрасту многолетние ряды данных промыслового изъятия и индексы численности шпрота в допущении существования единой общечерноморской популяции. Оценка выполнена когортной моделью ICA (Patterson, Melvin, 1996). В качестве основной промысловой части популяции (наиболее численные возрастные группы рыб в уловах) рассмотрены группы особей в возрасте $F_{bar} = 1\text{--}3$. Результаты моделирования показали наличие частых флюктуаций нерестового запаса, даже когда запас находился практически в девственном состоянии.

В соответствии с полученными оценками (Шляхов, Шляхова, 2011), в 1950 г. биомасса общечерноморского нерестового запаса шпрота достигала 620 тыс. т и к 1955 г. сократилась до уровня 50 тыс. т, постепенно восстановившись до уровня более 600 тыс. т в 1957 г. с дальнейшим снижением до 80 тыс. т в 1962 г. По мере интенсификации промысла начиная с 1970-х гг. биомасса нерестового запаса так же демонстрировала частые флюктуации с уровня более 500 тыс. т до 80 тыс. т. Минимальные значения биомассы общечерноморского нерестового запаса на уровне 80–120 тыс. т в период 1991–1996 гг. отмечались на фоне высоких показателей промысловой смертности ($F > 0,6$) и интенсификации негативного воздействия на кормовую базу шпрота в результате вселения гребневика мнемиопсис. К началу 2000-х гг. биомасса общечерноморского нерестового запаса постепенно увеличилась до уровня 550 тыс. т. В следующий

период биомасса общечерноморского нерестового запаса шпрота снизилась до уровня 180 тыс. т в 2004 г., после чего она увеличилась до уровня 420 тыс. т в 2007 г. и стабилизировалась в 2010 г. на уровне 280 тыс. т.

Такие частые флюктуации биомассы общечерноморского нерестового запаса обуславливались в том числе необъясненными флюктуациями численности пополнения нерестового стада шпрота (особи впервые достигающие половой зрелости в возрасте 9-12 месяцев). Для рассматриваемого периода отмечены колебания численности рыб группы пополнения в диапазоне от 30 до 210 млрд экз.

Обновлённые результаты когортного моделирования общечерноморского запаса шпрота в рамках рабочей группы STECF были представлены в 2017 г (Cardinale et al., 2017). В ходе выполнения работы ряд входных данных был сокращён до периода 1997–2016. Полученные оценки биомассы общечерноморского нерестового запаса отличались от полученных ранее (Daskalov, Ratz, 2010): максимальные оценки биомассы нерестового запаса были ниже представленных ранее результатов (максимум для периода 1997–2010 гг. составил 400 тыс. т против 550 тыс. т в предыдущих результатах), как и минимальные (для периода 1997–2010 гг. по новым оценкам минимум составил 110 тыс. т против 210 тыс. т предшествующего результата). Пересмотрены были и оценки уровня промысловой смертности, которые к 2010 г. достигли показателей $F_{2010} = 1,2$ что практически в 2 раза выше предыдущих результатов.

Для обновлённого периода результатов моделирования 2010–2016 гг. отмечены колебания биомассы общечерноморского нерестового запаса в интервале 200–500 тыс. т с трендом на постепенное увеличение биомассы нерестового запаса и численности пополнения нерестового стада. В этот же период произошло постепенное сокращение показателей промысловой смертности до уровня $F_{2010-2016} = 0,6$.

В этих комплексных работах (Daskalov, Ratz, 2010; Cardinale et al., 2017) для общечерноморского запаса были выполнены оценки различных биологических и промысловых ориентиров управления и биологических параметров популяции. В

ранней работе (Daskalov, Ratz, 2010) целевой ориентир промысловой смертности определён на уровне $F_{MSY} = 0,95$ (соответствующий значению показателя мгновенной естественной смертности $M = 0,95$). Однако в результате расширенной дискуссии авторы резюмировали, что текущий уровень промысловой смертности в 2008–2010 гг. соответствует целевому и нет оснований интенсифицировать промысловые усилия ($F_{2008-2010} = F_{tr} = 0,6$). В последующей работе (Cardinale et al., 2017) эти показатели были несколько уточнены: $F_{tr} = F_{MSY} = 0,64$, $E = 0,4$ (критерий Паттерсона, которому и соответствует данный показатель F_{MSY}).

В недавней работе (State of Mediterranean and Black Sea Fisheries, 2022) оценка общечерноморского запаса и влияния на него промысла выполнена при помощи модели SAM в рамках субрегиональной рабочей группы в 2021 г. Детализированные результаты моделирования опубликованы не были. Был представлен итоговый результат оценки текущего уровня промысловой смертности относительно целевого ориентира с заключением об отсутствии признаков переэксплуатации (эксплуатация не выше уровня целевого ориентира по промысловой смертности), $F_{2018-2020}/F_{MSY} = 0,9$.

В современный период (1993–2016 гг.) отечественными учёными также выполнялись работы по оценке региональных запасов шпрота на кавказском шельфе (северо-восточная часть Чёрного моря) (Луц и др., 1997; Воловик и др., 1998; Луц и др., 2005; Дахно и др., 2006; Дахно, 2013; Дахно, Перевалов, 2012). Обобщённые результаты исследований представлены в таблице 1.3. Отмечено постепенное увеличение биомассы промыслового запаса шпрота на кавказском шельфе в период 1993–1997 гг. с 39 тыс. т до 136 тыс. т. В период 1998–2005 гг. отмечен рост биомассы промыслового запаса до уровня 175–250 тыс. т. В последующий период по результатам авторов произошло снижение биомассы промыслового запаса с 132 тыс. т в 2006 г. до 70 тыс. т в 2012 г. на кавказском шельфе.

Таблица 1.3 – Региональные оценки биомассы промыслового запаса, величины рекомендованного вылова и доли её освоения на кавказском шельфе Чёрного моря в период 1993–2012 гг. (Дахно, Перевалов, 2012)

Годы	Биомасса промыслового запаса, тыс. т	Освоение запаса, %	Рекомендованный вылов, тыс. т
1993–1995	83,0	1,2	10,0
1996–2000	172,0	1,5	34,0
2001–2005	171,0	8,2	50,0
2006–2010	115,0	6,4	20,6
2011	85,0	6,0	20,0
2012	70,0	5,8	20,0

Такая многолетняя динамика региональной кавказской единицы запаса шпрота, сменившая положительный тренд роста биомассы промыслового запаса на отрицательный в 2006–2007 г., по мнению авторов работ, может быть обусловлена эффектом повышения температуры воды в шельфовой зоне и усилением внутривидовой, и межвидовой пищевой конкуренции. Авторы отмечают тенденцию снижения размерно-массовых показателей шпрота в период после 2002 г. и ухудшение физиологического состояния производителей в преднерестовый период. В результате анализа отмечено снижение жирности шпрота в конце нагульного периода ниже среднемноголетних значений начиная с 2002 г., что, по их мнению, обусловлено усилением пищевой конкуренции.

В заключении комплексной работы (Дахно, Перевалов, 2012) сделан прогноз дальнейшего снижения биомассы кавказской единицы запаса шпрота и её размерно-массовых характеристик. В последующей работе данное предположение подтвердилось (Александрова и др., 2016).

В работе (Дудкин и др., 2013) авторы отмечают значительную недоэксплуатацию региональных запасов на кавказском шельфе Чёрного моря таких видов рыб, как хамса, шпрот, тюлька, атерина и других. По мнению авторов такая значительная недоэксплуатация и недостаточное количество промысловых усилий на кавказском шельфе обусловлены рядом факторов – негативным влиянием хищного гребневика мнемиопсис на ихтиоценоз в целом, а также

последствиями распада СССР, за которым последовала переориентация промысла в условия рыночной экономики. В качестве основного сдерживающего развитие фактора авторы отмечают низкий технологический уровень развития переработки рыбы и недостаточную развитость инфраструктуры: портов, флота, холодильных мощностей, консервных заводов.

Начиная с 2014 г. выполнялись комплексные работы по выбору наиболее надёжного подхода для оценки регионального крымско-кавказского запаса шпрота и воздействия на него промысла, результаты были опубликованы в 2018 и в последующие годы (Шляхов и др., 2018; Шляхов и др., 2019). Начиная с 2000-х гг. оценка запаса региональной крымской единицы запаса шпрота выполнялась методом анализа когорт длин Джонса (LCA). Оценка запаса региональной кавказской единицы запаса шпрота выполнялась методом прямого учета разноглубинным тралом (Дахно, Перевалов, 2012).

Начиная с 2017 г., в соответствии с изменениями в мерах регулирования, крымская и кавказская единицы запаса шпрота рассматриваются как единая «крымско-кавказская» единица запаса. Оценка запаса региональной крымско-кавказской единицы запаса шпрота выполнялась при помощи динамических производственных моделей в реализации Combi 3.0. В 2020 г. – в соответствии с Методическими рекомендациями по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов (Бабаян и др., 2018). В последующие годы (2021–2023) оценка и прогнозирование запаса региональной крымско-кавказской единицы запаса шпрота выполнялись при помощи когортной модели XSA (Пятинский и др., 2020).

Полученные оценки биомассы промыслового запаса региональной крымско-кавказской единицы запаса шпрота на производственной модели варьировали в пределах от 51 до 118 тыс. т в период 2000–2017 гг. Динамика запаса характеризовалась частыми флюктуациями: сокращение биомассы промыслового запаса в период 2000–2003 гг., постепенный рост величины биомассы промыслового запаса в 2004–2010 гг. и последующий период частых колебаний запаса без признаков стационарности тренда. Дополнительно в работе

представлены оценки биологических и промысловых ориентиров состояния запаса: $B_{MSY} = 84$ тыс. т (из него $B_{lim} = 42$ тыс. т), $MSY = 48$ тыс. т ($F_{MSY} = 0,58$).

Дополнительно к оценкам регионального крымско-кавказского запаса на продукционной модели представлены оценки метода когорт длин Джонса (LCA) и выполнено их сравнение. Так, LCA продемонстрировал более высокие оценки биомассы нерестового запаса региональной крымско-кавказской единицы запаса шпрота относительно оценок промыслового запаса Combi в период 2014–2017 гг. Оценки LCA достигали от 110 до 330 тыс. т и более чем в 2 раза превышали оценки на продукционной модели. Природа таких расхождений остаётся дискуссионной, вероятно, различия обусловлены надёжностью входных данных обоих методов.

Результаты оценки и прогноза динамики численности крымско-кавказской единицы запаса при помощи когортной модели с участием автора впервые были опубликованы в 2020 г. (Пятинский и др., 2020). В данной работе период моделирования динамики запаса был 1994–2019 гг. Биомасса регионального крымско-кавказского нерестового запаса шпрота была оценена на уровне от 45,9 до 408,9 тыс. т. Выделены различные тренды изменения биомассы нерестового запаса: постепенный рост с 45,9 до 408,9 тыс. т в период 1994–2000 гг., сокращение запаса до 77,6 тыс. т в 2007 г. и стабилизация запаса на уровне от 43 до 83 тыс. т в период 2008–2019 гг. В работе отмечены признаки регулярной переэксплуатации локальной единицы запаса шпрота ($F > F_{tr}$) с динамикой уменьшения частоты переэксплуатации после 2011 г. и отсутствием признаков переэксплуатации в 2017–2019 гг. В последующей работе результаты были незначительно уточнены (Пятинский и др., 2022; Шляхов, Пятинский, 2023; Шляхов и др., 2023).

В результате изучения вопроса оценки запасов шпрота следует отметить, что его запасы рассматривают и как единую общечерноморскую популяцию (Prodanov et.al., 1997; Daskalov, Ratz, 2010; Cardinale et al., 2017), и в качестве региональных единиц запаса в пределах территориальных вод Турции, Болгарии, Румынии, Украины и России (Шляхов, Чащин, 2004; Зуев, Мельникова, 2007;

Мельникова, 2009; Totoiu, 2016; Balik, 2018; Пятинский и др., 2020). Безусловно, даже в условиях отсутствия протяжённых пространственных миграций черноморского шпрота, запас является общебассейновым. Однако, как показывают другие работы, выполнение оценки региональных запасов, аллоцированных на определённой территории, является приемлемой практикой в научных сообществах. Например, группой исследователей из Украины, Румынии и России было выполнено когортное моделирование для оценки региональной северо-западной единицы запаса черноморской камбалы-калкан (Hulak et.al, 2021), тогда как в международных региональных рыбохозяйственных организациях (STECF, GFCM) принято оценивать черноморского калкана в допущении его «единой популяции» для Чёрного моря.

Многолетняя работа, выполненная В.А. Шляховым, сотрудниками Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» и автором позволила постепенно перейти к использованию когортного моделирования динамики региональной крымско-кавказской единицы запаса на XSA, то есть сходными методами, которые ранее для более обширных акваторий Чёрного моря применялись в бывшем СССР, в рамках международной рабочей группы STECF, а после 2018 г. – рабочей группой GFCM. Данная работа посвящена рассмотрению многолетнего опыта обработки, анализа данных и перехода к наиболее надёжному и менее дорогому в обеспечении прогноза методу оценки и прогноза динамики численности региональной крымско-кавказской единицы запаса шпрота – расширенному анализу выживания (XSA) на основе модификации метода виртуального популяционного анализа (VPA).

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной объём биологического материала, использованный для данной работы, был собран во время ежегодных исследований Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (до его образования – ЮгНИРО и АзНИИРХ) в период 1994–2022 гг. Более ранние материалы, относящиеся к периоду 1989–1993 гг., частично не сохранились или имели крайне спорадический характер, в результате чего были непригодны для задачи аналитической оценки запаса. Исследования включали в себя отбор биологического материала из промысловых уловов и уловов специализированных научных рейсов в Чёрном море, преимущественно на шельфе, прилегающем к побережью Крымского полуострова («крымский шельф») и вдоль берегов Краснодарского края («кавказский шельф»). Биологический материал собран в ходе мониторинга промышленного рыболовства шпрота и морских экспедиций в весенне-летний и осенний сезоны. При сборе биологического материала (Правдин, 1966) регулярно производились:

- размерно-массовые определения (составлялись вариационные ряды по длине и весу);
- полный биологический анализ (ПБА) – с определением пола, массы, стадии зрелости гонад, степени наполнения желудка и взятием отолитов для последующих камеральных определений возраста особей.

Для цели и задач популяционного моделирования в данной работе были систематизированы результаты прямых возрастных определений и размерно-массовые определения. В качестве признака длины измерялась длина по Смиту (FL) от вершины рыла до средних лучей хвостового плавника. Определение возраста выполнено по отолитам (Алеев, 1953).

В период 1994–1999 гг. материалы определения возраста шпрота практически отсутствовали. Для последующего периода 2000–2022 гг. индивидуальные измерения (в том числе определение возраста и веса) выполнялись ежегодно на выборках размером от 250 до 600 особей. Промеры длины в 2000–2022 гг. выполнялись в совокупности на выборках от 3000 до 8000

особей за весь промысловый период ежегодно. Всего за анализируемый период 1994–2022 гг. объём возрастных (и индивидуальных весовых) определений составил 9400 шт., а промеров длин – 112000 шт.

Сбор биологического материала шпрота выполнялся преимущественно в ходе мониторинга промысла на малотоннажных (СЧС, ПТР, СРТ) и среднетоннажных (СРТМ) судах, осуществлявших промысел разноглубинными тралами. Дополнительно к данным мониторинга промысла в качестве независимой оценки индексов численности запаса использованы материалы учётных траловых съёмок при помощи разноглубинных тралов с шагом ячей 6 мм. Учётные траловые съёмки регулярно выполнялись у крымского и кавказского побережья начиная с 2014 г.

Показатели параметров промысла – годовой вылов, количество промысловых усилий (число часов тралений и судов на промысле) были получены по результатам обработки материалов рыбопромысловой статистики Азово-Черноморского территориального управления (АЧТУ) Росрыболовства и Государственного агентства рыбного хозяйства (Госрыбагентства) Украины (уловы крымских пользователей до 2014 г.), а также по результатам обработки судовых суточных донесений при помощи проекта «Биостатистика» и программы «FishingMap» (Пятинский и др., 2018; Пятинский, Срокун, 2021).

Следует отметить, что именование возрастных групп (классов) в работе имеет некоторые отличия от стандартной ихтиологической методики (Правдин, 1966) ввиду особенностей жизненного цикла шпрота и особенностей построения когортных моделей. Так, в соответствии с методикой (Правдин, 1966), при определении возраста рыб на разных этапах жизни принято именовать: сеголеток – особь, пережившая одно лето; годовик – перезимовавший сеголеток; двухлеток – особь, пережившая два лета; двухгодовик – перезимовавший двухлеток и т. д. Такая шкала обычно применяется к теплолюбивым видам рыб, нерестующим в весенне-летний период. Однако черноморский шпрот является зимнерестующим видом, и интерпретация этой классификации к его жизненному циклу имеет ряд особенностей.

В работе «годовиками» именуются особи, уже вступившие в нерестовое стадо в возрасте старше 9–12 месяцев – в конце лета/осенью последующего за нерестом года. Под «двуухлетками» понимаются особи, пережившие две зимы, в летний период второго года их жизненного цикла и т. д. При количественной записи и рассмотрении результатов моделирования особи в возрасте «1» год именуются годовиками, а их группа на момент осуществления промысла в летний период рассматривается как особи в возрасте «1+» и также именуется годовиками. Особи, впервые вступающие в нерестовое стадо в возрасте до 8–9 месяцев – 1 года именуются «группой пополнения нерестового запаса» или «пополнением». Принимая во внимание особенности когортного моделирования, в котором шагом дискретности информации является 1 год, различия между возрастными группами в различные моменты времени – «1» и «1+», «2» и «2+» и «3» и «3+» не рассматриваются.

Теоретические аспекты. Моделирование динамики биомассы нерестового запаса, численности пополнения и промысловой смертности крымско-кавказской единицы запаса черноморского шпрота выполнено при помощи когортной модели XSA (Darby, Flatman, 1994; Shepherd, 1999). Программная реализация модели XSA (eXtended Survivor Analysis) выполнена в среде R в пакете FLR (Kell et al., 2007; Hillary, 2009; Бабаян и др., 2018). Модель XSA, являющаяся продолжением реализации модели виртуального популяционного анализа VPA, позволяет с более высокой надёжностью оценить численность пополнения нерестового запаса (Horbowy, 2011; Deroba et al., 2015). Для моделирования популяционной динамики черноморского шпрота на крымско-кавказском шельфе Чёрного моря модель XSA впервые была успешно применена в 2020 г. автором (Пятинский и др., 2020) а на автоматизацию алгоритмов XSA было получено авторское свидетельство (Пятинский, Шляхов, 2021). В российских водах Чёрного моря оценка запасов шпрота выполнялась при помощи различных методов, включая математическое моделирование на LCA, Combi (Шляхов и др., 2018), XSA (Пятинский и др., 2020) и CMSY (Пятинский, 2021), среди которых наилучшую надёжность продемонстрировал метод XSA.

Основной задачей всех когортных моделей является восстановление структуры запаса/популяции по «группам» (их принято называть «когорты»), которые позволяют описать динамическую, структурированную во времени систему. В качестве такой структуры в реализации XSA используются возрастные когорты. В основе решения лежит гипотеза о том, что численность поколения $N(t)$ уменьшается экспоненциально с переменным показателем общей смертности $Z(t)$, который состоит из компонент естественной $M(t)$ и промысловой $F(t)$ смертности:

$$\frac{dN(t)}{dt} = -Z(t)N(t)$$

$$Z(t) = M(t) + F(t)$$

В реализации XSA используется алгоритм когортного анализа Поупа (Pope, 1974), где выражение численности запаса по когортам $N_{(t,a)}$ выполняется при помощи уравнения:

$$N_{(t,a)} = EMC_{(t,a)}P_t + P_{C(t,a)}$$

$$EMC_{(t,a)} = e^{M_{(t,a)}+M_{(t+1,a+1)}+\dots+M_{(t_{max},a_{max})}}$$

$$P_{C(t,a)} = \sum_{i=a}^{a_{max}} [EMC_{(t,a)}C_{(t,a)}e^{-0,5M_i}]$$

где t и a – векторная запись момента времени (t) и элемента когорты возрастной структуры (a); EMC – кумулятивная экспонента естественной смертности для когорты (t,a) ; P_t – численность выживших особей во всем поколении в момент t ; $P_{C(t,a)}$ – вклад выловленных рыб в восстановленную численность поколения.

Далее выполняется регрессионное решение поставленной задачи на основе информации о структуре промыслового изъятия и структуре запаса из независимых индексов численности. При этом выполняется решение задачи оценки теоретически необходимой численности пополнения для достижения удовлетворительного соответствия структуры запаса до промыслового изъятия относительно независимых индексов численности с учётом последующей структуры промыслового изъятия. Для восстановления возрастной структуры запаса, в соответствии с математической теорией, необходима многолетняя, непрерывная информация:

- возрастная структура промыслового изъятия;
- средняя навеска особей по возрастным классам в промысле;
- естественная смертность по возрастным классам;
- огива созревания (доля зрелых рыб в определённом возрасте);
- объём годового вылова от локального запаса;
- независимые индексы численности по возрастным классам.

Построение когортной модели XSA выполняется в несколько этапов: предварительная диагностика и параметризация модели, выполнение моделирования с итоговыми настройками, диагностика надёжности результатов. В конечном итоге модель позволяет получить непрерывный, надёжный ряд оценок: биомассы нерестового запаса, численности пополнения запаса и оценки промысловой смертности с их доверительными интервалами.

Для выбора наилучших параметров когортной модели XSA использовался ретроспективный тест устойчивости оценок модели с последовательным укорачиванием ряда данных на горизонте до 5 лет (в соответствии с ICES Advice), диагностика невязок между наблюдаемыми индексами численности по возрастным группам в съёмке и теоретическими ожиданиями модели (Бабаян и др., 2018), а также аналитический тест Мона (Mohn, 1999), позволяющий количественно оценить степень ретроспективной устойчивости модели.

Для построения краткосрочного прогноза фундаментальной задачей является прогнозирование ожидаемой численности пополнения нерестового

запаса. Для прогнозирования численности пополнения может быть использовано несколько подходов: прямая оценка в ходе мальковых или икорных съёмок, предположение о сохранении численности пополнения нерестового запаса на уровне предшествующих лет (ожидаемая численность пополнения как среднее за последние несколько лет) или же построение зависимости «запас-пополнение». В ходе выполнения данной работы начиная с 2019 г. было выполнено множество попыток описания зависимости «запас-пополнение», при этом ключевой проблемой были частые стохастические флуктуации удельной численности пополнения нерестового запаса, не позволяющие описать эту зависимость. Достичь удовлетворительного описания связи «запас-пополнение» удалось лишь при применении модели «сегментной регрессии» (она же «метод хоккейной клюшки») (Пятинский и др., 2023). Среди известных моделей зависимостей «запас-пополнение» реализация сегментной регрессии является одной из самых простых и позволяет достаточно просто вычислить биологические ориентиры популяции. В генеральном представлении модель сегментной регрессии имеет вид (Barrowman, Myers, 2000; Mesnil, Rochet, 2010):

$$R = \begin{cases} a \times S , & S < S^* \\ a \times S^* , & S \geq S^* \end{cases}$$

где R - численность пополнения, S - биомасса нерестового запаса, S^* - точка перегиба сегментной регрессии на шкале нерестового запаса.

Для оценки состояния региональной крымского-кавказской единицы запаса шпрота выполнялся расчёт биологических ориентиров по биомассе и по промысловой смертности. В качестве биологических ориентиров состояния запаса по биомассе выполнялась оценка граничного B_{lim} и предосторожного B_{pa} ориентиров (Бабаян, 2000; Бабаян и др., 2018). В качестве ориентира по промысловой смертности выполнялся расчёт ориентира $F_{0.1}$ (Gulland, Boerema, 1973), который в работе был принят в качестве целевого F_{tr} .

Оценка биологических ориентиров B_{lim} и B_{pa} выполнена двумя способами. Первый способ оценки ориентиров управления основан на результатах моделирования зависимости «запас-пополнение» в соответствии с рекомендациями ICES (ICES fisheries management..., 2017). При таком подходе в качестве оценки B_{lim} использовалась точка достижения максимальной удельной численности пополнения нерестового запаса. Данная точка «перегиба» модели соответствует параметру S^* уравнения сегментной регрессии. Оценка предосторожного ориентира B_{pa} выполняется на основе полученной оценки B_{lim} и расчётом необходимого «буфера», который не позволит запасу сократиться до уровня, который приведет к снижению потенциала воспроизводства нерестового запаса (Бабаян, 2000). В качестве такого показателя размера «буфера» предосторожного ориентира выступает оценка сигмы, близкая по своей природе к классической оценке дисперсии степенного показателя промысловой смертности:

$$\sigma_F = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (F_i - \bar{F})^2}$$

на основании которой относительно B_{lim} производился расчёт B_{pa} :

$$B_{pa} = B_{lim} \times e^{1.654 \times \sigma_F},$$

где N – кол-во лет в анализе, i – индекс года, F – промысловая смертность.

В качестве альтернативной оценки для подтверждения результатов расчёта на модели «запас-пополнение» используется косвенная процедура определения B_{lim} , рекомендованная ФАО, детально представленная в работе (Serchuk et.al., 1997). При таком подходе оценка граничного ориентира выполняется исходя из оценки девственной биомассы B_{virgin} , в случае её отсутствия принимается «прокси-оценка» $B_{virgin} = B_{max} + C_{max}$:

$$B_{lim} = k \times (B_{max} + C_{Bmax})$$

где k – коэффициент допустимого уровня снижения биомассы запаса после начала эксплуатации, B_{max} – максимально наблюдённая биомасса нерестового запаса, C_{Bmax} – соответствующей ей общий годовой вылов ($B_{max} + C_{Bmax}$ – косвенная прокси оценка параметра девственной биомассы запаса B_{virgin}).

При таком альтернативном способе расчёта для короткоцикловых пелагических видов рыб допускается выбор k в диапазоне [0,2; 0,39]. В данной работе выбран серединный показатель $k = 0,3$, итоговый вариант уравнения альтернативной оценки B_{lim} :

$$B_{lim} = 0,3 \times (B_{max} + C_{Bmax})$$

Последующий расчёт предсторожного ориентира B_{pa} для альтернативного подхода аналогичен таковому для ориентира B_{pa} модели «запас-пополнение» через параметр σ_F .

Расчёт значения ориентира целевой промысловой смертности $F_{tr} = F_{0.1}$ выполнен при помощи анализа урожайности запаса в пакете *fishmethods* в среде R (Ogle, 2018), результаты опубликованы в работе (Шляхов и др., 2019). Дополнительно к оценке самого ориентира $F_{0.1}$ автор работы предлагает оценку другого ориентира, смещённого относительно $F_{0.1}$ на показатель неопределённости оценок промысловой смертности σ_F :

$$F_{0.1+\sigma} = F_{0.1} \times e^{1.645 \times \sigma_F}$$

Расчёт этого специфичного показателя, $F_{0.1+\sigma}$, выполнен для задачи определения такого ориентира промысловой смертности, который с учётом вариативности промысловой смертности за весь период исследования позволит однозначно определить периоды переэксплуатации (в которые промысловая смертность выше уровня ориентира) региональной единицы запаса, которые не могут быть объяснены случайными флуктуациями уровня промысловой смертности. Иными словами, данный ориентир позволяет «отступить» от

целевого ориентира $F_{tr} = F_{0.1}$ на такую величину, которая не может быть объяснена неопределенностью (колебаниями) фактора промысловой смертности. В соответствии с трудами (Бабаян, 2000) такой ориентир $F_{0.1+\sigma}$ соответствует расчёту обратным способом ориентира F_{lim} из ориентира F_{pa} (в этой работе $F_{tr} = F_{0.1}$) в соответствии с рекомендациями ICES:

$$F_{tr} = F_{lim} \times e^{-1,645 \times \sigma_F}$$

$$F_{lim} = \frac{F_{tr}}{e^{-1,645 \times \sigma_F}} = F_{tr} \times e^{1,645 \times \sigma_F}$$

$$F_{lim} = F_{0.1+\sigma}$$

Для краткосрочного прогнозирования состояния регионального крымско-кавказского запаса и промысла используются результаты моделирования в ретроспективном периоде и теоретические ожидания удельной численности пополнения нерестового запаса на основе модели типа «запас-пополнение».

При проверке гипотез в ходе выполнения работы применялись как параметрические, так и непараметрические критерии и тесты. В случае, если для проверки гипотезы ряды данных имели количественные признаки и не имели значимых отклонений от нормального закона распределения, применялся корреляционный тест Пирсона (Pearson, 1948). В случае невозможности расчёта коэффициента корреляции Пирсона и его уровня значимости выполнялось вычисление коэффициента ранговой корреляции Спирмана (Spearman, 1904). В случае наличия биномиального параметра или ранговых признаков выполнялся непараметрический тест Манна-Уитни или дисперсионный анализ (Fisher, 1925; Wilcoxon, 1945; Mann, Whitney, 1947).

Перед выполнением тестов выполнялась проверка входных рядов на соответствие нормальному распределению при помощи теста Шапиро-Уилка (Shapiro, Wilk, 1965). В случае, если тестируемые ряды данных не имели отклонений от нормальности, выполнялись параметрические тесты.

Статистическая проверка гипотез выполнена в среде R (Becker, 1988; Venables, Ripley, 2002).

Для тестирования гипотезы о влиянии климатических изменений на региональную единицу запаса шпрота использовались данные о температуре поверхности воды (ТПВ) Европейского проекта «Коперник» (Le Traon et al., 2019), отечественных учёных (Ильин и др., 2012) и статистическая обработка в среде R. В ходе тестирования гипотезы проверялось наличие связи между ТПВ и средней массой шпрота из промысловых уловов в возрасте 0+ и 1–3 лет. Дополнительно выполнена проверка наличия связи между ТПВ и средней длиной шпрота из промысловых орудий лова. Проверка наличия связи между рядами выполнена при помощи корреляционного теста Пирсона после предварительной проверки рядов данных на отсутствие отклонений от нормального закона распределения при помощи теста Шапиро-Уилка. Анализ и визуализация пространственных данных выполнены в среде R (Pebesma, Bivand, 2005; Kaya et. al., 2019).

Тестирование гипотезы об обеспеченности шпрота основными кормовыми объектами для формирования резервных липидов (*Calanus helgolandicus*, *Pseudocalanus elongatus*) выполнено непараметрическим тестом Манна-Уитни в условиях наличия значимых отклонений от нормального закона распределения исходного ряда. В качестве показателя доступности корма использовалась оценка удельной биомассы кормовых объектов в весенне-летний период на крымско-кавказском шельфе, в качестве оценки состояния региональной единицы запаса шпрота – биомасса нерестового запаса по результатам моделирования.

Оценка влияния хищничества на региональный запас шпрота в условиях климатических изменений выполнена в результате сопоставления уловов пеламиды в турецких водах в ходе её миграции в Чёрное море и биомассой нерестового запаса региональной единицы запаса шпрота. Выполнен непараметрический тест Манна-Уитни и оценка ранговой корреляции Спирмана в условиях наличия значимых отклонений от нормального закона распределения исходного ряда.

Прикладные аспекты. При подготовке входных данных для модели XSA составление ежегодной возрастной структуры промыслового изъятия выполнено в 3 этапа.

На первом этапе выполнено построение размерно-возрастного ключа на основе данных индивидуальных возрастных определений. Составление размерно-возрастных ключей выполнялось ежегодно, в таблицах 2.1–2.3 представлены результаты составления ключей в 2008, 2014 и 2021 гг. При составлении размерно-возрастных ключей группа особей в возрасте 5 и 6 лет считалась плюс-группой (5+). В случае, когда особи в возрасте 5 и 6 лет не встречались, их численность в промысловом изъятии приравнивалась к нулю, к размерно-возрастным ключам корректировка не применялась по причине наличия частых флюктуаций численности возрастных групп.

Таблица 2.1 – Размерно-возрастной ключ крымско-кавказской единицы запаса шпрота в II-III кв. 2008 г. Размер выборки $N=201$.

Длина, мм	Возраст, лет				
	0+	1+	2+	3+	4+
51-55	1				
56-60	1				
61-65	1				
66-70	1				
71-75	0,56	0,44			
76-80	0,4	0,5	0,1		
81-85		0,4	0,6		
86-90			0,83	0,17	
91-95			0,5	0,5	
96-100				1	
101-105					1

Таблица 2.2 – Размерно-возрастной ключ крымско-кавказской единицы запаса шпрота в II-III кв. 2014 г. Размер выборки $N=141$.

Длина, мм	Возраст, лет				
	0+	1+	2+	3+	4+
56-60	1				
61-65	0,61	0,36	0,03		
66-70	0,2	0,67	0,13		

71-75	0,08	0,68	0,24		
76-80		0,22	0,78		
81-85			0,86	0,14	
86-90				1	
91-95				1	
96-100				0,6	0,4
101-105				0,5	0,5
106-110					1

Таблица 2.3 – Размерно-возрастной ключ крымско-кавказской единицы запаса шпрота в II-III кв. 2021 г. Размер выборки $N = 413$.

Длина, мм	Возраст, лет					
	0+	1+	2+	3+	4+	5+
46-50	1					
51-55	0,18	0,53	0,29			
56-60	0,11	0,33	0,53	0,03		
61-65	0,01	0,22	0,48	0,29		
66-70		0,04	0,45	0,48	0,03	
71-75			0,29	0,63	0,08	
76-80			0,03	0,83	0,14	
81-85				0,38	0,54	0,08
86-90				0,08	0,81	0,11
91-95					0,15	0,85
96-100					0,2	0,8
101-105						1
106-110						1
111-115						1
116-120						1
121-125						1

На втором этапе многочисленные размерные определения при помощи размерно-возрастного ключа конвертировались в пропорцию возрастной структуры промыслового изъятия. Такой подход реализован для репрезентативного учёта возрастной структуры промылового изъятия по наиболее многочисленным наблюдениям признака длины (Майорова, 1930).

На третьем этапе, на основе рыбохозяйственной статистики общего годового изъятия по данным статистических отчётов АЧТУ Росрыболовства, органов рыбоохраны Госрыбагентства Украины, статистики ФАО выполнен пересчёт объёмов годового вылова с учётом возрастной структуры промылового

изъятия и средней массы шпрота по возрастам в промысловый период (1994–2022 гг.) из тонн в млн экз. для каждой возрастной группы. Обработанные результаты структуры промыслового изъятия представлены в таблице 2.4. Оценки средней промысловой массы шпрота по возрастам представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.4 – Обобщённая возрастная структура регионального промыслового изъятия черноморского шпрота на крымско-кавказском шельфе Чёрного моря в период 1994–2022 гг.

Год	Структура промыслового изъятия по возрастам, млн экз.						Годовой вылов, тыс. т
	0+	1+	2+	3+	4+	5+*	
1994	8,8	407,6	1761,8	344,8	2,7	–	9,8
1995	47,6	1735,1	1061,5	87,0	4,2	–	11,9
1996	18,9	2249,5	1053,2	304,6	10,5	–	16,0
1997	199,2	3150,0	757,8	58,0	8,6	–	14,8
1998	444,6	2581,2	1881,6	155,2	10,7	–	22,4
1999	35,1	6315,3	893,1	46,7	0,6	–	24,9
2000	306,1	2992,3	1968,3	893,1	82,1	–	26,0
2001	616,9	7838,9	4797,3	913,7	87,4	–	46,2
2002	256,5	4223,7	4784,0	2042,8	124,0	–	44,3
2003	907,5	3606,4	3597,0	2248,5	514,2	–	43,2
2004	226,2	4816,8	1781,3	2102,4	194,3	–	36,3
2005	398,5	4143,0	3215,2	1093,8	294,1	–	39,5
2006	997,9	4191,2	1608,0	573,4	58,5	–	25,0
2007	2874,8	3079,0	585,8	409,1	39,9	–	19,7
2008	1524,9	4929,7	960,3	649,5	53,1	–	25,7
2009	922,6	4974,8	2125,6	555,8	9,8	–	28,9
2010	3407,2	5468,2	1045,8	75,1	3,8	0,4	27,4
2011	2919,8	4602,0	1283,3	260,7	1,9	–	26,1
2012	3774,2	2838,8	813,3	308,3	35,4	–	17,4
2013	1606,4	2429,3	1208,3	101,9	5,6	–	12,4
2014	1571,2	3207,0	1240,1	117,5	18,5	–	12,3
2015	1421,7	1864,0	2398,7	2261,2	215,4	28,7	26,1
2016	2852,3	4630,8	2758,6	1083,1	234,9	11,6	25,8
2017	2820,8	1812,4	2112,6	375,9	25,0	–	14,8
2018	273,2	997,0	2598,6	1470,1	288,3	30,2	13,7
2019	1793,8	2191,6	3089,4	1182,2	77,3	33,9	17,9
2020	2528,0	1408,1	2627,2	1117,5	411,9	120,6	18,3
2021	183,9	2027,9	4221,9	2933,5	344,8	97,4	21,1
2022	17,4	706,9	1492,2	1486,0	456,7	59,1	9,9

Примечание - * группа «5+» включает себя особей в возрасте 5+ и более лет (плюс-группа)

Таблица 2.5 – Средняя промысловая масса шпрота в промысловых уловах на крымско-кавказском шельфе Чёрного моря в период 1994–2022 гг.

Год	Возраст, лет					
	0+	1+	2+	3+	4+	5+
1994	2,3	3,3	3,9	4,5	7,0	10,0
1995	2,5	3,7	4,5	5,4	6,9	10,0
1996	2,5	3,9	5,2	5,9	7,2	10,0
1997	2,3	3,3	4,8	6,1	7,2	10,0
1998	2,4	4,0	5,2	7,7	9,5	10,0
1999	2,7	3,2	4,9	6,4	7,0	10,0
2000	2,3	3,5	4,5	6,0	7,8	10,0
2001	1,7	2,5	4,0	6,3	6,9	10,0
2002	1,8	2,7	4,1	5,8	7,7	10,0
2003	1,7	2,8	4,0	6,1	6,8	10,0
2004	1,9	2,9	4,4	6,0	7,3	10,0
2005	2,1	3,5	4,7	6,2	7,7	10,0
2006	2,0	3,3	4,3	6,0	7,3	10,0
2007	1,7	3,3	4,9	7,2	8,7	10,0
2008	2,3	3,4	4,3	5,2	7,0	10,0
2009	2,4	3,1	4,0	4,9	6,0	10,0
2010	2,1	2,7	3,7	4,6	8,7	10,0
2011	2,1	2,7	3,7	4,6	8,7	10,0
2012	1,6	2,2	4,2	5,5	6,1	8,0
2013	1,9	2,3	2,8	4,0	4,2	10,0
2014	1,7	1,9	2,3	4,9	7,9	10,0
2015	2,3	2,8	3,7	4,4	7,1	7,2
2016	1,5	2,1	2,5	4,0	5,7	7,9
2017	1,5	2,0	2,6	3,5	4,7	7,0
2018	1,2	1,7	2,1	3,0	5,1	7,8
2019	1,6	1,8	2,3	2,9	5,0	7,0
2020	1,4	1,7	2,2	3,1	5,5	7,7
2021	1,5	1,8	2,0	2,4	4,1	6,8
2022	1	1,9	2,1	2,5	3,2	4,5

Примечание - * группа «5+» включает себя особей в возрасте 5+ и более лет (плюс-группа)

Для независимой оценки возрастной структуры регионального запаса выполнен расчёт индексов численности по возрастной структуре уловов учётной

траповой съёмки (УТС), выполненной в водах крымского и кавказского шельфов в период май – сентябрь 2014–2022 гг. УТС выполнялась в донном варианте при помощи разноглубинного трала на 125 станциях на всей акватории крымско-кавказского шельфа, рисунок 2.1. Продолжительность траления составляла 0,5 ч. на глубинах до 100 м. В среднем уловы шпрота при выполнении УТС варьировали от 0,05 до 0,2 т, общая продолжительность съёмок в году составляла в среднем 50 судосуток.

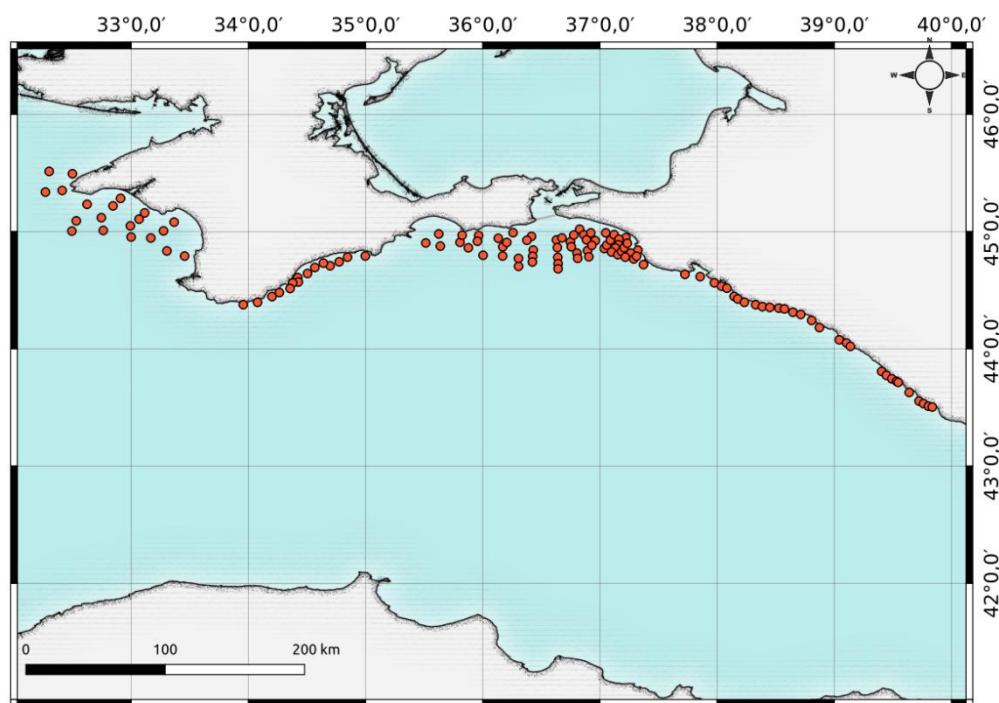


Рисунок 2.1 – Сетка станций УТС по учёту численности, биологических параметров и распределения рыб на крымско-кавказском шельфе Чёрного моря в период 2014–2022 гг.

