



Водные биологические ресурсы

Новый подход к оценке и прогнозированию величины запаса шпрота в Балтийском море в современных условиях

В.М. Амосова, А.С. Зезера

Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), ул. Дм. Донского, д. 5, г. Калининград, 236022

E-mail: amosova@atlant.vniro.ru

SPIN-коды: Амосова В.М. – 1544-8547; Зезера А.С. – 5131-5144

Цель работы: анализ информационного и программного обеспечения прогнозирования величины запаса шпрота (кильки) *Sprattus sprattus balticus* 22–32 подрайонов ИКЕС Балтийского моря в условиях приостановки деятельности России в Международном совете по исследованию моря (ИКЕС).

Используемые методы: данные оценок численности и биомассы шпрота гидроакустическими методами, промысловые и биостатистические характеристики вида использованы для оценки запаса и прогнозирования его вылова в Балтийском море. Оценка запаса шпрота выполнялась традиционным методом виртуально-популяционного анализа (ВПА) с настройкой по методу расширенного анализа выживания (ХСА) при помощи апробированного на международном уровне в рамках ИКЕС программного обеспечения модуля ВПА и программной среды R. Для анализа регрессии индексов численности 0-группы шпрота на численность пополнения (возраст 1 год) по ХСА и прогноза использовалась программа калибровки пополнения RCT3 (Recruitment calibration). Многовариантный краткосрочный прогноз проводился при разных уровнях освоения общего допустимого улова (ОДУ) по программе MFDP (Multi Fleet Deterministic Projection). В качестве альтернативного варианта апробирован отечественный программный комплекс «КАФКА».

Новизна: впервые проведены оценки запаса шпрота в условиях ограниченности доступа российских специалистов к первичным данным в ИКЕС в полном объеме.

Результат: современное методическое и информационное обеспечение научных исследований в Балтийском море в условиях приостановки деятельности российских экспертов в ИКЕС позволяет получить информацию в минимально необходимом количестве для оценки запаса шпрота и прогнозирования его вылова. Моделирование программным комплексом «КАФКА» показало удовлетворительные результаты.

Практическая значимость: текущий уровень информационного обеспечения прогнозирования состояния запаса и вылова шпрота в Балтийском море позволит в современных условиях решать комплекс задач управления этим ресурсом.

Ключевые слова: Балтийское море, шпрот (килька), методика, исследования, прогнозирование.

A new approach to assessing and forecasting the stock of sprat in the Baltic Sea in modern conditions

Victoria M. Amosova, Alexander S. Zezera

Atlantic Branch of «VNIRO» («AtlantNIRO»), 5, Dm. Donskoy st., Kaliningrad, 236022, Russia

The aim of this article: analysis of information and software for forecasting of the Baltic Sea sprat stock *Sprattus sprattus balticus* at 22–32 ICES subdivisions in the context of the suspension of Russia's activities in the International Council for the Exploration of the Sea (ICES).

Methods used: The data of estimates of sprat abundance and biomass by hydroacoustic methods, commercial and biostatistical characteristics of the species were used to assess the stock and predict its catch in the Baltic Sea. Estimation of the sprat stock was carried out using the traditional method of virtual population analysis (VPA) adjusted according to the method of extended survival analysis (XSA) using the internationally approved VPA module software within the framework of ICES and the R software environment. The recruitment calibration program RCT3 (Recruitment calibration) was used for the abundance of recruitment (age 1 year) according to XSA and forecast. A multivariate short-term forecast was carried out at different levels of development of the total allowable catch (TAC) under the MFDP program (Multi Fleet Deterministic Projection). As an alternative, the domestic software «KAFKA» was tested.

Novelty: for the first time, estimates of the sprat stock were made in the conditions of limited access of Russian specialists to primary data in ICES in full.

Result: modern methodological and informational support of scientific research in the Baltic Sea in the conditions of the suspension of the activities of Russian experts in ICES makes it possible to obtain information

in the minimum necessary amount for assessing the stock of sprat and predicting its catch. Modeling with the «KAFKA» software showed satisfactory results.

Practical significance: The current level of information support for forecasting the state of the stock and catch of sprat in the Baltic Sea will allow solving a complex of problems of managing this resource in modern conditions.

Keywords: Baltic Sea, sprat, methodology, research, forecasting.

ВВЕДЕНИЕ

Морские ресурсы Балтики являются залогом продовольственной безопасности Калининградской области, а отрасль служит важным социально-экономическим фактором развития Калининградской области, г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Шпрот (килька) (*Sprattus sprattus balticus* Schneider, 1908) в Балтийском море занимает первое место по объёму добычи (около 60% от общего вылова всех промысловых видов рыб). Ежегодный вылов шпрота всеми странами региона за последнее десятилетие колебался от 235 до 345 тыс. т, составив в среднем 278 тыс. т. Доля российского вылова от вылова всеми странами Балтики после 2014 г. (с начала модернизации рыбохозяйственного комплекса Калининградской области) колебалась в пределах 14–17%, т. е. 40,7–45,7 тыс. т [Report of the..., 2022].

Запасы рыб Балтийского моря являются трансграничными, т. е. совершают регулярные миграции через границы исключительных экономических зон стран Балтийского региона. Поэтому на протяжении нескольких десятилетий оценка состояния запаса и прогнозирование вылова шпрота в Балтийском море осуществлялись на Рабочей группе по оценке запасов рыб и рыболовства в Балтийском море (WGBFAS) Международного Совета по исследованию моря (ИКЕС) с использованием обобщённых данных по вылову и размерно-возрастному составу промысловых и научных уловов всех стран Балтики. Специалисты национальных институтов ежегодно проводили загрузку промысловых биостатистических данных и данных тралово-акустических съёмов в международные базы ИКЕС, что упрощало обработку данных, стандартизацию процедур и расчётов, устранялись ошибки.