В качестве индексов численности рассчитана относительная численность (относительно количества станций тралений) выловленных особей по возрастным группам на основе пересчитанных размерно-возрастным ключом вариационных рядов по длине. Стандартизированные индексы численности регионального запаса шпрота представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Индексы численности региональной крымско-кавказской единицы запаса черноморского шпрота по результатам УТС в период 2014–2022 гг., экз.

Год / возраст	Возраст, лет							
	Крым				Кавказ			
	1+	2+	3+	4+	1+	2+	3+	4+
2014	85430	141400	38300	11780	71000	113160	28840	8880
2015	135160	173950	163970	15620	203380	165390	21230	5950
2016	251380	149750	58790	12750	294950	66940	13090	3020
2017	133698	98045	41595	23769	124450	184630	25810	1670
2018	48360	121680	71310	4170	34620	90250	51050	1060
2019	154901	169167	29553	2688	87245	90438	17834	8079
2020	195682	109413	48553	26940	62782	86564	32585	7517
2021	110230	232639	163694	16686	44364	104354	87218	14133
2022	81326	195775	243322	72230	52941	102435	54163	10108

Для характеристики процесса темпов естественной убыли используется показатель мгновенной естественной смертности, M (Gulland, 1969; Ricker, 1975). В качестве оценки естественной смертности для периода 1994–2013 гг. используются ранее опубликованные оценки, при которых среднее значение мгновенной естественной смертности составляет $M_{1-5} = 0,95$ (Prodanov et.al., 1997; Cardinale et al., 2017).

Оценка естественной смертности ювенальной группы на 1 году жизни (группа пополнения нерестового запаса), опубликованная в работе (Prodanov et.al., 1997), была подвергнута корректировке, которая позволила устраниТЬ методическую неточность первоначальной оценки и интерпретации. Изначально авторы работы при оценке M для возрастной группы пополнения (неполовозрелых рыб) сделали допущение о том, что естественная смертность воздействует на эту когорту лишь половину года (с августа до января), в результате чего была получена оценка $M_{0/2} = 0,64$. Тем не менее, в соответствии с принципами когортного подхода утрачивается воздействие естественной смертности второй половины года на пополнение нерестового стада. Массовое вхождение в нерестовое стадо особей группы пополнения происходит в возрасте 8–9 месяцев – 1 полного года, ближе к концу лета и началу осени последующего за нерестом года. В таком случае, при моделировании с использованием оценки

мгновенной естественной смертности для периода август – январь, не учитывается её воздействие на пополнение в период январь – август. Применение такой «уполовиненной» оценки естественной смертности, как это использовалось в работе (Cardinale et al., 2017), будет приводить к существенным искажениям в оценке численности особей группы пополнения. Более того, следует отметить, что шагом дискретности когортной модели XSA является 1 полный год, и применение таких корректировок с «уполовиниванием» мгновенного показателя смертности приведёт к её недооценке (и недооценке расчётной численности пополнения). Поэтому в качестве оценки мгновенной естественной смертности особей группы пополнения для периода 1994–2013 гг. использовалась $M_0 = M_{0/2} \times 2 = 1,28$.

Для периода 2014–2022 гг. оценки темпов естественной смертности выполнены косвенным методом Гисласона и Чарнова (Charnov et.al., 2013) на основе оценок параметров модели роста фон Берталанфи из опубликованной работы (Шляхов и др., 2018). Расчёт выполнен при помощи уравнения Чарнова:

$$M = \left(\frac{L}{L_{inf}}\right)^{-1.5} \times K,$$

где L – средняя длина рыбы в определённом возрасте, L_{inf} и K - параметры уравнения фон Берталанффи.

В результате, для периода 2014–2022 гг. были получены оценки темпов естественной смертности, в целом согласующиеся с таковыми для периода 1994–2013 гг.: $M_0 = 1,39$, $M_1 = 0,78$, $M_2 = 0,56$, $M_3 = 0,46$, $M_4 = 0,4$, $M_5 = 0,36$.

ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Чёрное море является внутренним водоёмом в бассейне Атлантического океана, соединено с ним через Средиземное море проливами Босфор, Дарданеллы и Гибралтар. Географически Чёрное море расположено между $46^{\circ}33'$ – $40^{\circ}56'$ с. ш. и $27^{\circ}27'$ – $41^{\circ}42'$ в. д. Общая площадь поверхности воды Чёрного моря составляет 422 тыс. км², имеет эллипсоидную форму с наибольшим фокусом (расстоянием между противоположными точками) 1150 км (Котляков, 2006; Poulos, 2020; Poulos, Kotinas, 2021). Чёрное море омывает берега России, Украины, Румынии, Болгарии, Турции, Грузии и Абхазии. Все страны Причерноморья активно используют живые и неживые ресурсы Чёрного моря.

Глобально гидрологический режим Чёрного моря тесно связан с изменениями и флюктуациями в Мировом океане (Polonsky et.al., 1997). Водный режим Чёрного моря и впадающих в него рек обуславливается процессами распределения осадков, атмосферного переноса и их флюктуациями в Мировом океане посредством процессов кросс-европейского атлантического и западно-российского переноса (Oguz et.al., 2006). Водный баланс Чёрного моря в основном обуславливается атмосферными осадками, материковым стоком крупных рек – Дунай, Днепр, Днестр, водным обменом с Азовским и Мраморным морем и испарением с поверхности (Poulos, Kotinas, 2021). Особенностью гидрологического режима Чёрного моря является наличие хемоклина – специфичного слоя резких гидрохимических изменений на глубине 150–200 м между кислородной и бескислородной зоной. Наличие вертикального расслоения (стратификации) по причинам резкого изменения температуры (термоклин), солёности (галоклин) не позволяет активно происходить вертикальному перемешиванию на глубинах более 150–200 м (Добровольский, Залогин, 1982). Зона, следующая за слоем галоклина, анаэробна, характеризуется высокими концентрациями сероводорода и непригодна для обитания аэробных водных живых ресурсов. Таким образом, более 90 % объёма Чёрного моря содержит

высокие концентрации сероводорода и не используется аэробными формами жизни (Харченко, Долгий, 2014; Кондратьев, Видничук 2020).

Район исследований данной работы – акватория Чёрного моря, прилегающая к побережью Крымского полуострова и Кавказскому побережью (в пределах Краснодарского края), представлен на рисунке 3.1. Основная часть биологического материала, собранного как контактными, так и бесконтактными методами исследований, относится к шельфу черноморских территориальных вод современной России, максимальная глубина в которых не превышает 120 м и исключает влияние анаэробного сероводородного слоя.

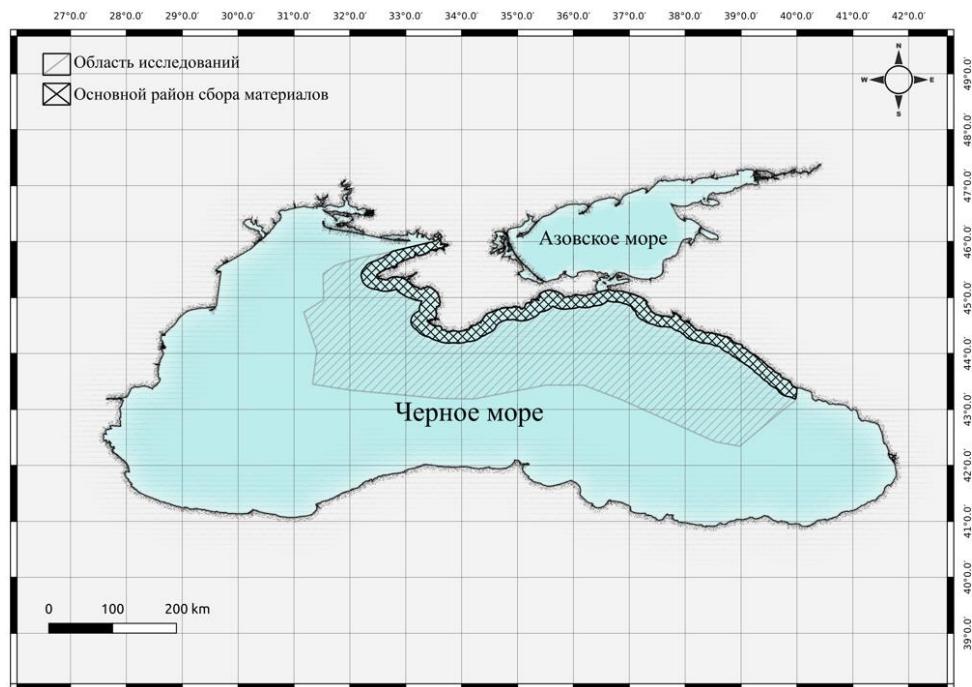


Рисунок 3.1 – Географическое расположение района исследований

Генеральная схема течений в Чёрном море, определяющая основные процессы функционирования биогеоценозов, названа в честь её первооткрывателя – Н.М. Книповича, рисунок 3.2. Данная схема течений представляет собой два замкнутых круговорота в центре моря и горизонтальную циркуляцию против часовой стрелки в шельфовых зонах. В соответствии с этой схемой течений в Чёрном море и результатами современных исследований, центральная и наиболее глубоководная часть моря имеет радикально отличающийся принцип течений и

перемешивания, чем вся прибрежная шельфовая зона (Ivanov et.al., 2007; Shapiro, 2009; Grinevetsky et.al., 2015).

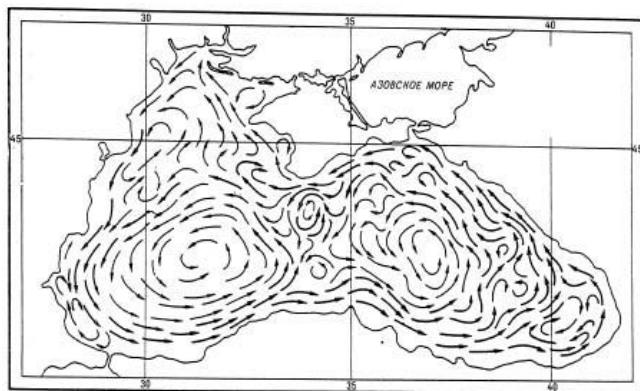


Рисунок 3.2 – Генеральная схема течений в Чёрном море по результатам исследований Н.М. Книповича (1932)

Горизонтальный перенос в Чёрном море является ведущим в распределении биогенов, формировании температурного режима, солёности, развитии фито- и зоопланктона, как и всех остальных процессов, определяющих структуру экосистемы.

Наиболее обширная зона прибрежного шельфа простирается вдоль берегов Крыма (крымский шельф), рисунок 3.3. Область крымского шельфа наиболее благоприятна для обитания основных представителей ихтиоценозов. Шельфовая зона у побережья Краснодарского края (кавказский шельф) существенно уже и имеет более резкий выраженный вертикальный градиент спуска к большим глубинам.

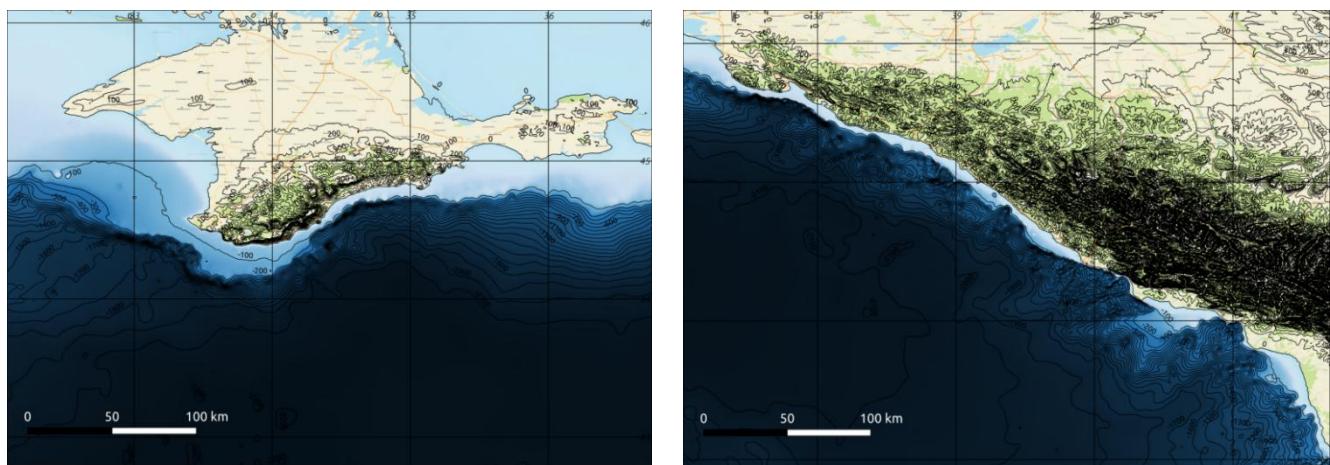


Рисунок 3.3 – Батиметрия акваторий Чёрного моря, прилегающих к берегам Крымского полуострова и Краснодарского края, по данным проекта Gebco (Weatherall, 2015)

Промысловое районирование Чёрного моря в соответствии с условиями среды и биологическими особенностями ихтиофауны выполнено в работе (Промысловое описание Чёрного моря, 1988). В результате промыслового районирования были выделены 8 основных районов Чёрного моря: Северо-западный, Крымский, Керченско-Таманский, Кавказский, Юго-восточный, Турецкий, Юго-западный и Центральный. Для выполнения географического определения района интересов (ведения промысла, осуществления исследований и т. д.) предложено использовать название мысов: Калиакра, Тарханкут, Херсонес, Меганом, Сарыч, Такиль, Кодош, Пицунда, Анаклия, Чам, Бафра, Керемпе и отдельно Босфорский пролив в качестве географических ориентиров местности.

Район исследований данной работы, в соответствии с приведённым выше промысловым районированием Чёрного моря, охватывает Крымский, Керченско-Таманский, частично Кавказский и частично Северо-западный промысловые районы.

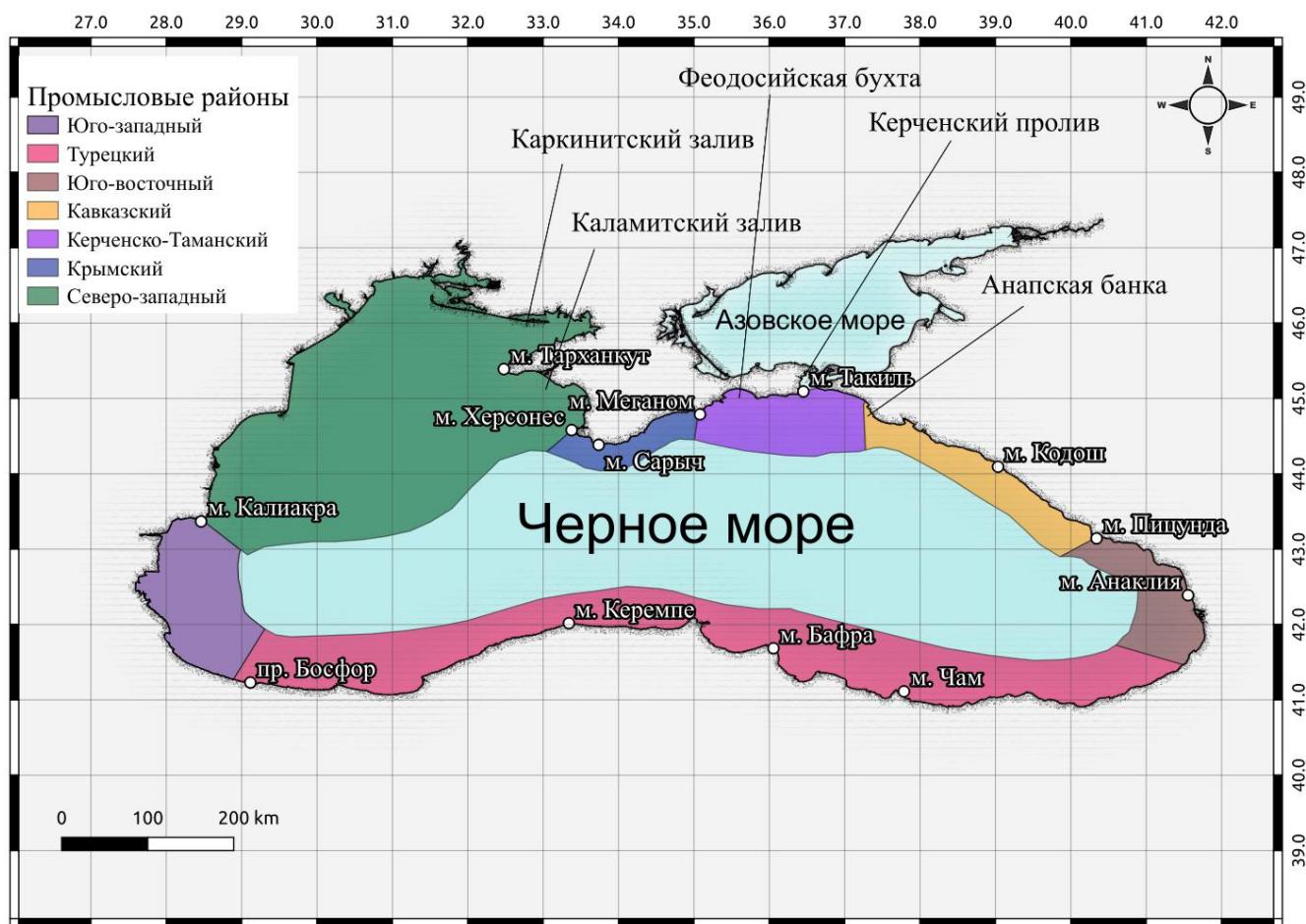


Рисунок 3.4 – Основные промысловые районы и опорные точки при описании географических областей в Чёрном море

Протекающий с конца XX века процесс глобальных климатических изменений, характеризующийся трендом постепенного увеличения показателей температуры как атмосферы, так и водных объектов, затронул и Чёрное море как водоём Мирового океана (Levitus et.al., 2005; Tanaka, Houtan, 2022; Cheng et.al., 2022). Монотонно нарастающий тренд среднегодовых температур в бассейне Мирового океана исследования объясняют накоплением поглощённой энергии и изменениями в глобальных атмосферных и гидрологических процессах распределения тепла. Начиная с 1990-х годов в представленных исследованиях отмечается глобальный тренд повышения среднегодовых температур поверхности Мирового океана, экстремумы которого с каждым годом все более выражены. Помимо постепенного нарастания среднегодовых температур поверхности воды

отмечаются положительные аномалии температур и по вертикальным слоям, вплоть до километровых глубин.

В комплексной климатической работе (Tanaka, Houtan, 2022) авторы отмечают, что с 2014 г. начался период экстремальных температурных скачков, который стал новой реальностью. Авторы пришли к выводу, что новый мировой тренд повышения температуры вод Мирового океана является необратимым процессом начиная с 1998 г. В будущем авторы ожидают дальнейшие экстремальные скачки температуры поверхностных вод Мирового океана.

Как было отмечено ранее, Чёрное море является частью Мирового океана, и его гидрологический режим тесно связан со Средиземным морем (Poulos, 2020). Однако постепенное повышение температуры поверхности воды в Чёрном море происходит менее стремительными темпами и с менее выраженными экстремумами, чем в Средиземном море (Pastor et.al., 2020). Аналогичный тренд монотонного нарастания среднегодовых температур поверхности воды отмечается и для Азовского моря, сообщающегося с Чёрным морем через Керченский пролив (Бердников и др., 2019).

Отличительной чертой гидрологического режима бассейна Чёрного моря является вертикальная стратификация водных слоёв, обусловленная различными характеристиками: температурой, солёностью и другими параметрами. Однако, как было показано в работах (Боровская, Шляхов, 2010; Шляхов, Боровская, 2015), данная устойчивая вертикальная структура может быть нарушена процессом стремительного водообмена глубоководной и шельфовой зоны, именуемым апвеллингом. При эффекте апвеллинга происходит водообмен с нижней границей сезонного термоклина, температура воды которого в летний период составляет 8–9 °С (Станичная, Станичный, 2021). При интенсификации эффекта апвеллинга в летний период, по мере увеличения выброса биогенов и хладозапаса на поверхность, существенно снижаются уловы шпрота. Снижение уловов шпрота в результате интенсификации явления апвеллинга, вероятно, происходит по причине размытия слоя термоклина, в результате чего плотные промысловые

скопления шпрота рассредоточиваются в вертикальной и горизонтальной структуре водных масс.

Тем не менее, в конечном итоге авторы отмечают (Боровская, Шляхов, 2010), что степень воздействия интенсификации эффекта апвеллинга на снижение уловов шпрота существенно сократилась, начиная с 2007 г., но все ещё оказывала некоторое влияние на формирование промысловых скоплений в 2012–2013 гг. (Шляхов, Боровская, 2015).

В отличие от Азовского моря, показатели солёности Чёрного моря не имеют выраженных многолетних изменений и стационарных периодов (Полонский и др., 2013). Вертикальное изменение показателей солёности в Чёрном море имеет более значимые колебания, чем многолетние изменения показателей солёности определённого водного слоя. Наблюдаемые средние показатели солёности для верхнего аэробного слоя (от 0 до 200 м) варьируют от 17 до 22 %. Такие колебания показателей солёности, как в многолетнем представлении, так и по вертикальной структуре аэробного слоя, не являются лимитирующим фактором для массовых представителей ихтиофауны Чёрного моря.

Аналогично показателям солёности, содержание растворённого кислорода в водах Чёрного моря не выступает в качестве лимитирующего показателя в верхнем аэробном слое для жизни ихтиофауны, в том числе черноморского шпрота. Для верхнего аэробного слоя Чёрного моря средние показатели растворённого кислорода варьируют в пределах от 50 до 350 ммоль/л (Полонский, Котолупова, 2019), что не является пределом толерантности начала гипоксии большинства обитателей ихтиофауны в Чёрном море (Diaz, 2001). Ниже горизонта глубин 120–200 м (в зависимости от рельефа дна) содержание растворённого кислорода в воде стремится к нулю, аэробная жизнь отсутствует.

Резюмируя характеристику района исследования и его особенности, следует отметить, что наибольших изменений за период ХХ–XXI веков претерпел температурный режим водоёма, обусловленный глобальными климатическими изменениями. Другие рассматриваемые особенности водоёма, его расположение и гидрологический режим, вряд ли напрямую повлияли на состояние всей

популяции и, обособленно, на состояние региональной крымско-кавказской единицы запаса черноморского шпрота в исторически непродолжительный период исследования.

ГЛАВА 4. СОСТОЯНИЕ ПРОМЫСЛА ЧЕРНОМОРСКОГО ШПРОТА

4.1 Особенности международного промысла шпрота в Чёрном море

Промышленное рыболовство шпрота в Чёрном море до начала 1970-х производилось в узкой и мелководной прибрежной зоне с использованием исключительно пассивных орудий лова (ставных неводов). Судовой промысел шпрота с применением активных орудий лова (трапов) был начат в 1971 г., изначально у побережья Болгарии. В последующие годы по мере переориентации флота на промысел мелких пелагических рыб целевой промысел шпрота трапами начал осуществляться и бывшим СССР. В настоящее время промысел шпрота странами Причерноморья осуществляется почти исключительно в своих территориальных водах. Промысел иностранных судов в территориальных водах других стран не осуществляется. Детализированная рыбохозяйственная статистика общего годового вылова шпрота странами Причерноморья по материалам статистики ФАО и международных рыбохозяйственных организаций (FAO Yearbook. Fishery..., 2021; The State of World Fisheries..., 2022) представлена на рисунке 4.1.

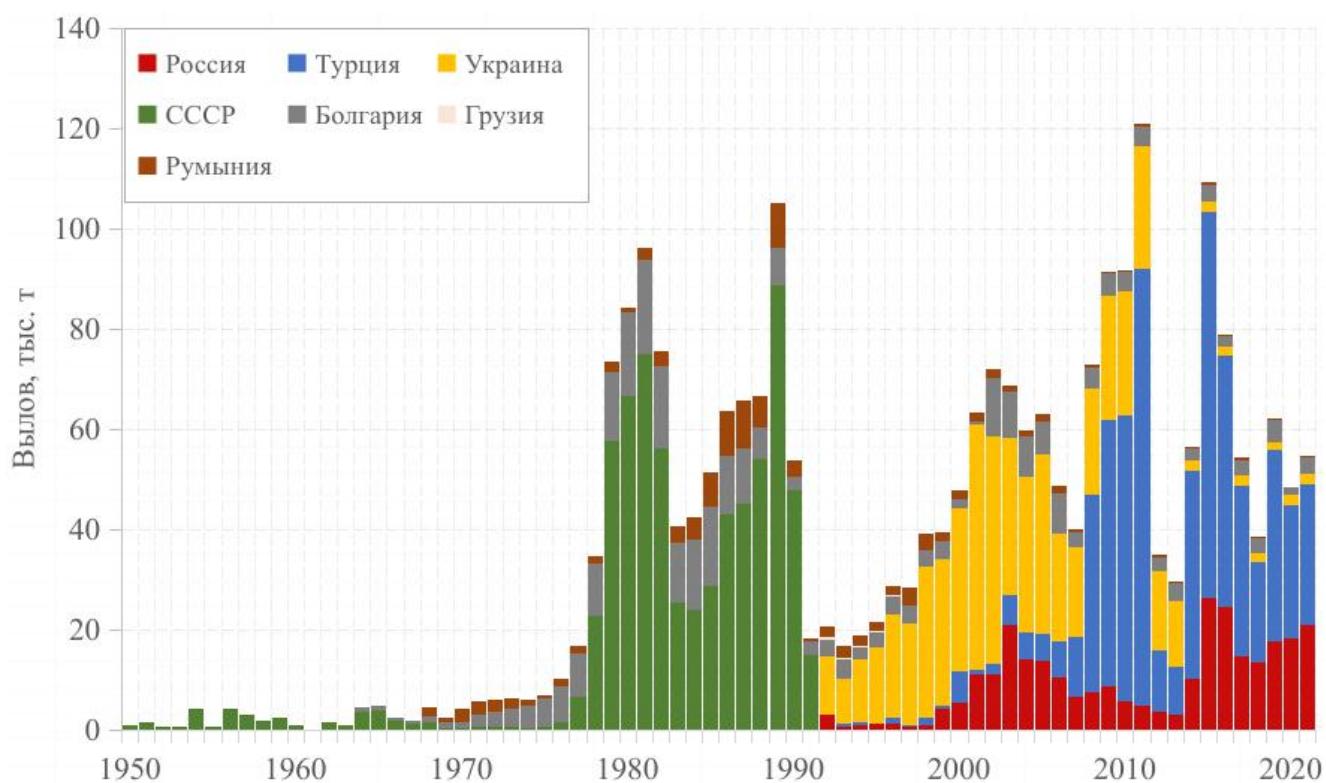


Рисунок 4.1 – Статистика промыслового изъятия шпрота в Чёрном море

Обобщённые результаты визуализации основных запретных районов тралового промысла в Чёрном море представлены на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 – Районы запрета тралового промысла в Чёрном море.

(Примечание –* – В водах Болгарии траловый промысел осуществляется по лицензиям, в которых указываются разрешённые для промысла участки)

Болгария. В болгарских водах Чёрного моря промысел шпрота осуществляется с апреля по октябрь: в узкой прибрежной зоне – ставными неводами, а траловый промысел – от изобаты 20 м и глубже. До вхождения в Евросоюз (ЕС) траления запрещались в 1-мильной прибрежной зоне и в 3-мильной зоне на некоторых участках, прилегающих к устьям рек и портам. Как и другие виды рыболовства, промысел шпрота традиционно регулируется прямыми ограничениями, включая сезонные закрытия и закрытие районов, минимальным

шагом ячей (и минимальным промысловым размером $TL = 7$ см) и ограничением доступа судов к лову. С 2008 г. в качестве мер контроля промысловых усилий были введены системы лицензирования и индивидуальных квот, чтобы привести усилия в соответствие с имеющимися запасами рыб. Лицензии выдаются на определённые типы снастей и обычно ограничивают район возможного промысла по данной лицензии (Cardinale et al., 2017).

В Болгарии (и Румынии), согласно поправкам к Регламенту ЕС 1343/2011 (статья 15 а), траловый промысел разрешён в пределах 3 морских миль от береговой линии, но не глубже изобаты в 50 метров. Изъятие шпрота осуществляется в пределах объёмов ТАС (ОДУ), с 2008 г. устанавливаемых ежегодно для вод Болгарии и Румынии. В траловом промысле шпрота участвуют суда длиной более 12 метров (в основном 15–26 м). Основной период лова – тёплое время года, траловый лов наиболее результативен в июле – августе.

По мере развития тралового промысла общий годовой вылов шпрота постепенно увеличился с 1–3 тыс. т в период до 1975 г. до 8,8 тыс. т в 1977 г. В последующий период 1978–1987 гг. уловы шпрота являлись максимальными за всю историю промысла у берегов Болгарии и составляли от 10 до 16 тыс. т. В дальнейший период 1988–2000 гг. по мере снижения экономической целесообразности и выведения промысловых судов из промысла, уловы шпрота сократились сначала до уровня в 6–7 тыс. т в 1988–1989 гг., а затем уменьшились до уровня в 2,2–3,7 тыс. т в год. В 2002–2003 гг. отмечено некоторое повышение уловов до уровня 11,6 тыс. т, за последующий период 2004–2021 гг., особенно при интеграции в экономическое пространство Евросоюза, годовые уловы шпрота снизились до 1,6–4,3 тыс. т.

Румыния. Условия и организация промысла шпрота в румынских водах Чёрного моря близки к тем, что рассмотрены выше для Болгарии. Отличия касаются запретных для промысла районов: полный запрет всех видов рыболовства установлен на акваториях морских заповедников Vama, Veche-2 и Mai Reservation (рисунок 4.2).

С развитием промышленного рыболовства шпрота разноглубинными тралами величины годового улова возросли с показателей 1–3 тыс. т в 1970–1983 гг. до 4,5–9,5 тыс. т в 1984–1989 гг. Начиная с 1990 г., по мере вывода из состава рыболовного флота Румынии судов-траулеров, приобретённых в бывшем СССР (типа «Baltica», длиной 25–26 м), отмечено снижение показателей уловов до уровня 2–3 тыс. т в период 1990–2000 гг. и до уровня 1,2–1,8 тыс. т в 2000–2005 гг. В последующий период 2006–2021 гг., когда число траулеров в водах Румынии сократилось до 2 ед. и менее, а промысел ставными неводами также пришёл в упадок, уловы шпрота упали до 0,01–0,49 тыс. т.

СССР. Аналогично переориентации промысла на мелких пелагических рыб в Болгарии и Румынии, происходили перемены в рыболовстве в водах СССР. Судовой промысел шпрота лишь непродолжительное время осуществлялся донными тралами, после чего они были запрещены, и стали использоваться разноглубинные тралы (Болтачев, 2006). Так, уже в период 1978–1980 гг. уловы шпрота достигли показателей 23–67 тыс. т относительно уловов в 1–7 тыс. т в предшествующий период 1975–1977 гг. В последующий период вплоть до распада СССР уловы шпрота сохранялись на высоком уровне от 24,1 до 75 тыс. т ежегодно. В период 1988–1991 гг. произошло значительное сокращение величины годового вылова с 54–89 тыс. т в 1988–1989 гг. до 48 тыс. т в 1990 г. и до 15 тыс. т в 1991 г.

Грузия. После распада СССР промысел шпрота в водах Грузии практически не сохранился. В период 1992–1996 гг. отмечены максимальные уловы черноморского шпрота, они составили 0,19–0,83 тыс. т. В период 1997–2021 гг. уловы шпрота стремились к нулю (от 0 до 0,09 тыс. т).

Украина. В результате распада СССР в юридической собственности Украины (а позже – частных лиц и компаний) остался достаточно многочисленный рыбопромышленный флот, состоящий из среднетоннажных и малотоннажных судов, базирующихся в портах северо-западной части моря и в Крыму. В период 1991–1995 гг. уловы шпрота достигали 9–15 тыс. т. В период 1996–2000 гг. ежегодные уловы постепенно возросли до уровня 20 тыс. т, а позже

и 30 тыс. т. Последующий период 2001–2013 гг. характеризовался изначально высокими годовыми уловами (45–49 тыс. т в 2001–2002 гг.) и стремительным трендом сокращения величины уловов до 13–16 тыс. т в 2012–2013 гг. В период с 2010 г. большая часть промысла шпрота осуществлялась территориально на шельфе Крымского полуострова. Начиная с 2014 г. уловы Украины сократились до уровня 1,4–2,2 тыс. т по причине вхождения Крыма в состав Российской Федерации и прекращения возможности ведения промысла на Крымском шельфе Украинскими субъектами хозяйствования (рисунок 4.2).

Россия. После распада СССР промысел черноморского шпрота осуществлялся преимущественно малотоннажными судами на кавказском шельфе разноглубинными тралями (шаг ячей – 6 мм). В 1988–1999 гг. уловы шпрота варьировали в пределах от 7 до 16 тыс. т после чего в период 1991–1999 гг. снизились до 0,7–4,5 тыс. т. В период 2000–2010 гг. уловы шпрота составляли от 5,5 до 21 тыс. т. В период 2007–2013 гг. отмечено постепенное снижение уловов шпрота с 6–7 тыс. т до 3–4 тыс. т. После вхождения Крыма в состав России уловы шпрота составили 10,3–26,4 тыс. т.

Турция. Позже всех стран бывшего советского лагеря к промыслу шпрота приступили рыбопромышленники Турции. Характерным отличием от промысла разноглубинными тралями постсоветским лагерем является то, что в водах Турции основной объём улова шпрота обеспечивается за счёт близнецовых пелагических траолов (шаг ячей – 7 мм) (Zengin, Gümüş, 2014; Cardinale et al., 2017). В 2011 г. наибольший вылов шпрота выпал на март и апрель (65 %), в октябре – ноябре было добыто 6 %, остальной вылов пришёлся на первую половину мая и зимние месяцы (с 15 мая и до конца августа действует запрет на траовый лов). Промысел пелагическими близнецовыми тралями осуществляется только на шельфе вблизи г. Самсун. Дополнительно к целевому промыслу близнецовыми тралями прилов шпрота осуществляется в кошельковые невода (шаг ячей – 7 мм) в конце промыслового сезона добычи хамсы, наиболее интенсивно в апреле – мае (Şahin et.al., 2015). По мере начала ведения промысла шпрота уловы стремительно возрастили с уровня 1–5 тыс. т в 2001–2005 гг. до 7–39 тыс. т в 2006–2008 гг. и до

максимального уровня в 53,4–87,1 тыс. т в период 2009–2011 гг. В 2012 и 2013 г. уловы шпрота сократились до 12,1 и 9,8 тыс. т соответственно. В период 2014–2019 гг. уловы шпрота в водах Турции варьировали в пределах от 20 до 77 тыс. т, после чего стабилизировались на уровне в 26–28 тыс. т в 2020–2021 гг.

Следует отметить общую закономерность снижения уловов в странах постсоветского лагеря в период 1990–1994 гг. и достаточно медленный тренд наращивания величины годового вылова в период 1995–1999 гг. Низкие уловы в этот период (до 30 тыс. т) относительно предшествующего периода (до 105 тыс. т), вероятно, обусловлены переориентацией экономики новых стран с плановой экономики на новые рыночные условия (Шляхов, Чащин, 2004). Безусловно, вселение хищного гребневика мнемиопсис в этот период внесло значительный негативный вклад в обеспеченность кормовыми объектами популяции шпрота, что в результате привело к снижению численности общечерноморского запаса и, соответственно, снизило его доступность для промысла. Однако экономические причины такого снижения, вероятно, оказали не менее значимое влияние на снижение уловов. В настоящее время в условиях отсутствия объективного мониторинга показателей производительности промысла в этот период сделать однозначное заключение затруднительно.

Анализ динамики ведения промысла указывают на разнонаправленность тенденций в уловах России (с включением уловов на шельфе Крыма в российские уловы за период 2001–2013 гг.) и Турции в современный период, рисунок 4.3а. Проверка гипотезы о наличии связи при помощи кросс-корреляционного теста Спирмана между выловом в Турции и уловами России со сдвигами до +4 лет демонстрирует наличие значимой слабой отрицательной связи, рисунок 4.3б. Значимая связь отмечается при сдвиге рядов данных на горизонт до 3 лет ($r_{+1} = -0,46$, $r_{+2} = -0,55$, $r_{+3} = -0,44$). При отсутствии сдвига в ряду данных связь не является значимой.

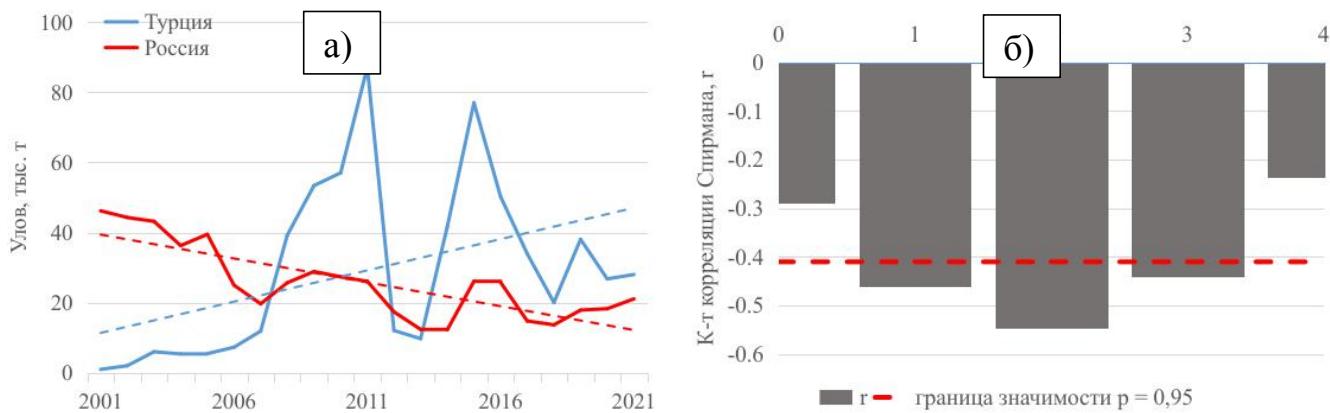


Рисунок 4.3 – Проверка гипотезы о влиянии уловов Турции на уловы России (с включением Крыма) в период 2001–2021 гг.: а) – визуализация уловов и линии трендов, б) – корреляционный тест Спирмана со сдвигом на +4 года (уловы России относительно уловов Турции)

Результаты проверки гипотезы как визуально, так и аналитически указывают на наличие разнонаправленных условий осуществления регионального промысла в турецких и российских водах. Такое расхождение и наличие слабой отрицательной связи, вероятно, является следствием наличия обособленных единиц запаса на турецком и крымско-кавказском шельфе. Оценить воздействие турецкого рыболовства за все время на численность общечерноморской популяции шпрота в рамках данной работы не представляется возможным по причине отсутствия биологических данных и оценок уловов на усилие. Тем не менее из данных рыбохозяйственной статистики можно отметить быстрое наращивание объёмов добычи шпрота Турцией, как и использование способов добычи, максимизирующих улов на единицу промыслового усилия.

Для приближенной оценки «плотности» промыслового изъятия выполнено косвенное сопоставление интенсивности общего годового вылова на единицу длины береговой линии в период 2010–2021 гг. Средний годовой улов России (с включением крымских уловов за весь период) составил 19,4 тыс. т, средний улов Турции - 40,1 тыс. т. Приближенная оценка продолжительности береговой линии России – 1200 км, Турции – 1700 км. Таким образом, приближенная оценка улова на единицу протяжённости береговой линии составляет: для Турции – 23,6 т/км,

для России – 16,2 т/км. Приближенные оценки свидетельствуют о том, что интенсивность промысла в Турции в период 2010–2021 г. должна быть не менее чем на 32 % выше, чем в Российских водах. Вероятно, данная оценка существенно занижена, так как промысел шпрота в водах Турции выполняется на ограниченном участке шельфа, в то время как на крымско-кавказском шельфе промысел шпрота практически повсеместен, за исключением непротяженных запретных районов.

Предположение о чрезмерной интенсивности промысла у берегов Турции подтверждается опубликованным исследованием уловистости близнецовых тралов на шельфе Самсона в 2014 г (Özsandıkçı, 2020). По результатам исследования средний улов на усилие в 2014 г. в период январь – май составил $3,8 \pm 0,7$ т/ч, а в месяц наивысшей интенсивности промысла (март) – 6,9 т/ч. По данным работы (Daskalov, Ratz, 2010) количество судов на промысле пелагическими тралами уже в 2010 г. достигало более 100 ед. При оценке улова на единицу площади был получен показатель – $16,8 \pm 3,0$ т/км². Аналогичный показатель улова на час траления в 2015 г. на крымско-кавказском шельфе составил 2,2 т/ч. Сравнение данных показателей свидетельствует о более высокой (на 43 %) интенсивности и производительности промысла в водах Турции, чем на крымско-кавказском шельфе.

Высокую интенсивность промысла шпрота в водах Турции отмечают и турецкие исследователи (Özsandıkçı, 2014; Balık, 2018; Kasapoğlu, 2018). Отмечено стремительное снижение средней длины в уловах с TL = 10,7 в 2000 г. до TL = 7,35 в 2011 г. что, по их мнению, может происходить в результате сверх интенсивного промысла близнецовыми тралами или в результате глобальных климатических изменений.

Для детального изучения условий ведения промысла дополнительно к многолетней статистике представлены краткие результаты оценки регулирования промысла в работе STECF (Cardinale et al., 2017) в настоящее время, таблица 4.1. Изучение условий реализации промысла свидетельствует о том, что турецкий промысел является наименее регулируемым. Отсутствие ограничений позволяет в

турецких водах вести добычу в период массового нереста, применять донные тралы, наносящие вред донным экосистемам, а также осуществлять вылов неполовозрелых особей шпрота любой длины (насколько это позволяет близнецовый трал с шагом ячей 7 мм). Регулирование промысла в других странах является относительно близким в своих условиях и направлено на рациональную эксплуатацию региональных запасов общечерноморской популяции.

Таблица 4.1 – Краткое резюме регулирования промысла шпрота причерноморскими странами в 2017–2022 гг.