В марте 2022 г. ИКЕС принял решение о приостановлении участия российских специалистов в своей деятельности. Впервые в истории доступ российских специалистов к полному объёму первичных материалов по запасам водных биологических ресурсов (ВБР), а в некоторых случаях – и к зарубежному программному обеспечению, используемому для оценки запасов, оказался ограничен.

С 1983 по 2021 гг. российские специалисты принимали участие в ежегодных заседаниях Рабочих

групп ИКЕС по Балтийскому морю, обсуждениях и корректировках результатов оценок запасов ВБР, обеспечивали экспертов необходимой информацией для формирования сводных материалов, используемых затем в моделировании, а также занимались разработкой методических инструментариев проведения морских исследований. Данные оценок численности и биомассы шпрота гидроакустическими методами и промысловые материалы представлялись СССР/Россией на Рабочие группы ИКЕС с 1983 г. Во многом планирование и проведение морских экспедиционных исследований состояния запасов ВБР в Балтийском море в странах Балтии в настоящее время основываются на российских разработках и практических навыках, которые успешно воплощены в виде методических руководств ИКЕС по проведению исследований в Балтийском море¹ [Гасюков и др., 2006; Амосова и др., 2018б; Manual for..., 2017; Report of the..., 2022].

Накопленный на текущий момент значительный опыт участия в группах ИКЕС позволяет не только получить информацию по запасу шпрота 22–32 подрайонов ИКЕС Балтийского моря (хоть и в минимально необходимом объёме), но и, с помощью общепризнанных моделей расчётов, применяемых в ИКЕС, описать текущее состояние запаса, провести прогнозирование его вылова.

Важным условием выполнения такого прогнозирования является комплексное изучение ВБР и среды их обитания, т. е. проведение регулярных тралово-акустических съёмов по оценке запасов и численности пополнения пелагических рыб, непрерывных наблюдений на промысле в российской акватории 26 и 32 подрайонов ИКЕС Балтийского моря.

Российская акватория моря составляет менее 5% от общей акватории Балтики. Однако, с учётом пространственного и плотностного распределения запаса шпрота, российская доля от единицы запаса 22–32 подрайонов ИКЕС может достигать 14% [Report of the..., 2022]. Доступные российским специалистам

¹ Manual for the Baltic International Acoustic Surveys (BIAS), 2011. Addendum 2: WGBIFS BIAS Manual Version 0.82. Kaliningrad, Russia. International Council for the Exploration of the Sea. 32 pp.

входные данные других стран Балтики могут быть дополнены материалами российских исследований, что позволит получить более полное представление о распределении и величине запаса шпрота.

В данной работе для оценки запаса и прогнозирования вылова шпрота 22–32 подрайонов ИКЕС Балтийского моря, наряду с использованием традиционного программного обеспечения ИКЕС, впервые апробирован отечественный программный комплекс «КАФКА», рекомендуемый для первого уровня информационного обеспечения прогнозов [Бабаян и др., 2018]. Такой подход позволил выполнять расчёты с доступным российским специалистам набором минимальных входных данных, не снизил уровень информационного обеспечения отечественных прогнозов и обеспечил независимость от наличия доступа к зарубежным программным комплексам.

Шпрот является основным промысловым видом ВБР в Балтийском море. Объёмы его добычи, прогнозирование состояния запаса и вылова на перспективу влияют на социально-экономические факторы развития и обеспечивают продовольственную безопасность Калининградского региона и Ленинградской области. В целях управления, сохранения и рационального использования запаса шпрота в современных условиях особую актуальность приобретает необходимость ревизии обеспеченности российских научных исследований данными о мелкосельдевых видах рыб Балтийского моря, апробации новых подходов к оцениванию и прогнозированию их запасов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Анализировалась необходимая входная научная информация для оценки и прогнозирования состояния, вылова запаса шпрота 22–32 подрайонов ИКЕС Балтийского моря: научно-исследовательские съёмки, промысловые данные (наблюдатели), доступные материалы ИКЕС. По имеющимся данным была проведена оценка запаса и прогнозирование вылова шпрота двумя прогностическими моделями, работающими на зарубежном и отечественном программном обеспечении.

Тралово-акустические съёмки рыб выполняются в мае-июне (цель работ – оценка численности пополнения шпрота возрастом 1 год) и сентябре-октябре (цель работ – оценка численности пополнения (сеголетки) и биомассы пелагических видов рыб). Выполняемые в соответствии с методикой и руководством ИКЕС [Report of the..., 2021 b; Manual for..., 2017; Гасюков и др., 2006] они включают в себя следующие этапы:

– подготовка к работе и калибровка гидроакустического комплекса;

– выполнение собственно тралово-акустической съёмки по заданной схеме галсов. Межгалсовые расстояния составляют 15 миль. Регистрация акустических сигналов осуществляется научным эхотрихетом комплексом ЕК-80 (ЕК-60) «Симрад» на рабочей частоте 38 kHz. Интервал эхоинтегрирования – 1 миль;

– составление планшетов распределения и итоговых таблиц биомасс.

В период рейса проводится систематический отбор значений коэффициента поверхностного рассеяния NASC (sA) (Nautical Area Scattering Coefficient). На основе полученных гидроакустических характеристик (индексы плотности NASC, гистограмм их частотного распределения, пространственное распределение NASC) смешанных рыбных скоплений выполняются акустические оценки биомассы и численности шпрота.

Обязательным элементом тралово-акустической съёмки являются контрольные траления, которые проводятся с целью идентификации видового состава рыбных концентраций, фиксируемых эхотрихетической аппаратурой, а также для сбора биологических данных. Контрольные траления продолжительностью 30 минут осуществляются в местах обнаружения рыбных скоплений, дискретность тралений определяется частотой встречаемости и протяжённостью эхозаписей, но не менее двух в каждом квадрате (30' по широте, 1° по долготе) по схеме ИКЕС. Средняя скорость траления – 4 узла. Производится определение средней силы цели и средней объёмной плотности скоплений рыб, идентифицированных по результатам контрольных тралений разноглубинным тралом РТ/ТМ 70/300. Разноглубинный трал снабжается мелкочечной вставкой (шаг ячеи 6,5 мм) в кутце.

Параллельно проводятся работы по сбору метеорологической информации, выполняются гидрологические, ихтио- и зоопланктонные съёмки, осуществляется сбор проб для трофологических и паразитологических исследований. Карта подрайонов ИКЕС и исключительные экономические зоны (ИЭЗ) государств Балтийского региона представлены на рис. 1, а на рис. 2 показано разделение акватории международной тралово-акустической съёмки между странами-участницами.

Данные таких исследований в период Рабочей группы ИКЕС по съёмкам в Балтийском море (ICES WGBIFS) ежегодно проходили проверку и объединялись в конечный результат в международную базу ИКЕС по тралово-акустическим съёмкам Stox – индексы численности по возрастам (1–8+), необходимые для оценки численности пополнения и запаса шпрота. В условиях приостановки участия россий-

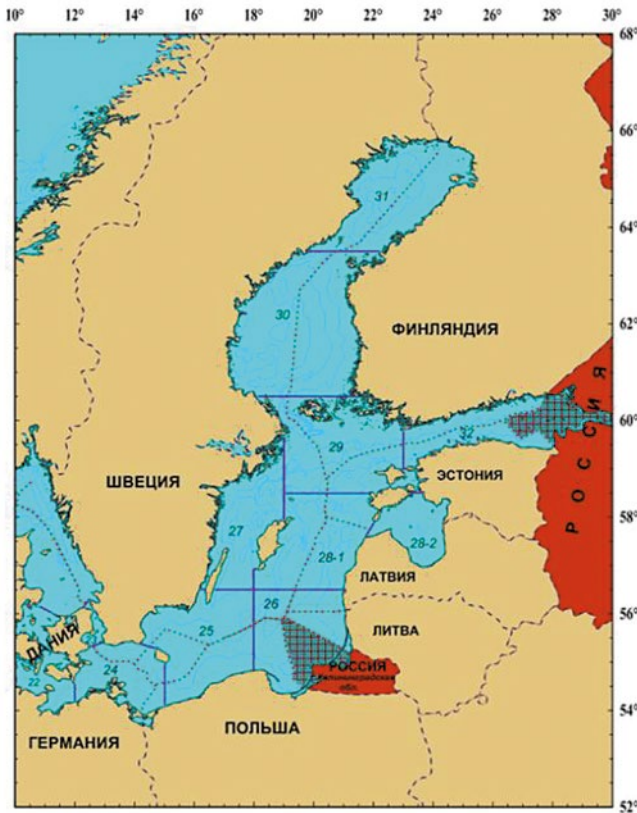


Рис. 1. Подрайоны ИКЕС Балтийского моря и ИЭЗ государств Балтийского региона

Fig. 1. The Baltic Sea ICES subdivisions and EEZs of the Baltic region countries

ских специалистов в Рабочей группе WGBIFS с 2022 г. оценённая численность шпрота по возрастам, полученная в пределах российской акватории 26 подрайона ИКЕС Балтийского моря, нами суммировалась с доступными в рамках ИКЕС индексами остальных стран для всей исследованной акватории моря. Важно, что в процедуре оценки запаса шпрота российские тралово-акустические съёмки не только регулярно принимались ИКЕС, но и многие годы (с 1992 по 2005 гг. – период, когда российское научно-исследовательское судно работало почти на всей акватории распределения запаса) лежали в основе набора данных по численности пополнения и величины запаса вида.

Материалы, собранные в ходе проведения исследований на промысловых судах и рыбоприёмных пунктах рыбопромышленных предприятий, также являются важной составной частью данных, необходимых для настройки прогностических моделей развития промысловых популяций, прогноза их вылова. Мониторинг состояния запаса шпрота на пелагическом промысле проводится в соответствии с Методическим пособием по сбору и первичной обработке биостати-