Страна	Миним. длина, мм	Ограничение возм. вылова	Орудия лова	Обобщённые ограничения промысла
Россия	SL=60 (с 2020 г - SL = 55)	да	разноглубинный травл	промысел разноглубинными травлами разрешён с апреля по октябрь; прилов в прибрежные орудия не ограничен; имеются запретные районы промысла
Турция	нет	нет	травл близнецы, донный и разноглубинный травл	пелагические травл близнецы разрешены с 15 сентября по 15 мая; донные травл разрешены с 15 апреля до конца года прилов в кошельковые невода при промысле хамсы с апреля по май
Украина	SL=60	нет	разноглубинный травл	промысел разрешён с апреля по октябрь; прилов в прибрежные орудия не ограничен
Болгария	TL=70	да	разноглубинный травл	промысел осуществляется по разрешениям на разрешённых участках шельфа в разрешенный период времени
Румыния	TL=70	да	разноглубинный	промысел разрешён с апреля по

			трапл	октябрь; имеются запретные районы промысла
Грузия	TL=65	да	-	-
Примечание - * Для всех стран Причерноморья промысел шпрота доступен для траевых орудий лова с размером ячей (шаг ячей - расстояние между 2 узлами сети) 6 мм и более. В зарубежных правилах регулирования определяется "full mesh size", измерение которого выполняется на вытянутой по диагонали ячее, в результате чего длина ячии - удваивается (для шпрота «full mesh size» = 12 мм что соответствует шагу ячии 6 мм).				

4.2 Особенности регионального промысла на шельфе Крыма и Кавказа

В северной и северо-восточной частях Чёрного моря региональный промысел шпрота осуществляются при помощи судов различных типов конструкций: ПТР, СРТ, СЧС, МРТ, МРТР, СРТМ. В зависимости от тоннажа эти суда можно разделить на 2 группы: малотоннажные – ПТР, СЧС, МРТ, МРТР, СРТ и среднетоннажные суда – СРТМ. Промысел шпрота как малотоннажными, так и среднетоннажными судами осуществляется при помощи разноглубинных трапов различных конструкций. Требования к конструкции и параметрам орудий лова, промысел которыми допускается в северной и северо-восточной частях Чёрного моря, определены в редакциях Правил рыболовства для Азово-Черноморского бассейна.

Одним из различий осуществления промысла шпрота на крымско-кавказском шельфе среднетоннажными и малотоннажными судами является их производительность. Как будет показано далее, суда среднетоннажного типа демонстрируют более высокую производительность промысла, чем малотоннажные. Другой особенностью осуществления промысла этими типами судов является их локализация – среднетоннажный флот осуществляет промысел шпрота преимущественно у берегов Крыма, малотоннажный – вдоль кавказского побережья.

Другой важной особенностью осуществления промысла этими типами судов является способность к сепарации рыбы. Сведения о возможности

сепарирования рыбы являются обрывистыми и нередко противоречивыми. В работе (Cardinale et al., 2017) отмечается практически полное отсутствие сепарации уловов шпрота всеми рыбопромышленниками причерноморских стран за исключением разовых случаев на шельфе Болгарии. Однако в другой работе (Ulman et.al, 2015) отмечаются отдельные факты сепарации рыбы, в том числе в северной части Чёрного моря, где их объёмы в среднем были оценены на уровне 5 % от первоначального улова судна в период 2006–2013 гг. Безусловно, такие объёмы сепарации едва ли являются значимыми, тем не менее они могут приводить к снижению численности незрелых особей в результате её гибели после сепарации.

Регулирование регионального промысла на крымско-кавказском шельфе осуществляется в соответствии с «Правилами рыболовства для Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна» России. На крымском шельфе до 2014 г. регулирование промысла осуществлялось в соответствии с «Правилами промислового рыбальства» Украины. В общих чертах, правила осуществления промысла как в Украине, так и России были достаточно близкими при регламентировании промысла шпрота до 2014 г, т.к. они являлись продолжением доработки «Правил рыболовства в бассейне Чёрного моря», утверждённых в СССР в 1965 г. Обобщенно, эти правила регламентировали следующие основные параметры промысла шпрота:

- промысел в территориальных водах могут осуществлять только суда под флагом страны, которой они принадлежат;
- минимальный промысловый размер SL = 6 см (с 2020 г. – SL = 5,5 см);
- запретные районы промысла (общей площадью до 12 % от всей акватории);
- возможные способы добычи шпрота: разноглубинными тралами и в качестве прилова в ставные орудия лова (ставные невода и др.);
- разрешенный период добычи шпрота при помощи разноглубинных тралов: с 1 апреля до 31 октября (обобщенно, за исключением некоторых районов или периодов);

– минимальный размер (шаг) ячей трала – 6 мм (расстояние между двумя узлами);

– минимальные глубины, на которых возможен промысел – от 30 м;

и ряд других второстепенных требований (допустимая доля прилова незрелых особей, допустимая доля прилова в нецелевые орудия лова и т. д.).

В настоящее время, для периода исследований, последней действующей редакцией региональных правил рыболовства является редакция «Правила рыболовства для Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна» от 09.01.2020 г. с изменениями от 28 июля 2020 г. (Приказ Минсельхоза РФ № 423) и с изменениями от 31 марта 2022 г. (Приказ Минсельхоза РФ № 186). Графическая интерпретация актуальных правил рыболовства, действующих на крымско-кавказском шельфе с 2020 г., представлена на рисунке 4.4.

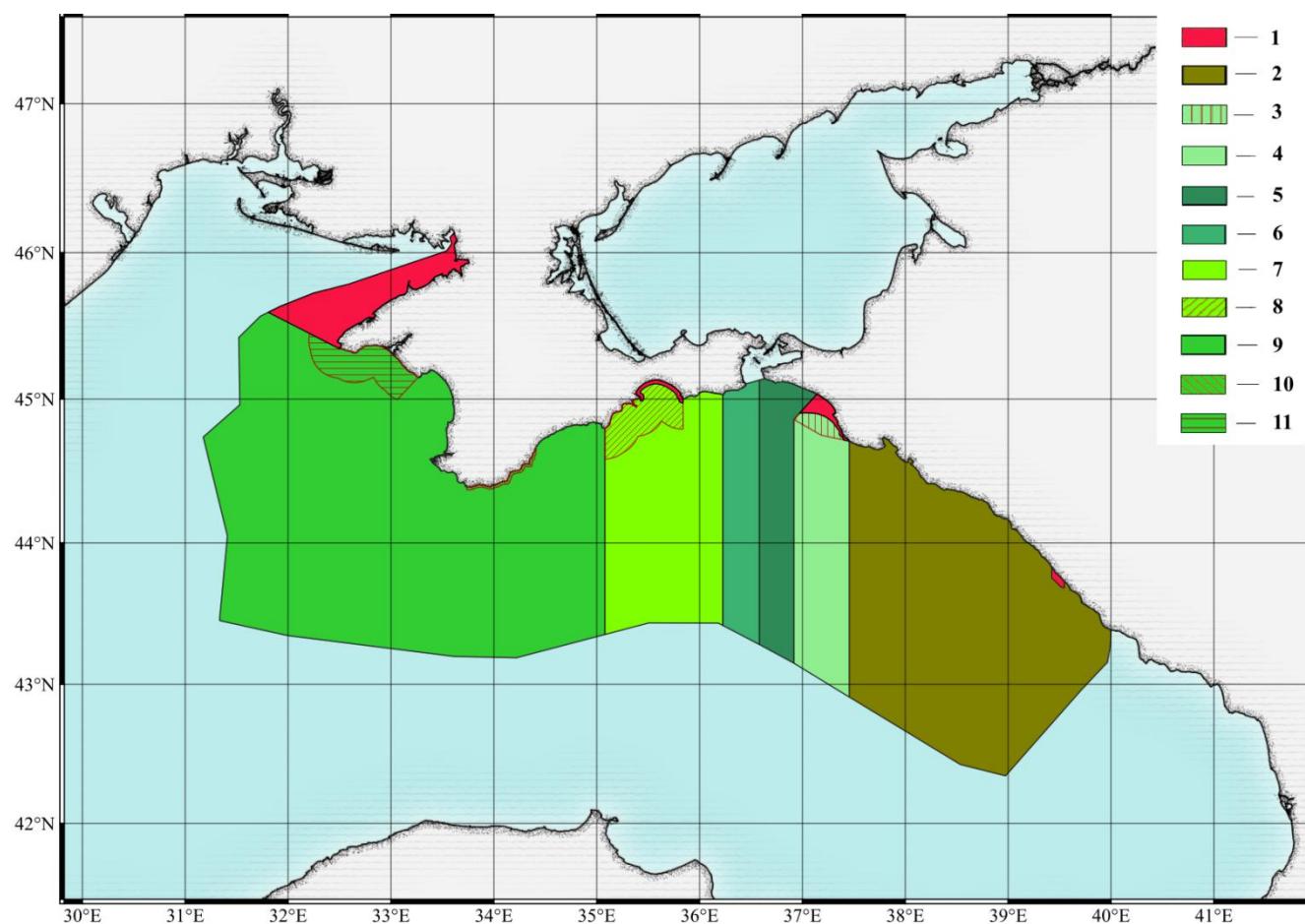


Рисунок 4.4 – Графическая интерпретация региональных правил регулирования промысла шпрота разноглубинными тралями на крымско-кавказском шельфе: 1 –

промысел запрещён в течение всего года; 2 – промысел разрешён с 1 апреля по 31 октября тралями не более 38 м по верхней подборе; 3 – промысел разрешён с 1 июля по 31 октября тралями не более 38 м по верхней подборе, не более 20 судов; 4 – промысел разрешён с 15 апреля по 31 октября тралями не более 38 м по верхней подборе; 5 – промысел разрешён с 25 апреля по 31 октября тралями не более 38 м по верхней подборе; 6 – промысел разрешён с 25 апреля по 31 октября; 7 – промысел разрешён с 15 апреля по 31 октября; 8 – промысел разрешён с 1 июля по 31 августа; 9 – промысел разрешён с 16 марта по 31 октября; 10 – промысел запрещён с 1 апреля по 1 октября, разрешён с 16 по 31 марта и с 2 по 31 октября; 11 – промысел запрещён с 1 апреля по 30 сентября, разрешён с 16 по 31 марта и с 1 по 31 октября

В соответствии с действующими правилами рыболовства, пп. 40.1 «з», специализированный промысел шпрота разноглубинными тралями в Чёрном море разрешён с 1 апреля по 31 октября – в море восточнее меридиана мыса Малый Утриш; с 15 апреля по 31 октября – в море в районе между меридианом мыса Малый Утриш и линией, соединяющей точки с координатами $45^{\circ}02'00''$ с. ш. – $37^{\circ}08'30''$ в. д. и $44^{\circ}51'30''$ с. ш. – $36^{\circ}55'00''$ в. д. (за исключением запретного пространства «Анапская банка»); с 25 апреля по 31 октября – в море в районе между линией, соединяющей точки с координатами $45^{\circ}02'00''$ с. ш. – $37^{\circ}08'30''$ в. д. и $44^{\circ}51'30''$ с. ш. – $36^{\circ}55'00''$ в. д., и меридианом мыса Опук разноглубинными тралями; с 1 июля по 31 августа – на акватории запретного пространства «Анапская банка» с глубинами более 40 метров; с 16 марта по 31 октября – в море западнее меридиана мыса Меганом (за исключением Каркинитского залива); с 15 апреля по 31 октября – в море в районе между меридианами мыса Меганом и мыса Опук. Кроме этого, при специализированном промысле хамсы разноглубинными тралями прилов шпрота не ограничивается (пп. 45.4 Правил рыболовства), что даёт возможность тралового лова шпрота в период года, когда специализированный промысел шпрота не разрешён.

Результаты обработки многолетних данных рыбохозяйственной статистики – общего годового вылова, улова на час трапений, а также продолжительности промысловых усилий (общее время трапений) с учётом опубликованных работ (Шляхов, Чащин, 2004; Шляхов и др., 2012) представлены на рисунке 4.5. За весь рассматриваемый период 1994–2022 гг. средний улов на час трапений составил 1,3 т/ч, средний годовой вылов – 23,0 тыс. т, средняя продолжительность трапений за 1 год – 19,8 тыс. ч.

В период с 1994–1999 гг. отмечено постепенное увеличение объёмов общего годового вылова с 9,8 тыс. т в 1994 г. до 24,9 тыс. т в 1999 г. В этот же период общая продолжительность трапений возросла с 16 до 24 тыс. ч. Производительность промысла (улов на усилие) в период 1994–1997 гг. была низкой и составляла от 0,46 до 0,6 т/ч трапения, после чего несколько возросла до 0,9–1 т/ч в час трапения в 1998–1999 гг. Повышение величины общего годового вылова в период с 1994 по 1999 г. обусловлено увеличением продолжительности промысловых усилий на вылов рыбы и только в 1998–1999 гг. было обусловлено увеличением производительности промысла.

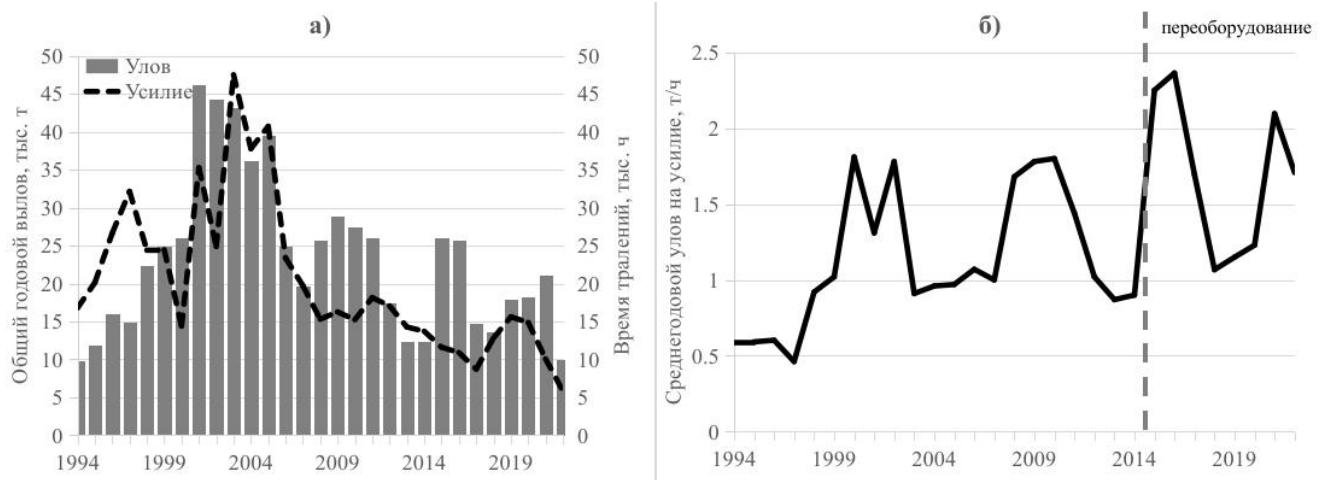


Рисунок 4.5 – Годовой вылов, производительность лова и промысловое усилие при промысле шпрота на крымско-кавказском шельфе Чёрного моря в период 1994–2022 гг.: а) – общий годовой вылов и промысловое усилие; б) – средний улов на один час трапения

Низкая производительность промысла и низкая продолжительность промысловых усилий в период 1994–1999 гг. была обусловлена несколькими факторами, которые уже были отмечены ранее. Первым из них являлся переход от плановой к рыночной экономике в годы после распада СССР. Данные изменения привели к существенному снижению промысловой активности, в результате чего и отмечались низкие (относительно среднемноголетних) показатели продолжительности промысловых усилий (время, затрачиваемое на промысловые операции), которые постепенно возрастили по мере адаптации экономической среды к новым условиям. Тем не менее, ухудшение экономических условий в этот период не объясняет низких показателей производительности промысла, особенно в период 1994–1997 гг. Такие низкие показатели производительности промысла могли быть обусловлены вторым негативным фактором воздействия в этот период – ухудшением условий среды обитания. Таким ухудшением являлось вселение хищного гребневика мнемиопсис (Шляхов, Шляхова, 2011), первые массовые вспышки численности которого отмечены уже в 1989 г. Вспышки численности гребневика в этот период в первую очередь оказывали негативное воздействие на кормовую базу тепловодного комплекса (зоопланктон), в результате чего могли приводить к снижению концентраций шпрота при суточных вертикальных миграциях при питании (Глущенко, 2012). Тем не менее, влияние пищевого конкурента на крымско-кавказскую единицу запаса шпрота и ухудшение производительности его промысла в эти годы может быть переоценено (Виноградов и др., 1995; Чащин, 1997).

В последующий период 2000–2005 гг. наблюдались максимальные показатели общего годового улова шпрота на уровне от 26 до 46 тыс. т. В этот же период отмечались максимальные показатели затрачиваемых промысловых усилий на траловые операции - от 14 до 47 тыс. ч. Производительность промысла в этот период колебались на серединном уровне от 0,91 до 1,81 т/ч за час траления. Данный период являлся наиболее высоко производительным для промысла относительно всей истории регионального промысла на крымско-кавказском шельфе. Максимальные показатели общего годового вылова были достигнуты за

счёт интенсификации промыслового усилия. Повышение производительности промысла в данный период, вероятно, произошло по причине вселения другого хищного гребневика, берое, который снизил негативное воздействие мнемиописа на кормовую базу шпрота (Shiganova et.al., 2003; Shiganova et.al., 2018).

В период 2006–2010 гг. общий годовой вылов шпрота стабилизировался в диапазоне 19,7–28,9 тыс. т. В этот же период отмечено сокращение уровня промыслового усилия до 15–20 тыс. ч трапления ежегодно. Однако производительность промысла в этот период была выше, чем в предшествующий период 1994–2005 гг. и составляла от 1,0 до 1,8 т/ч. Тренд снижения продолжительности промысловых усилий в этот период привёл к стабилизации уровня общего годового вылова и повышению производительности промысла.

В последующий период 2011–2013 гг. и в год вхождения Крыма (и рыбопромышленников Крыма) в состав России, 2014 г., отмечалось сокращение как общего годового вылова, так и величины промыслового усилия и показателей производительности промысла. В этот период величина общего годового вылова снизилась с 26 тыс. т в 2011 г. до 12 тыс. т в 2013 и 2014 гг. Общая продолжительность промысловых усилий в этот период снизилась с 18 до 13 тыс. ч. Производительность промысла уменьшилась с 1,4 до 0,9 т/ч. Такое ухудшение показателей регионального промысла может быть обусловлено только снижением биомассы запаса шпрота в эти годы или ухудшением гидрологических условий, обуславливающих формирование промысловых скоплений (Шляхов, Боровская, 2015).

В период 2015–2021 гг. производительность регионального промысла шпрота на крымско-кавказском шельфе была выше, чем среднемноголетние показатели. В этот период уловы шпрота варьировали на невысоком уровне от 13,7 до 26,1 тыс. т. Продолжительность промысловых усилий в этот период была ниже, чем для всех предшествующих периодов, и составляла от 8,7 до 15,6 тыс. ч трапений. Производительность промысла была в среднем выше многолетних показателей (от 1,1 до 2,4 т/ч), а в некоторые годы достигала своего максимума: 2,4 т/ч в 2016 г. Такие промысловые показатели, при которых незначительное

снижение промыслового усилия привело к значительному повышению производительности промысла, вероятно, свидетельствует об увеличении биомассы запаса в этот период или повышении его доступности.

Повышение производительности промысла начиная с 2015 г. в какой-то степени было обусловлено программой переоснащения среднетоннажных судов (Павлуненко, Дымченко, 2016). В результате переоснащения размеры разноглубинных тралов были увеличены сначала до 78 м, а позже и до размеров более 100 м. Также была пересмотрена конструкция верхней подборы, что в совокупности с увеличением длины тралов позволило значительно увеличить объёмы процеживаемой воды и, как следствие, повысить производительность промысла. Тем не менее производительность промысла малотоннажных судов в этот период (рисунок 4.5 б) также демонстрирует тренд повышения результативности промысла (до 2021 г.), что не позволяет в полной мере объяснить общее повышение производительности промысла результатами переоснащения.

В настоящее время, в 2022 г., произошли значительные изменения условий осуществления промысла. По причине административных ограничений продолжительность промысловых усилий сократилась до уровня 5 тыс. ч. Такое снижение промысловых усилий привело к снижению общего годового вылова до 9,9 тыс. т. Однако производительность промысла все ещё сохранилась на высоком уровне – 1,7 т/ч.

Снижение общего годового вылова в 2022 г. по всей видимости не обусловлено доступностью запаса, а в полной мере обусловлено снижением продолжительности промысловых усилий. При сравнении этого периода с предшествующими отмечается сокращение продолжительности промысловых усилий 2 раза относительно периода 2015–2021 гг. и более чем в 4 раза относительно периода 2001–2005 гг.

Для детального рассмотрения особенностей промысла в современный период 2015–2022 гг. были рассчитаны показатели общего годового вылова, продолжительности промысловых усилий и производительности промысла

раздельно для малотоннажных (СРТ, ПТР, МРТ, МРТР, МРСТ, СЧС) и среднетоннажных (СРТМ) судов в месяцы наибольшей результативности промысла: июнь – август, таблицы 4.2 и 4.3 соответственно.

Таблица 4.2 – Уловы (С), промысловые усилия (Е) и производительность промысла (улов на час траления, С/Е) шпрота малотоннажными судами на крымско-кавказском шельфе в период 2015–2022 гг.

Год	Июнь			Июль			Август		
	С, т	Е, ч	С/Е, т/ч	С, т	Е, ч	С/Е, т/ч	С, т	Е, ч	С/Е, т/ч
2015	1146	642	1,8	2058	1304	1,6	1653	710	2,3
2016	1989	1596	1,2	3562	1565	2,3	2554	1091	2,3
2017	907	1135	0,8	1408	1371	1,0	2170	2209	1,0
2018	1883	1393	1,4	2446	2180	1,1	517	734	0,7
2019	591	1120	0,5	1732	1614	1,1	2000	2085	1,0
2020	894	1648	0,5	2397	1692	1,4	2313	1873	1,2
2021	1456	1390	1,0	2210	1221	1,8	1576	816	1,9
2022	70	175	0,4	194	181	1,1	173	285	0,6
среднее	1117	1137	1,0	2001	1391	1,4	1620	1225	1,4

Промысловые показатели малотоннажного флота в июне в период 2015–2022 гг. демонстрируют наличие тренда снижения уловов, промысловых усилий и производительности промысла. Наиболее значительное сокращение отмечено в продолжительности промысловых усилий: относительно среднего значения снижение произошло более чем в 6 раз. Соразмерно снижению количества промысловых усилий сократилась и величина вылова в июне 2022 г. – более чем в 10 раз относительно периода 2015–2022 гг. Производительность промысла малотоннажных судов в июне была ниже среднемноголетних показателей в 2017, 2019–2020 и 2022 гг. Тем не менее, в 2017, 2019, 2020 гг. продолжительность промысловых усилий была выше, чем в 2022 г.

Промысловые показатели малотоннажных судов в июле демонстрируют устойчивые средние показатели производительности промысла, продолжительности промысловых усилий и объёма улова в период 2015–2021 гг. В 2022 г. аналогично показателям малотоннажного промысла в июне, произошло значительное сокращение продолжительности промысловых усилий, более чем в

7 раз, относительно среднемноголетних показателей. В результате сокращения промысловых усилий произошло снижение уловов более чем в 10 раз относительно среднемноголетних показателей. В этот период производительность промысла продемонстрировала снижение на 22 % в 2022 г. и соответствовала низким показателям производительности промысла в период 2017–2019 гг.

Продолжительность промысловых усилий и показатель улова малотоннажного флота в августе продемонстрировали снижение в 2022 г. относительно среднемноголетних значений аналогично показателям в июне и июле. Продолжительность промысловых усилий сократилась более чем в 4 раза, а общий вылов сократился более чем в 9 раз относительно среднемноголетних значений. Производительность промысла малотоннажного флота в августе 2022 г. сократилась в 2 раза относительно среднемноголетних показателей – промысел был наименее результативен относительно всего периода 2015–2022 гг.

Значительные изменения показателей промысла малотоннажных судов в 2022 г. вероятно обусловлены в первую очередь снижением численности рыбодобывающего флота. Дополнительным негативным фактором, препятствующим промыслу, являлись административные ограничения, вводимые на отдельных акваториях крымского шельфа и временные запреты по входу и выходу промыслового флота из портов г. Севастополь и г. Новороссийск. Детальная характеристика численности флота и пространственное распределение положений уловов представлены в таблице 4.4 и на рисунке 4.5.

Таблица 4.3 – Уловы (С), промысловые усилия (Е) и производительность промысла (улов на час траления, С/Е) шпрота среднетоннажными судами на крымско-кавказском шельфе в период 2015–2022 гг.

Год	Июнь			Июль			Август		
	С, т	Е, ч	С/Е, т/ч	С, т	Е, ч	С/Е, т/ч	С, т	Е, ч	С/Е, т/ч
2015	2629	963	2,7	3698	967	3,8	2803	1030	2,7
2016	2674	1335	2,0	3991	957	4,2	3566	1157	3,1
2017	839	328	2,6	1278	485	2,6	2054	964	2,1
2018	1203	761	1,6	2141	1127	1,9	1449	884	1,6
2019	936	910	1,0	3248	1416	2,3	4173	1490	2,8

2020	209	172	1,2	2900	877	3,3	2837	966	2,9
2021	2221	1228	1,8	4468	1202	3,7	4817	817	5,9
2022	1332	762	1,7	2768	958	2,9	1696	958	1,8
среднее	1505	807	1,8	3061	999	3,1	2924	1033	2,9

В отличие от тренда сокращения продолжительности промысловых усилий малотоннажных судов в 2022 г. среднетоннажный флот не демонстрирует таких тенденций. Показатели промысла среднетоннажным флотом указывают на наличие значительных колебаний продолжительности промысловых усилий преимущественно в июне. При этом снижение продолжительности промысловых усилий в июне не всегда сопровождается снижением производительности промысла. Так, в 2017 г. продолжительность промысловых усилий была в 2,5 раза ниже среднемноголетних показателей, а производительность промысла была на 44 % выше среднемноголетних значений. В 2020 г. в июне продолжительность промысловых усилий сократилась более чем в 4 раза относительно среднемноголетних значений, в это же время производительность промысла снизилась на 50 %. В целом, динамика производительности промысла среднетоннажных судов в июне демонстрирует постепенный тренд на снижение в период с 2015 по 2022 г.

Показатели производительности промысла среднетоннажными судами в июле демонстрируют максимальные показатели относительно июня и августа. Незначительное снижение производительности промысла отмечено в 2017–2019 гг. относительно среднемноголетних значений. Уменьшение продолжительности промысловых усилий относительно среднемноголетних показателей отмечено в 2017 г. - более чем в 2 раза, в 2020 и 2022 гг. в среднем на 4–14 %. Снижение продолжительности промысловых усилий эти годы привело к соразмерному сокращению показателя улова. В целом рассматриваемые промысловые показатели демонстрируют более устойчивые промысловые показатели в июле 2015–2022 гг относительно других месяцев и промысла малотоннажных судов.

Показатели производительности промысла в августе, аналогично июльским показателям были на высоком уровне. Количество затрачиваемых промысловых усилий не характеризуется значительными колебаниями за исключением значений в 2018 и 2022 г. В эти годы отмечена низкая производительность промысла среднетоннажных судов в августе, снижение относительно среднемноголетних показателей составило 45 и 38 % соответственно.

Сравнение показателей промысла малотоннажными и среднетоннажными судами свидетельствуют о более высокой производительности промысла и более высоких объемах добычи среднетоннажным флотом. На рисунке 4.6 представлены результаты сравнения показателей промысла малотоннажного флота относительно среднетоннажного на шкале отклонений в процентах. Показатели производительности промысла малотоннажных судов за весь рассматриваемый период были ниже, чем у среднетоннажного флота на 37–67 %. Снижение производительности промысла малотоннажных судов постепенно увеличивалось: в 2015–2016 гг. эта разница относительно среднетоннажного флота составляла 38 %, в 2019–2020 гг. – 57 %, а в 2022 г. составила 67 %. Снижение производительности промысла вероятно и привело к снижению как затрачиваемых усилий, так и уловов малотоннажного флота в 2022 г.

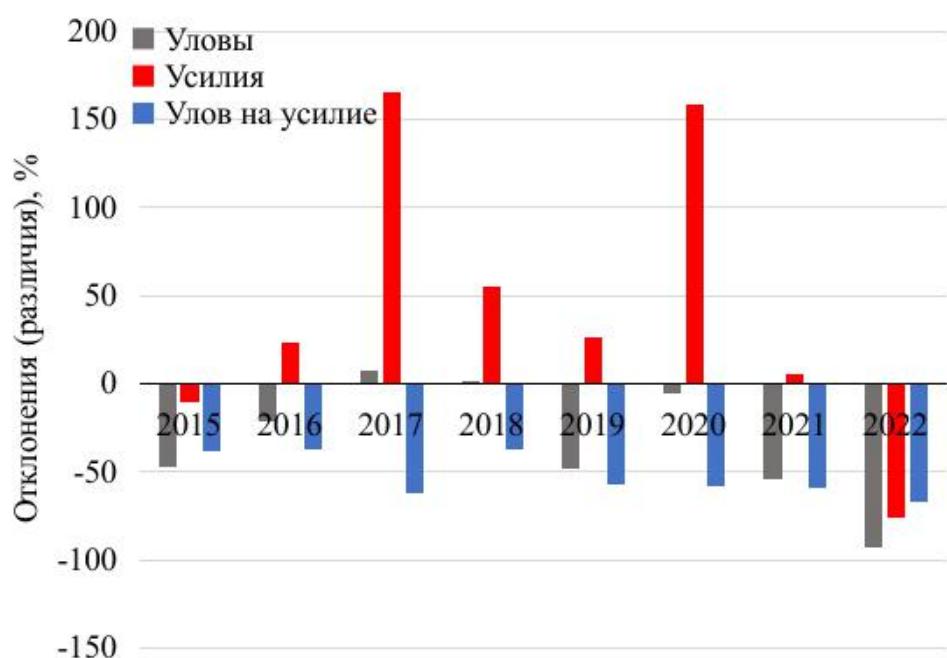


Рисунок 4.6 – Относительные показатели годового вылова, продолжительности промысловых усилий и производительности промысла (улов на усилие) малотоннажных судов относительно среднетоннажных судов при региональном промысле черноморского шпрота на крымско-кавказском шельфе в 2015–2022 гг.

Несмотря на низкую производительность промысла малотоннажных судов за весь рассматриваемый период, продолжительность времени тралений малотоннажного флота в период 2016–2020 гг. существенно превышало этот показатель у среднетоннажного флота. Так в 2017 и 2020 гг. продолжительность промысловых усилий малотоннажного флота превышала значения этого показателя среднетоннажного флота на 165 и 159 % соответственно. Высокие показатели продолжительности промысловых усилий сопровождались высокими величинами общего годового вылова малотоннажного флота лишь в 2017–2018 гг. (на 7,5 и 1,1 % выше, чем среднетоннажным флотом соответственно). В 2015–2016 и 2019–2022 гг. величина общего годового улова малотоннажного флота была ниже чем у среднетоннажных судов в среднем на 40 %.

Рассматриваемое сохранение, а временами и повышение производительности промысла среднетоннажным флотом в период 2015–2022 гг. в какой-то степени было обусловлено в том числе переоснащением данных судов начиная с 2016 г. (Павлуненко, Дымченко, 2016). Суть переоснащения среднетоннажных судов заключалась в использовании более крупных траловых орудий лова, позволяющих проеживывать большие объёмы за одну траловую операцию. По мере переоснащения среднетоннажных судов на промысле стали применяться разноглубинные тралы длиной более 100 м, в конструкции которых в куте трала использовались сети с минимальным разрешённым размером ячеи.

Изучение численности промысловых судов на промысле, таблица 4.4, проясняет рассматриваемую промысловую обстановку. Существенное сокращение продолжительности промысловых усилий обусловлено снижением численности малотоннажного флота почти в 2 раза в период 2015–2022 гг. и незначительным сокращением количества среднетоннажных судов на промысле с

9 до 7 единиц. Значительное снижение численности малотоннажного флота в исследуемый период свидетельствует об ухудшившихся условиях добычи шпрота, что может быть обусловлено как доступностью запаса шпрота, его скоплений, так и экономической целесообразностью его добычи.

Для изучения локализации промысла в пространстве представлены пространственные усреднённые за год ежесуточные карты производительности регионального промысла (улов на единицу площади) шпрота на крымско-кавказском шельфе в период 2015–2022 гг., созданные при помощи авторской программы FishingMap (Пятинский, Строкун, 2021), рисунок 4.7.

Таблица 4.4 – Количество среднетоннажных и малотоннажных судов при региональном промысле шпрота на крымско-кавказском шельфе в период 2015–2022 гг.

Год	Малотоннажные суда	Среднетоннажные суда	Всего
2015	26	9	35
2016	16	9	25
2017	20	9	29
2018	26	9	35
2019	24	9	33
2020	23	8	31
2021	19	8	27
2022	14	7	21



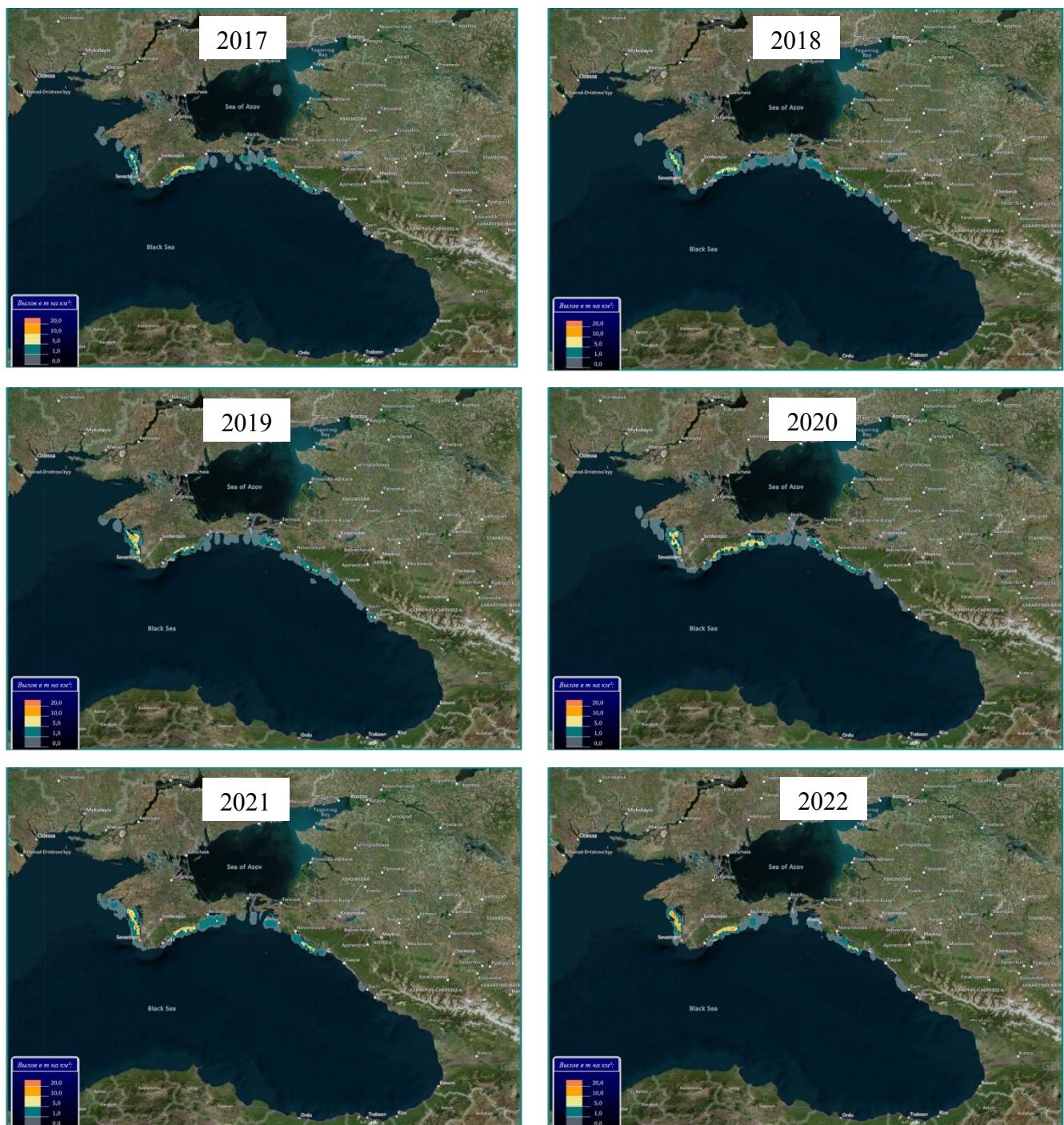


Рисунок 4.7 – Производительность промысла шпрота на крымско-кавказском шельфе - среднесуточный улов на единицу площади ($\text{т}/\text{км}^2$) в период 2015–2022 гг.

В 2015 г. промысел выполнялся практически во всех акваториях крымско-кавказского шельфа. Наиболее высокая производительность промысла отмечалась в традиционных районах промысла – в шельфовой зоне между м. Тарханкут и м. Херсонес, м. Сарыч и м. Меганом, в районах Керченского предпроливья от м. Такиль до Анапской банки и на участке шельфа между Анапской банкой и

м. Кодош. Промысел не осуществлялся в Евпаторийском пространстве и районах Феодосийской бухты. Незначительные объёмы добычи отмечены в районах шельфа между м. Кодош и м. Пицунда.

В 2016 г. локализация промысла была схожа с условиями 2015 г., однако промысел практически не осуществлялся в акватории Керченского предпроливья и в районе шельфа от м. Кодош до м. Пицунда. Так же существенно снизилась интенсивность промысла на Анапской банке. Вместе с этим произошла интенсификация промысла на участке шельфа между Анапской банкой и м. Кодош а также между м. Сарыч и м. Меганом. Промысел в Евпаторийском пространстве и районах Феодосийской бухты не осуществлялся.

В 2017 г. локализация промысла была схожа с условиями 2015 г. и 2016 г. Промысел осуществлялся практически на всем шельфе за исключением района шельфа, прилегающего к г. Джубга и м. Кодош. Производительность промысла, выраженная в улове на единицу площади, была ниже, чем в предшествующие 2015–2016 гг. по всей акватории. В 2017 г. предприняты первые попытки промысла в Евпаторийском пространстве и в районах Феодосийской бухты.

В 2018 г. промысел осуществлялся на всех участках крымско-кавказского шельфа. Относительно 2017 г. возросла производительность промысла на участке шельфа между м. Тарханкут и м. Херсонес. В этот же год попытки промысла в Феодосийской бухте также отмечались низкой результативностью.

В 2019 г. как и в предшествующий год промысел выполнялся на всех участках крымско-кавказского шельфа. В 2019 г. возросла производительность промысла на шельфе между м. Тарханкут и м. Херсонес и снизилась в районе от Анапской банки до м. Кодош. В районе шельфа между м. Сарыч и м. Меганом сохранялась высокая производительность промысла, как и в предшествующие годы. В других районах производительность промысла была низкой.

В 2020 г. как и в предшествующий период промысел осуществлялся на всех участках крымско-кавказского шельфа. Наиболее высокая производительность промысла отмечена на участке шельфа между м. Тарханкут и м. Херсонес, а также между м. Сарыч и м. Меганом. Впервые отмечено повышение

производительности промысла в районе Феодосийской бухты. На Анапской банке и в районе Керченского предпроливья производительность промысла была низкой.

В 2021 г. высокая производительность промысла отмечена на участке шельфа между м. Тарханкут и м. Херсонес, м. Сарыч и м. Меганом. Район Феодосийской бухты и Анапской банки характеризовался низкой производительностью промысла. В Керченском предпроливье и на участке шельфа между м. Кодош и м. Пицунда промысел практически не осуществлялся.

В 2022 г. отмечено сокращение протяжённости районов промысла, на которых раньше наблюдалась высокая производительность промысла - акватории на участке шельфа между м. Тарханкут и м. Херсонес, и в районе г. Новороссийск за Анапской банкой. Промысел на Анапской банке и в Феодосийской бухте был низко производительным, как и в предшествующие 2 года. В районе Керченского предпроливья и на участке шельфа от м. Кодош до м. Пицунда промысел практически не осуществлялся.

Для детального изучения изменений условий осуществления промысла на кавказском шельфе выполнена визуализация производительности промысла рыбопромышленников Краснодарского края в 2015, 2018, 2020 и 2022 гг., рисунок 4.8. От Краснодарского края промысел осуществляют только малотоннажные суда. Представленные результаты демонстрируют постепенное снижение производительности промысла. В 2022 г. отмечено снижение производительности промысла и площади акватории, на которой осуществлялся промысел.

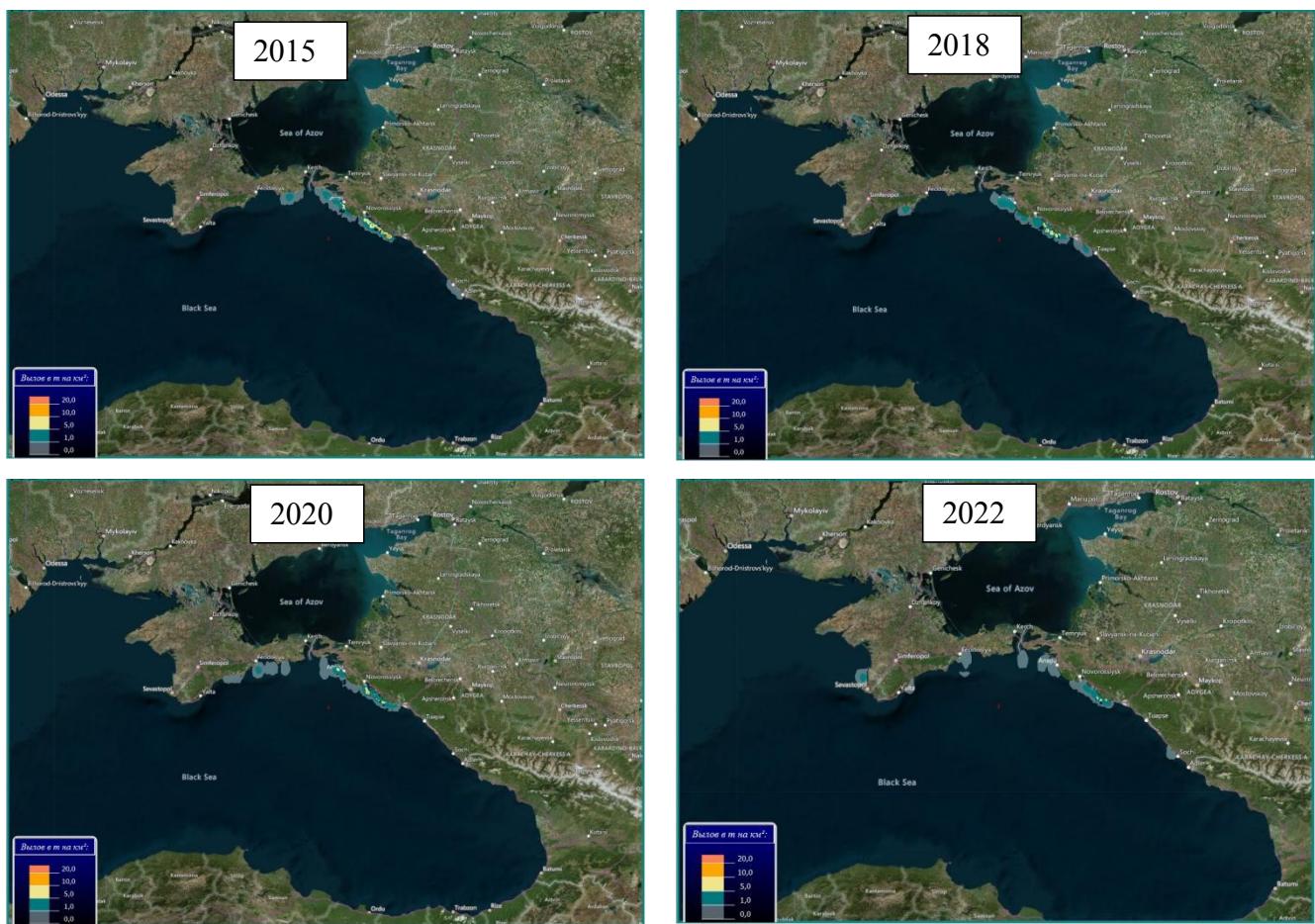


Рисунок 4.8 – Производительность промысла шпрота промышленниками Краснодарского края на кавказском шельфе – среднесуточный улов на единицу площади ($\text{т}/\text{км}^2$) в 2015, 2018, 2020 и 2022 гг.