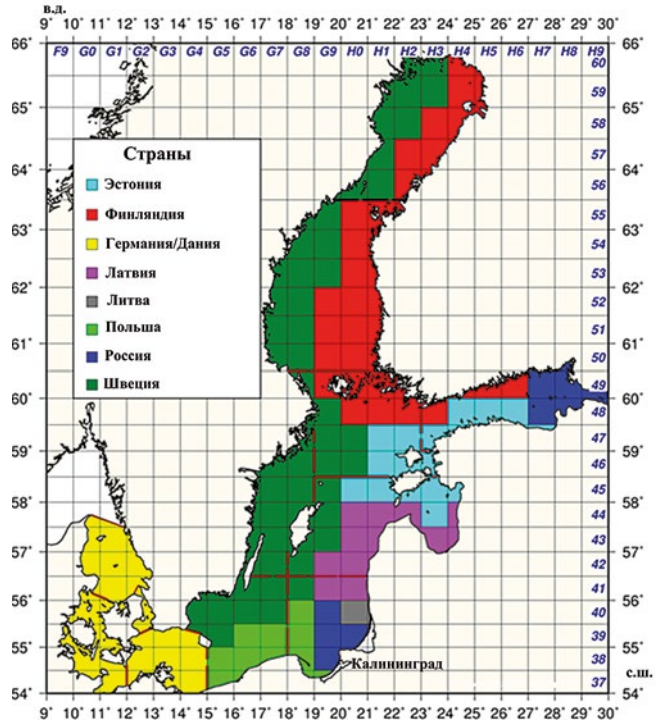


Рис. 2. Разделение акваторий международной тралово-акустической съёмки в Балтийском море между странами-участницами

Fig. 2. Division of water areas of International Baltic Acoustic Surveys (IBAS) between participating countries

стических материалов мониторинга промышленного лова судов, ведущих добычу водных биологических ресурсов в юго-восточной части Балтийского моря [Труфанова, Амосова, 2022]. Комплекс мероприятий и процедур по сбору научной информации, представленный в настоящем методическом пособии, сформирован на основе многолетнего практического опыта, взаимодействия с зарубежными научными организациями (в т. ч. в рамках ИКЕС) и представляет собой методологическую основу исследований.

Пособие содержит методические рекомендации и разъяснения по основным вопросам работы научных наблюдателей на рыбоприёмных пунктах и в морских условиях, в состав которых включены:

- международная методика сбора материалов в Балтийском море;
- особенности практического применения результатов мониторинга и представления данных в ИКЕС;
- описание статуса наблюдателя при осуществлении мониторинга российского промысла в Балтийском море;
- сведения об организации и порядке работы наблюдателя;
- современные системы мониторинга (отслеживания) судов;

- способы определения величины и видового состава уловов;
- порядок отбора проб для проведения массового промера и биологического анализа;
- нормы сбора биостатистической информации;
- документы, материалы и оборудование, необходимые для работы наблюдателей;
- примеры представления материалов, собранных наблюдателем.

Данные таких исследований в период Рабочей группы ИКЕС по оценке запасов и рыболовства в Балтийском море (ICES WGBFAS) ежегодно проходят проверку и объединяются в международную базу ИКЕС InterCatch. Следует отметить, что российские промысловые данные наблюдателей за более чем 30-летний непрерывный период принимались ИКЕС без замечаний.

В данной работе проведена оценка запаса шпрота и прогнозирование его вылова на основе двух подходов. Первый, традиционный метод с программным обеспечением ИКЕС, требует наличия значительного количества рядов наблюдений (входных данных, матриц и т. д.), которые в минимально необходимом количестве пока ещё доступны российским специалистам. Второй – впервые апробированный на данном запасе ВБР отечественный программный комплекс, для работы которого входная информация гораздо доступнее, а результат демонстрирует сходные величины с традиционным методом.

Первый подход. Оценка состояния запаса и расчёт прогнозируемого вылова шпрота в Балтийском море осуществлялись на Рабочей группе ИКЕС по оценке запасов рыб и рыболовства в Балтийском море (ICES WGBFAS) с использованием обобщённых данных по вылову и размерно-возрастному составу промысловых и научных уловов всех прибалтийских стран [Report of the..., 2021 a, b; 2022]. На протяжении многих лет оценка запаса шпрота 22–32 подрайонов ИКЕС выполняется методом виртуально-популяционного анализа² (ВПА, версия 3.1) с настройкой по методу расширенного анализа выживания XSA [Shepherd,³ 1992] при помощи модуля ВПА или программной среды R. Настройка ВПА выполнялась по индексам численности различных возрастных групп,

начиная с первой, полученных в ходе выполнения международных тралово-акустических (гидроакустических) съёмок, включающих весеннюю съёмку (май) 24–28 подрайонов ИКЕС (без 27 подрайона ИКЕС) и по индексам численности 0-группы осенней съёмки (сентябрь-октябрь) 22–29 подрайонов ИКЕС. При этом, как и в предыдущие годы, результаты съёмок откорректированы с учётом площадей максимального покрытия [Report of the..., 2022].

После всестороннего анализа опций XSA для прогноза традиционно использованы установки: 1) возраст, при котором уловистость зависит от силы годового класса, равен 1 году; 2) уловистость не зависит от возраста, начиная с 5 лет; 3) стандартная ошибка среднего (сжатого) значения коэффициента промысловой смертности F равна 0,75. Корреляции между оценками численности по XSA и индексами численности шпрота на съёмках были достаточно высокими ($R^2 = 0,6-0,8$).

Для анализа регрессии индексов численности 0-группы шпрота для 22–29 подрайонов ИКЕС на численность пополнения (возраст 1 год) по XSA и прогноза использовалась программа калибровки пополнения RCT3 (Recruitment calibration tools ver. 3.1) [Shepherd, 1997; Report of the..., 2021 a], код которой также доступен в среде R.⁴ Корреляция индексов 0-группы на съёмках с численностью 1 группы XSA для поколений 2010–2021 гг. была довольно высокой ($R^2=0,7-0,8$). Пополнение шпрота 2022 г. (возраст 1 год – поколение 2021 г.) оценено как неурожайное, на уровне ниже среднего за период 1974–2021 гг. (81,985 млрд экз.) в два раза и составило лишь 44,213 млрд экз. Данная величина является минимальной с 1990 г.

Оценка величины запаса и общего допустимого улова (ОДУ) шпрота выполнялась с помощью многовариантного прогноза при разных уровнях освоения ОДУ по программе MFDP⁵ (Multi Fleet Deterministic Projection, version 1a), которая производит расчёты по классическим уравнениям динамики запасов рыб, она используется и на Рабочих группах ИКЕС [Report of the ..., 2021 a; Труфанова, Амосова, 2021]. Такой подход позволил провести анализ и диагностику полученных результатов.

Второй подход. В сложившихся условиях отсутствия доступа у российских специалистов к первичной информации по запасу шпрота, в качестве альтернативной модели оценки запаса и численности шпрота, прогнозирования его вылова применялся отечественный программный комплекс «КАФКА», рекомендуемый для первого уровня информационного

² Darby C.D., Flatman S., 1994. Virtual Population Analysis: Version 3.1 (Windows/DOS), User Guide. Inf. Techn. Ser. MAFF Direct. Fish. Res., Lowestoft. 85 p.

³ Shepherd J.G. 1992. Extended survivors' analysis: an improved method for the analysis of catch-at-age data and catch-per-unit-effort data. Working paper No.11 // ICES Multispecies Assessment Working Group. Copenhagen. Denmark. 22 p.

обеспечения расчётов [Бабаян и др., 2018]. Модель «КАФКА» принадлежит к классу статистических когортных моделей, учитывающих наличие случайных факторов, влияющих на динамику численности запаса и на процесс лова. Для разделения стохастического шума в оцениваемой системной переменной (численности запаса) и случайных погрешностей в наблюдениях (уловах на усилие) использован фильтр Калмана (ФК). Таким образом, общая неопределённость раскладывается на ошибки в наблюдениях и шум в переменной состояния. Оценка состояния системы в ФК определяется как взвешенная сумма наблюдений по имеющимся источникам информации (орудиям лова, флотам, периодам промысла в многолетнем и сезонном варианте и т. п.) и основана на модели прогноза. Главное отличие ФК от прочих фильтров состоит в его рекуррентной основе, что даёт ему огромные вычислительные преимущества. Модель способна работать с зашумлёнными, неполными, смещёнными данными и вместе с тем давать приемлемый результат [Михеев, 2016].

В качестве входных данных использованы находящиеся в свободном доступе материалы Рабочей группы ИКЕС [Report of the..., 2022], которые для 2022 г. корректировались с учётом проведённых российских наблюдений на тралово-акустической съёмке в мае 2022 г. (СТМ К-1711 «Атлантниро») и промысле в течение всего года в российской части 26 и 32 подрайонов ИКЕС. Входные данные были разделены на 4 массива:

1. Матрица уловов шпрота 22–32 подрайонов ИКЕС Балтийского моря по годам и возрастам (1–8+) в млн экз. за период 1974–2022 гг. (данные WGBFAS 2022). Вылов 2022 г. учитывал ОДУ Европейских стран (ЕС) 2022 г. и вылов Российской Федерации (РФ) 2022 г. Поскольку возрастной состав вылова для запаса 22–32 подрайонов ИКЕС в многолетнем ряду наблюдений довольно хорошо коррелирует с выловом РФ в 26 подрайоне ИКЕС, то вылов 2022 г. по возрастам для всего запаса рассчитывался по отечественным промысловым данным [Амосова и др., 2018, Report of the..., 2021 а].

2. Абсолютные значения суммарной промысловой численности (в млн экз.) по годам (1992, 1994, 1996, 1998–2021 гг.), оценённые по результатам тралово-акустических съёмок, проводимых всеми прибалтийскими странами, включая российские съёмки в Балтийском море. Численность оценивалась с учётом оги вы созревания шпрота по возрастным группам (1–8+). Как и в случае с настройкой ВПА, использованы индексы численности съёмок 22–29 подрайонов ИКЕС,

откорректированные с учётом площадей максимального покрытия акватории.

3. Уловы на единицу промыслового усилия (млн экз./год) за период 1974–2022 гг.

4. Среднеголетние навески по возрастам (1–8+) за период 1974–2022 гг.

Настройки модели. После поиска решений с подбором настроечных параметров модели в различных диапазонах оказалось, что наименьшее значение целевой функции и наиболее приемлемые результаты расчёта промысловой численности запаса шпрота 22–32 подрайонов ИКЕС (сходные с расчётами по XSA) получаются при установлении таких параметров по умолчанию, а именно:

- s (коэффициент естественной выживаемости) и δ (период с начала года до начала промысла в долях года, т. к. промысел шпрота начинается 01 января и заканчивается 31 декабря, распределяясь относительно равномерно в течение года по кварталам) – в границах от 0 до 1;

- параметры генетического алгоритма: количество итераций – 50, число начальных векторов – 1000, разрядность сетки – 16. Время вычислений составило 4,2 секунды.

После выполнения расчёта по когортному анализу проведены расчёты с применением Фильтра Калмана [Михеев, 2016]. Для стандартного отклонения процессного шума $sN(QN)$ значение стандартного отклонения для пополнения, а также все параметры генетического алгоритма вводились по умолчанию. Время вычислений составило 4,0 секунды.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве основной оценочной модели использован метод виртуально-популяционного анализа с настройкой по методу расширенного анализа выживания XSA. Российские наблюдения на съёмках и промысле, доступные материалы ИКЕС в минимально необходимом количестве, многолетний опыт участия отечественных исследователей в Рабочих группах ИКЕС, наличие иностранного программного обеспечения в настоящий момент позволили провести соответствующие расчёты. Ретроспективный анализ состояния запаса шпрота и его промысел в 22–32 подрайонах ИКЕС представлены на рис. 3.