Уменьшение площади районов осуществления промысла на кавказском шельфе на фоне сокращения количества малотоннажных судов и затрачиваемого времени на траления свидетельствует о снижении целесообразности ведения промысла, вероятно, по причине снижения рентабельности. В 2022 г. у каждого рыбодобывающего предприятия Краснодарского края на промысле сохранилось не более 2–3 единиц малотоннажных судов, а остальная их часть была направлена по имеющейся информации в Каспийское море на промысел мелкосельдевых рыб, имеющих более высокие размерно-массовые показатели и высокую производительность промысла (Мухамедова и др., 2015; Канатьев и др., 2022). Уменьшение площади районов промысла малотоннажных судов Краснодарского

края свидетельствует и о попытках минимизации пройденного пути за судосутки для снижения расходов на топливо.

Резюмируя раздел детального обзора промысла на крымско-кавказском шельфе в период СССР и современной России следует отметить следующие основные его особенности. Производительность промысла во времена СССР была ниже, чем в современный период. Начиная с 2005 г. наблюдается постоянное сокращение затрачиваемого времени на промысловые операции. В 2022 г. численность промыслового флота находилась на минимальном уровне за всю историю наблюдений. Снижение численности промыслового флота привело к сокращению продолжительности промысловых усилий. Наиболее существенное снижение продолжительности промысловых усилий и величины годового вылова произошло на кавказском шельфе для малотоннажных рыбопромысловых судов. Такие негативные изменения параметров промысла обусловлены как экономическими причинами, так и состоянием запаса шпрота, что будет показано далее.

4.3 Структура регионального вылова на крымско-кавказском шельфе

Структура промыслового изъятия и её параметры являются одним из ключевых интегральных показателей, характеризующих состояние популяции (Шибаев, 2014). Как было отмечено в разделе «Введение» по мнению исследователей (Домашенко, Юрьев, 1978), предосторожная эксплуатация запасов шпрота может быть достигнута в случае, если основу структуры промыслового изъятия составят особи в возрасте 1–2 лет. Такое допущение является убедительным для короткоцикловой популяции. Тем не менее отсутствует какой-либо строгий критерий, который позволил бы определить, какую именно часть промылового изъятия должны составить старшие возрастные классы (в возрасте, 2–3 лет) для достижения предосторожной эксплуатации.

Исходя из разрешённых параметров орудий лова (шаг ячей в куте от 6 мм) и минимальной промысловой меры 5,5 см можно сделать однозначный вывод о

возможности селективного изъятия неполовозрелых особей группы пополнения нерестового запаса (в возрасте 8–9 месяцев – 1 года). Для изучения доли прилова неполовозрелых особей в траловые орудия лова выполнен расчёт их доли в общей структуре промыслового изъятия на основе данных таблицы 2.4, рисунок 4.9.

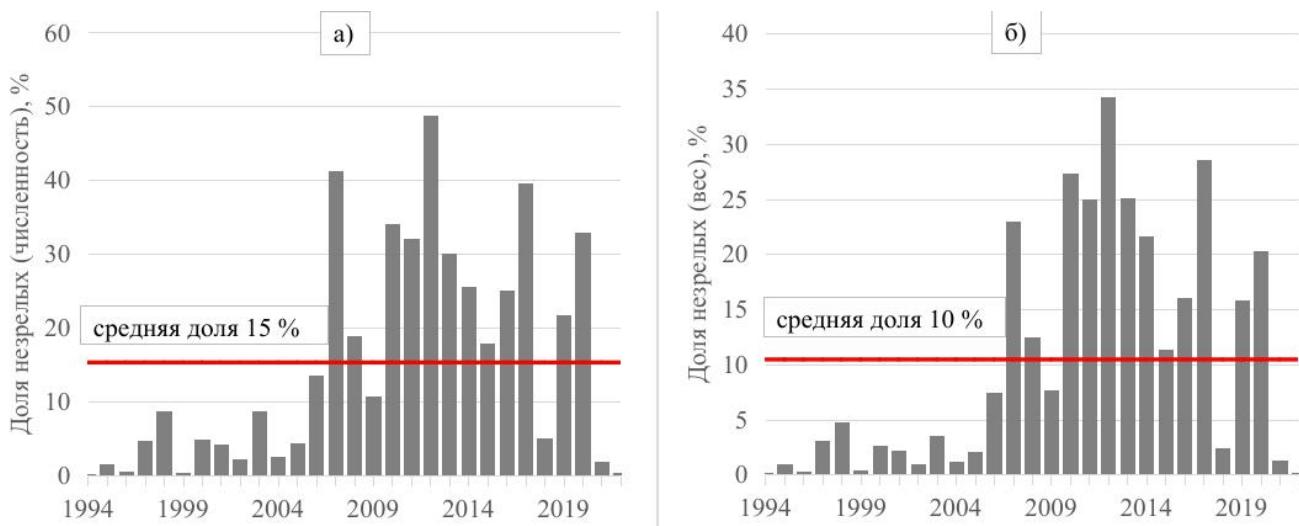


Рисунок 4.9 – Доля неполовозрелых особей в уловах шпрота на крымско-кавказском шельфе в период 1994–2022 гг.:
а) – доля по численности; б) – доля по массе

Доля неполовозрелых особей в промысловых уловах демонстрирует наличие двух трендов. В период 1994–2012 гг. происходило постепенное увеличение изъятия неполовозрелых особей в уловах траловых орудий лова с 1–2 % в 1994–1995 гг. до рекордных 32–48 % в 2011–2012 гг. В последующий период, 2013–2022 гг., доля неполовозрелых особей в уловах сократилась до 25–30% в 2013–2014 гг. и, после незначительных колебаний в 2015–2019 гг., уменьшилась до уровня 1–2 % в 2021–2022 гг. Динамика доли по весу неполовозрелых особей демонстрировала схожие тренды с динамикой по численности. Тенденция увеличения численности неполовозрелых особей в уловах траловых орудий лова в северо-восточной части Чёрного моря отмечена другими исследователями (Дахно, Перевалов, 2013).

В периоды максимизации доли прилова неполовозрелых особей отмечалось постепенное увеличение показателя производительности промысла, который был

наивысшим в годы максимального улова незрелых особей: 2008–2012 и 2016–2017 гг. Увеличение производительности промысла в эти годы, вероятно, было частично обусловлено приловом неполовозрелых особей к основным группам промысловых особей в возрасте 1–3 лет.

Увеличение доли неполовозрелых особей в уловах траловыми орудиями в северной и северо-восточной частях моря было частично обусловлено сложностями процесса регулирования промысла. В период до 2015 г. действовало строгое требование недопустимости добычи шпрота в случае, когда прилов особей, не достигших промыслового размера, превышал 8 % от общего улова данного вида. Начиная с 2015 г. в правила рыболовства для Азово-Черноморского бассейна в соответствии с приказом № 234 Минсельхоза России от 9 июня 2015 г. внесены изменения допустимой доли прилова особей непромыслового размера: «44.4. Запрещается добыча (вылов) водных биоресурсов, если прилов не достигших промыслового размера за одну операцию по добыче превышает: хамсы и шпрота – 20 % по весу от общего улова данного вида». В случае превышения данной доли прилова рыбодобывщик обязывался выпустить пойманную рыбу «в живом виде за борт» в соответствии с правилами до 2015 г., после чего это требование было устранено. После 2015 г. сохранилось лишь требование необходимости смены района промысла на расстояние не менее 5 миль от точки текущего лова в случае, если доля массы непромысловых особей (преимущественно неполовозрелых) превышала допустимую.

Как было отмечено ранее, в определённые периоды (2006–2013 гг.) отмечались отдельные случаи сепарации рыбы преимущественно среднетоннажными судами, объёмы которой не превышали 5 % от первоначального вылова (Ulman et.al., 2015). Вероятно, по этой причине доля регистрируемой части приловов неполовозрелых особей в период до 2010 г. была подвержена некоторому недоучёту. В последующий период по мере увеличения допустимого прилова особей непромыслового размера правилами рыболовства их доля в уловах значительно возросла.

Таким образом, изначально низкие показатели прилова неполовозрелых особей по всей видимости были обусловлены множеством факторов: строгостью регулирования уловов особей непромыслового размера, особенностю конструкций орудий лова и более высокой доступностью крупных особей для промысла. По мере снижения размерно-массовых характеристик крымско-кавказской единицы запаса доля неполовозрелых особей в прилове постепенно возрастала. Значительное сокращение доли прилова неполовозрелых особей в 2021–2022 гг. можно объяснить снижением промысловых усилий в этот период.

Визуализация динамики размерно-массовых характеристик промыслового изъятия – средней массы неполовозрелых особей, средней массы особей в возрасте 1–3 лет и их средней длины в уловах представлена на рисунке 4.10. Динамика показателей как средней массы, так и средней длины особей демонстрирует устойчивое ежегодное снижение.

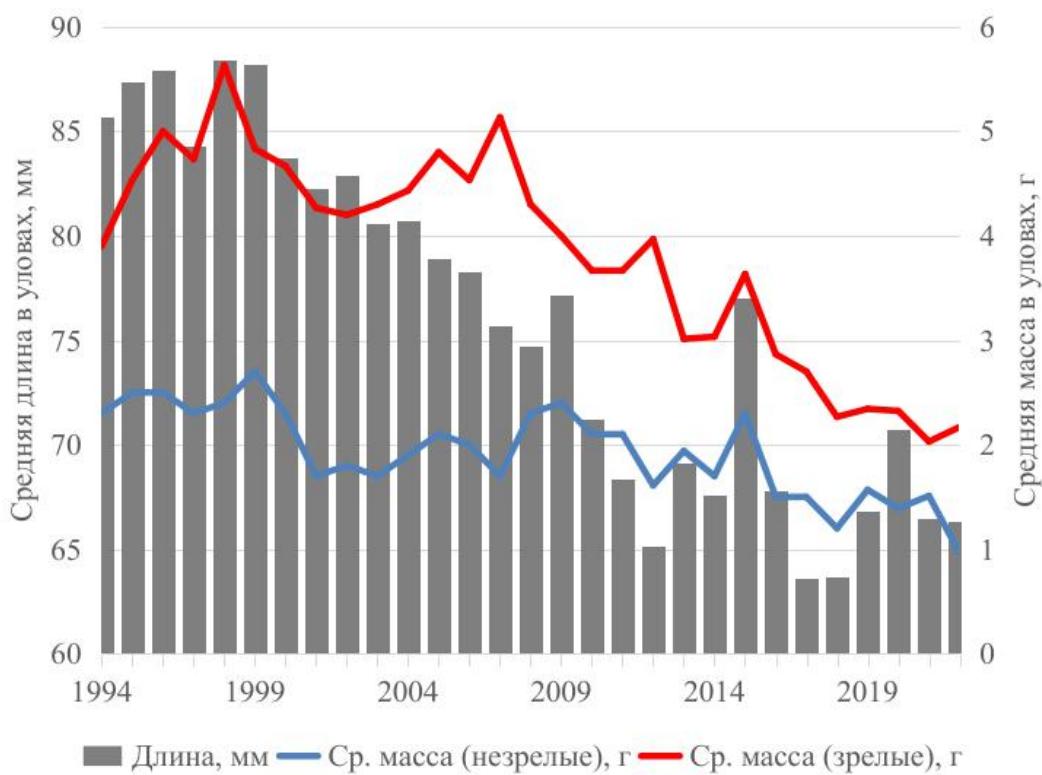


Рисунок 4.10 – Средняя длина в уловах (FL), средняя масса неполовозрелых особей группы пополнения и средняя масса особей в возрасте 1–3 лет черноморского шпрота в промысловых уловах на крымско-кавказском шельфе Чёрного моря в период 1994–2022 гг.

Снижение средней массы особей в возрасте 1–3 лет и неполовозрелых особей в 2022 г. относительно периода 1994–1999 гг. произошло более чем в 2 раза. Такое постепенное сокращение весовых показателей должно быть обусловлено процессом глобальных изменений среды обитания шпрота. Выполнение корреляционного теста подтверждает наличие связи между снижением средней массы неполовозрелых особей и средней массы особей в возрасте 1–3 лет, $r = 0,73$ (значимо при $a = 0,05$).

Динамика показателей средней длины рыб в уловах демонстрирует аналогичный отрицательный тренд, как и снижение средней массы. В 2022 г. средняя длина рыб в уловах снизилась на 33 % относительно значения этого показателя в 1994 г. При проверке наличия связи между средней длиной в уловах и средней массой, как и ожидалось, получены высокие показатели значения коэффициента корреляции: средняя длина рыб в уловах и средняя масса рыб в возрасте 1–3 лет $r = 0,83$, средняя длина и средняя масса неполовозрелых особей $r = 0,76$ (обе связи значимы при $a = 0,05$). Такие значения коэффициента корреляции обусловлены степенной природой связи признаков длины и веса (объёма).

Следует отметить, что устойчивое снижение средней массы особей 1–3 лет в уловах началось с 2007 г., а сокращение средней массы неполовозрелых особей – с 2009–2010 гг. В эти годы продолжительность промысловых усилий на крымско-кавказском шельфе уменьшилась до 15–20 тыс. ч трапений, относительно 25–35 тыс. ч трапений в предшествующий период (2000–2006 гг.). Годовой вылов в этот период (2007–2010 гг.) также сократился до 19–29 тыс. т относительно 25–45 тыс. т в предшествующий период (2000–2006 гг.). Постепенное уменьшение средней длины шпрота в уловах также отмечалось со сдвигом на 2–3 года относительно тренда снижения средней массы особей в возрасте 1–3 лет.

Снижение средней массы шпрота в уловах, а также изменение его питательности и физиологического состояния рассматривается в ряде научных

публикаций (Шляхов, Шляхова, 2011; Зуев и др., 2013; Дахно, Перевалов, 2013; Юнева и др. 2016; Зуев, 2019; Zuev, Skuratovskaya, 2022).

В работе для северо-западной части моря (Шляхов, Шляхова, 2011) отмечено сокращение размерных характеристик шпрота с постепенным уменьшением модальной размерной группы в уловах с 106–110 мм в период 1976–1980 гг. до 91–95 мм в период 1990–1994 гг. и последующее снижение до 81–85 мм в период 2005–2009 гг. Прослеживается и тенденция значимых отрицательных аномалий уменьшения средней массы особей шпрота практически во все месяцы года. Исследуя рацион питания и обеспеченность кормом шпрота, авторы отмечают снижение среднесуточного рациона на 140 и 667 % (при выделении групп «крупного» и «мелкого» шпрота) в период 2005–2009 гг. относительно периода 1976–1980 гг. Основной причиной ухудшения рациона питания по мнению авторов исследования являлось практически полное отсутствие на глубинах 25–47 м холодноводных копепод (*Calanus helgolandicus*, *Pseudocalanus elongates*).

В других работах по северной части Чёрного моря (крымский шельф) (Зуев и др., 2013; Зуев и др., 2018; Зуев, 2019; Zuev, Skuratovskaya, 2022) отмечено снижение средней длины нерестовых самок с 7,36 до 6,03 см и снижение их абсолютной индивидуальной плодовитости в период 2000–2016 гг. При этом отмечено преобладание доли мелкоразмерных особей: в период 2013–2016 гг., численность особей длиной более 7,5 см сократилась более, чем в 30 раз (с 64 до 2 %). Наиболее многочисленным возрастным классом являлись особи в возрасте 1 года.

В комплексном исследовании параметров запасов шпрота в северо-восточной части Чёрного моря (кавказский шельф) (Дахно, Перевалов, 2013) аналогично северо-западной части моря отмечено снижение размерно-массовых характеристик. Модальный класс в уловах траловых орудий в период август–сентябрь снизился с 91–100 мм в 1993–1995 гг. до 71–80 мм в 2011–2012 гг. Средняя длина особей в уловах снизилась с 93,0 мм в 1993–1995 гг. до 74,7 мм в 2011–2012 гг. Несмотря на снижение размерно-массовых показателей модальный

возрастной класс представлен особями в возрасте 1 года, однако значительно снизилась в уловах доля особей в возрасте 2 лет и возросла доля неполовозрелых особей.

В другом исследовании (Юнева и др., 2016) авторы отметили тренд сокращения содержания суммарных липидов в теле шпрота в период с 2007 по 2012 гг. и некоторое их увеличение в 2013 г. По мнению авторов, основной вклад в обеспеченность популяции шпрота кормом (и, соответственно, содержание липидов в теле) вносят холодноводные копеподы. Недостаточная обеспеченность шпрота в питании холодноводными копеподами по мнению авторов приводит к уменьшению содержания в теле резервных липидов, в результате чего изменяется содержание незаменимых жирных кислот.

По результатам работы, исследовавшей состояние обеспеченности пищей черноморского шпрота (Никольский и др., 2011), в период 2000–2010 гг. отмечено снижение показателей его жирности, которая в 2009–2010 гг. снизилась до 7,6 и 7,4 % соответственно относительно среднемноголетней величины 11,2 %. По мнению авторов, такое снижение жирности шпрота обусловлено сокращением его численности в северной части моря (на крымском шельфе) в результате снижения обеспеченности кормовым зоопланктоном или же является результатом чрезмерной эксплуатации и снижения запасов по мнению других авторов (Зуев и др., 2004).

Проверка наличия связи между производительностью промысла и средней массой шпрота в уловах указывает на наличие лишь слабой отрицательной связи при проверке гипотезы с показателем средней массы особей в возрасте 1–3 лет ($r = -0,41$, значима при $a = 0,05$) и незначимой слабой отрицательной связи со средней массой неполовозрелых особей ($r = -0,26$, незначима при $a = 0,05$). Такие результаты не выглядят убедительными и не могут служить подтверждением негативного воздействия интенсификации регионального промысла на размерно-массовые характеристики крымско-кавказской единицы запаса шпрота.

Усреднённая размерная структура промыслового изъятия за период 1994–1996, 1999–2001, 2009–2011, 2020–2022 гг. представлена на комбинированном

рисунке 4.11. Интервалы усреднения выбраны в соответствии с необходимостью дополнительного исследования периода постепенного увеличения биомассы запаса в 1999–2000 гг. и сокращения размерно-массовых характеристик в 2009 г. и в настоящий период 2020–2022 гг.

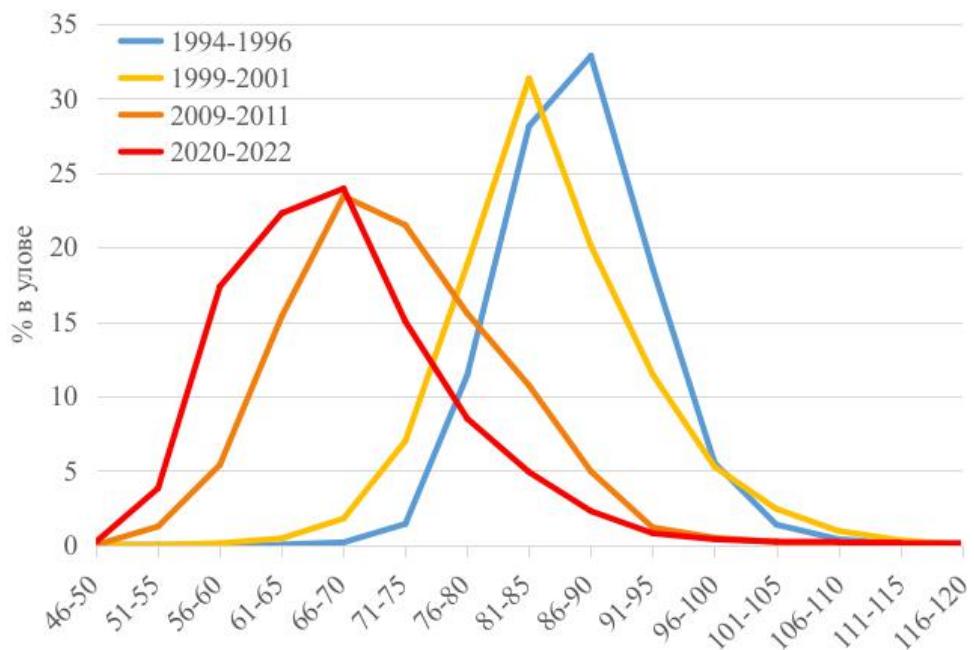


Рисунок 4.11 – Размерная структура регионального промыслового изъятия шпрота на крымско-кавказском шельфе

Детальное изучение изменения размерной структуры промыслового изъятия, рисунок 4.11, свидетельствует о монотонном тренде постепенного снижения доли крупноразмерных особей в сторону мелкоразмерных. Так, в период 1994–1996 гг. модальным классом в промысловых уловах являлись особи длиной 86–90 мм, а уже через 5 лет, в 1999–2001 гг., модальный класс уловов составили особи длиной 81–85 мм. В период значительного снижения средней массы особей и увеличения доли прилова неполовозрелых особей 2009–2011 гг. модальный класс уловов снизился до особей размером 66–70 мм. Тем не менее, стандарт распределения показателей длин в период 2009–2011 гг. все ещё был достаточно широким и имел левостороннюю асимметрию – особи более крупных размеров встречались чаще, чем мелкоразмерные особи.

В современный период 2020–2022 гг. модальная размерная группа промысловых уловов является низкой, как и в период 2009–2011 гг.: 66–70 мм. Однако в отличии от периода 2009–2011 гг. отмечается сужение стандарта распределения размерных характеристик и изменение асимметрии на правостороннюю: особи более мелких размеров, чем модальный класс, встречаются чаще, чем крупноразмерные особи.

Такая динамика размерных характеристик свидетельствует в пользу наличия глобального процесса, оказывающего негативное влияние на размерно-массовые показатели региональной крымско-кавказской единицы запаса в период исследования.

Подытоживая изучение структуры промыслового изъятия следует отметить увеличение доли неполовозрелых особей в приловах траловых орудий лова, максимум которых отмечался в 2011–2012 гг. Вероятно, увеличение доли неполовозрелых особей в уловах произошло по причине снижения численности старшевозрастных классов и в результате увеличения интенсивности промысла в отдельные годы. В период 2021–2022 г. отмечено значительное снижение доли прилова неполовозрелых особей. Также следует отметить продолжающийся тренд уменьшения размерно-массовых характеристик крымско-кавказской единицы запаса за весь период исследования, интенсифицировавшийся с 2007–2009 гг.

4.4 Некоторые экономические особенности российского промысла шпрота на крымско-кавказском шельфе

Осуществление промысла черноморского шпрота со времён СССР было обусловлено потребностями плановой экономики при обеспечении государственного заказа на продукцию для оборонно-промышленных целей (Фащук, Куманцов, 2017). Продукция из черноморского шпрота (консервация) используется для обеспечения продовольственной безопасности и по настоящее время (Лафер, Асфондьярова, 2017).

В условиях плановой экономики в СССР требуемые объёмы добычи черноморского шпрота обуславливались государственным заказом. После распада

СССР для обеспечения продовольственной безопасности требуемые объёмы добычи шпрота определяются многолетними контрактами на поставку рыбы. При заключении долгосрочных контрактов по добыче шпрота важным аспектом их реализации является возможность получения прибыли частными предприятиями.

Получение прибыли частными компаниями, добывающими шпрот, обуславливается их затратами и доступностью промысловых скоплений черноморского шпрота. Затраты при добыче шпрота складываются из ряда параметров, основными среди которых являются: стоимость судового топлива и горюче-смазочных материалов на бункеровке, стоимость содержания экипажа судна, амортизация судна, уплата налогов и т. д. В свою очередь прибыль компаний определяет и стоимость реализации пойманной рыбы при её выгрузке в портах.

Оценить все экономические параметры, из которых состоит деятельность рыбохозяйственных компаний за весь период исследования – не представляется возможным по причинам отсутствия этих данных в материалах научных публикаций, да и в целом в публичном доступе по причинам наличия в них коммерческой тайны. Однако индикаторно можно оценить некоторые из этих составляющих. Так, в результате анализа тендерных закупок по данным реестра «ЕИС Закупки» Федерального казначейства России дизельного судового топлива (содержание серы не более 0,1 %) выполнен расчёт динамики средних цен на топливо, таблица 4.5.

Таблица 4.5 – Средние показатели стоимости 1 т судового дизельного топлива (< 0,1 % серы) в портах Крыма и Кавказа в период 2016–2022 гг. (по данным «ЕИС Закупки»)

Год	Стоимость 1 т топлива, руб.	Изменение цены относительно предшествующего года, %
2016	35293	
2017	37400	+5,6
2018	48600	+23
2019	55000	+11,6
2020	57000	+3,5
2021	69300	+17,7

2022	84833	+18,3
------	-------	-------

Рассматриваемая динамика стоимости судового топлива указывает на наличие тренда ежегодного увеличения цены в среднем более чем на 10 % в период 2016–2022 гг. Ежегодное повышение стоимости судового топлива должно негативно сказаться на рентабельности промысловых судов.

Другим негативным фактором, ухудшающим рентабельность промысла, является ранее отмеченное ухудшение размерно-массовых характеристик шпрота. В период с 2016 по 2022 гг. средняя масса шпрота в возрасте 1–3 лет сократилась на 24 %.

При этом, согласно информации, полученной от рыбодобытчиков, стоимость рыбы при приёмке в порту несколько увеличилась: в 2018 г. стоимость составляла около 18 руб./кг, в 2022 г. – 26 руб./кг.

Для выполнения приближенного расчёта рентабельности регионального промысла шпрота на крымско-кавказском шельфе среднетоннажным и малотоннажным флотом использовались данные судовых суточных донесений с информацией об объёмах добычи и израсходованном топливе в июне 2022 г. Расчёт стоимости содержания экипажа выполнен исходя из минимального состава 8 человек: 1 капитан, 1 старший помощник капитана, 2 механика, 3 матроса, 1 кок. Для среднетоннажного судна итоговые показатели стоимости содержания экипажа скорректированы в большую сторону по причине более высокой численности экипажа (до 18 человек).

Оценка уровня заработных плат экипажа выполнена на основе имеющихся вакансий, диапазон зарплат которых колеблется в широких пределах. Так, уровень заработных плат для капитана составляет от 60 до 180 тыс. руб. (среднее – 120 тыс. руб.), для старшего помощника – 50–120 тыс. руб. (среднее – 85 тыс. руб.), механика – от 80 до 200 тыс. руб. (среднее – 140 тыс. руб.), кок – 50–120 тыс. руб. (среднее – 85 тыс. руб.), матрос – 30–90 тыс. руб. (среднее – 60 тыс. руб.). Затраты на судосутки пересчитаны исходя из 30 рабочих дней в месяц.

Необходимое продуктовое обеспечение экипажа судна рассчитано исходя из среднего размера потребительской корзины для трудоспособного взрослого человека 10,0 тыс. руб. с корректировкой на хранение продуктов и потребность в пресной воде в море.

Результаты расчёта рентабельности промысла среднетоннажных судов в июне 2022 г. представлены в таблице 4.6. Результаты указывают на низкую рентабельность промысла шпрота для рассматриваемых судов. Общая прибыль для рассмотренных судосуток составила 558,8 тыс. руб. Для рассматриваемых судосуток промысел шпрота был рентабелен в 5 случаях и был убыточен в 4 случаях. Промысел в рассматриваемые даты был убыточным при уловах 4,6, 5,2 и 8,4 т шпрота за судосутки. При улове в 14,2 т за судосутки лишь незначительно превышена граница нулевой рентабельности промысла.

Таблица 4.6 – Приближенный расчёт рентабельности промысла шпрота некоторых среднетоннажных судов в июне 2022 г.

Дата	Улов шпрота, т	Расход топлива, т	Стоимость топлива, тыс. руб	Содержание экипажа, тыс. руб	Стоимость шпрота, тыс. руб	Прибыль, тыс. руб
01.06.2022	15,6	3,4	288,4	37,5	405,6	79,7
01.06.2022	24,3	3,1	263,0	37,5	631,8	331,3
02.06.2022	8,4	3,5	296,9	37,5	218,4	-116,0
02.06.2022	14,2	3,4	288,4	37,5	369,2	43,3
03.06.2022	25,9	4,0	339,3	37,5	673,4	296,6
17.06.2022	40,8	3,7	313,9	37,5	1060,8	709,4
20.06.2022	4,6	4,2	356,3	37,5	120,1	-273,7
20.06.2022	4,1	4,0	339,3	37,5	106,6	-270,2
20.06.2022	5,2	4,0	339,3	37,5	135,2	-241,6

Примечание – содержание экипажа вычислено из расчёта 8 человек при помощи средних зарплат = 25,0 тыс. руб., после чего этот показатель умножен на 1,5 для приближенной оценки на экипаж среднетоннажного судна, после чего к сумме прибавлено 5 тыс. руб. исходя из стоимости продуктовой корзины и воды, пересчитанной на судосутки экипажа.

Результаты приближенного расчёта рентабельности малотоннажных судов в июне 2022 г. представлены в таблице 4.7. Результаты расчёта указывают на

убыточность регионального промысла шпрота малотоннажным флотом в июне 2022 г. Прибыль для анализируемого периода составила – 115 тыс. руб., в совокупности промысел являлся убыточным в этот месяц. Следует отметить, что расход топлива у двигателей разного типа малотоннажных судов существенно различается, в результате чего промысел шпрота становится рентабельным в достаточно широком диапазоне показателей – от 3,5 до 5 т/сутки.

Таблица 4.7 – Приближенный расчёт рентабельности промысла шпрота некоторых малотоннажных судов в июне 2022 г.

Дата	Улов шпрота, т	Расход топлива, т	Стоимость топлива, тыс. руб.	Содержание экипажа, тыс. руб.	Стоимость шпрота, тыс. руб.	Прибыль, тыс. руб.
05.06.2022	8,64	0,7	59,4	30	224,6	135,2
07.06.2022	1,52	0,7	59,4	30	39,4	-50,0
08.06.2022	2,47	0,5	42,4	30	64,4	-8,0
10.06.2022	5,74	1,5	127,2	30	149,2	-8,0
12.06.2022	3,86	1,8	152,7	30	100,4	-82,3
15.06.2022	0,40	1,0	84,8	30	10,5	-104,3
17.06.2022	3,53	0,7	59,4	30	91,8	2,4

В результате выполнения приближенных расчётов по состоянию на июнь 2022 г. промысел одной единицы среднетоннажного флота являлся прибыльным в условиях вылова за сутки более чем 14 т шпрота. По приближенным расчётом малотоннажный флот и вовсе являлся убыточным практически все время промысла, рентабельность достигается в условиях вылова 3–5 т шпрота за сутки.

Такие приближенные расчёты подтверждают рассуждения о причинах негативной динамики продолжительности промысловых усилий малотоннажного флота и его численности в 2022 г. Вероятно, причиной такого ухудшения параметров осуществления промысла является экономическая целесообразность ведения промысла в современных условиях.

ГЛАВА 5. СОСТОЯНИЕ ЗАПАСА ЧЕРНОМОРСКОГО ШПРОТА

5.1 Состояние общечерноморского запаса шпрота

Оценка общечерноморского запаса шпрота выполнялась различными способами, рассмотренными во введении данной работы. Во времена СССР оценка общечерноморского запаса шпрота выполнялась тремя способами: когортной моделью VPA, при помощи подхода Баранова и прямого тралового учёта, а также при помощи гидроакустики. В настоящее время оценка запаса шпрота для всего моря выполнена и опубликована межрегиональной организацией STECF при ФАО при помощи когортной модели ICA последний раз в 2017 г.

Комбинированные оценки биомассы нерестового (промышленного) запаса во времена СССР, России и организацией STECF представлены на рисунке 5.1. Полученные оценки свидетельствуют о наличии частых флюктуаций биомассы нерестового запаса шпрота в рассматриваемый период. Максимальная наблюдённая оценка общечерноморской биомассы нерестового запаса составила 1,6 млн т в 1987 г., минимальная – 134 тыс. т в 1972 г. В целом рассматриваемая динамика оценок биомассы нерестового запаса не свидетельствует о наличии каких-либо тенденций.

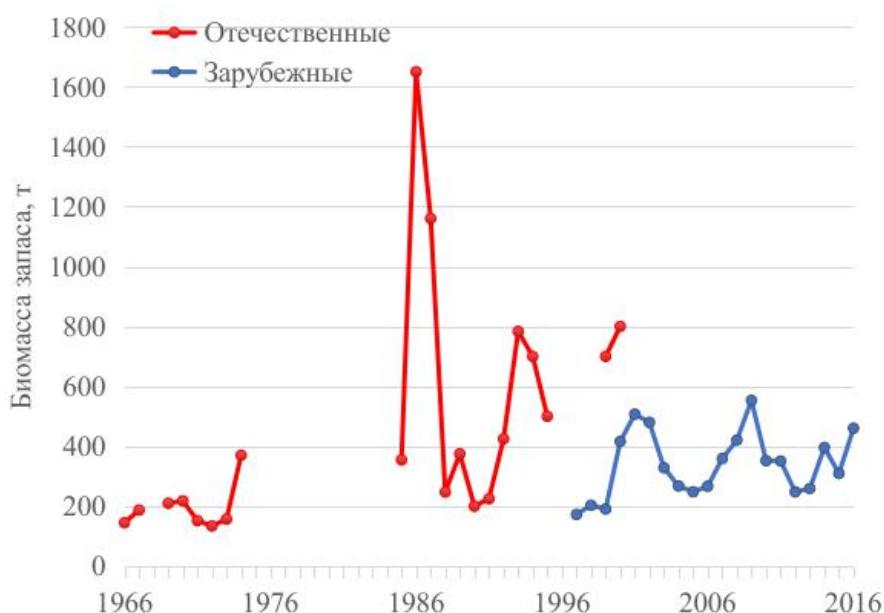


Рисунок 5.1 – Оценки общечерноморской биомассы нерестового (промышленного) запаса шпрота, выполненные отечественными (СССР, Россия) и зарубежными (ЕС, Турция, Украина) учёными

Из представленной динамики оценок следует, что оценки биомассы нерестового запаса шпрота отечественными учёными были несколько выше оценок зарубежных учёных. В период, когда оценки были выполнены одновременно отечественными и зарубежными учёными (1999–2000 гг.), биомасса нерестового запаса шпрота по мнению отечественных учёных была в 2,5 раза выше, чем по результатам зарубежных исследователей. При этом в главе «Введение» данной работы отмечалось, что оценки биомассы нерестового запаса, выполненные STECF в 2017 г. были ниже таковых, выполненных в 2010 г., что свидетельствует в пользу некоторого методического «занизжения» оценок биомассы нерестового запаса в представленных результатах.

По результатам расчётов отечественных учёных биомасса нерестового запаса шпрота в период 1966–1974 гг. находилась на низком уровне в пределах от 134 до 370 тыс. т. В последующий период 1975–1984 гг. оценки запаса не представлены. В 1985–1987 гг. отмечен рост биомассы нерестового запаса с 354 тыс. т до 1,6 млн т с последующим снижением до 1,2 млн т. В период 1988–1992 гг. биомасса нерестового запаса шпрота находилась на низком уровне 225–425 тыс. т. В период 1993–2000 гг. биомасса нерестового запаса шпрота была на высоком уровне от 500 до 800 тыс. т.

По результатам оценок зарубежных исследователей биомасса нерестового запаса шпрота в период 1997–1999 гг. находилась на крайне низком уровне от 172 до 203 тыс. т. В период 2000–2002 гг. отмечены высокие показатели биомассы нерестового запаса шпрота в пределах 416–507 тыс. т, после чего они снизились до 266 тыс. т в 2006 г. В период 2007–2011 гг. отмечены более высокие показатели биомассы нерестового запаса шпрота на уровне 350–553 тыс. т. В последующий период 2012–2015 гг. биомасса нерестового запаса шпрота стабилизировалась на серединном уровне 247–395 тыс. т. В 2016 г. по оценкам

зарубежных учёных биомасса нерестового запаса шпрота для всего моря составила 460 тыс. т.

Оценка промысловой смертности отечественными учёными в рассматриваемый период (1966–1999 гг.) хоть и выполнялась, однако считалось, что интенсивность промысла, обуславливающая значения показателя промысловой смертности, была существенно ниже рекомендуемого уровня, поэтому она здесь не представлена. В результатах STEFC (Cardinale et al., 2017) представлены оценки уровня промысловой смертности и её целевой ориентир ($F_{tr} = F_{MSY} = 0,64$), рисунок 5.2.

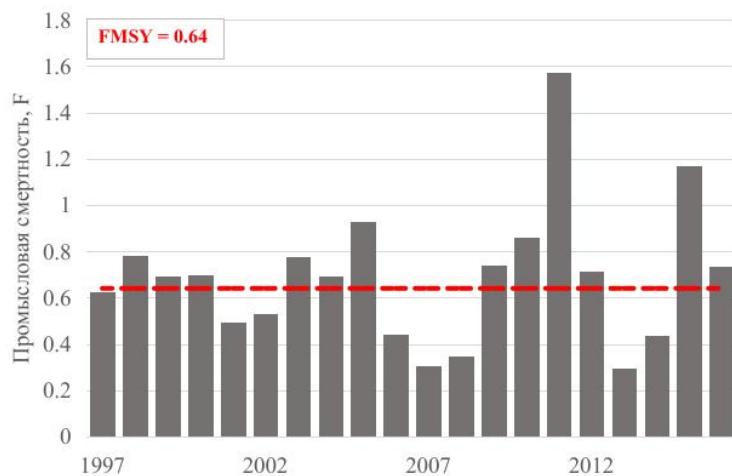


Рисунок 5.2 – Оценки промысловой смертности общечерноморского запаса шпрота и целевой ориентир эксплуатации F_{MSY} в период 1997–2016 гг. по результатам STECF (Cardinale et al., 2017)

Оценки промысловой смертности общечерноморского запаса шпрота относительно целевого ориентира демонстрируют наличие признаков переэксплуатации. Под переэксплуатацией понимается такой уровень общечерноморского вылова шпрота, который привёл к значениям показателей промысловой смертности выше целевого ориентира. Годовой вылов шпрота, который привел к промысловой смертности выше целевого уровня отмечен в 1998–2000, 2003–2005, 2009–2012, 2015–2016 гг. Максимальный показатель промысловой смертности отмечен в 2011 г. и составил $F_{2011} = 1,6$. Минимальный

уровень промысловой смертности отмечен в 2013 г., $F_{2013} = 0,29$. Количество лет, в которые промысловая смертность была выше целевого ориентира составило 64 % от рассматриваемого периода.

Оценки численности особей группы пополнения на основе когортной модели по результатам STECF (Cardinale et al., 2017) представлены на рисунке 5.3. Численность особей группы пополнения в данный период колебалась от 67,9 млрд экз. до 293,9 млрд экз. шпрота в год. Удельная численность пополнения составляла от 178 до 1036 тыс. экз. шпрота на 1 тонну биомассы нерестового запаса.

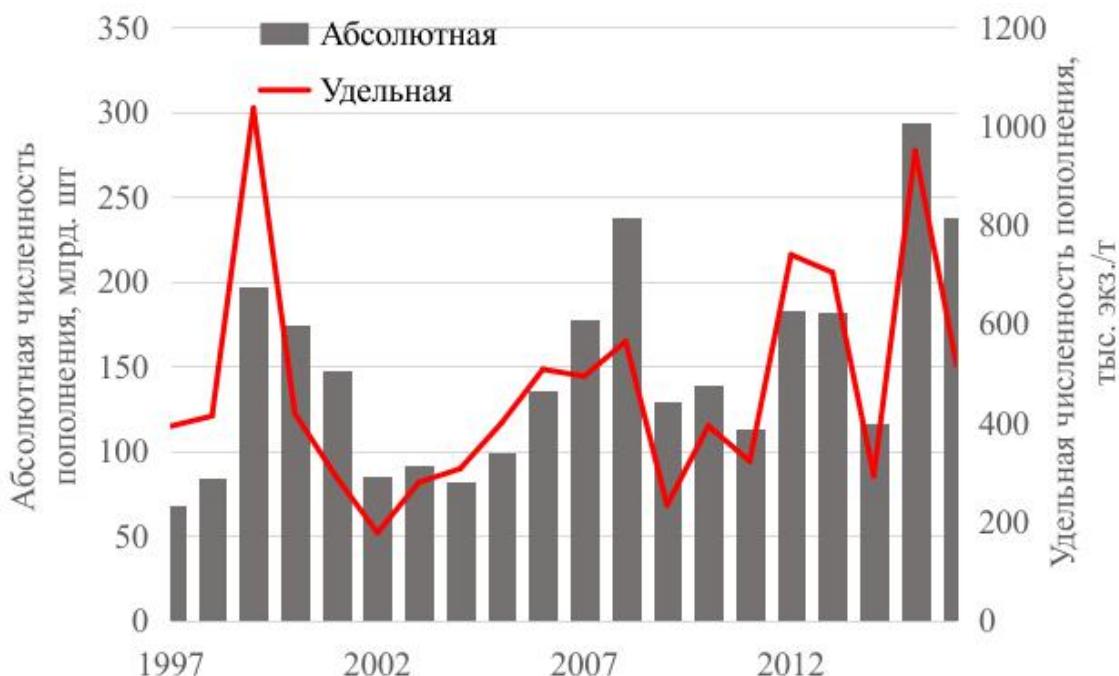


Рисунок 5.3 – Оценки абсолютной (млрд экз.) и удельной (тыс. экз. на 1 т нерестового запаса) численности пополнения нерестового запаса шпрота в период 1997–2016 гг. по результатам STECF (2017)

Абсолютная численность пополнения общечерноморского нерестового запаса за рассматриваемый период изменялась соразмерно биомассе нерестового запаса. Низкая абсолютная и удельная численность пополнения нерестового запаса отмечены в 1997–1998 гг., 2002–2005 гг. – абсолютная численность пополнения в эти годы не превышала 100 млрд экз., а удельная численность

пополнения нерестового запаса не превышала 450 тыс. экз./т. Высокая абсолютная и относительная численность пополнения нерестового запаса отмечены в 1999–2002 гг., 2007–2008 гг., 2015–2016 гг.: абсолютная численность пополнения составляла более 200 млрд экз., удельная численность пополнения нерестового запаса колебалась от 300 до 1035 тыс. экз./т.

Рассматривая оценки биомассы нерестового запаса, воздействие на него промысла и численность пополнения запаса, можно сделать заключение о наличии частых, высоко амплитудных колебаний биомассы нерестового запаса и численности пополнения всей черноморской популяции шпрота. Биомасса запаса данного вида в период 1966–2016 гг. изменялась более чем в 10 раз – от 134 тыс. т до 1,6 млн т. Изменение биомассы запаса в данный период было обусловлено колебаниями численности пополнения и переэксплуатацией. Оценки биомассы запаса черноморской популяции шпрота, выполненные в рамках международных рабочих групп в период 1997–2016 гг. существенно ниже оценок, выполненных ранее отечественными учёными.

5.2 Настройка модели XSA для оценки биомассы нерестового запаса, численности пополнения и промысловой смертности крымско-кавказской единицы запаса шпрота

Для настройки когортной модели XSA использовались биологические параметры крымско-кавказской единицы запаса, представленные в таблицах 2.4–2.6:

- возрастная структура промыслового изъятия;
- весовая структура промыслового изъятия;
- оценки темпов естественной смертности;
- оценки темпов созревания;
- индексы численности запаса по результатам исследования возрастной структуры.

Для построения модели был определён ряд параметров стартовой настройки (Бабаян и др., 2018) исходя из рассмотренных биологических особенностей единицы запаса и имеющихся данных. В качестве основной эксплуатируемой части запаса (особи в возрастных группах, многочисленно встречающиеся в структуре промыслового изъятия) шпрота были назначены возрастные группы 1+ – 3+, $F_{bar} = 1\text{-}3$.

При параметризации модели значения ряда специфичных параметров были установлены равными нулю: значение избыточной мгновенной естественной смертности до первого нереста, численность сепарированной рыбы и выброс её части за борт. Корректировка показателей естественной смертности для группы пополнения не потребовалась по причине включения полных оценок естественной смертности этой группы за весь год жизни. Изучение возрастной структуры (и численности) результатов сепарации рыбы при промысле не выполнялось, так как отсутствовали подтверждённые сведения о массовых фактах сепарации рыбы, которая запрещена действующими правилами рыболовства.

При настройке индексов численности в качестве интервала момента времени, в который они характеризуют структуру запаса, использовалось значение $F_{ind} = [0,3; 0,7]$. Значение F_{ind} характеризует временной интервал на месячной (или суточной) шкале. Так, $F_{ind} = 0,3$ соответствует $365 \times 0,3 = 110$ номеру дня года, $F_{ind} = 0,7$ соответствует 225 дню года. Именно в этот период времени (с конца марта по конец августа) выполнялись учётные съёмки на стандартизированной сетке станций, на основе чего были составлены индексы численности крымско-кавказского запаса, независимые от промысла.

Основная настройка модели дополнительно к настройке индексов численности и основных параметров запаса выполнялась для объекта «управления» параметрами модели. Учитывая возможности модели XSA по корректировке оценок выполнялось стягивание оценок численности (N) и промысловой смертности (F) к среднему геометрическому значению, параметры $shk.n = \text{true}$ и $shk.f = \text{true}$ (Бабаян и др., 2018). В качестве интервала геометрического среднего стягивания выбран период в 4 года ($shk.yrs = 4$),

соответствующий средней продолжительности жизненного цикла промысловой части запаса шпрота (до 3+ лет). Применение подобной итерационной корректировки позволяет сгладить многолетнюю неопределённость, выражющуюся в высоко амплитудных необъяснимых колебаниях численности популяции, в том числе обусловленную входными данными и их качеством.

Для косвенного учёта влияния селективности орудий лова на облавливаемую часть запаса был определён параметр $qage = 2$, характеризующий возраст, после которого селективность промысла от возраста не зависит. Такая настройка позволяет уточнить влияние селективности орудия лова, которое составляет практически 100 % для особей старше 2 лет.

Одним из основных параметров настройки объекта «управления» модели XSA является параметр допустимой ошибки стягивания к геометрическому среднему за заданный горизонт лет. Параметр fse определяет максимально допустимую степень отклонения от геометрического взвешенного центра при оценке численности особей и промысловой смертности по возрастным группам. Иными словами, по мере увеличения данного параметра при регрессионном решении модели предоставляется больше возможностей для увеличения амплитуды колебания оценок численности и промысловой смертности. Определение данного параметра оказывает наибольшее влияние на итоговые результаты моделирования, поэтому его выбор был выполнен при помощи теста чувствительности модели к различным значениям параметра fse .

Процедура тестирования чувствительности модели к выбору значения параметра fse выполнялась в два этапа. На первом этапе выполнялось сравнение результатов моделирования при разных оценках fse в диапазоне от 0,5 до 2,5 с шагом 0,5. Выбор наиболее подходящего значения (или нескольких значений) выполнялся на основе минимального отклонения результатов при этом показателе от средних значений при всех значениях показателя fse . На втором этапе наиболее устойчивое решение тестировалось при помощи графического ретроспективного теста и аналитического ретроспективного теста Мона (Mohn, 1999).

Ретроспективный тест надёжности оценок моделирования выполнялся с последовательным усечением ряда входных данных на 1 год на интервал до 5 лет, как это рекомендуют отечественные и зарубежные исследователи (Бабаян и др., 2018; ICES fisheries management reference points..., 2017). Суть ретроспективного теста сводится к сравнению отклонений между оценками на полном ряду данных и последовательно укороченных данных: чем меньше отклонения оценок биомассы нерестового запаса, промысловой смертности по усечённым данным от полного ряда, тем выше надёжность и устойчивость модели. При помощи ретроспективного теста определяется прогностическая надёжность модели и ожидаемые вероятностные ошибки прогнозирования.

Аналитический ретроспективный тест Мона аналогичен графическому тесту. При его выполнении вычисляется сумма относительных отклонений укороченного ряда от полного ряда оценок биомассы нерестового запаса и промысловой смертности. Полученные суммы отклонений сравниваются с интервалом значений, рекомендованных для надёжных моделей $p = [-0,22; +0,2]$. В случае, если полученные оценки суммы отклонений выходят за рекомендательный интервал, модель признается ненадёжной.

Результаты оценки чувствительности модели при различных уровнях допустимой ошибки стягивания fse представлены на рисунке 5.4.

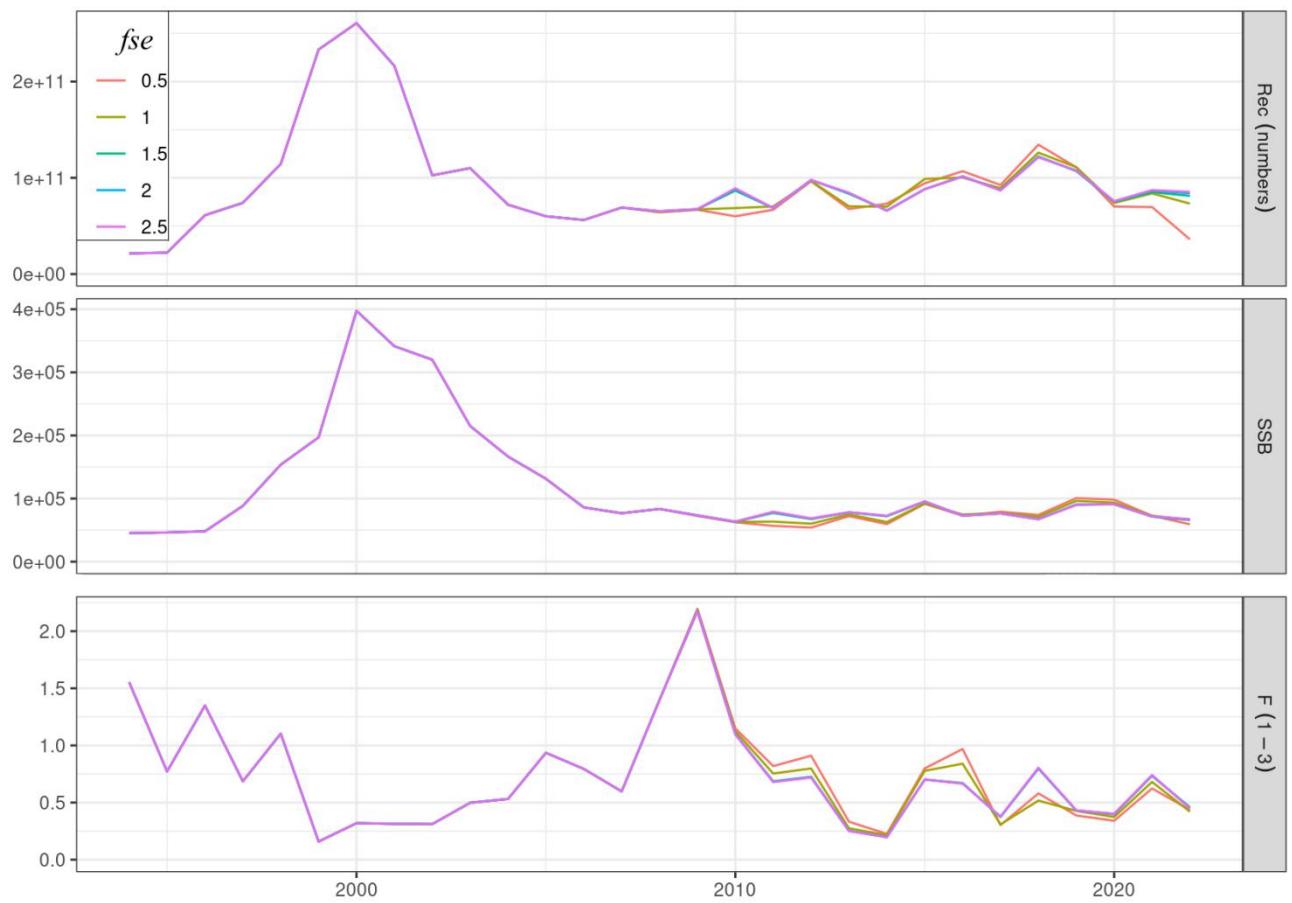


Рисунок 5.4 – Тест чувствительности модели XSA к параметру допустимой ошибки стягивания fse . Rec – численность пополнения (экз.), SSB – биомасса нерестового запаса (т), F (1–3) – промысловая смертность

Полное схождение оценок численности пополнения, биомассы нерестового запаса и промысловой смертности достигается в 2010 г. Оценки численности пополнения для значений $fse = 1,5, 2,0, 2,5$ практически не демонстрируют отклонений друг от друга. Оценки численности пополнения при $fse = 0,5$ указывают на значимое занижение относительно других уровней.

Оценки биомассы нерестового запаса при всех рассматриваемых уровнях допустимой ошибки стягивания не демонстрируют наличие значимых расхождений друг от друга.

Оценки показателя промысловой смертности демонстрируют отсутствие значимых расхождений при использовании $fse = 1,5$ и $2,0$. При использовании $fse = 0,5$ и $1,0$ отмечаются значимые отклонения в оценках промысловой

смертности в 2015–2016 гг., а также в 2012 г. Оценки при $fse = 2,5$ демонстрируют значимые отклонения в 2017–2019 гг.

Таким образом рассмотрение всех возможных уровней параметра допустимой ошибки стягивания свидетельствует о возможности применения fse на уровне [1,5; 2,0]. Однако для минимизации накопительной ошибки моделирования выбран наименьший из возможных для дальнейшего тестирования, $fse = 1,5$.

Для проверки итоговой параметризации модели с допустимой ошибкой стягивания $fse = 1,5$ выполнен аналитический тест Мона и графический ретроспективный тест, рисунок 5.5. Визуальная диагностика ретроспективных показателей указывает на низкие значения отклонений при последовательном усечении для всех оценок.

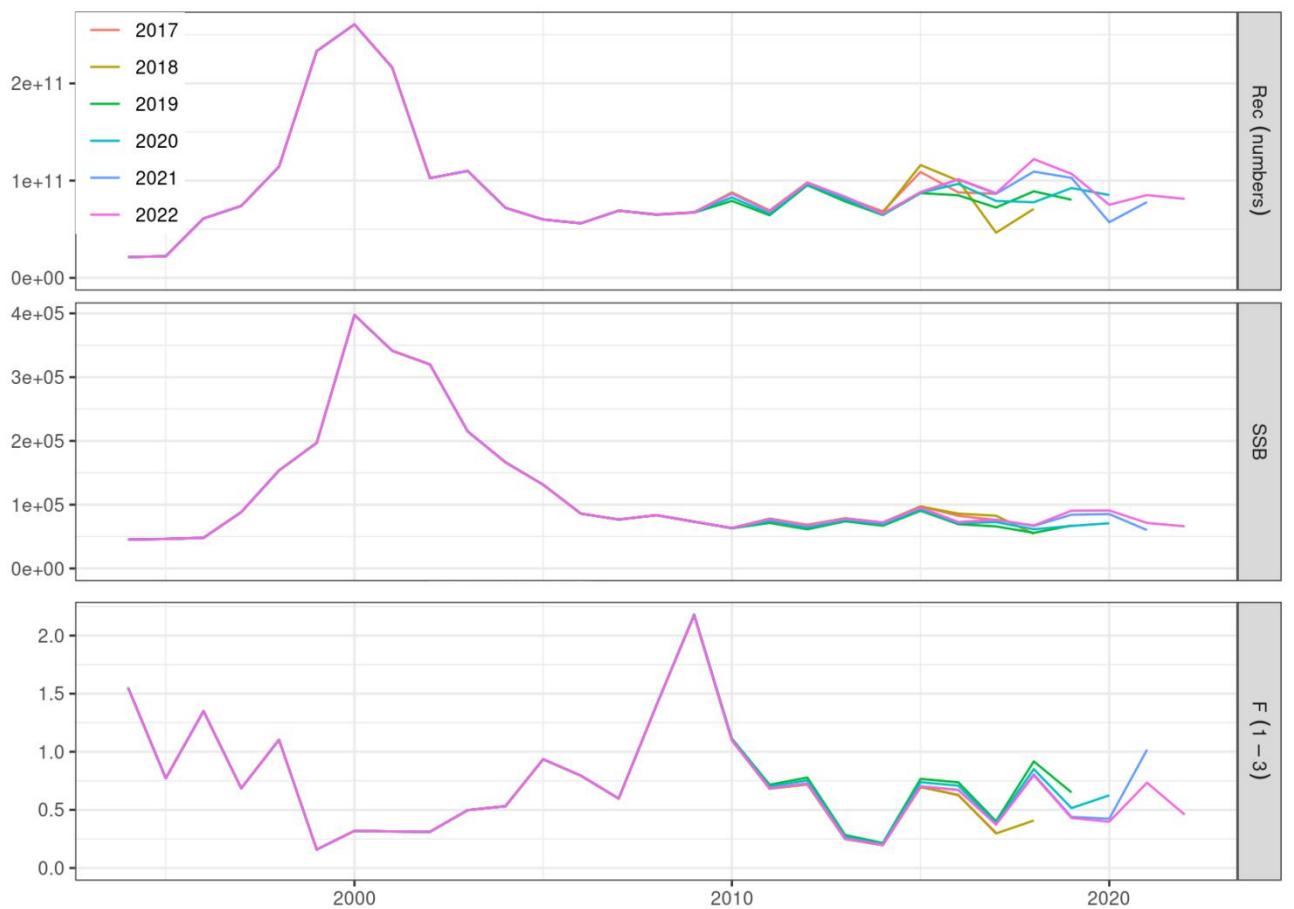


Рисунок 5.5 – Ретроспективный тест надёжности модели XSA с финальной параметризацией при $fse = 1,5$. Rec – численность пополнения (экз.), SSB – биомасса нерестового запаса, F (1–3) – промысловая смертность

Анализ результатов ретроспективного теста, рисунок 5.5, указывает на то, что надёжность оценок биомассы нерестового запаса несколько выше, чем надёжность оценки численности пополнения и промысловой смертности по мере укорачивания данных. Диагностика ретроспективных результатов по промысловой смертности указывает на наличие эффекта некоторой переоценки степени промысловой смертности в терминальном году каждого усечённого ряда вплоть до интервала укорачивания на 3 года. Такая тенденция является одной из особенностей надёжности моделирования на когортной модели XSA для терминальных оценок, которую авторы пытались повысить при доработке VPA (Kell et.al., 2007).

В результате ретроспективного теста Мона были получены оценки показателей $p_{SSB} = -0,17$, $p_F = 0,16$. Данные показатели находятся в границах интервала $p = [-0,22; +0,2]$, попадание в который подтверждает удовлетворительную прогностическую надёжность модели.

В качестве итогового теста состоятельности модели на основе финальных параметров настройки была выполнена диагностика невязок модели. Данная диагностика позволяет определить степень расхождения возрастной структуры эксплуатируемого запаса на начало года после решения когортных уравнений относительно наблюдённых возрастных индексов численности по съёмкам, таблица 2.6. При диагностике выполняется проверка накопительных годовых или возрастных эффектов (односторонних отклонений невязок относительно нуля для определённого возраста или года), которые могут стать основанием отклонения модели. Результаты диагностики невязок представлены на рисунке 5.6.

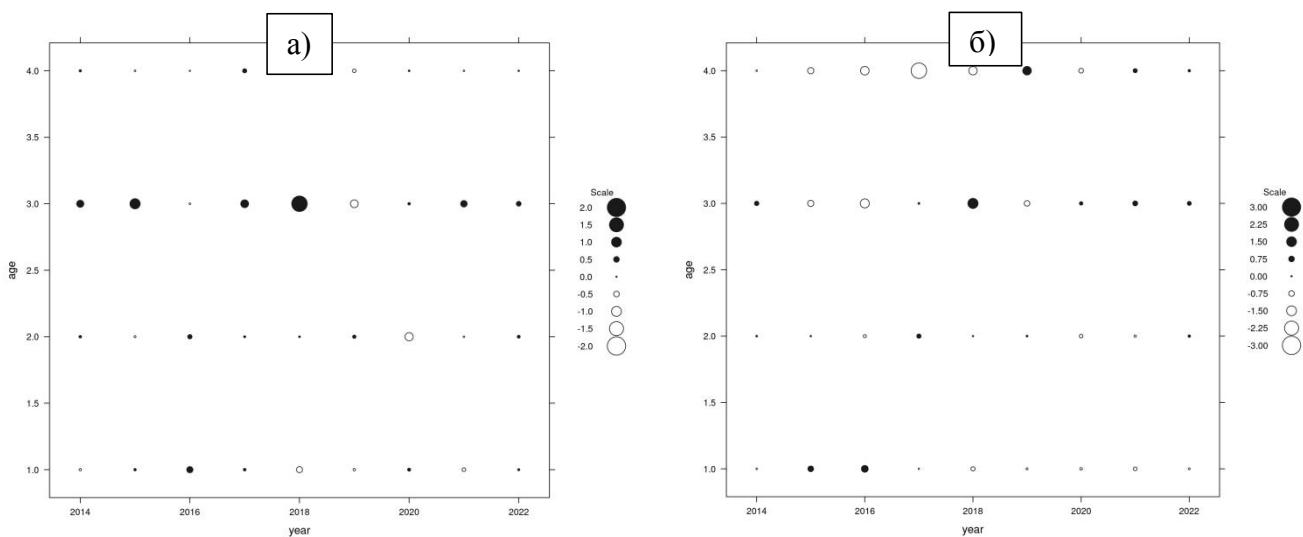


Рисунок 5.6 – Диагностика логарифмов невязок модели XSA при восстановлении структуры крымско-кавказского запаса относительно наблюдённых индексов численности в 2014–2022 гг.: а) – крымский индекс; б) – кавказский индекс

Невязки на логарифмической шкале признаются незначимыми, если их значения не выходят за интервал невязок $[-2,25; +2,25]$. Результаты диагностики указывают на удовлетворительные значения логарифмов невязок для крымского индекса численности: минимальное отклонение $-0,8$, максимальное $+1,6$. Для кавказского индекса численности минимальное значение $-2,5$ выходит за интервал незначимых невязок, а максимальное $+1,6$ все ещё является незначимым. При детальном изучении диагностики кавказского индекса отмечено занижение численности особей возрастной группы 4+ в 2017 г. Данное отклонение является единичным и в целом не влияет на восстановление структуры нерестового (промышленяемого) запаса особей в возрасте 1–3 лет.

Диагностика невязок на наличие накопительных возрастных эффектов не выявила таковых. При изучении невязок для каждой возрастной группы значения отклонений изменяются случайно выше или ниже 0.

Диагностика невязок на наличие накопительных годовых эффектов выявила лишь одну положительную аномалию. Данное положительное отклонение отмечено в 2022 г. для крымского индекса численности. Тем не менее, значения

невязок для данного года являлись крайне низкими и были незначимы [+0,01; +0,39].

Сопоставление полученных результатов для крымско-кавказской единицы запаса с оценками общечерноморского запаса шпрота (рисунок 5.1) свидетельствует об удовлетворительной согласованности этих оценок. Необъяснимые расхождения оценок отмечены в 1998–1999 гг.: в это период оценки STEFC, вероятно, были существенно занижены, после чего произошёл значительный рост показателей биомассы нерестового запаса (более чем в 2 раза в 2000 г. относительно 1999 г.).

В совокупности выполненной диагностики следует отметить состоятельность модели при выбранной параметризации. В ходе ретроспективной диагностики подтверждена прогностическая надёжность модели при прогнозировании до 5 лет вперёд.

5.3 Динамика численности и состояние крымско-кавказской единицы запаса шпрота

Результаты оценки биомассы нерестового запаса, численности пополнения и промысловой смертности региональной крымско-кавказской единицы запаса представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Биомасса нерестового запаса, численность пополнения и промысловая смертность региональной крымско-кавказской единицы запаса черноморского шпрота на основе модели XSA

Год	Биомасса нерестового запаса, тыс. т	Численность пополнения, млрд экз.	Промысловая смертность, F
1994	45,2	21,5	1,55
1995	46,3	22,2	0,77
1996	48,1	61,1	1,35
1997	88,4	74,0	0,69
1998	153,6	114,3	1,10
1999	197,0	233,3	0,16
2000	397,6	260,7	0,32
2001	341,4	216,3	0,31

2002	320,0	102,6	0,31
2003	215,0	110,0	0,50
2004	166,6	72,1	0,53
2005	131,3	60,1	0,94
2006	86,0	56,2	0,79
2007	76,8	69,1	0,60
2008	83,6	65,2	1,40
2009	73,5	67,4	2,18
2010	63,4	86,8	1,10
2011	77,3	68,6	0,69
2012	67,6	97,7	0,73
2013	78,0	83,5	0,25
2014	72,0	66,1	0,20
2015	95,3	88,3	0,70
2016	72,8	101,6	0,67
2017	76,4	87,2	0,37
2018	67,5	122,1	0,80
2019	90,6	107,0	0,43
2020	91,0	75,2	0,40
2021	71,4	85,2	0,73
2022	66,1	81,3	0,46

В период 1994–2022 гг. биомасса нерестового запаса шпрота варьировала в пределах от 45,2 до 397,6 тыс. т. Минимальная биомасса нерестового запаса отмечена в 1994 г., максимальная – в 2000 г. Анализ многолетней динамики биомассы нерестового запаса позволил выявить три периода, по-разному характеризующих её состояние. В период 1994–2000 гг. отмечен быстрый, начиная с 1997 г., рост биомассы нерестового запаса с 45,2 до 397 тыс. т. В последующий период 2001–2006 гг. произошло сокращение биомассы нерестового запаса до уровня 86 тыс. т. В период 2007–2022 гг. биомасса нерестового запаса колебалась на серединном уровне от 63,4 до 95,3 тыс. т без каких-либо выраженных тенденций.

Как уже отмечалось ранее, такие изменения биомассы нерестового запаса были от части обусловлены вселением двух инвазивных видов гребневиков, один из которых ухудшил состояние кормовой базы шпрота в период 1991–1997 гг. Однако в конечном итоге, в результате адаптации к условиям среды обитания,

биомасса нерестового запаса шпрота стабилизировалась на серединном уровне в период 2007–2022 гг.

Динамика численности пополнения соответствовала рассмотренной динамике изменений нерестового запаса. В период 1994–2000 гг. отмечено увеличение численности пополнения с 21,5 млрд экз. до 260 млрд экз. Рост численности пополнения начался на год раньше, чем повышение нерестового запаса – в 1996 г. В последующий период произошло снижение численности пополнения до уровня 60,1 млрд экз. в 2006 г. В период 2007–2022 гг. численность пополнения нерестового запаса была на уровне среднемноголетних показателей 65,2–122,1 млрд экз.

Показатели промысловой смертности в рассматриваемый период обуславливались величиной показателей биомассы нерестового запаса и регионального годового вылова шпрота. В период 1994–1998 гг. промысловая смертность существенно варьировала в пределах от 0,69 до 1,55. В последующий период 1999–2002 гг. при максимальном уровне биомассы нерестового запаса показатели промысловой смертности сократились до 0,16–0,32. По мере снижения биомассы нерестового запаса в 2003–2006 гг. промысловая смертность постепенно возрастила и достигла уровня $F = 0,79$. По мере стабилизации регионального запаса на серединном уровне и роста уровня регионального годового вылова в период 2007–2010 гг. показатели промысловой смертности достигли максимальных значений: $F_{2008} = 1,4$, $F_{2009} = 2,18$, $F_{2010} = 1,1$. В последующий период 2011–2022 гг. наблюдалось постепенное снижение показателей промысловой смертности до уровня 0,37–0,8 (за исключением 2014 г. в момент административных изменений для рыбопромышленников Крыма).

В результате построения когортной модели стали доступны оценки численности возрастных групп крымско-кавказской единицы запаса на 1 января каждого года, рисунок 5.7. Как и было отмечено ранее, детальное рассмотрение динамики численности возрастных групп регионального запаса свидетельствует о наличии различных периодов его состояния.

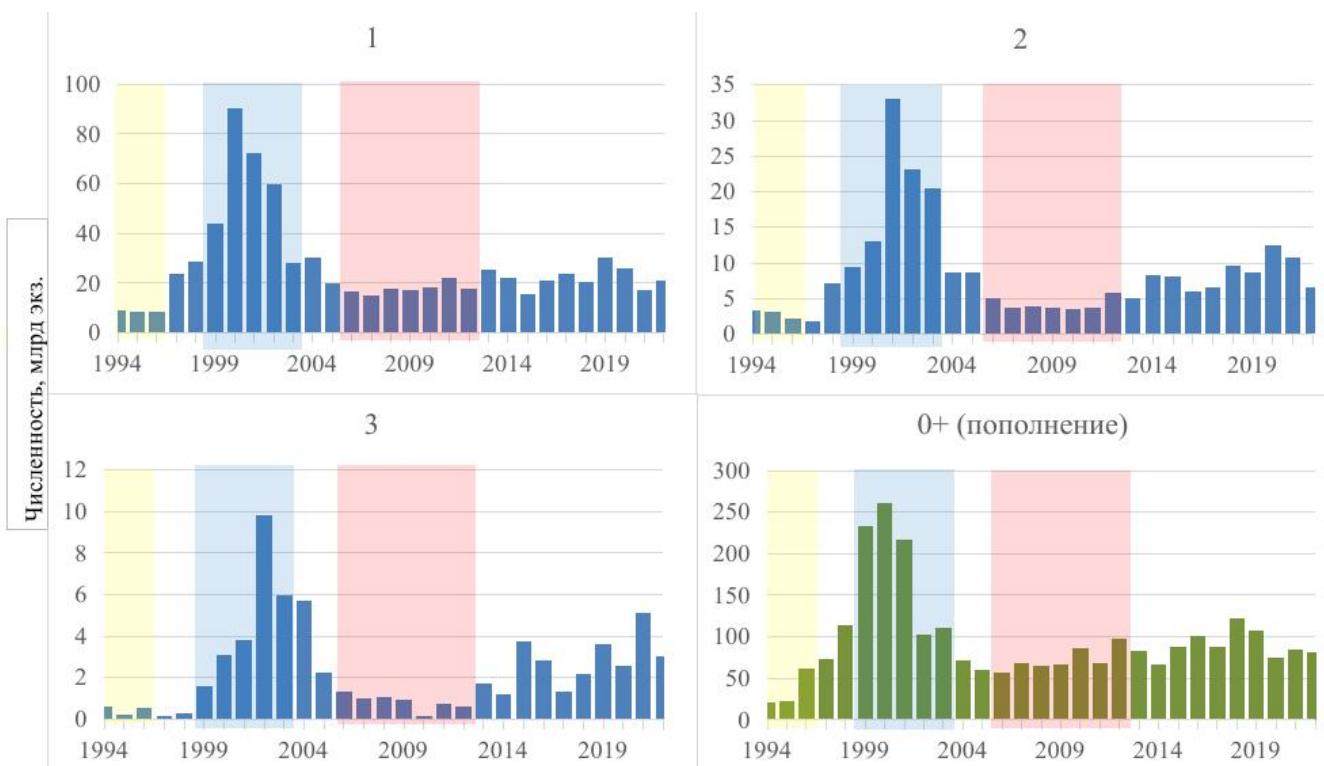


Рисунок 5.7 – Численность по возрастной структуре крымско-кавказской единицы запаса шпрота в период 1994–2022 гг. по результатам модели XSA. Выделенные области на рисунке – периоды синхронных изменений численности возрастных групп и запаса.

Первый период, 1994–1997 гг., характеризовался низкой численностью всех возрастных групп нерестового запаса (1–3) и пополнения (0+). В этот период численность группы особей в возрасте 1 года находилась на минимальном уровне, а численность групп особей в возрасте 2 и 3 лет была минимальной вплоть до 1998 и 1999 гг. соответственно. Такая низкая численность этих групп была обусловлена низкой численностью пополнения нерестового запаса, не превышающего уровня 22 млрд экз. в год вплоть до 1995 г. В этот период отмечена минимальная численность особей группы пополнения нерестового запаса, которая составляла всего 25 % от среднемноголетнего уровня пополнения.

Второй период, 1998–2003 гг., характеризовался ростом численности всех возрастных групп регионального запаса шпрота. Рост численности группы особей в возрасте 1 года была обусловлена ростом численности группы пополнения нерестового запаса. Прирост численности групп особей в возрасте 2 и 3 лет

смещён на 2 и 3 года соответственно относительно роста численности особей группы пополнения. В этот период отмечены рекордные показатели численности всех возрастных групп: $N_{0+,1999} = 233,2$ млрд экз., $N_{1+,2000} = 90,2$ млрд экз., $N_{2+,2001} = 33,0$ млрд экз., $N_{3+,2002} = 9,8$ млрд экз. Следует отметить, что пополнение в 2000 г. было более многочисленным ($N_{0+,2000} = 260,7$ млрд экз.), чем в 1999 г., однако более высокие показатели вылова этого поколения (и в результате более высокие показатели промысловой смертности) привели к более низкой численности групп особей в возрасте 1–3 лет. Таким образом, поколения 1999–2001 гг. были наиболее многочисленными за всю рассматриваемую историю исследования и обеспечили рекордно высокие объёмы регионального годового вылова в 2000–2005 гг.

В последующий период 2006–2012 гг. отмечено снижение численности групп особей в возрасте 1–3 лет и стабилизация численности группы пополнения на серединном многолетнем уровне. Наибольшее сокращение численности, вплоть до оклонулевых показателей, отмечено у группы особей в возрасте 3 лет. Численность группы особей в возрасте 2 лет также снизилась, но это снижение было незначительно ниже уровня среднемноголетних значений. Численность группы особей в возрасте 1 года находилась на среднемноголетнем уровне. Снижение численности группы особей в возрасте 3 лет по всей видимости обусловлено высоким уровнем их изъятия в этот период на фоне снижения биомассы нерестового запаса. И действительно, как было отмечено ранее, региональный годовой вылов в этот период хоть и снижался, но все ещё находился на высоком уровне и составлял от 17,4 до 28,9 тыс. т в год. Снижение численности особей в возрасте 2–3 лет в этот период привело к постепенному увеличению доли промыслового изъятия особей группы пополнения, рисунок 4.8. Именно с данного периода доля прилова группы пополнения возросла выше уровня 15 % и демонстрировала высокие значения вплоть до 2021 г.

Начиная с 2013 г. отмечена стабилизация численности группы пополнения и численности групп особей в возрасте 1–3 лет на серединном уровне.

Численность пополнения в этот период в среднем составляла 89,7 млрд экз., а суммарная численность групп особей в возрасте 1–3 лет – 33,2 млрд экз.

В результате выполненного анализа выявлена общая закономерность – младшие возрастные группы (в возрасте 1–2 лет) меньше подвержены резким колебаниям численности, чем старшие (в возрасте 3 лет). Численность группы особей в возрасте 1 года не претерпевала высоко амплитудных колебаний, в отличие от численности групп особей в возрасте 2 и 3 лет.

Для изучения влияния промыслового изъятия по возрастным группам была выполнена оценка мгновенной промысловой смертности региональной крымско-кавказской единицы запаса, рисунок 5.8. Промысловая смертность группы пополнения нерестового запаса за весь период не превышала $F = 0,08$. Такой низкий уровень промысловой смертности обусловлен высокой численностью группы пополнения даже в условиях увеличения доли их прилова относительно групп особей в возрасте 1–3 лет.

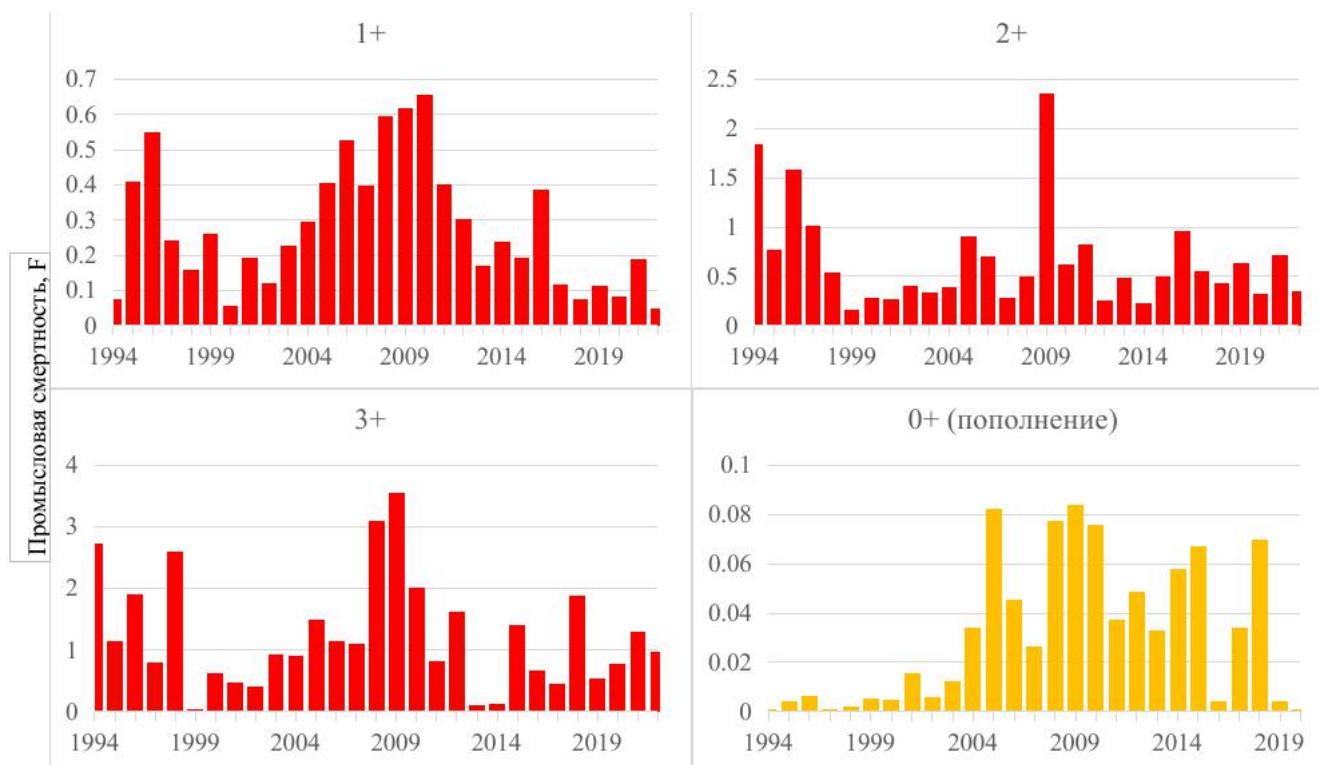


Рисунок 5.8 – Мгновенная промысловая смертность по возрастной структуре крымско-кавказской единицы запаса шпрота по результатам модели XSA в период 1994–2022 гг.

Изменение уровня промысловой смертности группы особей в возрасте 1 года свидетельствует о низком уровне её регионального годового вылова за весь рассматриваемый период $F = [0,05; 0,66]$. В период 1994–1997 гг. промысловая смертность данной группы особей составляла в среднем $F_{1+,1994-1997} = 0,31$. В последующий период 1998–2004 гг. отмечено постепенное снижение уровня промысловой смертности до $F_{1+,1998-2004} = 0,19$. В период 2005–2011 гг. отмечено значительное повышение уровня промысловой смертности группы особей в возрасте 1 года, средняя промысловая смертность достигла $F_{1+,2005-2011} = 0,51$. В период 2012–2022 гг. промысловая смертность группы особей в возрасте 1 года была на низком уровне, $F_{1+,2012-2022} = 0,17$.

Промысловая смертность группы особей в возрасте 2 лет не указывает на наличие выраженных стационарных периодов её состояния. Высокий уровень промысловой смертности отмечен в 1994–1998 гг., $F_{2+,1994-1998} = 1,15$, а максимальные показатели смертности были отмечены в 2009 г., $F_{2+,2009} = 2,34$. Средняя промысловая смертность данной группы особей за рассматриваемый период составила $F_{2+,1994-2022} = 0,66$.

Динамика промысловой смертности группы особей в возрасте 3 лет также не имеет выраженных участков стационарных периодов, как и динамика промысловой смертности группы особей в возрасте 2 лет. Высокие показатели промысловой смертности отмечены в период 1994–1998 гг., $F_{3+,1994-1998} = 1,8$. Максимальный показатель промысловой смертности отмечен в 2009 г., $F_{3+,2009} = 3,6$, в период высоких уровней показателей промысловой смертности этой группы особей 2008–2010 гг., $F_{3+,2008-2010} = 2,8$. В период 2012–2022 гг. промысловая смертность группы особей в возрасте 3 лет стабилизировалась на уровне $F_{3+,2012-2022} = 0,89$.

Динамика промысловой смертности группы пополнения за весь рассматриваемый период демонстрирует устойчивый рост с уровня менее сотых значений в 1994–2002 гг., $F_{0+,1994-2002} < 0,01$, до срединного уровня $F_{0+,2003-2022} = 0,04$. Увеличение доли прилова особей группы пополнения привело к увеличению

значений показателя промысловой смертности начиная с 2002 г. В последние годы, 2021–2022 гг., промысловая смертность группы пополнения снизилась до уровня ниже сотых значений, $F_{0+, 2021-2022} < 0,01$.

В результате анализа динамики показателей промысловой смертности следует выделить несколько закономерностей. Первая из них состоит в том, что уровень промысловой смертности групп особей в возрасте 2 и 3 лет выше, чем уровень промысловой смертности особей в возрасте 1 года. Такой результат предсказуем, поскольку численность группы особей в возрасте 1 года во все периоды исследования была существенно выше, чем численность более старших возрастных групп (в возрасте 1–3 лет). Вторая закономерность выражается в том, что периоды односторонних изменений показателей промысловой смертности (тренды повышения или снижения) могут быть выделены лишь для группы особей в возрасте 1 года, промысловая смертность групп особей в возрасте 2 и 3 лет имеет более высокоамплитудные колебания и, следовательно, больше подвержена фактору неопределенности.

Полученные оценки промысловой смертности по возрастной структуре регионального запаса шпрота хорошо соответствуют наблюдаемой динамике численности. Это и не удивительно – в соответствии с методикой когортного решения XSA, промысловое изъятие является определяющим при обратном расчёте численности запаса.

В качестве итогов рассмотрения данного раздела можно отметить несколько основных положений. Изменения численности особей в возрасте 1–3 лет происходили соразмерно структуре промыслового изъятия, его объёмам и численности пополнения нерестового запаса. Наиболее высокоамплитудные изменения отмечены в колебании численности и промысловой смертности групп особей в возрасте 2 и 3 лет. Промысловая смертность групп особей в возрасте 2 и 3 лет была выше, чем промысловая смертность группы особей в возрасте 1 года. Промысловая смертность группы пополнения была незначимой даже в годы увеличения доли их прилова. Периоды снижения численности особей в возрасте

1–3 лет соответствуют периодам снижения биомассы нерестового запаса, таблица 5.1.

5.4 Описание зависимости «запас-пополнение» крымско-кавказской единицы запаса шпрота

В соответствии с полученными результатами оценки численности пополнения и биомассы нерестового стада, таблица 5.1, выполнена визуализация изменения удельной численности пополнения нерестового запаса в период 1994–2022 гг., рисунок 5.9. На представленном рисунке области с различной удельной численностью пополнения выделены экспертом.