В начале 1980-х гг. запас шпрота был на низком уровне, с минимальным показателем нерестовой биомассы в 1981 г. – 199 тыс. т. В начале 1990-х гг. величина запаса начала увеличиваться, и в 1996 г. уровень нерестовой биомассы вырос до 1,8 млн т. Нерестовая биомасса шпрота в 2022 г. составила 1022 тыс. т, что немного выше среднеголетнего значения за

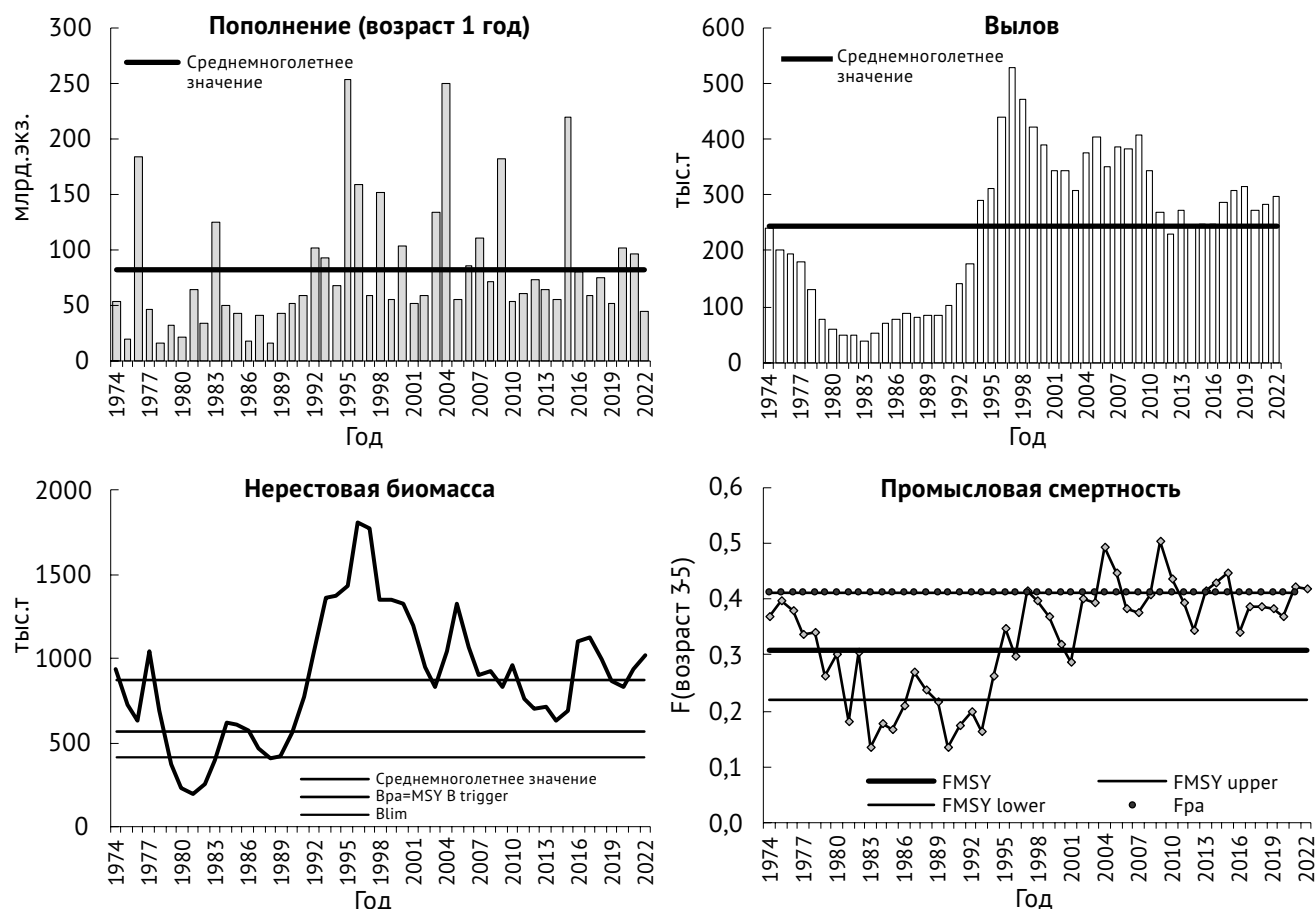


Рис. 3. Состояние запаса шпрота и его промысел в 22–32 подрайонах ИКЕС в 1974–2022 гг.