В период 1994–2000 гг. отмечались частые колебания удельной численности пополнения нерестового запаса. Средняя удельная численность пополнения в данный период составила $R/S = 0,8$ млрд экз./тыс. т. В последующий период 2001–2005 гг. отмечено снижение удельной численности крымско-кавказской единицы запаса до $R/S = 0,5$ млрд экз./тыс. т. Последующий период 2006–2022 гг. отмечался повышением удельной численности пополнения до уровня $R/S = 1,1$ млрд экз./тыс. т.

Такие частые флюктуации удельной численности пополнения нерестового запаса не позволяют выполнить надёжное описание зависимости «запас-пополнение» в рассматриваемый период любыми из имеющихся способов аппроксимации этой функции (модели Рикера, Бивертона-Холта, Шепарда при различном наборе параметров функции). В этом случае одним из наиболее надёжных способов описания зависимости «запас-пополнение» является определение стационарных временных периодов состояния, в которые не происходило необъяснимых колебаний удельной численности пополнения нерестового запаса.

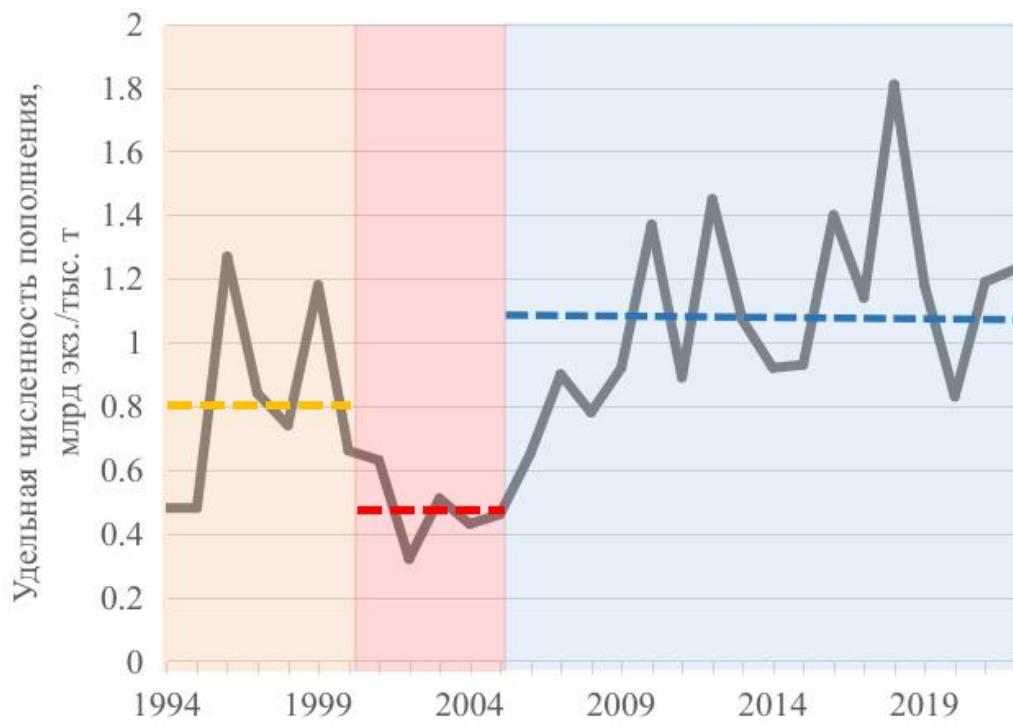


Рисунок 5.9 – Удельная численность пополнения крымско-кавказской единицы запаса шпрота (млрд экз. особей группы пополнения на 1 тыс. т биомассы нерестового запаса) в период 1994–2022 гг. Жёлтая, красная и синяя области – экспертно выделенные периоды состояния различной удельной численности пополнения. Жёлтая, красная и синяя пунктирные линии – средние показатели удельной численности пополнения в эти периоды

Применение экспертного визуального подхода, как это показано на рисунке 5.9, хоть и является допустимым способом определения однородных периодов удельной численности пополнения, тем не менее не является высоко надёжным способом. Удельная численность пополнения нерестового запаса для многих представителей ихтиофауны определяется изменением условий среды их обитания (Булгакова, 2004). Удельная численность пополнения крымско-кавказской единицы запаса безусловно зависела от ряда биотических и абиотических параметров среды обитания, таких как температура воды, состояние кормовой базы, наличия конкурентов в трофической цепи, активности и численности хищников и ряда других факторов. Определение закономерностей влияния этих условий среды обитания на удельную численность пополнения

регионального запаса шпрота является важной задачей изучения закономерностей формирования запаса (Levin et.al., 2009; Möllmann et.al., 2014).

С целью определения периодов стационарных состояний среды обитания шпрота была выполнена кластеризация по вектору времени биотических и абиотических факторов экосистемы обитания шпрота на основе подхода уменьшения размерности данных (Пятинский, Шляхов, 2021; Пятинский и др., 2023). Для исследования использовался ряд усреднённых показателей состояния среды обитания шпрота за период 1994–2022 гг.: биотические факторы – удельная биомасса фитопланктональных сообществ на единицу площади, биомасса кормовых (для шпрота) отделов зоопланктональных сообществ, биомасса пищевых конкурентов (мнемиопсис, берое), биомасса и промысловая смертность крымско-кавказской единицы запаса шпрота, биомассы камбалы-калкан и пеламиды (хищники); абиотические факторы – температура поверхности воды, содержание растворённого кислорода (на поверхности), содержание нитратных и фосфатных фракций в поверхностном слое воды; антропогенные факторы – региональный годовой вылов на крымско-кавказском шельфе и общечерноморский вылов. К этим многолетним рядам данных был применён подход уменьшения размерности данных - метод главных компонент (МГК), который позволил выделить 3 основные компоненты, обуславливающие наибольшую долю вариативности рассматриваемой системы: зоологическую биоресурсно-кормовую компоненту (вклад в изменчивость системы – 33 %), компоненту пищевых конкурентов (вклад в изменчивость системы – 25 %) и гидролого-гидрохимическую компоненту (вклад в изменчивость системы – 15 %). В общей совокупности применённый подход позволил описать 73 % общей дисперсии системы и при помощи метода кластеризации «*k*-средних» дал возможность выделить 3 периода состояния системы, рисунок 5.10.

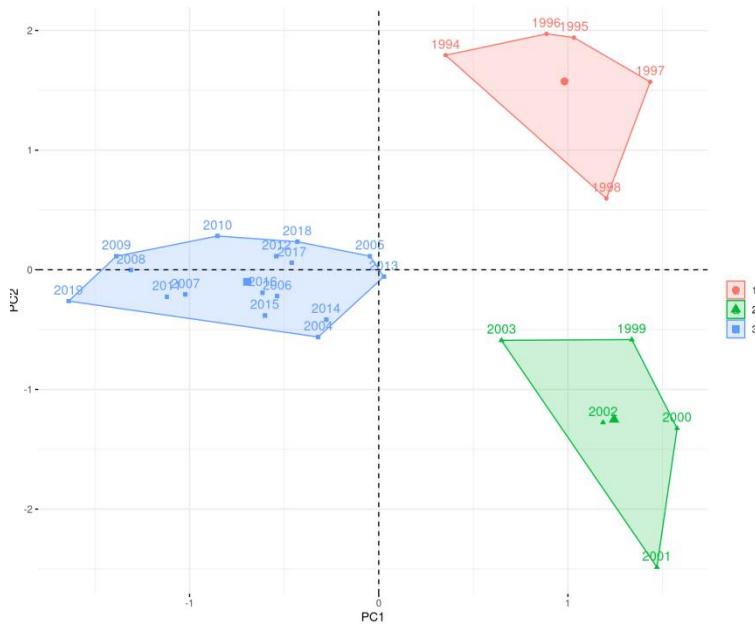


Рисунок 5.10 – Результаты кластеризации периодов квазистабильных состояний среды обитания крымско-кавказской единицы запаса черноморского шпрота в пространстве главных компонент (PC1, PC2) состояния среды обитания, период 1994–2022 гг.

Обсуждение некоторых главенствующих стимулов, определяющих периоды квазистабильных состояний выполнено в работе (Пятинский и др., 2023) и не является целью данной работы. В соответствии с полученными результатами были определены 3 стационарных периода различных квазистабильных состояний среды обитания шпрота: 1994–1998 гг., 1999–2003 гг. и 2004–2019 гг.

Аналитически рассчитанные периоды квазистабильных состояний среды обитания крымско-кавказской единицы запаса шпрота очень близки к экспертным оценкам на основе динамики удельной численности пополнения, представленным на рисунке 5.9. Расхождения в определении периодов обусловлено ошибкой не более чем в 1 год для каждого из периодов, что, вероятно, свидетельствует в пользу избыточности столь сложного экосистемного анализа.

Наиболее важным из полученных результатов для построения функциональной зависимости «запас-пополнение» является определение такого периода однородности удельной численности пополнения, который соответствует и, с наибольшей долей вероятности, будет соответствовать таковому в

прогнозный период. В соответствии с полученными результатами, современный стационарный период длится с 2004/2005 гг. по 2022 г., и отсутствуют какие-либо предпосылки его изменения.

По совокупности полученных результатов изучения различных стационарных периодов однородной удельной численности пополнения крымско-кавказской единицы запаса шпрота была построена модель «запас-пополнение» сегментной регрессии на основе оценок биомассы нерестового запаса и численности пополнения в 2005–2022 гг., рисунок 5.11. В ходе параметризации модели и симуляций были получены оценки параметров уравнения сегментной регрессии: $a = 1,405$, $S^* = 57,8$.

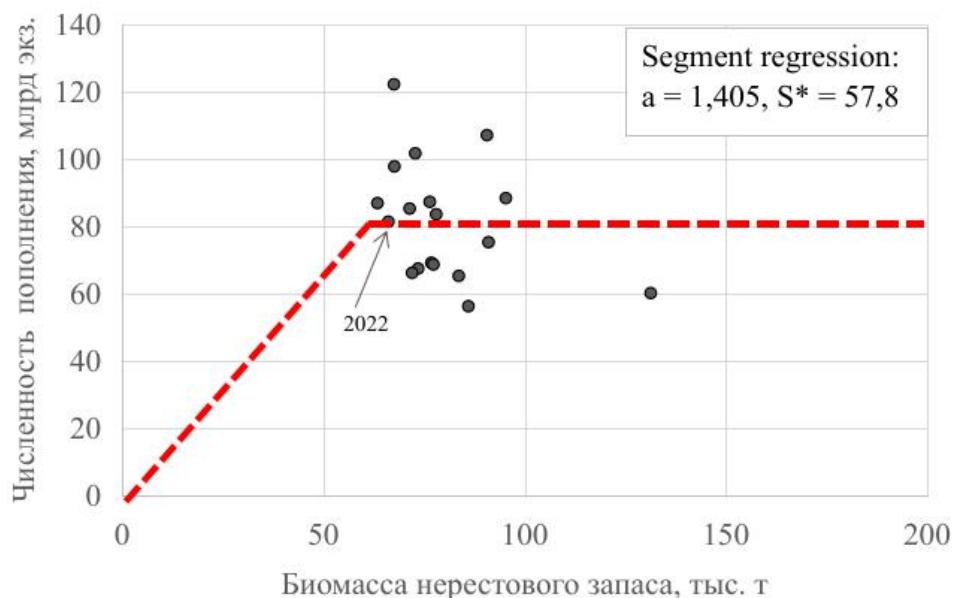


Рисунок 5.11 – Модель сегментной регрессии функциональной зависимости «запас-пополнение» для крымско-кавказской единицы запаса черноморского шпрота в период стационарного состояния условий среды обитания, 2005–2022 гг.

5.5 Биологические ориентиры управления крымско-кавказской единицы запаса

На основе результатов описания функциональной зависимости «запас-пополнение» для крымско-кавказской единицы запаса, рисунок 5.11, произведена оценка граничного ориентира $B_{lim} = 57,8$ тыс. т. В соответствии с показателями

промышленной смертности в период 1994–2022 гг. неопределенность воздействия этого фактора составляет $\sigma_F = 0,25$. Согласно рассмотренной методике предосторожный ориентир по биомассе равен:

$$B_{pa} = 57,8 \times e^{1.645 \times 0.25} = 78,2 \quad (\text{тыс. т})$$

Значения биологических ориентиров, как отмечалось в методике, могут быть вычислены и альтернативным способом в соответствии с рекомендациями ФАО через прокси оценку B_{virgin} . Тем не менее при таком расчёте следует учитывать период стационарности состояния запаса, которому будет соответствовать такая оценка. Как было показано в предыдущем разделе, современный период стационарного состояния запаса – 2005–2022 гг. При таком приближенном расчёте значения ориентиров составляют:

$$B_{lim} = 0,3 \times (B_{2005} + C_{2005}) = 0,3 \times (131,36 + 39,49) = 51,3 \quad (\text{тыс. т})$$

$$B_{pa} = 51,3 \times e^{1.645 \times 0.25} = 77,6 \quad (\text{тыс. т})$$

Полученные результаты оценок граничного и предосторожного ориентира по биомассе двумя независимыми способами являются достаточно близкими. Различия в оценке B_{lim} составляют 12,6 %, при оценке B_{pa} – менее 1 %. Отсутствие существенных различий оценок биологических ориентиров различными методами свидетельствует об их высокой надёжности для дальнейшего определения правила регулирования промысла.

Для выбора итоговых оценок биологических ориентиров для дальнейшего анализа состояния регионального запаса следует учитывать наиболее значимый качественный критерий состояния популяции и промысла – сокращение средней массы (и длины) особей всех возрастных групп и увеличение доли прилова особей группы пополнения в период 2007–2021 гг. Исходя из методического подхода данной работы следует, что особи в возрасте до 1 года не являются частью нерестового запаса, а их изъятие не влечёт за собой увеличение промысловой смертности нерестового запаса (совокупность особей в возрасте 1–3 лет). Иными

словами, величина «промышленной» части запаса в период высокой численности прилова группы пополнения в региональных уловах (2005–2022 гг.) превышает величину нерестового запаса. По этой причине в качестве граничного и предосторожного ориентиров приняты минимальные оценки ориентиров, полученные альтернативным подходом вместо оценок на модели «запас-пополнение».

Оценки ориентиров целевой и предосторожной промысловой смертности были выполнены ранее в работах (Daskalov, Ratz, 2010; Cardinale et al., 2017; Шляхов и др., 2019). Для определения ориентира промысловой смертности, который однозначно позволит выявить моменты переэксплуатации даже с учётом неопределённости фактора промысловой смертности выполнен расчёт F_{lim} :

$$F_{lim} = 0,605 \times e^{1,645 \times 0,25} = 0,91$$

В совокупности с ранее выполненными оценками ориентиров другими авторами, рассмотренные в главе «Введение» результаты сведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Биологические и промысловые ориентиры состояния крымско-кавказской единицы запаса шпрота в период 2005–2022 гг.

Ориентир	Значение	Источник
B_{lim}	57,8 тыс. т	модель «запас-пополнение»
	51,3 тыс. т	приближенный расчёт по методике ФАО
B_{pa}	78,2 тыс. т	модель «запас-пополнение»
	77,6 тыс. т	приближенный расчёт по методике FAO
$F_{tr} = F_{0,1}$	0,605	работа Шляхов и др. (2019)
F_{MSY}	0,64	оценки STECF в 2017 (Cardinale et al., 2017)
F_{MSY}	0,95	оценки STECF до 2010 (Daskalov, Ratz, 2010)
F_{lim}	0,91	расчёт на основе ранее выполненной оценки $F_{0,1}$
Примечание – значения ориентиров, используемые в качестве итоговых, выделены полужирным шрифтом		

В соответствии с полученными оценками биомассы нерестового запаса, промысловой смертности и их ориентиров выполнена визуализация состояния запаса и промысла в период 1994–2022 гг., рисунок 5.12. Следует отметить, что биологические ориентиры (B_{lim} , B_{pa}), представленные в таблице 5.2, применимы только для квазистабильного периода, на основе данных которого они были вычислены (2005–2022 гг.). При визуализации динамики промысловой смертности представлен целевой ориентир F_{tr} (соответствующий $F_{0.1}$) и граничный ориентир F_{lim} . Значения ориентира F_{MSY} не используются для интерпретации результатов по причине существенных расхождений его оценки в разные периоды, что, вероятно, свидетельствует о высокой неопределённости данного показателя или несовершенстве механизма его оценки для когортной модели.

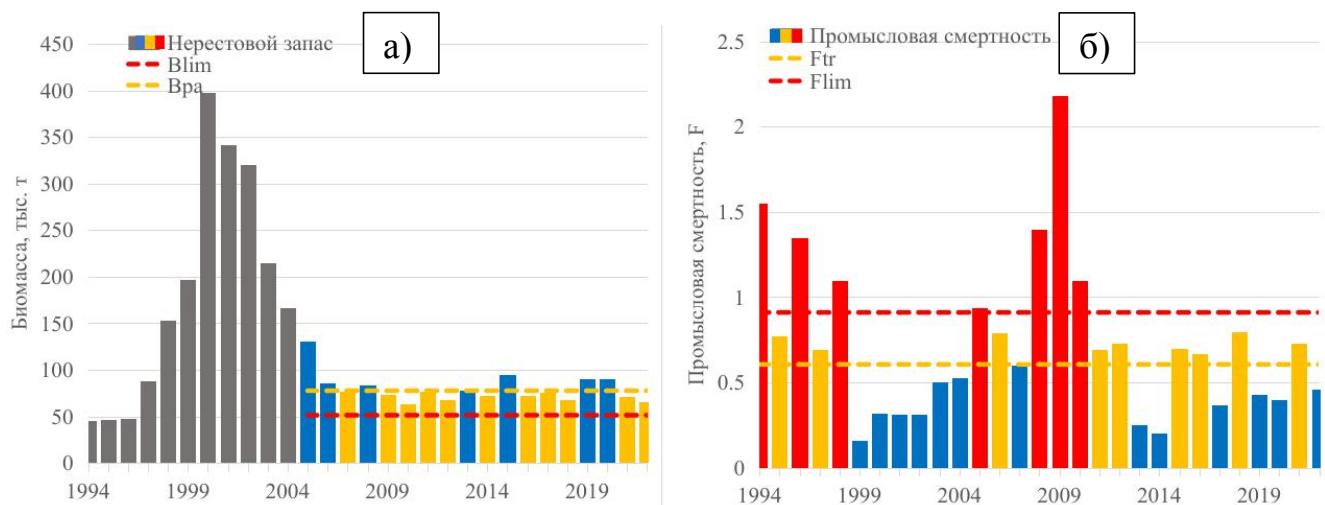


Рисунок 5.12 – Состояние биомассы нерестового запаса (а) и промысловой смертности (б) относительно биологических и промысловых ориентиров B_{lim} , B_{pa} (а)) и F_{lim} , F_{tr} (б)) крымско-кавказской единицы запаса черноморского шпрота в период 1994–2022 гг.

На рисунке 5.12 столбцы обозначены «схемой светофора» в соответствии с состоянием показателя в определённый год: синий – биомасса нерестового запаса выше предсторожного ориентира, промысловая смертность – ниже целевого ориентира; жёлтый – оба показателя в буферной зоне (между ориентирами

управления); красный – биомасса нерестового запаса ниже граничного ориентира, промысловая смертность – выше граничного ориентира.

Биомасса нерестового запаса крымско-кавказской единицы запаса не опускалась ниже граничного ориентира в период исследования. Низкие показатели биомассы нерестового запаса в 1994–1997 гг. не могут быть характеризованы ориентирами управления, вычисленными для периода другого квазистабильного состояния условий среды обитания.

Состояние биомассы нерестового запаса относительно ориентиров управления свидетельствует о том, что большую часть времени запас находился в буферной зоне между граничным и предосторожным ориентирами. Состояние запаса несколько выше предосторожного ориентира отмечено лишь в 2005–2006, 2008, 2013, 2015 и 2019–2020 гг. Такое состояние биомассы нерестового запаса в современный период свидетельствует о некоторой стабилизации условий среды обитания и адаптации регионального запаса и, вероятно, всей популяции к ним.

Изменение состояния промысловой смертности относительно ориентиров управления представляет больший интерес, чем динамика биомассы нерестового запаса. В период 1994–1998 гг. значения показателя промысловой смертности были выше целевого, а в некоторые годы – выше граничного ориентиров управления ($F_{tr} < F_{lim} < F_{1994,1996,1998}$, $F_{tr} < F_{1995,1997} < F_{lim}$) крымско-кавказской единицы запаса в условиях низких значений биомассы нерестового запаса. Вероятно, произошло это по причине несовершенства системы прогнозирования региональных объёмов рекомендованной добычи в условиях изменений государственного управления после распада СССР.

Последующий период, 1999–2004 гг., характеризовался низким уровнем промысловой смертности ($F_{tr} < F_{lim} < F_{1999-2004}$), несмотря на то, что абсолютные показатели регионального годового вылова на крымско-кавказском шельфе были на рекордном уровне и достигали 46,2 тыс. т в 2001 г. В последующий период 2005–2007 гг. отмечена как переэксплуатация, так и резкое снижение уровня промысловой смертности. В эти годы произошло сокращение биомассы

нерестового запаса, вслед за которым снизились и показатели регионального годового вылова с 39,4 тыс. т в 2005 г. до 19,7 тыс. т в 2007 г.

Период 2008–2010 гг. характеризовался максимальными значениями показателя промысловой смертности, значительно превышавшими как целевой, так и граничный ориентиры управления ($F_{2008-2010} > F_{lim} > F_{tr}$). Именно в этот период, как отмечалось ранее, доля прилова особей группы пополнения стала достигать 30 % по численности. В этот период (2008–2010 гг.) численность групп особей в возрасте 2 и 3 лет сократилась до минимальных значений, а уровни их промысловой смертности достигли максимумов.

В период 2011–2012 гг. отмечалось снижение значений показателя промысловой смертности регионального запаса, тем не менее они все ещё были выше целевого уровня ($F_{tr} < F_{2011-2012} < F_{lim}$). В последующие годы по мере снижения объёма регионального годового вылова начался процесс постепенного восстановления численности особей в возрасте 2 и 3 лет.

Период 2013–2022 гг. характеризовался снижением значений показателя промысловой смертности относительно всех предшествующих периодов за исключением высокоурожайных 1997–2004 гг. В этот период (2013–2022 гг.) значительного роста биомассы нерестового запаса не наблюдалось, а промысловая смертность была в буферной зоне, незначительно выше целевого ориентира управления ($F_{2013,2014,2017,2019,2020,2022} < F_{tr} < F_{lim}; F_{tr} < F_{2015,2016,2018,2021} < F_{lim}$). Региональные уловы колебались в пределах 12–26 тыс. т, производительность промысла была на серединном уровне, а продолжительность промысловых усилий постепенно сокращалась. Следует отметить, что в 2012–2020 гг. все ещё сохранялся высокий уровень прилова особей группы пополнения на фоне уменьшения размерно-массовых характеристик регионального запаса.

Анализ современного состояния регионального промысла свидетельствует о стабилизации системы «запас-промысел» на некотором серединном уровне за весь рассматриваемый период. Такая стабилизация системы произошла, в том числе в результате уменьшения продолжительности промысловых усилий и численности промыслового флота на фоне снижения размерно-массовых

характеристик крымско-кавказской единицы запаса. Данный анализ свидетельствует и о том, что такие высокие показатели прилова особей группы пополнения при осуществлении регионального промысла шпрота не наносили значительного вреда нерестовому запасу при его восстановлении.

5.6 Стратегия управления промыслом крымско-кавказского запаса шпрота

Для соблюдения принципов рациональной эксплуатации крымско-кавказского запаса шпрота предлагается стратегия управления промыслом, которая позволит реализовать управление региональным запасом шпрота. В настоящих реалиях единственным доступным механизмом управления запасами является регулирование параметров промысла, которые оказывают непосредственное влияние на численность и доступность запаса. Среди таких способов управления могут быть реализованы меры регулирования способа добычи, численности добывчиков и их промысловых усилий, общей величины годового вылова.

Комплексные рекомендации по определению целей управления промыслом представлены в Кодексе ведения ответственного рыболовства (далее – Кодекс) (Кодекс..., 1995; Бекяшев, 2015). Применение положений Кодекса отмечено при реализации стратегий управления трансграничными запасами при осуществлении международного регулирования, среди которых «Основные принципы и критерии долгосрочного, устойчивого управления живыми ресурсами Баренцева и Норвежских морей» (принятый на 30-й сессии российско-норвежской комиссии).

В соответствии с Кодексом и примерами его интеграции при регулировании трансграничных запасов можно формализовать основные цели, которые должна преследовать стратегия регулирования регионального промысла крымско-кавказской единицы запаса шпрота в условиях невозможности осуществления международного регулирования:

- 1) обеспечение высокого устойчивого вылова шпрота максимально продолжительное время;

2) сохранение устойчивого потенциала воспроизводства эксплуатируемой единицы запаса и сохранение единицы запаса в пределах биологически безопасных пределов.

Относительно черноморского шпрота надёжным решением для выполнения данных целей является разработка мер международного регулирования промысла всех причерноморских стран. Однако, как было показано ранее, несмотря на попытки разработки таких мер они ни разу не были имплементированы большинством стран. В связи с этим, единственным возможным механизмом регулирования является разработка региональных мер управления промыслом.

Выполнение поставленных целей стратегии регулирования промысла предлагается выполнить при помощи составления многозональной схемы регулирования регионального промысла, или «Правил регулирования промысла» (Бабаян, 2000; Бабаян и др., 2018). Управление промыслом в такой схеме реализуется посредством определения величины максимально возможного ежегодного вылова, объёмы которого позволяют определить допустимую продолжительность промысловых усилий.

При составлении схемы регулирования регионального промысла крымско-кавказской единицы запаса в качестве «ориентиров состояния» используются ранее выполненные оценки биологических и промысловых ориентиров, таблица 5.2. В качестве граничного ориентира состояния запаса, после которого произойдёт снижение потенциала воспроизводства, использован ориентир B_{lim} . В роли предосторожного ориентира биомассы нерестового запаса, при котором отсутствует вероятность снижения потенциала воспроизводства – ориентир B_{pa} . В качестве целевого ориентира эксплуатации в условиях состояния запаса выше предосторожного ориентира используется оценка ориентира $F_{tr} = F_{0.1}$. В качестве предосторожного ориентира промысловой смертности, в условиях снижения запаса ниже предосторожного ориентира вычислено значение показателя F_{pa} :

$$F_{pa} = F_{tr} \times \frac{B_{lim}}{B_{pa}} = 0,4$$

При составлении схемы регулирования промысла используется многозональный подход (Бабаян, 2000). При таком подходе, в зависимости от состояния регионального запаса и промысла относительно ориентиров управления, определяются «зоны» с различной интерпретацией каждого состояния. Для удобства интерпретации каждая «зона» в схеме регулирования обозначена цветом по схеме светофора. При определении каждой «зоны» в схеме регулирования ниже представляется «правило» определения этой зоны на основе значений ориентиров управления. Результат составления схемы регулирования представлен на рисунке 5.13.

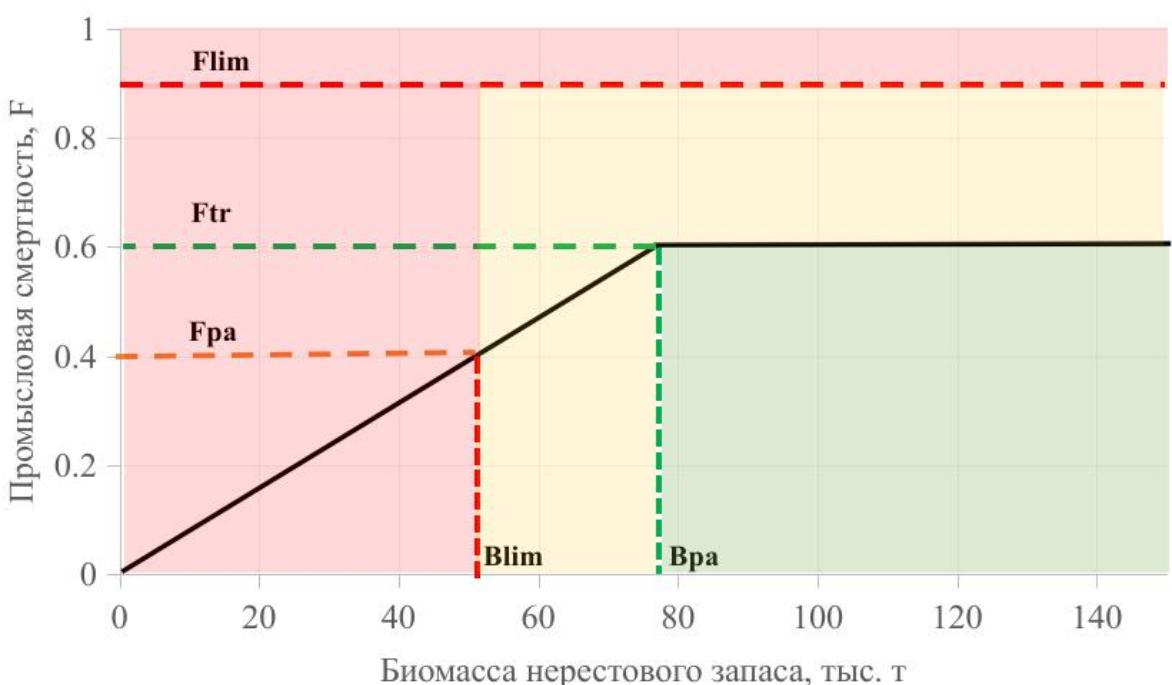


Рисунок 5.13 – Общая схема регулирования регионального промысла крымско-кавказской единицы запаса шпрота

В многозональной схеме регулирования при помощи цвета выделены следующие «зоны» состояния запаса и промысла:

- «красная зона» – биологически небезопасное состояние запаса, характеризуемое снижением запаса ниже граничного ориентира, его потенциала к эффективному самовоспроизводству в условиях наличия (в некоторых случаях отсутствия) переэксплуатации либо же эксплуатация запаса на уровне

промышленной смертности, превышающей значение граничного ориентира. Правила: $B < B_{lim}$ или $F > F_{lim}$;

– «жёлтая зона» – «буферная» (промежуточная, серединная) зона состояния запаса и промысла, характеризуемая либо эксплуатацией выше целевого уровня, либо снижением запаса ниже предосторожного ориентира, либо наличием двух этих состояний одновременно. При этом биомасса запаса все ещё должна быть выше граничного ориентира. Правила: $B_{lim} < B < B_{pa}$ или $F_{tr} < F < F_{lim}$;

– «зелёная зона» – безопасное состояние запаса, характеризуемое отсутствием переэксплуатации и состоянием запаса выше предосторожного ориентира. Правила: $B > B_{pa}$ и $F \leq F_{tr}$.

В соответствии со схемой регулирования максимально допустимые значения показателя промысловой смертности не должны превышать значение целевого ориентира $F_{tr} = 0,60$. Применение такого критерия является допустимым при благоприятном состоянии биомассы нерестового запаса – не ниже $B_{pa} = 77,6$ тыс. т.

При снижении биомассы запаса ниже предосторожного ориентира $B_{pa} = 77,6$ тыс. т необходимо выбрать такой уровень допустимого регионального улова, при котором промысловая смертность будет соответствовать значению ориентира F_{tr} , уменьшенному пропорционально снижению запаса относительно предосторожного и целевого ориентиров:

$$F_{pa} = F_{tr} \times \frac{B_{terminal} - B_{lim}}{B_{pa} - B_{lim}}$$

где $B_{terminal}$ – оценка биомассы нерестового запаса в терминальном году.

При снижении биомассы нерестового запаса ниже граничного ориентира необходимо снизить региональный улов так, что значения промысловой смертности соответствовали:

$$F = F_{pa} \times \frac{B_{terminal}}{B_{lim}}$$

Результаты интерпретации изменения состояния регионального запаса и промысла относительно схемы регулирования в период 2005–2022 гг. представлены на рисунке 5.14.

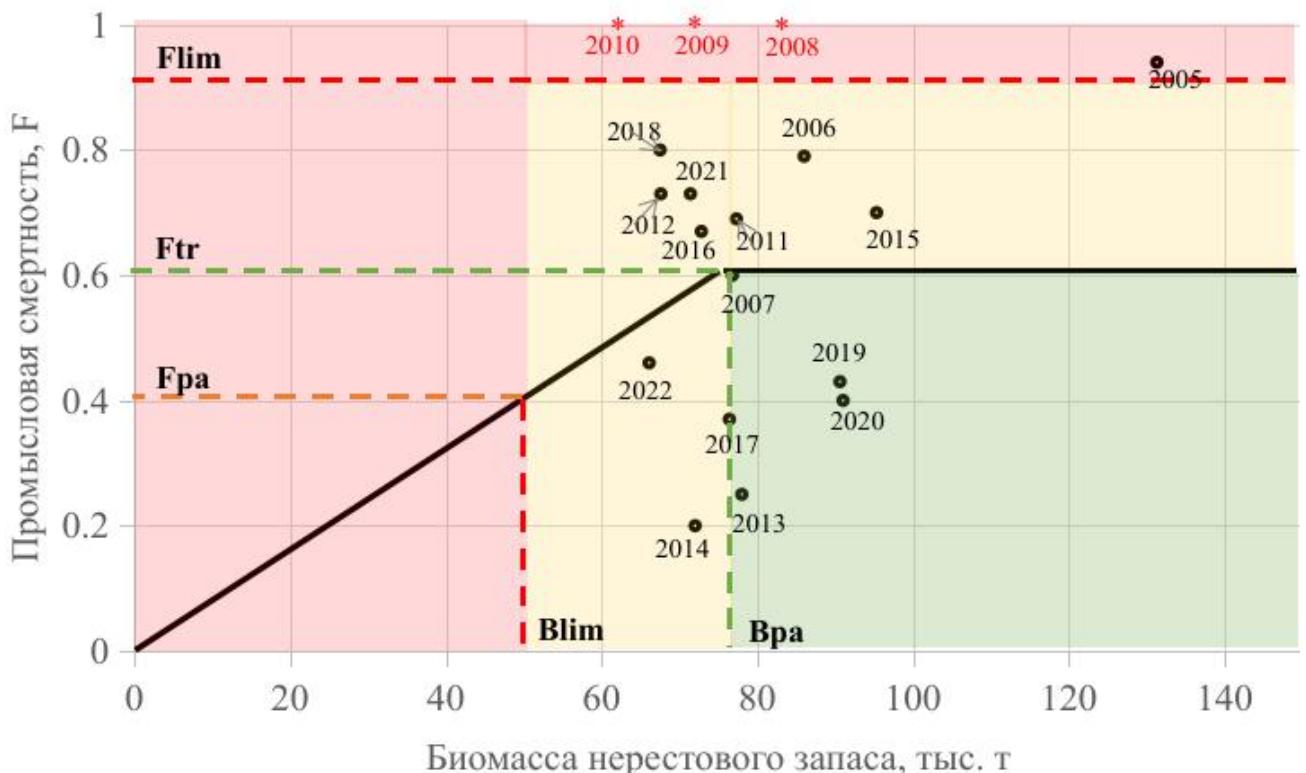


Рисунок 5.14 – Состояние запаса и промысла крымско-кавказской единицы запаса относительно предложенной схемы регулирования. Звёздочкой обозначены годы, в которые $F > 1$

В рассматриваемый период квазистабильного состояния условий среды обитания (2005–2022 гг.) биомасса нерестового запаса шпрота не переходила в биологически небезопасную зону, при которой должно наступать снижение потенциала к воспроизводству. Однако в предшествующий период такое снижение отмечалось в 1994–1996 гг. и в последующем запас смог значительно восстановиться до уровня более 100 тыс. т уже в 1998 г. Такая особенность свидетельствует в пользу возможности продолжения осуществления промысла крымско-кавказского запаса шпрота в период снижения биомассы нерестового запаса ниже ориентира B_{lim} .

Большую часть современного периода 2005–2022 гг. состояние запаса и промысла шпрота находилось в буферной зоне, чаще всего с признаками эксплуатации выше целевого уровня (при котором значения показателя промысловой смертности выше целевого ориентира), но ниже граничного.

Разработанная схема регулирования позволит принимать решения об определении величины возможного регионального вылова в прогнозный период в зависимости от состояния крымско-кавказской единицы запаса черноморского шпрота.

ГЛАВА 6. ВЛИЯНИЕ БИОТИЧЕСКИХ И АБИОТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СОСТОЯНИЕ ЗАПАСА ШПРОТА

6.1 Влияние климатических изменений (температурного фактора) на размерно-массовые характеристики крымско-кавказской единицы запаса

Показатель температуры поверхности воды (ТПВ) является одним из основных индикаторов глобальных климатических изменений (Xie et.al., 2010). За прошедшие 20–30 лет отмечается устойчивый тренд постепенного повышения температуры как поверхности воды, так и температуры воды по вертикальным слоям (Polonsky, 2015). Для анализа изменения температурного режима в районе исследований была выполнена визуализация среднегодовой температуры поверхности воды в период 1994–1996 гг. и 2018–2020 гг. (описание в разделе «Материал и методы исследования»), рисунок 6.1.

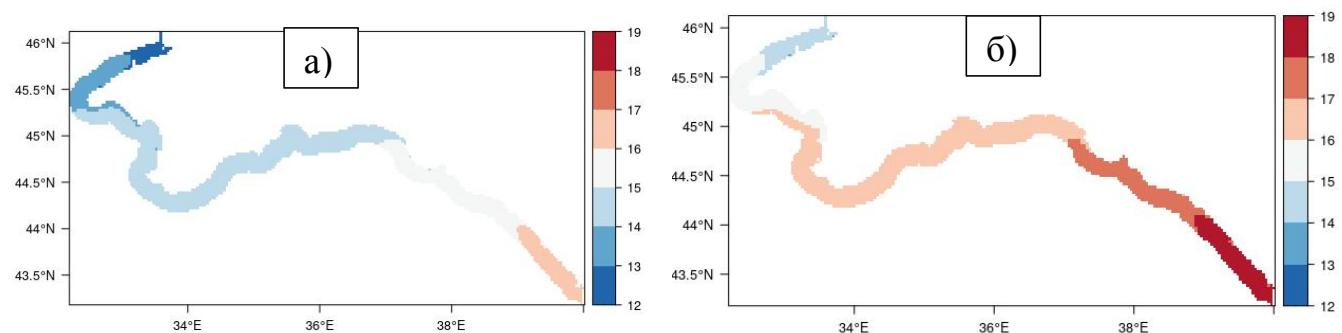


Рисунок 6.1 – Среднегодовые показатели температуры поверхности воды на крымско-кавказском шельфе Чёрного моря: а) – 1994–1996 гг., б) – 2018–2020 гг.

Визуализация среднемноголетних показателей ТПВ указывает на наличие одной и той же закономерности формирования температурного режима на участках крымско-кавказского шельфа Чёрного моря. Температурный режим, отображённый на рисунке 6.1, полностью обусловлен схемой течений и перемешивания вод в Чёрном море, рисунок 3.2. В шельфовой зоне у берегов Кавказа отмечались более высокие среднегодовые показатели ТПВ, чем вдоль побережья Крыма: как в 1994–1996 гг. (15–16 °C), так и в 2018–2020 гг. (18–19 °C). Это обусловлено переносом более тёплых водных масс из восточной части моря.

Крымские воды демонстрируют постепенное снижение температуры воды по мере продвижения к северо-западному прибрежью полуострова, к западу от которого в море впадают крупные реки Днепр и Дунай.

Для более детального изучения изменения температурного режима района исследований была выполнена визуализация аномалий (абсолютных отклонений) среднегодовых температур периода 2018–2020 гг. относительно периода 1994–1996 гг., рисунок 6.2.

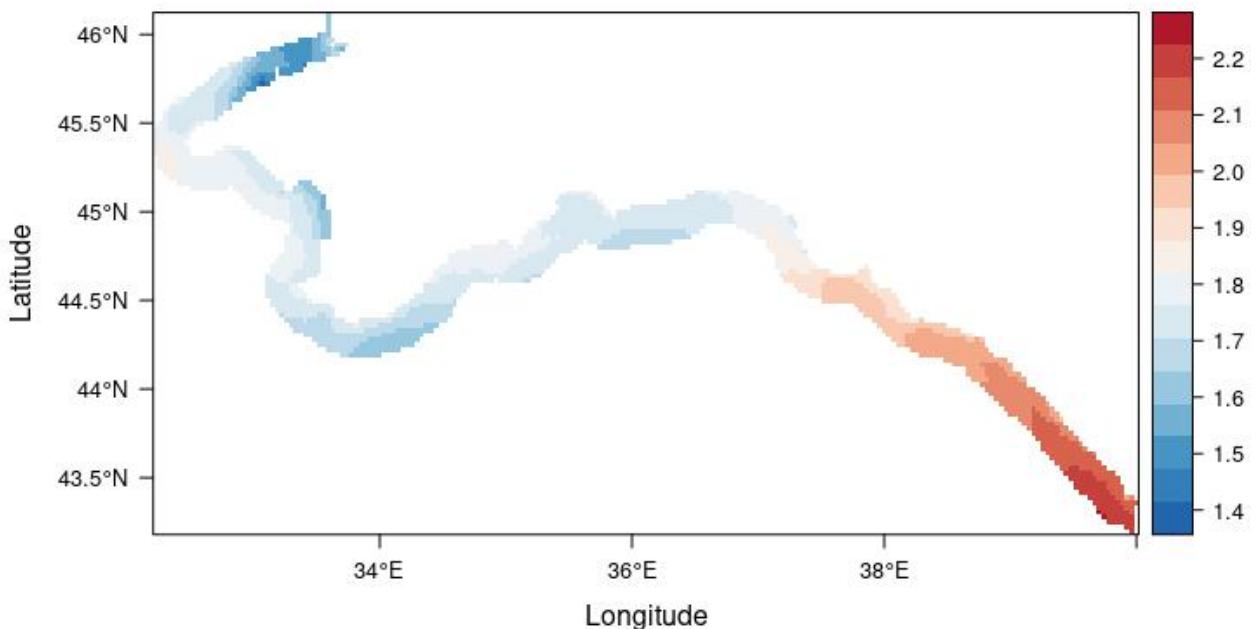


Рисунок 6.2 – Многолетние аномалии показателя температуры поверхности воды на крымско-кавказском шельфе Чёрного моря в период 2018–2020 гг. относительно периода 1994–1996 гг.

Диагностика температурных аномалий свидетельствует о повышении температуры поверхности воды для всего района исследований без исключений. В период 2018–2020 гг. относительно периода 1994–1996 гг. произошло повышение температуры воды в среднем на 1,9 °С. Средний ежегодный тренд увеличения показателей ТПВ составляет 0,08 °С/год, что хорошо согласуется с ранее выполненными исследованиями (Nykaer, 2009; Pastor et.al., 2020).

Следует отметить и выявленную закономерность различия темпов повышения температуры для крымских и кавказских вод моря. Для прибрежья Крыма повышение температуры поверхности воды для рассматриваемого периода составило от 1,40 до 1,85 °C, в то время как для Кавказа повышение ТПВ составило от 1,9 до 2,3 °C.

Для исследования воздействия изменений температуры поверхности воды на характеристики крымско-кавказской единицы запаса шпрота было выполнено исследование влияния ТПВ на среднюю массу шпрота в уловах (Piatinskii et.al., 2022). Представленные в публикации результаты анализа рассматривают более продолжительный период, чем период исследования работы – с 1950-х гг. до 2019 г. Суть эксперимента заключалась в сопоставлении средней массы шпрота в уловах на крымском шельфе по возрастным группами в возрасте 1, 2 и 3 лет с показателями температуры поверхности воды в портах вблизи г. Черноморское, г. Ялта и г. Феодосия (крымское прибрежье Чёрного моря), что соответствует основным районам промысла шпрота в современный период. Для устранения эффекта межгодовой неопределенности колебания параметров было выполнено сглаживание входных данных методом локальной регрессии с низким значением коэффициента сглаживания. Для визуализации динамики средней массы шпрота в уловах и температуры поверхности воды выполнено сопоставление средней температуры поверхности воды в этих портах и средней массы шпрота в уловах в возрасте 1–3 лет, рисунок 6.3.

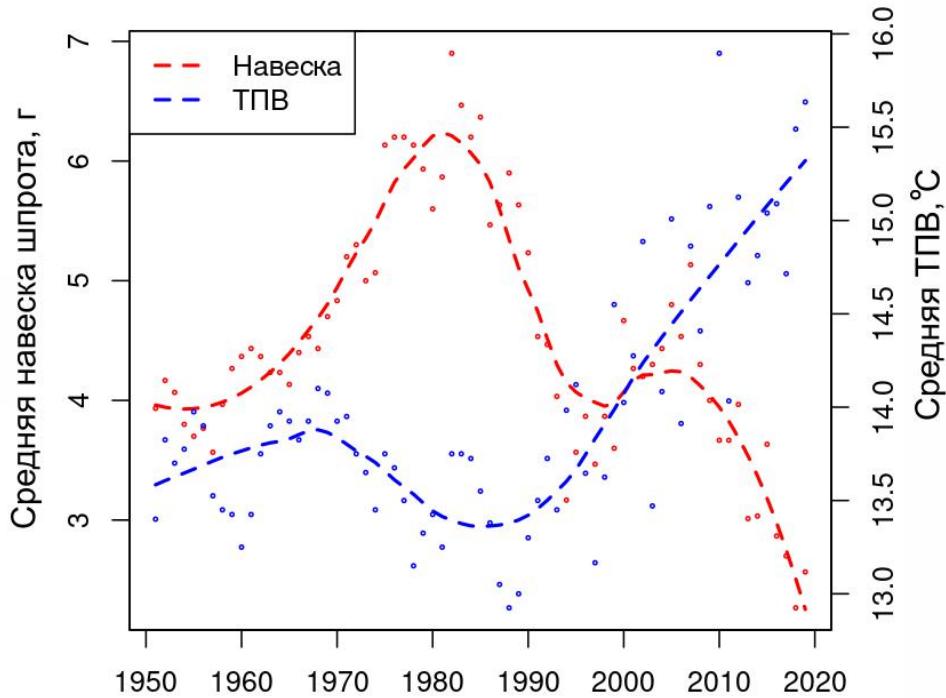


Рисунок 6.3 – Средняя температура поверхности воды и средняя масса шпрота в уловах в возрасте 1–3 лет в северной части Чёрного моря (крымский шельф) в период 1950–2019 гг. Точки – фактические среднегодовые значения, пунктирные линии – сглаженные значения методом локальной регрессии с $span = 0,3$

Визуализация многолетней динамики ТПВ и средней массы шпрота в уловах свидетельствует о наличии 3 различных периодов состояния. В период 1950–1990 гг. отмечалась очередная смена цикла повышения/снижения ТПВ, вслед за чем противоположно изменялась средняя масса шпрота в уловах. Ближе к периоду наиболее выраженных отрицательных аномалий температур, 1984–1986 гг., средняя масса шпрота в возрасте 1–3 лет в уловах стала превышать 6 г. В последующий период 1990–2008 гг. начался тренд постепенного повышения среднегодовых показателей ТПВ, а средняя масса шпрота в уловах стабилизировалась на уровне 4–5 г. Начиная с 2009–2010 гг. отмечено сокращение средней массы шпрота в уловах и продолжающийся тренд повышения ТПВ.

Исходя из визуализации многолетней динамики ТПВ и средней массы шпрота в уловах отчётливо прослеживается наличие отрицательной связи.

Выполнение корреляционного теста подтвердило данную гипотезу, обобщённые результаты работы (Piatinskii et.al., 2022) представлены в таблице 6.1. Все полученные коэффициенты корреляции были значимы на уровне $\alpha = 0,05$.

Таблица 6.1 – Оценки коэффициентов корреляции Пирсона (r) при проверке гипотезы о наличии связи между показателями ТПВ в северной части Чёрного моря и средней массой шпрота в уловах

Возрастная группа шпрота	Точка ТПВ		Средняя ТПВ
	порт г. Черноморское	порт г. Ялта	
1+	-0,44	-0,57	-0,52
2+	-0,64	-0,78	-0,73
3+	-0,73	-0,86	-0,82
среднее 1+ – 3+	-0,66	-0,79	-0,74

Примечание – температурная точка вблизи п. Феодосии была исключена из анализа по причине низкой надёжности данных, скомпилированных в продолжительный ряд из двух источников (Piatinskii et.al., 2022)

Полученные результаты подтверждают наличие отрицательной связи между эффектом повышения температуры воды и снижением средней массы шпрота в уловах в крымских водах Чёрного моря. Дополнительно выявлена закономерность более сильной отрицательной связи между температурой воды и группами особей в возрасте 2 и 3 лет, чем с группой особей в возрасте 1 года. Истинные причины более сильной негативной связи ТПВ с возрастными группами 2+, 3+ остаются неясными,, вероятно, более слабая связь ТПВ с возрастной группой 1+ обусловлена воздействием других главенствующих факторов на эту возрастную группу.

Сопоставление средней длины шпрота в уловах и величин ТПВ аналогично свидетельствуют о наличии обратной зависимости между этими показателями, рисунок 6.4. Выполнение аналитического корреляционного теста подтверждает данную гипотезу: $r = -0,72$, значимо на $\alpha = 0,05$. Такой результат является вполне ожидаемым, демонстрирующим аналогичную обратную зависимость между сопоставляемыми показателями.

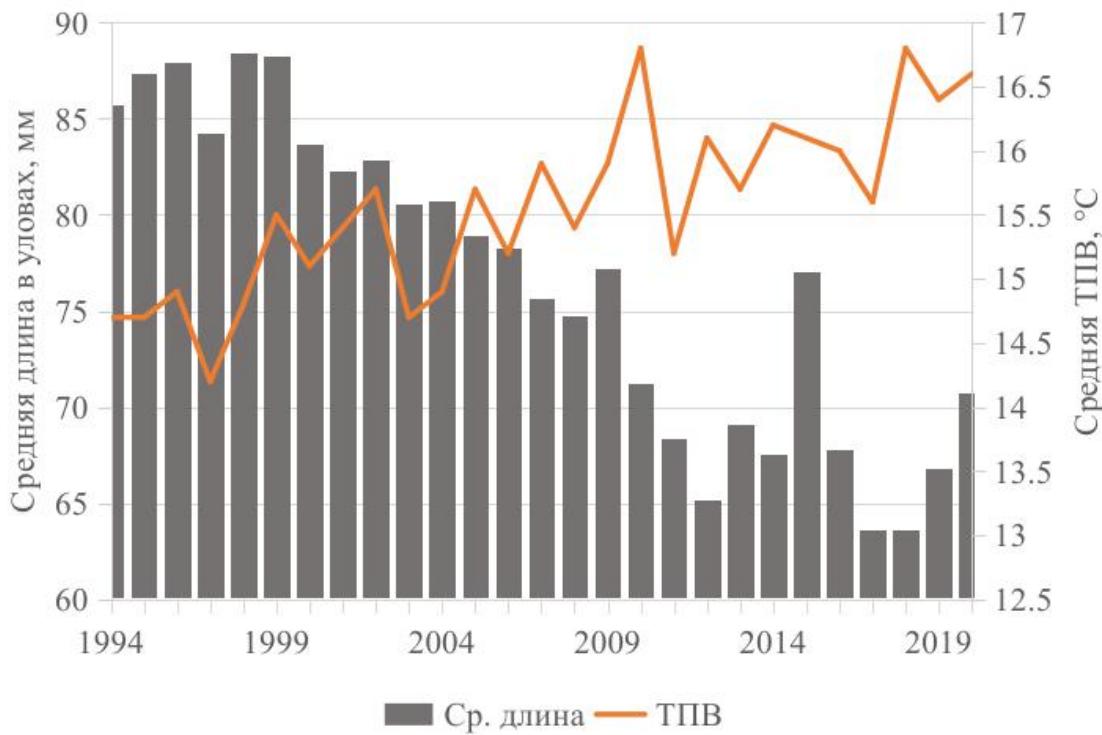


Рисунок 6.4 – Средняя длина шпрота в региональных уловах и среднегодовые показатели температуры поверхности воды на крымско-кавказском шельфе в период 1994–2020 гг.

Для изучения влияния температурного фактора на другие показатели состояния крымско-кавказской единицы запаса шпрота была выполнена проверка гипотез о наличии связи между среднегодовыми показателями ТПВ в районе исследований в период 1994–2020 гг. и следующими ранее рассчитанными параметрами запаса, таблица 6.2:

- температурный фактор и биомасса нерестового запаса;
- температурный фактор и удельная численность пополнения нерестового запаса;
- температурный фактор и доля особей группы пополнения в приловах траловыми орудиями лова.

Таблица 6.2 – Результаты проверки гипотез о наличии связей между показателем ТПВ и характеристиками крымско-кавказской единицы запаса при помощи корреляционного теста Спирмана

Фактор	Биомасса нерестового запаса		Удельная численность пополнения		Доля прилова группы пополнения	
	ρ	значима на $\alpha = 0,05$	ρ	значима на $\alpha = 0,05$	ρ	значима на $\alpha = 0,05$
ТПВ	-0,18	-	0,59	+	0,59	+

В результате проверки различных гипотез о наличии связи между ТПВ и характеристиками крымско-кавказской единицы запаса шпрота следует заключить, что доказательства связи ТПВ с биомассой нерестового запаса не удалось обнаружить. Однако удалось выявить положительную значимую связь между температурой поверхности воды и удельной численностью пополнения, а также – с долей прилова группы пополнения.

Безусловно, обнаружение такой связи не свидетельствует о том, что изменения температуры поверхности воды в полной мере обуславливают пополнение нерестового запаса или повышение доли прилова группы пополнения. Более того, обнаружение таких связей не позволяет судить о «причине-следствии» их возникновения и наличия (или отсутствия) промежуточных факторов.

Тем не менее, обе обнаруженные связи не выглядят лишёнными биологического смысла. Как было показано ранее, повышение температуры более негативно сказывается на особях в возрасте 2 и 3 лет в совокупности с ранее отмеченным наиболее негативным воздействием регионального промысла на численность особей в этом возрасте. В таких условиях вполне закономерным выглядит адаптационная реакция запаса на осуществление промысла и ухудшение условий обитания старших особей в возрасте более 2 лет: для выживания особям необходимо иметь более мелкие размеры, а структура популяции должна омолаживаться относительно предшествующих периодов. Проявление адаптивных популяционных реакций на повышение температуры уже отмечалось для других промысловых видов Мирового океана (Huss, 2019). Обнаружение

положительной связи ТПВ с долей прилова особей группы пополнения, по всей видимости, может быть объяснена только при помощи фактора-посредника для приемлемого биологического объяснения таковой, например – увеличение численности незрелых особей в уловах траловых орудий лова в результате снижения численности (и доступности) старших возрастных групп.

По мнению других учёных (Шульман, Урденко, 1989), в условиях климатических изменений температурный фактор может оказывать значимое влияние на процессы метаболизма как отдельных особей, так и всей популяции. Изменение температурных показателей может приводить и к изменениям в структуре зооценозов мезозоопланктона, которые в свою очередь также окажут влияние на состояние запасов шпрота. В конечном итоге, постепенное изменение температурного режима может приводить к изменению поведения популяции.

Изменения в структуре зооценозов мезозоопланктона на фоне изменения температурного режима могут происходить в результате смещения периодичности циклов развития мезозоопланктона и гребневиков (Казьмин, Шиганова, 2023). По мнению авторов, максимумы численности мнемиопсиса, повлекшие за собой максимальные показатели численности берое отмечаются в годы высоких показателей температуры воды (2001–2002 гг., 2004–2008 гг.). Однако такие резкие вспышки численности гребневиков происходили только в условиях, когда ТПВ не превышала 27,5 °С в летние месяцы, что отмечается, начиная с 2010 г. Таким образом, эффект от повышения температуры воды в современный период мог являться одним из лимитирующих параметров для размножения пищевых конкурентов шпрота в период его активного нагула.

По результатам исследований (Климова и др., 2021; Подрезова и др., 2021) влияния абиотических показателей на биологические особенности запаса шпрота на крымском шельфе было установлено, что постепенное повышение температуры воды привело к изменению фенологии нереста и его результативности. По мнению авторов, начиная с 2016 г. начало нереста шпрота сместились с зимних месяцев на осенние, в результате чего увеличилась общая

численность икры в толще воды, но снизилась выживаемость личинок, а также их средняя длина.

Подытоживая данный раздел следует отметить доказанное негативное воздействие эффекта многолетнего повышения ТПВ на крымско-кавказскую единицу запаса черноморского шпрота. В первую очередь потепление негативно оказывается на размерно-массовых характеристиках регионального запаса и популяции в целом. Негативное воздействие повышения температуры воды на региональный запас шпрота может происходить через «фактор-посредник», не изученный в данной работе. Таким фактором, например, может быть доступность кормовых объектов холодноводного комплекса зоопланктона, биомасса которых уменьшилась в результате повышения температуры воды, что и могло в дальнейшем привести к снижению размерно-массовых характеристик крымско-кавказской единицы запаса шпрота. Во вторую очередь следует отметить, вероятно, наличие механизма реакции регионального запаса и популяции в целом на потепление и переэксплуатацию в определённые периоды, которая выразилась в повышении удельной численности пополнения нерестового запаса и уменьшении размерно-массовых характеристик отдельных особей.

6.2 Влияние некоторых биотических факторов на состояние крымско-кавказской единицы запаса

В ходе изучения динамики крымско-кавказской единицы запаса шпрота была выполнена проверка ряда гипотез, которые выдвигались при обсуждении в предыдущих разделах. В данном разделе представлены результаты изучения изменений в кормовой базе, новых инвазивных хищниках и их влияние на крымско-кавказскую единицу запаса шпрота.

В предыдущих разделах в ходе работы была выдвинута гипотеза о том, что влияние температурного фактора (повышения ТПВ) на региональный запас шпрота (и популяцию в целом) может осуществляться через промежуточный фактор, например – через влияние на кормовую базу. Для повышения формировании уровня общих липидов у шпрота, как уже отмечалось ранее, в его

питании должны в достаточном количестве присутствовать копеподы холодноводного комплекса: *Calanus helgolandicus*, *Pseudocalanus elongatus*.

Для проверки этой гипотезы была выполнена обработка результатов гидробиологических исследований в северо-восточной части Чёрного моря. Использовались материалы обработки проб, собранных в апреле – июне сотрудниками Азово-Черноморского филиала ФГБНУ ВНИРО на 16–32 станциях с горизонтов глубин 25–50 м. Обработка проб и расчёт биомассы копепод выполнены в соответствии с методикой (Методы рыбохозяйственных и природоохранных..., 2005). Визуализация динамики остаточной удельной биомассы копепод холодноводного комплекса представлена на рисунке 6.5.

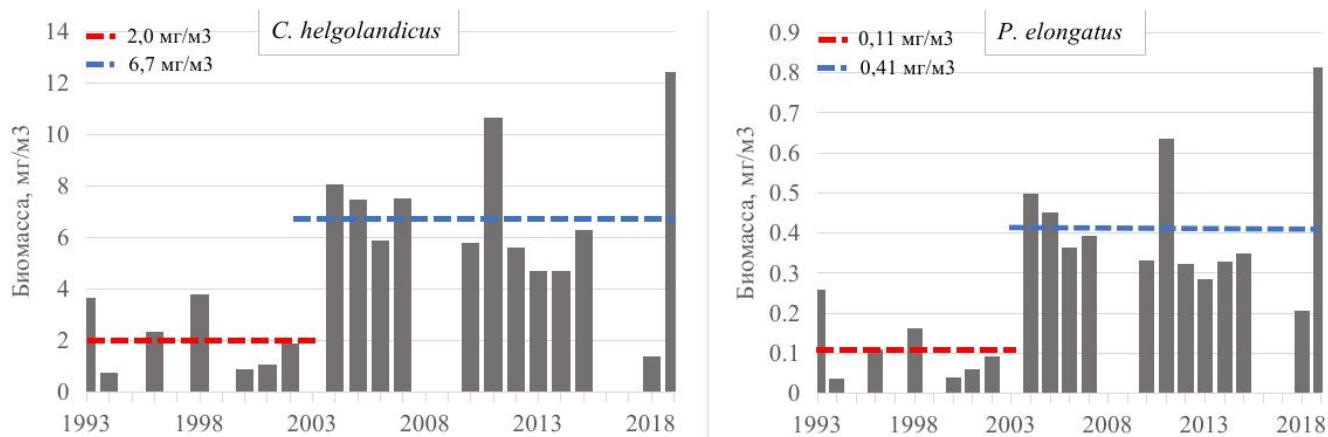


Рисунок 6.5 – Удельная биомасса копепод холдноводного комплекса в период апрель – июнь 1993–2019 гг. в северо-восточной части Чёрного моря на горизонтах 25–50 м. Пунктирные прямые – средние показатели биомассы в эксперто выделенный период состояния среды

Перед выполнением анализа изменений кормовой базы следует отметить ряд специфичных тонкостей, определяющих интерпретацию результатов. Во-первых, следует чётко понимать, что при измерении удельной биомассы в пробе регистрируется показатель остаточной биомассы кормовых объектов. Это означает, что при наблюдении оценивается тот корм, который не был съеден другими обитателями среды. В такой логике интерпретации любое значение остаточного корма, отличное от нуля, будет свидетельствовать о достаточной

обеспеченности кормовыми объектами шпрота и других представителей биоценоза. Второй особенностью является то, как способ получения пробы с определённого горизонта глубин может повлиять на интерпретацию результатов. При учёте биомассы кормовых объектов на определённой глубине не учитывается вертикальная протяжённость толщи водного слоя, в которой могут обитать эти кормовые объекты. Иными словами, в настоящее время отсутствует возможность пересчёта из удельной биомассы в абсолютную с учётом того, как изменяется толщина водного слоя, пригодная для обитания того или иного кормового объекта. Высокая неоднородность вертикального распределения кормовых объектов существенно увеличивает неопределенность выполняемых оценок, что усложняет аналитическое тестирование гипотез.

Визуальный анализ указывает на наличие двух стационарных периодов состояния кормовой базы холодноводных копепод: с низкими показателями остаточного корма в 1993–2003 гг. и с высокими показателями в 2004–2019 гг., рисунок 6.5. Период низких показателей 1993–2003 гг. не полностью согласуется с изменениями биомассы нерестового запаса крымско-кавказской единицы запаса шпрота в этот период, характеризовавшийся как ростом биомассы нерестового запаса, так и её снижением. В этот же период 1993–2003 гг. негативное влияние на кормовую базу оказывал хищный гребневик, влияние которого на холодноводный комплекс было минимальным. В последующий период 2004–2019 гг. по мере стабилизации запасов шпрота на серединном уровне, удельная остаточная биомасса холодноводных копепод находилась на высоком уровне.

Статистическая проверка наличия связи между удельной биомассой остаточного зоопланктона и биомассой нерестового запаса крымско-кавказской единицы запаса шпрота не позволила подтвердить её значимость. При сопоставлении удельной остаточной биомассы *C. hengolandicus* с биомассой нерестового запаса шпрота получена оценка коэффициента корреляции Спирмана $r = -0,405$ (не значимая на $\alpha = 0,05$), а при сопоставлении *P. elongatus* с запасами шпрота $r = -0,42$ (не значимая на $\alpha = 0,05$). Тест Манна-Уитни биомассы запаса шпрота с биномиальным показателем состояния кормовой базы холодноводного

комплекса (1994–2003 гг. – «плохое», 2004–2019 гг. – «хорошее») также не подтверждает наличие различий в формировании биомассы нерестового запаса шпрота в эти периоды (различия не доказаны на уровне значимости $\alpha = 0,05$).

Учитывая особенности сбора и обработки материалов кормового зоопланктона и результаты статистического тестирования гипотез, полученные результаты могут лишь свидетельствовать о том, что кормового зоопланктона холодноводного комплекса было достаточно для обеспечения существования шпрота в рассматриваемый период. К сожалению, в настоящее время имеющиеся данные не позволили доказать гипотезу о влиянии доступности кормового зоопланктона на обеспечение биомассы нерестового запаса крымско-кавказской единицы запаса шпрота. В будущем, для проверки такой гипотезы необходимо осуществлять непрерывный мониторинг с покрытием всего пространства обитания кормовых объектов и выполнить разработку методики определения объёмов продукции зоопланктона вместо расчёта его удельной остаточной биомассы.

Невозможность доказательства наличия связи между кормовым зоопланктоном и параметрами популяции шпрота (жирностью) описывалась и ранее (Шульман и др., 2007). По мнению авторов невозможность доказательства такой связи может быть обусловлена тем, что питание зоопланктоном осуществляют множество других видов гидробионтов, в том числе желетельные.

Другим не менее важным биотическим фактором, который может влиять на состояние крымско-кавказской единицы запаса шпрота, являются хищные виды рыб. Такими хищниками являются мерланг, луфарь, камбала-калкан, пеламида и другие представители ихтиофауны и морских млекопитающих (дельфины). Среди этих видов следует отметить пеламиду – средиземноморского мигранта, который регулярно заходит в воды Чёрного моря для питания в летний период (Фашук, Куманцов, 2017). Массовые заходы в Чёрное море этого хищного мигранта начиная с конца 1950-х гг. могут оказывать влияние на условия обитания мелких пелагических видов рыб – хамсы и шпрота, являющихся кормовыми объектами для пеламиды.

Как показали результаты комплексной работы по изучению эффекта «хищник-жертва» (Daskalov et.al., 2020), черноморский шпрот является основой рациона питания для мерланга (30 % рациона), луфаря (24 % рациона) и дельфинов (до 35 % рациона), а для пеламиды шпрот в рационе питания малозначим (3 %). Но при выяснении степени воздействия хищничества на шпрота надо принимать во внимание то, что в настоящее время в годы массовых заходов пеламиды на нагул в Чёрное море, её уловы (тесно связанные с численностью зашедшего хищника) превосходят уловы всех других черноморских хищных видов рыб вместе взятых. Пеламида уже на первом году жизни достигает половой зрелости и потребляет большое количество пищи. В то же время, пеламида – теплолюбивый пелагический хищник, что едва ли позволяет ей интенсивно питаться шпротом в моменты образования его массовых скоплений под уровнем термоклина.

Учитывая все рассмотренные особенности была выполнена визуализация частоты заходов пеламиды в Чёрное море в период с 1994 по 2022 гг., рисунок 6.6. Заход пеламиды обозначался как массовый в случае, если турецкие уловы её в Чёрном море превышали 15 тыс. т (среднемноголетний показатель).

Визуальная диагностика уловов пеламиды в турецких водах свидетельствует о повышении частоты массовых заходов пеламиды в Чёрное море начиная с 2012 г. В период 1994–2004 гг. отмечались устойчивые серединные уловы пеламиды за весь период исследования, массовые заходы отмечены лишь в 1998–1999 гг., что составило менее 20 % рассматриваемого периода времени. В 2005–2011 гг. также отмечались серединные уловы пеламиды, массовые заходы зафиксированы в 2005–2006 гг., уловы в эти годы достигли 72,5 тыс. т, частота массовых заходов пеламиды не превышала 30 % лет от рассматриваемого периода. Начиная с 2012 г. частота массовых заходов пеламиды увеличилась. Массовые заходы отмечались год через год, массовые заходы пеламиды составили 50 % лет периода 2012–2022 гг.

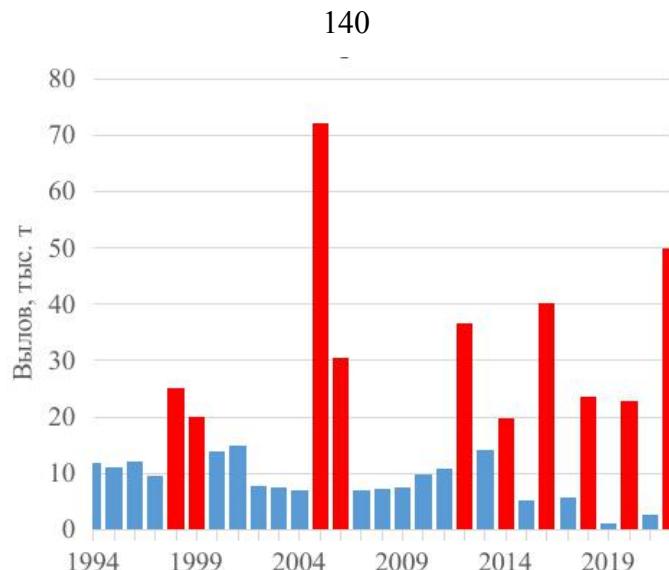


Рисунок 6.6 – Годовые уловы пеламиды турецкими рыбопромышленниками в Чёрном море. Красным цветом отмечены годы массового захода пеламиды, синим цветом – годы, в которые массовый заход пеламиды в Чёрное море не наблюдался

Такая динамика массовых заходов, которые обусловили высокие показатели годовых уловов в Турции, свидетельствует об участившихся случаях массовой миграции пеламиды в летний период в Чёрное море.

Проверка гипотезы о негативном влиянии массовых заходов пеламиды на биомассу нерестового запаса крымско-кавказской единицы запаса шпрота выполнена при помощи непараметрического теста Манна-Уитни и корреляционного теста Спирмана. Критерий Манна-Уитни не позволил подтвердить данную гипотезу ($p\text{-value} = 0,8$, если $p\text{-value} > 0,05$ наличие различий между группами не доказано). Корреляционный тест свидетельствует о наличии незначимой отрицательной связи биомассы запаса шпрота и частоты массовых заходов пеламиды: $r = -0,16$ (незначима на $\alpha = 0,05$).

Полученные результаты проверки гипотезы о наличии связи между биомассой нерестового запаса региональной единицы запаса шпрота и массовыми заходами пеламиды не позволяют подтвердить её правомочность. Такой результат, вероятно, обусловлен малозначимым влиянием пеламиды в настоящее время на региональный запас шпрота.

Проверить ряд иных гипотез о наличии связи между биомассой (или уловами) других хищных видов рыб (луфарь, мерланг) и млекопитающих

(дельфины) не представляется возможным по причине отсутствия данных, пригодных для выполнения аналитических тестов. Во-первых, луфарь и дельфины являются активными пловцами, совершающими продолжительные миграции по всей акватории Чёрного моря, их единицей запаса является вся черноморская популяция каждого из видов. Рассматривать такие запасы обособленно (для крымско-кавказского шельфа) является ненадёжным подходом, а получить и обработать биологические многолетние данные от всех стран Причерноморья не представляется возможным. Во-вторых, при определении величины рекомендованного вылова в России оценка запасов как луфаря, так и мерланга выполняется путём «экспертной оценки» или других методов, надёжность которых является сомнительной. Использовать такие данные для количественных или качественных тестов недопустимо. Аналогичная ситуация с доступностью данных для популяций дельфинов, вылов которых запрещён, а оценки численности их популяций являются спорадическими или экспертными.

Резюмируя данный раздел следует отметить факт того, что на данный момент аналитически доказать наличие связи между кормовыми копеподами холодноводного комплекса и биомассой нерестового запаса крымско-кавказской единицы запаса шпрота, а также хищными видами рыб и шпротом – не представляется возможным. Полученные результаты тестирования гипотез не выглядят убедительными. Это обусловлено недостаточностью имеющихся биологических сведений для выполнения соответствующей оценки. Тем не менее ранее были представлены убедительные сведения о наличии связи между размерно-массовыми характеристиками запаса и уловов шпрота и промыслом, а также температурным фактором.

ГЛАВА 7. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЗАПАСА И ПРОМЫСЛА КРЫМСКО-КАВКАЗСКОЙ ЕДИНИЦЫ ЗАПАСА ШПРОТА

7.1 Прогнозирование численности пополнения нерестового запаса

Прогнозирование ожидаемой численности пополнения регионального запаса шпрота в краткосрочный период 2023–2025 гг. выполнено при помощи ранее построенной функциональной зависимости «запас-пополнение», рисунок 5.11. В терминальном году биомасса нерестового запаса была выше параметра S^* уравнения сегментной регрессии, в результате чего в прогнозный период расчёт ожидаемой численности пополнения составил:

$$R = a \times S^* = 1,405 \times 57,8 = 81,209 \text{ (млрд экз.)}$$

7.2 Прогнозирование на основе сценариев промысловой смертности

В соответствии с методическими рекомендациями по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов (Бабаян, 2000; Бабаян и др., 2018) при подготовке прогноза следует учитывать принципы предосторожного и экосистемного подхода. По результатам рассмотрения ретроспективного состояния региональной крымско-кавказской единицы запаса было установлено:

- биомасса нерестового запаса в 2022 г. находится в буферной зоне, между граничным и предосторожным ориентиром по биомассе ($B_{lim} < B_{2022} < B_{pa}$);
- промысловая смертность крымско-кавказской единицы запаса в 2022 г. находится ниже уровня целевого и граничного ориентира ($F_{2022} < F_{tr} < F_{lim}$).

Для реализации гибкой схемы управления крымско-кавказским запасом предлагается рассмотреть ряд возможных сценариев прогнозирования запаса при различных уровнях возможной промысловой смертности. Такая схема позволит выбрать для реализации наиболее подходящий сценарий, соответствующий требованиям сохранения ресурса, максимально устойчивой его эксплуатации и учесть имеющиеся возможности промысла.

Так как биомасса нерестового запаса в 2022 г. находится между граничным и предосторожным биологическими ориентирами, в соответствии с разработанной стратегией управления (раздел «5.6») при составлении прогноза необходимо реализовать такой сценарий эксплуатации, при котором промысловая смертность будет ниже значения целевого ориентира пропорционально снижению биомассы нерестового запаса относительно ориентиров управления. В соответствии с главой «Материалы и методы», уровень промысловой смертности в период 2023–2025 гг. для соблюдения рациональной эксплуатации запаса не должен превышать значение предосторожного ориентира:

$$F_{pa} = F_{lim} \times \frac{B_{2022} - B_{lim}}{B_{pa} - B_{lim}} = 0,91 \times \frac{66,1 - 51,3}{77,6 - 51,3} = 0,51$$

Дополнительно к сценарию предосторожной эксплуатации, соответствующий разработанной стратегии управления, можно рассмотреть традиционные сценарии эксплуатации на уровне целевого и граничного промыслового ориентира.

Следует отметить, что предосторожный сценарий эксплуатации на уровне $F_{pa} = 0,51$ практически соответствует средней промысловой смертности за 3 последних года: $F_{2020-2022} = 0,53$. Отсутствие значительных различий между текущим уровнем промысловой смертности и предосторожным сценарием F_{pa} позволяет при планировании реализации предосторожного сценария не пересматривать количество промысловых усилий и численности судов на промысле.

Все рассматриваемые гипотетически возможные прогнозные сценарии в зависимости от задаваемого уровня промысловой смертности подытожены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Значения управляющего параметра (промышленая смертность) при разработке прогнозных сценариев для крымско-кавказской единицы запаса шпрота в период 2023–2025 гг.

Сценарий	Уровень F	Название
F_{pa}	0,51	Предосторожный сценарий в соответствии со стратегией управления запасом и промыслом (раздел 5.6)
F_{tr}	0,60	Сценарий эксплуатации на целевом уровне (без учёта стратегии)
F_{lim}	0,91	Сценарий максимального устойчивого улова (без учёта стратегии)

7.3 Прогнозирование сценариев состояния запаса

В соответствии с оценённой структурой популяции в результате построения модели XSA на конец 2022 г., ожидаемой численностью пополнения и прогнозными сценариями был выполнен прогноз биомассы нерестового запаса и величины регионального вылова крымско-кавказской единицы запаса шпрота в 2023–2025 гг., таблица 7.2. Все рассматриваемые сценарии, даже сценарий предосторожной эксплуатации в прогнозный период приведут к снижению биомассы нерестового запаса. Тем не менее, такое снижение запаса не является основанием для отклонения этих сценариев – во всех случаях биомасса нерестового запаса будет больше значения граничного ориентира, $B_{2025} > B_{lim}$.

Таблица 7.2 – Прогнозные значения биомассы нерестового запаса и регионального вылова крымско-кавказской единицы запаса шпрота в период 2023–2025 гг., тыс. т

Год	Сценарии эксплуатации					
	$F_{pa} = 0,51$		$F_{tr} = 0,60$		$F_{lim} = 0,91$	
	запас	вылов	запас	вылов	запас	вылов
2023	69,1	15,0	69,1	17,1	69,1	23,0
2024	68,3	15,4	66,4	16,6	61,3	19,4
2025	67,8	15,1	65,1	16,0	58,9	17,9

Примечание – * серым цветом выделен сценарий, соответствующий разработанной стратегии управления запасом и промыслом (раздел 5.6)

Перед рассмотрением промысловых сценариев следует отметить, что биомасса нерестового запаса на начало 2023 г. несколько возросла относительно этого значения в 2022 г. (69,1 тыс. т относительно 66,1 тыс. т соответственно). Такое увеличение обусловлено снижением величины регионального вылова в 2022 г. по административным причинам, которое повлияло, при выполнении расчётов, на биомассу нерестового запаса последующего 2023 года. Также следует отметить отсутствие отличий в оценках биомассы на 2023 г.: это обусловлено уровнем вылова 2022 г., который для всех сценариев одинаковый, так как уже состоялся. При всех сценариях задаваемая промысловая смертность впервые воздействуют на биомассу с 1 января 2024 г.

При реализации предосторожного сценария, F_{pa} , биомасса нерестового запаса лишь незначительно сократится с уровня 69,1 тыс. т в 2023 г. до уровня 67,8 в 2025 г. Тем не менее, биомасса нерестового запаса в 2025 г. будет выше как граничного, так и предосторожного биологических ориентиров ($B_{lim} < B_{pa} < B_{2025}$) и выше биомассы нерестового запаса терминального года периода исследования ($B_{2022} < B_{2025}$). При таком сценарии уровень промыслового изъятия в 2023–2025 гг. составит 15,0–15,4 тыс. т, что несколько ниже среднетрёхлетнего уровня общего годового вылова $C_{2020–2022} = 16,4$ тыс. т.

Реализация целевого сценария, F_{tr} , также является допустимой, однако не соответствует разработанной стратегии управления. При таком сценарии биомасса нерестового запаса, аналогично сценарию F_{pa} , сократится незначительно: с 69,1 тыс. т в 2023 г. до уровня 65,1 тыс. т в 2025 г. Тем не менее, величины биомассы нерестового запаса все ещё будут выше граничного ориентира в прогнозный период ($B_{lim} < B_{pa} < B_{2025}$), однако в отличие от предосторожного сценария, биомасса нерестового запаса сократится ниже уровня 2022 г. ($B_{2022} > B_{2025}$). При реализации этого сценария объёмы общего годового изъятия в прогнозный период составят от 16,0 до 17,1 тыс. т и будут на уровне среднетрёхлетнего уровня вылова 2020–2022 гг.

Реализация сценария максимального устойчивого улова (границочного), B_{lim} , выглядит сомнительной. При таком сценарии снижение биомассы нерестового запаса в прогнозный период является наиболее значимым: с 69,1 тыс. т в 2023 г. до 58,9 тыс. т в 2025 г. Тем не менее, формально реализация данного сценария не запрещена – биомасса нерестового запаса в 2025 г. все ещё будет выше граничного ориентира ($B_{lim} < B_{pa} < B_{2025}$). При таком сценарии значения годового вылова могут составить от 17,9 до 23,0 тыс. т с трендом на постепенное снижение.

При выборе итогового сценария для реализации следует кратко выделить ранее отмеченные особенности промысла, условий среды обитания, влияющие на крымско-кавказскую единицу запаса шпрота. Ключевым фактором при выборе прогнозного сценария, который может быть реализован, является разработанная стратегия регулирования, текущая численность промысловых судов и возможная продолжительность их промысловых усилий. В 2022 г. количество судов, способных осуществлять траловый промысел шпрота на крымско-кавказском шельфе, значительно сократилось, как и показатели продолжительности промысловых усилий. Вылов в 2022 г. был на уровне 9,9 тыс. т, а показатель производительности промысла – выше предшествующих периодов. При таких условиях не ожидается интенсификация промысла: не ожидается увеличение численности судов и продолжительности промысловых усилий.

Такая депрессивная промысловая обстановка и её прогноз обусловлены рядом факторов, ключевыми среди которых является ухудшение размерно-массовых характеристик шпрота и ухудшение экономической рентабельности осуществления регионального промысла. Ухудшение размерно-массовых характеристик шпрота обусловлено глобальным климатическим процессом, изменений в тренде которого в ближайшие годы не предвидится. Даже в условиях резкого улучшения экономической обстановки и снижения затрат на вылов шпрота, его промысел едва ли станет высоко рентабельным.

В соответствии с разработанной стратегией управления промыслом и рассмотренными промысловыми условиями, наиболее приемлемым является сценарий предосторожной эксплуатации с прогнозным значением промысловой

смертности на уровне $F_{pa} = 0,51$ в период 2023–2025 гг. Показатели регионального годового улова в период 2023–2025 гг. на уровне 15,1–15,4 тыс. т являются достижимыми для текущего количества рыбопромысловых судов, готовых осуществлять промысел в Чёрном море у берегов Крыма и Краснодарского края (9 малотоннажных, 7 среднетоннажных).

Реализация предосторожного сценария позволит минимизировать негативное воздействие на региональный запас черноморского шпрота в водах России – интенсивность его эксплуатации ниже предосторожного уровня в условиях улучшения состояния среды обитания в будущем может привести к росту запасов.

Для исследования возможной реализации предосторожного сценария представлена более детальная характеристика ожидаемой численности и промысловой смертности крымско-кавказской единицы запаса в 2023–2025 гг. по возрастной структуре запаса, таблица 7.3. Расчёт ожидаемой величины промысловой смертности выполнен исходя из среднетрёхлетних показателей промысловой смертности $F_{2020-2022}$ и предопределенного уровня общей промысловой смертности прогнозного сценария F_{pa} .

Таблица 7.3 – Усреднённые показатели возрастной структуры численности, промыслового изъятия и промысловой смертности крымско-кавказской единицы запаса шпрота при реализации предосторожного сценария эксплуатации в 2023–2025 гг.

Возраст, лет	Численность на 1 января, млрд экз.		Улов, млрд экз.	F
	Период (год) прогноза			
	2023	2024–2025	2023–2025	2023–2025
0	81,2	81,2	1,04	0,02
1	20,2	19,7	1,37	0,10
2	9,2	8,4	2,43	0,45
3	2,6	3,3	1,56	0,98
4	0,7	0,6	0,32	0,74
5	0,2	0,3	0,13	0,73

Следует отметить, что численность нерестового запаса на 1 января 2023 г. обусловлена фактическим выловом 2022 г., по причине чего она выделена отдельным столбцом. Рассмотрение численности популяции в 2024–2025 гг. свидетельствует о незначительном сокращении численности особей групп 1–3 лет, соразмерно сокращению биомассы нерестового запаса в этот период. Сокращение численности возрастных групп относительно более благоприятного периода 2020–2022 гг. составит: особей в возрасте 1 года – на 8 %, в возрасте 2 лет – на 15 %, в возрасте 3 лет – на 8 %, однако численность групп особей в возрасте 4–5 лет повысится.

При этом уровень промысловой смертности будет соответствовать среднетрёхлетнему уровню периода 2020–2022 гг. (что обусловлено подходом к прогнозированию и близостью сценария F_{pa} к текущему среднемноголетнему уровню промысловой смертности).

В структуре промыслового изъятия в соответствии с результатами моделирования будут доминировать группы особей в возрасте 2–3 лет. При этом, в соответствии с текущей промысловой динамикой отмечается снижение доли промыслового изъятия особей группы пополнения и группы особей в возрасте 1 года. Промысловая смертность будет превышать граничный уровень только для группы особей в возрасте 3 лет, доля особей в возрасте 4 и старше лет не имеет промыслового значения по причине завершения жизненного цикла.

В пользу реализации сценария предосторожной эксплуатации свидетельствует работы других исследователей (Зуев, 2019; Zuev, Skuratovskaya, 2022). В этих работах отмечено наличие закономерности ухудшения размерно-массовых характеристик региональной крымской единицы запаса в год, последующий за годом, вылов в котором превышал 16 тыс. т. В заключении работы авторы рекомендуют эксплуатировать региональную единицу запаса на уровне не более 15–16 тыс. т ежегодного изъятия.

По итогам рассмотренных особенностей прогнозирования состояния крымско-кавказской единицы запаса при разных сценариях ведения промысла наиболее состоятельным является сценарий предосторожной эксплуатации. При

таком сценарии региональный годовой вылов в 2023–2025 гг. составит 15,0–15,4 тыс. т от биомассы нерестового запаса 67,8–69,1 тыс. т. Основой структуры промыслового изъятия в этот период станут группы особей в возрасте 1–3 лет с доминированием по численности изъятия групп особей в возрасте 2–3 лет. В случае увеличения доли прилова особей группы пополнения от уровня 2021–2022 гг., рекомендация к уровню регионального годового вылова может быть уточнена в большую сторону, но не выше уровня граничного сценария F_{lim} – до 19,4 тыс. т в 2024 г., 17,9 тыс. т в 2025 г.