Fig. 3. The state of the Baltic sprat stock and its fishery at 22–32 ICES subdivisions in 1974–2022

период 1974–2021 гг. (877 тыс. т), больше величин биомасс, соответствующих максимально устойчивому улову и предосторожному подходу ($B_{msy} = B_{pa} = 570$ тыс. т), и граничного ориентира нерестовой биомассы ($B_{lim} = 410$ тыс. т). Сохранение величины запаса шпрота на среднемноголетнем уровне в ближайшие годы ожидается за счёт среднеурожайных поколений 2019–2020 гг. По результатам исследований российских наблюдателей на промысле в 2022 г. отмечена низкая урожайность поколения 2022 г. (пополнение 2023 г.) Аналогичная ситуация сложилась и с генерацией 2021 г. (пополнение 2022 г.) По данным тралово-акустической съёмки, проведённой на СТМ К-1711 «АтлантНИРО» в мае 2022 г., численность молоди шпрота в уловах характеризовалась низкими показателями, которые в сравнении с ретроспективными данными соответствовали уровню ниже среднего или неурожайного поколения. Анализ доступных материалов Рабочей группы ИКЕС 2022 г. (ICES WGBFAS), показал, что поколение 2021 г. оценено как неурожайное, на уровне ниже среднего за период 1974–2021 гг. (81,985 млрд экз.) в два раза и соста-

вило лишь 44,213 млрд экз. Данная величина является минимальной с 1990 г.

Максимальный общий вылов шпрота в Балтийском море с 1974 по 2020 гг. отмечался в 1997 г.: он составил 529 тыс. т, что в 2,2 раза выше среднемноголетнего вылова (1974–2021 гг. — 244 тыс. т). В 2021 г. вылов составил 285 тыс. т, превысив среднемноголетнее значение в 1,2 раза. Ведущие страны по добыче шпрота — Польша (27,8%), Швеция (15,7%), Россия (15,2%) и Латвия (10,2%).

Значение промысловой смертности (F_{bar3-5}) в 1974–2021 гг. колебалось от 0,14 в 1983 г. (период минимальной величины запаса шпрота) до 0,50 в 2009 г., когда величина нерестовой биомассы была выше среднемноголетней. В 2021 г. промысловая смертность несколько превысила верхнюю границу F_{msy} (0,41) и составила 0,42. Освоение ОДУ по шпроту странами Европейского союза и Россией в последние 5–7 лет было близко к 100%. С учётом освоения ОДУ в 2022–2023 гг. всеми прибалтийскими странами на 100% промысловая смертность в 2022 г. составит

0,42, в 2023 г.– 0,39, что близко к верхней границе F_{msy} (0,41).

Российский вылов шпрота в 26 и 32 подрайонах ИКЕС (ИЭЗ и территориальное море России) с 1993 по 2022 гг. варьировал с 11,2 до 45,7 тыс. т и в среднем составил 28,3 тыс. т (рис. 4). Российский вылов 2022 г. в 26 и 32 подрайонах ИКЕС – 43,6 тыс. т (освоение ОДУ в объёме 44,2 тыс. т – исторический максимум в 98,6%). Доля российского вылова в 32 подрайоне ИКЕС – около 3% от отечественного вылова 2022 г.

Период 2018–2022 гг. характеризуется стабильным освоением ОДУ на уровне более 95%.

Многовариантный прогноз величин нерестовой биомассы шпрота на начало 2025 г. при разных уровнях ОДУ в 2024 г. представлен на рис. 5. Расчёты показали, что при условии полного (100%) освоения ОДУ 2022–2023 гг. всеми прибалтийскими странами и установления ОДУ 2024 г. в объёме 252 тыс. т (на уровне $F_{msy}=0,41$), общая биомасса запаса к началу 2025 г. составит 1484 тыс. т, а нерестовая биомасса –

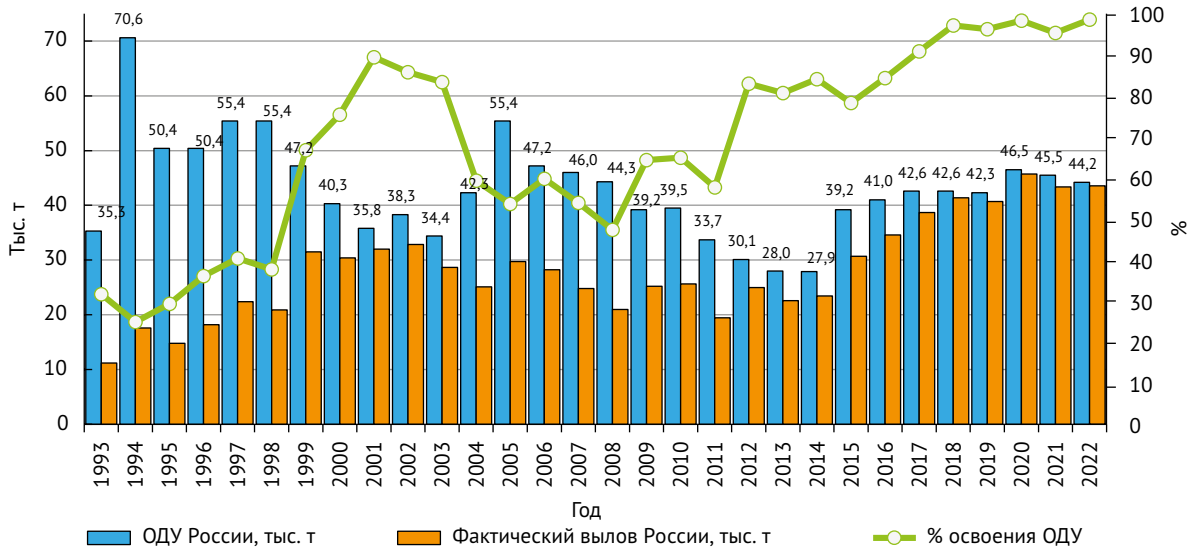


Рис. 4. Российский ОДУ (тыс. т), фактический вылов (тыс. т) и освоение ОДУ (%) шпрота Балтийского моря в 1993–2022 гг.
 Fig. 4. Russian TAC (thousand tons), actual catch (thousand tons) and development of Baltic sprat TAC (%) in 1993–2022