ВЫВОДЫ

1. Условия ведения промысла шпрота в северной и северо-восточной частях Чёрного моря характеризуются наличием двух различных периодов: 1994–2005, 2006–2022 гг. В первый период происходила интенсификация и повышение производительности промысла, во второй период – снижение интенсивности промысла и повышение его производительности. Изменение условий ведения промысла в 2006–2022 гг. сопровождалось увеличением доли рыб в возрасте 1–2 лет, снижением средней длины и средней массы рыб в уловах. В период 2007–2017 гг. отмечено увеличение доли прилова неполовозрелых особей (в возрасте до 1 года) выше 15 % от всего вылова по численности.

2. Разработана когортная модель XSA для региональной крымско-кавказской единицы запаса шпрота, соответствующая требованиям прогностической надёжности. В результате моделирования выделен период роста крымско-кавказского запаса шпрота в 1994–2000 гг., его сокращение в 2001–2006 гг. и стабилизация на уровне 63,4–95,3 тыс. т в 2007–2022 гг. Показатели промысловой смертности только в 2008–2010 гг. были выше целевого и граничного ориентиров. Рост и снижение биомассы нерестового запаса в большинстве случаев обуславливался за счёт изменения численности особей в возрасте 2 и 3 лет.

3. Выполнена оценка ориентиров управления для крымско-кавказской единицы запаса: по биомассе нерестового запаса – граничный ориентир $B_{lim} = 51,3$ тыс. т, предосторожный ориентир $B_{pa} = 77,6$ тыс. т, по промысловой смертности – целевой ориентир $F_{tr} = 0,60$, граничный ориентир $F_{lim} = 0,91$. За период исследования снижение биомассы запаса ниже граничного уровня не отмечалось. Состояние запаса в 2005–2022 гг. было в буферной зоне. В 2013–2022 гг. показатели промысловой смертности существенно снизились и не превышали граничный ориентир.

4. На основе кластерного анализа выделены периоды различной удельной численности пополнения и квазистабильного состояния условий среды обитания:

1994–1998, 1999–2004 и 2005–2022 гг. В прогнозный период (2024–2025 гг.) пополнение нерестового запаса составит 81,2 млрд экз.

5. Выявлено негативное влияние повышения температуры воды на размерно-массовые характеристики шпрота. Наличие значимых связей между параметрами регионального запаса шпрота, кормовой базой и хищниками достоверно не установлено.

6. В 2024–2025 гг. эксплуатация крымско-кавказской единицы запаса шпрота должна осуществляться на предосторожном уровне. При таком уровне эксплуатации биомасса нерестового запаса составит 67,8–69,1 тыс. т, общий годовой вылов – 15,1–15,4 тыс. т.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

Единица запаса (Бабаян, 2000): популяция или устойчивая во времени пространственно-обособленная её часть, имеющая самостоятельное промысловое значение.

Общечерноморский запас шпрота: совокупность особей (количество или биомасса) всей черноморской популяции шпрота.

Региональный запас шпрота: биологически и промыслово обособленная часть общечерноморского запаса, совокупность особей, обитающих в территориально обособленном ареале.

Крымско-кавказская единица запаса: совокупность особей регионального запаса, осуществляющая нагул в территориальных водах Крымского полуострова и территориальных водах Кавказа (Российские территориальные воды Чёрного моря).

Биомасса нерестового запаса шпрота: совокупная масса особей шпрота в половозрелом возрасте, встречающиеся не единично (в возрасте от 1 до 3 лет включительно).

Пополнение запаса (группа пополнения) шпрота: совокупность особей, впервые достигающие половой зрелости (в возрасте 9–12 месяцев).

Удельная численность пополнения запаса шпрота: относительный показатель, характеризующийся отношением численности пополнения запаса (млрд экз.) к биомассе нерестового запаса, её породившей (тыс. т).

Смертность (промысловая, естественная): темп убыли запаса или его структурных частей в результате гибели особей от разных причин (от естественных причин – естественная смертность, от промысла – промысловая смертность), выраженная в единицах мгновенного коэффициента смертности (1/год) (Бабаян, 2000).

Ориентиры управления: устойчивые биологические (или промысловые) характеристики запаса, используемые в качестве опорных точек для оценки

текущего состояния и планируемых результатов промысла (обобщено по Бабаян, 2000).

Прогнозный сценарий: теоретически возможный сценарий изменения биомассы нерестового запаса в зависимости от заданного уровня управляющих параметров (ожидаемого уровня смертности и численности пополнения нерестового запаса).

Переэксплуатация: осуществление промысла на таком уровне, который привёл к значениям промысловой смертности, значительно превышающим величину целевого и (или) граничного промыслового ориентира.

Предосторожная эксплуатация: осуществление промысла на таком уровне, при котором предотвращается возможность переэксплуатации.

Региональный промысел шпрота: процесс промышленного рыболовства шпрота, осуществляемый преимущественно в территориальных водах в границах каждой из причерноморских стран раздельно.

Производительность промысла: удельный показатель эффективности осуществления промысловых операций, выраженный в количестве (или массе) улова за единицу затраченного времени на осуществление промысловой операции.

ТПВ – температура поверхности воды.

Квазистабильное (стационарное) состояние системы (экосистемы): способность системы сохранять свои основные функции, структуру и свойства под воздействием изменяющихся факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алеев, Ю.Г. О строении отолитов и темпе роста черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) // Доклады Академии наук СССР. – 1953. – Т. XCIII, № 5. – С. 919-922.

Александрова, У.Н. Состояние сырьевой базы в Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне в 2013 г. и её использование промыслом / А.С. Игнатенко, О.А. Перевалов, А.А. Поверенная, С.Ф. Рогов, С.Ю. Леонтьев, М.В. Бондаренко. // Труды ВНИРО. – 2016. – Т. 160. – С. 12–25.

Архипов, А.Г. Динамика численности и особенности распределения ихтиопланктонных сообществ северной части Центрально-Восточной Атлантики и морей Средиземноморского бассейна. – Калининград: АтлантНИРО, 2006. – 232 с.

Архипов, А.Г. Сезонная и межгодовая изменчивость ихтиопланктона в Черном море / О.А. Ровнина // Биол. ресурсы Чёрного моря: Сб. науч. тр. / ВНИРО. – М., 1990. – С. 64-80.

Асланова, Н.Е. Шпрот Чёрного моря // Труды ВНИРО. – 1954. – Т. 28. – С. 75-101.

Бабаян, В.К. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов / А.Е. Бобырев, Т.И. Булгакова, Д.А. Васильев, О.Н. Ильин, Ю.А. Ковалев, А.И. Михайлов, А.А. Михеев, Н.Г. Петухова, И.А. Сафаралиев, А.А. Четыркин, А.Д. Шереметьев. – Москва: ВНИРО, 2018. – 312 с.

Бабаян, В.К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): Анализ и рекомендации по применению. – Москва: ВНИРО, 2000. – 192 с.

Баранов, Ф.И. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства // Известия отдела рыбоводства и научно-промышленных исследований. – 1918. – Т. 1, № 2. – С.84-128.

Бекяшев, К. А. Кодексу ведения ответственного рыболовства ФАО – 20 лет // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 4. – С. 59-64.

Бердников, С.В. Климатические условия и гидрологический режим Азовского моря в XX – начале XXI вв. / Л.В. Дацкевич, В.В Кулыгин // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2019. – Т. 2, № 2. – С. 7-19.

Болтачев, А.Р. Траловый промысел и его влияние на донные биоценозы Чёрного моря // Морской экологический журнал. – 2006. – Т. 5, № 3. – С. 45-56.

Боровская, Р.В. Влияние апвеллингов на производительность тралового промысла шпрота в водах Украины / В.А. Шляхов // Системы контроля окружающей среды: сб. науч. тр. / МГИ НАН Украины. – Севастополь, 2010. – С. 78–83.

Булгакова, Т.И. Экосистемный подход к оценке запасов и регулированию промысла // Вопросы промысловой океанологии. – 2004. – Т. 1. – С. 275-295.

Бурдак, В.Д. Питание черноморского мерланга *Odontogadus merlangus euxinus* (Nordmann) // Тр. Севастопольской биологической станции. – 1960. – Т. 13. – С. 208-215.

Виноградов, М.Е. Выедание зоопланктона гребневиком мнемиопсисом и пелагическими рыбами в Черном море / Э.А. Шушкина, Ю.В. Булгакова, И.И. Серобаба // Океанология. – 1995. – Т. 35, № 4. – С. 596-573.

Воловик, С.П. Состояние запасов и промысел черноморского шпрота в водах Российской Федерации / В.Д. Дацко, Г.И. Луц, В.П. Надолинский // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна : сб. науч. тр. (1996–1997 гг.) / АзНИИРХ. – Ростов-на-Дону, 1998. – С. 153-161.

Глущенко, Т.И. Роль гребневика *Mnemiopsis leidyi* в летнем питании черноморского шпрота // Труды Южного научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – 2012. – Т. 50. – С. 102-105.

Гришин, А.Н. Влияние современных изменений в пелагиали Чёрного моря на состояние рыболовства / В.А. Шляхов // Вопросы ихтиологии. – 2012. – Т. 52, № 6. – С. 672-678.

Данилевский, Н.Я. Описание рыболовства в Черном и Азовском морях / Н.Я. Данилевский. – Санкт-Петербург, 1971. – Т. 8.

Дахно, В.Д. Распределение, состояние запасов и промысел основных видов морских рыб по районам черноморского шельфа России / Г.И. Луц, В.П. Надолинский, С.Ф. Рогов // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна : сб. науч. тр. (2004-2005 гг.) / АзНИИРХ. – Ростов-на-Дону, 2006. – С. 167-176.

Дахно, В.Д. Современное состояние стада черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso), обитающего в территориальном море Российской Федерации / О.А. Перевалов // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна : сб. науч. тр. (2010-2011 гг.) / АзНИИРХ. – Ростов-на-Дону, 2012. – С. 88-101.

Дахно, В.Д. Современное состояние стада черноморского шпрота, обитающего в российской части Чёрного моря // Вопросы рыболовства. – 2013. – Т. 14, №. 4. – С. 644-650.

Дехник, Т.В. Ихтиопланктон Чёрного моря. – Киев: Наук. думка, 1973. – 234 с.

Добровольский, А.Д. Моря СССР / Б.С. Залогин. – Москва: МГУ, 1982. – 192 с.

Домашенко, Г.П. К обоснованию оптимального вылова шпрота в Черном море / Г.С. Юрьев // Труды ВНИРО. – 1978. – Т. CXXVIII. – С. 57-60.

Дудкин, С.И. Состояние водных биологических ресурсов Азово-Черноморского бассейна и проблемы рыболовства в современных условиях / Ю.И. Реков, В.Д. Дахно, Е.М. Саенко // Вопросы рыболовства. – 2013. – Т. 14, № 4. – С. 595-598.

Зуев, Г.В. Внутривидовая неоднородность шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) (Pisces: Clupeidae) / Г.В. Зуев, Е.Б. Мельникова // Морський екологічний журнал. – 2007. – Т. 6, № 4. – С. 31-41.

Зуев, Г.В. Локальный перелов черноморского шпрота (*Sprattus sprattus*: Clupeidae, Pisces) и внутривидовая дифференциация / В.А. Бондарев, Ю.В. Самотой // Морской биологический журнал. – 2018. – Т. 3, № 1. – С. 35-45.

Зуев, Г.В. Многолетняя динамика промысла и возрастной структуры черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso)(Pisces, Clupeidae) в водах Украины (Крымский регион) / В.А. Бондарев, А.В. Завьялов, Ю.В. Самотой // Морской экологический журнал. – 2013. – Т. 12, № 3. – С. 39-47.

Зуев, Г.В. Современное состояние «западно-крымской» популяции черноморского шпрота (*Sprattus sprattus phalericus*)(Pisces: Clupeidae) и проблемы ее сохранения / А.Р. Болтачев, М.В. Чесалин, Д.К. Гуцал, Е.Б. Мельникова // Морской экологический журнал. – 2004. – Т. 3, № 3. – С. 37-44.

Зуев, Г.В. Современное состояние репродуктивного потенциала черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso, 1826) (Pisces: Clupeidae) в Крымском регионе и условия его формирования // Морской биологический журнал. – 2019. – Т. 4, № 4. – С. 3-14.

Зуссер, С.Г. Биология и промысел пеламиды в Черном море // Труды ВНИРО. – 1954. – Т. 28. – С. 160-173.

Игнатьев, С.М. Многолетняя динамика состояния популяции гребневика *Mnemiopsis leidyi* Agassiz в районе Севастополя (Чёрное море) / Г.В. Зуев, Е.Б. Мельникова // Экология моря. – 2001. – Т. 56. – С. 8-12.

Ильин, Ю.П. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Черное море / Л.Н. Репетин, В.Н. Белокопытов, Ю.Н. Горячkin, Н.Н. Дьяков, А.А. Кубряков, С.В. Станичный. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. – 421 с.

Казьмин А.С. Роль изменчивости абиотических параметров среды в чёрном море в динамике гребневиков-вселенцев / Т.А. Шиганова // Российский журнал биологических инвазий. – 2023. – № 4. – С. 64-73.

Канатьев, С.В. Предпосылки, организация и развитие килечного тралового промысла в Среднем Каспии / Т.В. Помогаева, В.А. Калмыков, В.П. Разинков, Ю.А. Парицкий, И.Б. Балченков, А.М. Камакин, С.В. Шипулин // Труды ВНИРО. – 2022. – Т. 190. – С. 22-35.

Кирносова, И.П. Питание и пищевые потребности черноморской колючей акулы / В.П. Лушникова // Биологические ресурсы Чёрного моря : сб. ст. / ВНИРО. – М., 1990. – С. 45-57.

Климова, Т.Н. Влияние некоторых абиотических и биотических факторов на нерест европейского шпрота *Sprattus sprattus* (Linnaeus, 1758) в Черном море в ноябре 2016–2017 гг / И.В. Вдодович, Б.Е. Аннинский, А.А. Субботин, П.С. Подрезова, В.В. Мельников // Океанология. 2021. – Т. 61, № 1. - С. 67-78.

Кодекс ведения ответственного рыболовства / Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций (ФАО). – Рим, 1995. – 65 с.

Козоброд, И.Д. Моделирование запаса черноморско-азовской проходной сельди в условиях низкой информационной обеспеченности (2004–2020 годы) / М.М. Пятинский, И.В. Рыбаков // Рыбное хозяйство. – 2022. – № 1. – С. 55–63.

Кондратьев, С.И. Вертикальное распределение кислорода и сероводорода в Черном море в 2016 г / А.В. Видничук // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2020. – № 3. – С. 91-99.

Котляков В.М. (редактор). Чёрное море. Словарь современных географических названий / Рус. геогр. об-во, Моск. Центр; Институт географии РАН. – Екатеринбург: У-Фактория, 2006.

Кривохижин, С.В. Спектр питания китообразных в Чёрном море / С.В. Кривохижин, А.А. Биркун // Морской экологический журнал. – 2009. – Т. 8, №. 4. – С. 67-78.

Лафер, В.В. Обзор рынка и анализ качества рыбных консервов / И.В. Асфондьярова // Неделя науки СПбПУ. – СПб, 2017. – С. 357-359.

Луц, Г.И. Рыболовство в прибрежной зоне Черного моря / В.Д. Дахно, В.П. Надолинский, С.Ф. Рогов. // Рыбное хозяйство. – 2005. – № 6. – С. 54-56.

Луц, Г.И. Состояние запасов промысловых рыб Черного моря в пределах экономической зоны России / Г.И. Луц, В.Д. Дахно, В.П. Надолинский // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна : сб. науч. тр. (1993-1995 гг.) / АзНИИРХ. – Ростовн/Д., 1997. – С. 174–180.

Майорова, А.А. К методике определения возрастного состава уловов // Тр. Азово-Черноморской научной рыбохозяйственной станции. – 1930. – Вып. 6. – С. 45-63.

Маклакова, И.П. Питание катрана и скатов – морской лисы Чёрного моря // Экономическая эффективность научно-технического прогресса в рыбной отрасли СССР. – Вып. 1. – 1976. – С. 139-140.

Мельникова, О.Б. Внутрішньовидова диференціація чорноморського шпроту *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) (Pisces: Clupeidae) та оцінка його стану в сучасних умовах: автореф. дис. ... канд. біол. наук. – Київ, 2009. – 20 с.

Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне / под ред. С.П. Воловика, И.Г. Корпаковой. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2005. – 351 с.

Мухамедова, Р.М. Физиолого-биохимические показатели мышц каспийских килек, выловленных в Северном и среднем Каспии в 2013 г / В.П. Аксенов, Н.Н. Базелюк. // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. – 2015. – №. 1 (25). – С. 3-7.

Надолинский, В.П. Камбалы Азово-Черноморского бассейна (Bothidae, Scophthalmidae, Pleuronectidae, Soleidae) / В.А. Шляхов, У.Н. Александрова // Вопросы рыболовства. – 2018. – Т. 19, № 4. – С. 424-444.

Никольский, В.Н. Состояние обеспеченности пищей черноморского шпрота в современный период / Г.Е. Шульман, А.М. Щепкина, Т.В. Юнева // Сучасні проблеми теоретичної і практичної іхтіології. Тези IV Міжнародної іхтіологічної науково-практичної конференції. – 2011. – С. 176-178.

Павлуненко, Л.Е. Реализация программы развития рыбного хозяйства Крыма / В.А. Дымченко // Развитие Крыма: проблемы и перспективы. – 2016. – С. 39-44.

Подрезова, П.С. Сдвиги в фенологии нереста массовых короткоциклических видов черного моря (*Sprattus sprattus* и *Engraulis encrasicolus*) на фоне климатических изменений / Т.Н. Климова, И.В. Вдович // Морские исследования

и образования (MARESEDU-2021): Труды X международной научно-практической конференции. – Т. 2 (3). – Тверь, 2021. – С. 293-296.

Полонский, А.Б. Десятилетняя изменчивость температуры и солёности в Чёрном море / И.Г. Шокурова, В.Н. Белокопытов // Морской гидрофизический журнал. – 2013. – № 6. – С. 27-41.

Полонский, А.Б. Долгопериодная изменчивость растворенного кислорода и температуры верхнего слоя вод Чёрного моря / А.А. Котолупова // Океанология. – 2019. – Т. 59, № 1. – С. 22-32.

Правдин, И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). – Москва: Пищевая промышленность, 1966. – 376 с.

Промысловое описание Чёрного моря / Азово-Черноморский институт морского рыбного хозяйства и океанографии; коллектив авторов. – 1988. – 139 с.

Пятинский, М.М. Динамика запасов шпрота в Чёрном море и перспективы его освоения / В.А. Шляхов, О.В. Шляхова // Вопросы рыболовства. – 2020. – Т. 21, № 4. – С. 396-410.

Пятинский, М.М. Индикаторный экосистемный подход для повышения надежности прогнозирования продуктивности запаса на примере черноморского шпрота / В.А. Шляхов, Д.Ф. Афанасьев // Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов: тезисы междунар. науч.-практ. конф. (Москва, ФГБНУ "ВНИРО", 20-24 ноября 2023 г.). – Москва: Изд-во ВНИРО, 2023. – С. 117–119.

Пятинский, М.М. Картирование промысла / М.М. Пятинский, Ф.Ф. Строкун // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – № RU 2021617018. – Дата регистрации: 05.05.2021.

Пятинский, М.М. Обновлённые результаты моделирования состояния запаса и промысла крымско-кавказской единицы запаса черноморского шпрота в период 2001–2021 гг / В.А. Шляхов, Д.Ф. Афанасьев // Морские исследования и образование: Maresedu – 2022: труды XI Международной научно-практической конференции. – Тверь, 2022. – С. 393-397

Пятинский, М.М. Предварительные результаты интегрированного экосистемного анализа пелагической экосистемы Чёрного моря в водах России / В.А. Шляхов // Научный альманах. – 2021. – № 1-2. – С. 112-115.

Пятинский, М.М. Программа обоснования ОДУ/РВ – SimpleXSA: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021614246 / М.М. Пятинский, В.А. Шляхов. – Дата регистрации: 22.03.2021.

Пятинский, М.М. Система мониторинга промысла водных биоресурсов «Биостатистика»: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018611613 / Л.В. Крискевич, С.С. Смирнов – Заявка № 2017662548 от 04.12.2017. – Дата регистрации: 02.02.2018.

Снигирев, С.М. Питание пелагических видов рыб прибрежных вод о. Змеиный (Чёрное море) // Вісник Одеського національного університету. Біологія. – 2015. – Т. 20, №. 2 (37). – С. 73-80.

Состояние биологических ресурсов Чёрного и Азовского морей (Справочное пособие) – Керчь: Изд-во ЮГНИРО, 1995. – 64 с.

Станичная, Р.Р. Алвеллинги Чёрного моря / С.В. Станичный // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18, №. 4. – С. 195-207.

Тихонов, В.Н. О работе черноморской научно-промышленной экспедиции // Тр. АзЧерНИРО. – 1950. – Т. 14. – С. 3-12.

Фащук, Д.Я. Рыбный промысел советской России и СССР в Черном море в первой половине XX века / М.И. Куманцов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2017. – № 1. – С. 147-160.

Харченко, В.В. Сероводород Чёрного моря / А.А. Долгий // Розробка родовищ. – 2014. – С. 321-325.

Чащин, А.К. Основные результаты исследований пелагических ресурсов Азово-Черноморского бассейна // Труды ЮГНИРО. – 1997. – Т. 43. – С. 60-67.

Чаянова, Л.А. Питание черноморского шпрота // Труды ВНИРО. – Т. 36. – 1958. – С. 106-127.

Шибаев, С.В. Промысловая ихтиология. – Калининград: Аксиос, 2014. – 535 с.

Шибаев, С.В. Формальная теория жизни рыб Ф.И. Баранова и её значение в развитии рыбохозяйственной науки // Труды ВНИРО. – 2015. – Т. 157. – С. 127-142.

Шляхов В. А., Архипов А.Г., составители. Состояние запасов и научное обоснование к прогнозу возможного вылова основных промысловых рыб, беспозвоночных и водорослей Черного моря на 1994 г.: отчет о НИР. Тема 1.4.2, № ГР УАО1001166Р. / Под ред. Серобаба И.И. – Керчь: ЮгНИРО, 1992. – 86 с.

Шляхов, В. А. Методы оценки запасов морских биоресурсов, используемые в Азово-Черноморском рыболовственном бассейне в 2014–2017 гг. и особенности их применения для оценки рекомендованных объемов вылова / О.В. Шляхова, М.М. Пятинский // Вестник КГМТУ. – 2018. – № 1. С. 12-27.

Шляхов, В.А. Влияние зон подъема вод на производство тралового промысла шпрота в прибрежных водах крыма в период 2011-2015 гг. / Р.В. Боровская // Системы контроля окружающей среды. – 2015. – № 1. – С. 108-112.

Шляхов, В.А. Динамика структуры траловых уловов шпрота на украинском шельфе Чёрного моря и воздействие на нее природных факторов и рыболовства / О.В. Шляхова // Труды ЮгНИРО. – 2011. – Т. 49. – С. 12-33.

Шляхов, В.А. Динамика структуры траловых уловов шпрота на Украинском шельфе Чёрного моря и воздействие на нее природных факторов и рыболовства / О.В. Шляхова // Труды ЮгНИРО. – 2011. – Т. 49. – С. 12-33.

Шляхов, В.А. Методы оценки запасов водных биоресурсов, используемые в Азово-Черноморском рыболовственном бассейне в 2019 г., и краткие результаты их применения / О.В. Шляхова, М.М. Пятинский, В.П. Надолинский, Г.И. Карнаухов, А.В. Каширин // Вестник КГМТУ. – 2019. – № 4. – С. 43-76.

Шляхов, В.А. О пищевых потребностях и внутривидовом хищничестве черноморского мерланга // Океанографические и рыболовственные исследования Чёрного моря: сб. науч. тр. / ВНИРО. – М., 1985. – С. 71-81.

Шляхов, В.А. О состоянии запасов основных промысловых рыб Азовского и Чёрного морей в 2000 году и перспективах их промысла в 2002 году / А.К. Чащин // Труды ЮгНИРО. – 2004. – Т. 45. – С. 11-20.

Шляхов, В.А. Оценка состояния запасов морских видов рыб Чёрного моря (воды России) в 2021 г. / М.М. Пятинский // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2023. – Т. 6, № 3. – С. 96-113.

Шляхов, В.А. Оценка состояния запасов хамсы и шпрота в российских водах Черного моря в 2022-2023 гг. / С.А. Негода, М.М. Пятинский, О.В. Шляхова // Труды АзНИИРХ. – 2023. – Т. 4. – С. 9-27.

Шляхов, В.А. Промыслово-биологические показатели украинского рыболовства в Черном море в 2002-2011 годах / А.Н. Михайлук, И.В. Бондаренко, О.В. Евченко, О.В. Ершова, В.В. Коркош, В.Л. Мерзликин, А.К. Чащин, О.В. Шляхова // Труды ЮгНИРО. – 2012. – Т. 50. – С. 12-29.

Шляхов, В.А. Состояние планктонного сообщества и промысла пелагических рыб в Черном море после вселения гребневиков *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* / А.Н. Гришин // Рыбное хозяйство Украины. – 2009. – № 5. – С. 53-61.

Шульман, Г.Е. Воздействие глобальных климатических и региональных факторов на мелких пелагических рыб Чёрного моря / В.Н. Никольский, Т.В. Юнева, А.М. Щепкина, Л. Бат, А.Е. Кидейш // Морской экологический журнал. – 2007. – Т. 6, № 4. – С. 18-30.

Шульман, Г.Е. Продуктивность рыб Чёрного моря / С.Ю. Урденко. – Киев: Наукова думка, 1989. – 188 с.

Юнева, Т.В. Влияние качественного состава пищи на содержание липидов и незаменимых жирных кислот в теле черноморского шпрота *Sprattus sprattus phaleratus* (Clupeidae) / С.А. Забелинский, Н.А. Дацык, А.М. Щепкина, В.Н. Никольский, Г.Е. Шульман // Вопросы ихтиологии. – 2016. – Т. 56, № 3. – С. 304-313.

Юрьев, Г.С. Биология, оценка запасов и перспективы промысла черноморского шпрота *Sprattus sprattus phaleratus* (Risso) : автореф. дис... канд. биол. наук. – Севастополь: ИНБЮМ, 1978. – 24 с.

Юрьев, Г.С. О пищевых рационах и использовании кормовой базы популяций черноморского шпрота // Энергетические аспекты роста и обмена водных животных. – Киев: Наукова думка, 1972. – С. 264-265.

Юрьев, Г.С. Черноморский шпрот // Сыревые ресурсы Чёрного моря. – Москва: Пищевая промышленность, 1979. – С. 73-91.

Balik, İ. Comparatively Evaluation of the Sprat (*Sprattus sprattus*) Fisheries in the Whole of the Black Sea and in the Turkish Coast of the Black Sea // Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences. – 2018. – Vol. 4, issue 1. – P. 52-62.

Barrowman, N.J. Still more spawnerrecruitment curves: the hockey stick and its generalizations / R.A. Myers // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2000. – Vol. 57. – P. 665-676.

Becker, R. The new S language. – CRC Press, 1988. – 720 p.

Cardinale M. (ed.) Stock assessment in the Black Sea / Druon J.– N., Mannini A. (eds.); Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF). – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017. – 496 p. (STECF-17-14).

Charnov, E.L. Evolutionary assembly rules for fish life histories / H. Gislason, J.G. Pope // Fish and Fisheries. – 2013. – Vol. 14, issue 2. – P. 213-224.

Cheng, L. Another Record: Ocean Warming Continues through 2021 despite La Niña Conditions / Abraham, K.E. Trenberth, J. Fasullo, T. Boyer, M. Mann, J. Reagan // Advances in Atmospheric Sciences. – 2022. – Vol. 39. – P. 1-13.

Darby, C.D. Virtual Population Analysis: Version 3.1 (Windows/DOS). User guide / S. Flatman. – 1994. – 85 p. (MAFF Information Technology Series. Directorate of Fisheries Research).

Daskalov G., Ratz H.-J. (eds). Review of scientific Advice for 2011. Part 3b. Advice of Stocks of Interest to the European Community in the Black Sea / Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF). – Luxembourg, 2010. – 167 p.

Daskalov, G. Using abundance indices and fishing effort data to tune catch-at-age analyses of sprat *Sprattus sprattus*, whiting *Merlangius merlangus* and spiny dogfish

Squalus acanthias in the Black Sea // Cahiers Options Méditerranéennes. – 1998. – Vol. 35. – P. 215-228.

Daskalov, G.M. Stock dynamics and predator-prey effects of Atlantic bonito and bluefish as top predators in the Black Sea / N. Demirel, A. Ulman, Yo. Georgieva, M. Zengin // ICES Journal of Marine Science. – 2020. – Vol. 77, issue 7-8. – P. 2995-3005.

Daskalov, G.M. The Black Seas fisheries and ecosystem change: discriminating between natural variability and human-related effects. Proceedings of the Fourth World Fisheries Congress: Reconciling Fisheries with Conservation / K. Prodanov, M. Zengin // American Fisheries Society Symposium. – 2008. – Vol. 48. – P. 1645-1664.

Deroba, J.J. Simulation testing the robustness of stock assessment models to error: some results from the ICES strategic initiative on stock assessment methods / D.S. Butterworth, R.D. Methot, J.A. De Oliveira, C. Fernandez, A. Nielsen, P.J. Hulson // ICES J. Marine Science. – 2015. – Vol. 72, issue 1. – P. 19-30.

Diaz, R.J. Overview of hypoxia around the world // Journal of environmental quality. – 2001. – Vol. 30, issue 2. – P. 275-281.

FAO Yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2019. – Rome, 2021. – 82 p.

Fisher, R.A. Statistical Methods for Research Workers. Oliver and Boyd (Edinburgh), 1925 // Cited by chapter in «Breakthroughs in Statistics. Methodology and Distribution», 1992. – 586 p.

Genç, Y. Feeding habits during migration of the Atlantic bonito *Sarda sarda* (Bloch, 1793) to the Black Sea / N.S. Başçınar, M. Dağtekin // Marine Biology Research. – 2019. – Vol. 15, issue 2. – P. 125-136.

Grinevetsky, S.R. The Black Sea Encyclopedia / I.S. Zoon, S.S. Zhiltsov, A.N. Kosarev, A.G. Kostianoy. – Springer Berlin Heidelberg, 2015. – 889 p.

Gucu, A.C. Can overfishing be responsible for the successful establishment of *Mnemiopsis leidyi* in the Black Sea? // Estuarine, Coastal and Shelf Science. – 2002. – Vol. 54, issue 3. – P. 439-451.

Gulland, J.A. Manual of Methods for fish stock assessment. Part 1. Fish population analysis. – FAO Man.Fish. Sci., 1969. – 154 p.

Gulland, J.A. Scientific advice on catch levels / L.K. Boerema // NOAA Fishery Bulletin. – 1973. – Vol. 71, issue 2. – P. 325-335.

Hillary, R. An introduction to FLR fisheries simulation tools // Aquatic Living Resources. – 2009. – Vol. 22, issue 2. – P. 225-232.

Horbowy, J. Comparison of stock management with production, difference, and age-structured models using operating models // Fisheries Research. – 2011. – Vol. 108, issue 1. – P. 153-162.

Hulak, B. The current state of the turbot, *Scophthalmus maximus* (Linnaeus, 1758), population in the northwestern part of the Black Sea / Ye. Leonchyk, V. Maximov, G. Tiganov, V. Shlyakhov, M. Pyatnitsky // Fisheries & Aquatic Life. – 2021. – Vol. 29, issue 3. – P. 164-175.

Huss, M. Experimental evidence of gradual size-dependent shifts in body size and growth of fish in response to warming / M. Lindmark, P. Jacobson, R-M. van Dorst, A. Gårdmark // Global Change Biology. – 2019. – Vol. 25, issue 7. – P. 2285–2295.

ICES fisheries management reference points for category 1 and 2 stocks: ICES Advice Technical Guidelines. – ICES Advice 2017. – 2017. – 19 p.

Ivanov, L.M. Wind induced oscillator dynamics in the Black Sea revealed by Lagrangian drifters / O.V. Melnichenko, C.A. Collins, V.N. Eremeev, S.V. Motyzhev // Geophysical research letters. – 2007. – Vol. 34, issue 13. – P. 1-6.

Kasapoğlu, N. Age, growth, and mortality of exploited stocks: anchovy, sprat, Mediterranean horse mackerel, whiting, and red mullet in the southeastern Black Sea // Aquatic Sciences and Engineering. – 2018. – Vol. 33, issue 2. – P. 39-49.

Kaya, E. Spatial data analysis with R programming for environment / M. Agca, F. Adiguzel, M. Cetin // Human and ecological risk assessment: An International Journal. – 2019. – Vol. 25, issue 6. – P. 1521-1530.

Kell, L.T. FLR: an open-source framework for the evaluation and development of management strategies / I. Mosqueira, P. Grosjean, J.M. Fromentin, D. Garcia, R. Hillary, R.D. Scott // ICES Journal of Marine Science. – 2007. – Vol. 64, issue 4. – P. 640-646.

Le Traon, P.Y. From observation to information and users: the Copernicus Marine Service perspective / A. Reppucci, A.E. Fanjul, L. Aouf, A. Behrens, M. Belmonte, A. Bentamy, L. Bertino, V.E. Brando, M.B. Kreiner, M. Benkiran et.al. // Frontiers in Marine Science. – 2019. – Vol. 6. – Article number 234. – 22 pp.

Levin, P.S. Integrated ecosystem assessments: developing the scientific basis for ecosystem-based management of the ocean / M.J. Fogarty, S.A. Murawski, D. Fluharty // PLoS biology. – 2009. – Vol. 7, issue 1. – Article number e1000014.

Levitus, S. Warming of the world ocean, 1955–2003 / J. Antonov, T. Boyer // Geophysical research letters. – 2005. – Vol. 32, issue 2. – P. 1-4.

Mann, H.B. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other / D.R. Whitney // Annals of Mathematical Statistics. – 1947. – Vol. 18. – P. 50-60.

Mesnil, B. A continuous hockey stick stock-recruit model for estimating MSY reference points / M.J. Rochet // ICES Journal of Marine Science. – 2010. – Vol. 67, issue 8. – P. 1780-1784.

Mohn, R. The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data // ICES Journal of Marine Science. – 1999. – Vol. 56, issue 4. – P. 473-488.

Möllmann, C. Implementing ecosystem-based fisheries management: from single-species to integrated ecosystem assessment and advice for Baltic Sea fish stocks / M. Lindegren, T. Blenckner, L. Bergström, M. Casini, R. Diekmann, A. Gårdmark // ICES Journal of Marine Science. – 2014. – Vol. 71, issue 5. – P. 1187-1197.

Nykjaer, L. Mediterranean Sea surface warming 1985–2006 // Climate research. – 2009. – Vol. 39, issue 1. – P. 11-17.

Ogle, D.H. Introductory fisheries analyses with R. – CRC press, 2018. – 304 p.

Oguz, T. Climatic regulation of the Black Sea hydro-meteorological and ecological properties at interannual-to-decadal time scales / J.W. Dippner, Z. Kaymaz // Journal of Marine Systems. – 2006. – Vol. 60, issue 3-4. – P. 235-254.

Özsandıkçı, U. Estimation of Exploitable Sprat (*Sprattus sprattus*, Linnaeus, 1758) Biomass along Black Sea Coasts of Turkey (Samsun Region) / U. Özsandıkçı // Journal of New Results in Science. – 2020. – Vol. 9, issue 3. – P. 1-8.

Pastor, F. A warming Mediterranean: 38 years of increasing sea surface temperature / J.A. Valiente, S. Khodayar // Remote sensing. – 2020. – Vol. 12, issue 17. – P. 1-16. –<https://doi.org/10.3390/rs12172687>.

Patterson, K.R. Integrated Catch at Age analysis Version 1.2 / K.R. Patterson, G.D. Melvin. // Scottish Fisheries Research Report – 1996. – Issue 58. – P. 58-60.

Pearson, K. Early Statistical Papers / Cambridge, England: University Press. – 1948. – 557 p.

Pebesma E. S classes and methods for spatial data: the sp package / R.S. Bivand // R news. – 2005. – Vol. 5, issue 2. – P. 9-13.

Piatinskii, M.M. Long-term warming effect to sprat stock quality characteristics in Crimea-Caucasian shelf of the Black Sea / D.O. Krivoguz, V.A. Shlyakhov, R.V. Borovskaya // Fisheries. – 2022. – Issue 2. – P. 46-53.

Polonsky, A. Variability of northwestern Black sea hydrography and river discharges as part of global ocean-atmosphere fluctuations / E. Voskresenskaya, V. Belokopytov // Sensitivity to Change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea. – 1997. – Vol. 27. – P. 11-24.

Polonsky, A.B. Oceans, global warming hiatus and regional climate variability (Global and regional climate change, atmospheric and marine variability in the Black Sea region). – Lambert Academic Publishing, 2015. – 187 p.

Pope J.G. A possible alternative method to virtual population analysis for the calculation of fishing mortality from catch at age data // ICNAF Res. – 1974. – Doc. 74/20. – 16 p.

Poulos S. Physio-geographical characteristics of the marine regions and their catchment areas of the Mediterranean Sea and Black Sea marine system / V. Kotinas // Physical Geography. – 2021. – Vol. 42, issue 4. – P. 297-333.

Poulos, S.E. The Mediterranean and Black Sea marine system: An overview of its physico-geographic and oceanographic characteristics // Earth Sci. – 2020. – Vol. 200. – Article number 103004.

Prodanov, K. Environmental management of fish resources in the Black Sea and their rational exploitation. Studies and Reviews. / K. Mikhailov, G.M. Daskalov, K. Maxim, A. Chashchin, A. Arkhipov, V. Shlyakhov, E. Ozdamar. – Rome: FAO, 1997. – 178 p.

Ricker, W.E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations // Fish. Res. Board Can. Bull. – 1975. – Vol. 191. – 382 p.

Şahin, C. Purse seine fishery discards on the Black Sea coasts of Turkey / Y. Ceylan, F. Kalaycı // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2015. – Vol. 15, issue 1. – P. 81-91.

Serchuk, F.M. A conceptual framework for the implementation of the precautionary approach to fisheries management within the Northwest Atlantic Fisheries Organization (NAFO) / D. Rivard, J. Casey, R.K. Mayo // NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO. – 1999. – Vol. 40. – P. 103-119.

Shapiro, G.I. Black Sea circulation // Encyclopedia of Ocean sciences: Ocean currents (ed. Thorpe S.A.). – 2009. – P. 318-331.

Shapiro, S.S. An analysis of variance test for normality (complete samples) / M. B. Wilk // Biometrika. – 1965. – Vol. 52, issue 3/4. – P. 591-611.

Shepherd, J.G. Extended survivors analysis: An improved method for the analysis of catch-at-age data and abundance indices // ICES Journal of Marine Science. – 1999. – Vol. 56, issue 5. – P. 584-591.

Shiganova, T.A. Effects of gelatinous plankton on Black Sea and Sea of Azov fish and their food resources / Y.V. Bulgakova // ICES Journal of Marine Science. – 2000. – Vol. 57, issue 3. – P. 641-648.

Shiganova, T.A. Invaders ctenophores *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) and *Beroe ovata* Mayer 1912, and their influence on the pelagic ecosystem of Northeastern Black Sea / E.I. Musaeva, Yu.V. Bulgakova, Z.A. Mirzoyan, M.L. Martynyuk // Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences. – 2003. – Vol. 30, issue 2. – P. 180-190.

Shiganova, T.A. Modelling assessment of interactions in the Black Sea of the invasive ctenophores *Mnemiopsis leidyi* and *Beroe ovata* / E. Alekseenko, L. Moskalenko, P. Nival // Ecological Modelling. – 2018. – Vol. 376. – P. 1-14.

Spearman, C. The proof and measurement of association between two things // International Journal of Epidemiology. – 2010. – Vol. 39. – P. 1137–50. – (Reprinted with permission: American Journal of Psychology. – 1904. – Vol. 15. – P. 72-101).

State of Mediterranean and Black Sea Fisheries / FAO; GFCM. – Rome, 2022. – 188 p.

Tanaka, K.R. The recent normalization of historical marine heat extremes / K.S. Van Houtan // PLOS Climate. – 2022. – Vol. 1, issue 2. – Article number e0000007.

The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation / FAO. – Rome, 2022. – 236 p.

Tonay, A.M. Stomach contents of harbour porpoises(*Phocoena phocoena*) from the Turkish Western Black Sea in spring and early summer / A. Dede, A.A. Ozturk, B. Ozturk // CIESM Congress Proceedings. – 2007. – Vol. 38. – P. 616–616.

Totoiu, A. Dynamics of the Romanian sprat (*Sprattus sprattus*, Linnaeus 1758) fishery between evolution of the fishing effort and the state of the environmental conditions / M. Galatchi, G. Radu // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2016. – Vol. 16, issue 2. – P. 371-384.

Ulman, A. A reconstruction of the Ukraine's marine fisheries catches, 1950-2010 / V. Shlyakhov, S. Jatsenko, D. Pauly // Journal of Black Sea/Mediterranean Environment. – 2015. – Vol. 21, issue 2. – P. 103-124.

Venables, W.N. Statistics complements to modern applied statistics with S. Fourth edition / B.D. Ripley. – 2002. – 495 p.

Weatherall, P. A new digital bathymetric model of the world's oceans / K.M. Marks, M. Jakobsson, T. Schmitt, S. Tani, J.E. Arndt, R. Wigley // Earth and space Science. – 2015. – Vol. 2, issue 8. – P. 331-345.

Wilcoxon, F. Individual Comparisons by Ranking Methods // Biometrics Bulletin 1. – 1945. – P. 80-83.

Xie, S.P. Global warming pattern formation: Sea surface temperature and rainfall / C. Deser, G.A. Vecchi, J. Ma, H. Teng, A.T. Wittenberg // Journal of Climate. – 2010. – Vol. 23, issue 4. – P. 966-986.

Zengin, M. Sprat fisheries in samsun shelf region of the Turkish Black Sea Coast / A. Gümüs // Turkish Fisheries in the Black Sea. – 2014. – Vol. 40. – P. 264-292.

Zuev, G. Long-term dynamics of reproductive potential and fishing of European sprat *Sprattus sprattus* (Linnaeus, 1758) (Pisces: Clupeidae) in the Black Sea / E. Skuratovskaya // Thalassas. – 2022. – Vol. 38, issue 2. – P. 761-771.