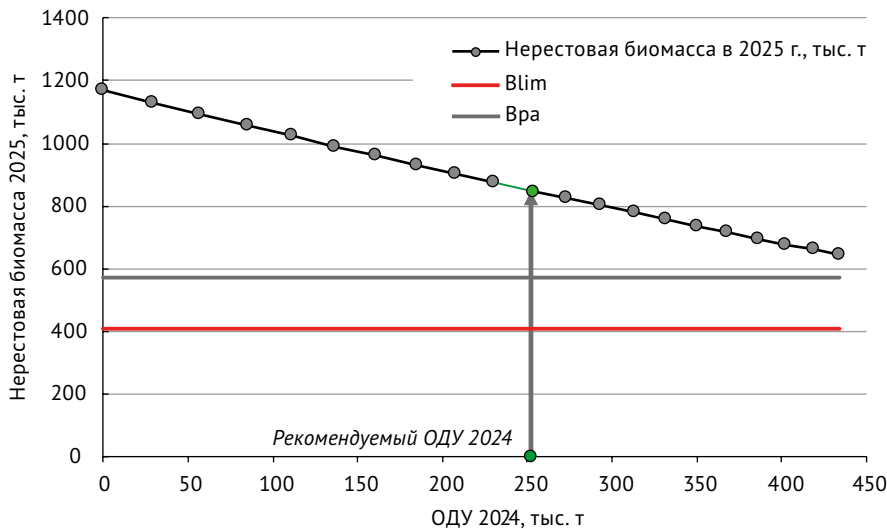


Рис. 5. Варианты управления запасом шпрота 22–32 подрайонов ИКЕС в Балтийском море в 2024–2025 гг. (прогноз с учётом предполагаемого освоения ОДУ всеми прибалтийскими странами в 2022–2023 гг.): нерестовая биомасса в 2025 г. – на начало года при разных уровнях ОДУ в 2024 г.; рекомендуемый ОДУ 2024 – на уровне F_{msy} ; B_{lim} – граничный ориентир нерестовой биомассы; B_{pa} – нерестовая биомасса предосторожного подхода

Fig. 5. Management options for sprat at 22–32 ICES subdivisions in the Baltic Sea in 2024–2025 (forecast taking into account the assumed full development of the TAC by all the Baltic countries in 2022–2023): Spawning biomass in 2025 – at the beginning of the year at different levels of TAC in 2024; Recommended TAC 2024 – at the F_{msy} level; B_{lim} – boundary reference point of spawning biomass; B_{pa} – spawning biomass of the precautionary approach

849 тыс. т. Значение полученной нерестовой биомассы на 2025 г. (849 тыс. т) в 1,5 раза выше триггерной биомассы ($B_{pa} = MSY_{Btrigger} = 570$ тыс. т) и в 2,1 раза превосходит предельную нерестовую биомассу ($B_{lim} = 410$ тыс. т). Снижения нерестовой биомассы в 2025 г. ниже биологических ориентиров при рассматриваемых уровнях освоения ОДУ не ожидается.

Необходимо отметить, что ретроспективные оценки нерестовой биомассы шпрота и его пополнения относительно постоянны. Так, по результатам параметрического теста Mohn rho, пятилетний индекс Mohn rho для биомассы составил 0,07, для пополнения – 0,15 [Mohn, 1999; Report of the..., 2021 a].

В качестве альтернативной модели оценки запаса и численности шпрота, прогнозирования его вылова применялся отечественный программный комплекс «КАФКА», рекомендуемый для первого уровня информационного обеспечения.

Результаты расчёта запаса показаны на рис. 6.

После выполнения расчёта по когортному анализу проведены расчёты с применением Фильтра Калмана. Прогноз динамики запаса на два года (2023 и 2024 гг.) выполнялся по следующим значениям:

– предполагаемый вылов 2023 г. – ОДУ 2023 (ЕС 224,1 тыс. т + РФ 45,1 тыс. т) = 269,2 тыс. т или 27736 млн экз.

– численность пополнения промыслового запаса 2023 г. = 2024 г. = 13380 млн экз. Данная величина соответствует примерно половине среднесного значения пополнения всего запаса за 1974–2021 гг. [Report of the..., 2021 a]. По результатам анализа RCT3 численность пополнения всего запаса в 2023 г. (поколение 2022 г.), скорректированная по регрессии на

численность этой группы по ВПА, оценена как минимальная с 1990 г., в два раза ниже среднесного значения за период 1974–2021 гг. Поскольку «КАФКА», в отличие от XSA, рассчитывает численность пополнения не всего запаса, а именно его промысловой части, для оценки численности пополнения промыслового запаса в возрасте 1 год в прогнозный период дополнительно использована огиба созревания.

После проведения расчётов, согласно обновлениям в алгоритме модели «КАФКА» (Отраслевой методологический семинар по изучению современных методов оценки и рационального использования водных биологических ресурсов им. В.К. Бабаяна в 2022 г.), был произведён пересчёт скорректированных оценок и доверительных интервалов биомассы промыслового запаса шпрота через навески по возрастам (данные ИКЕС для всей единицы запаса) по каждому году за период 1974–2024 гг. Величина веса (w_t), полученная после расчёта скорректированной оценки Фильтра Калмана (средневзвешенная между прогнозом когортной модели и наблюдениями), показала, что большее влияние на эту оценку в нашем случае оказывают наблюдения. Результаты расчётов показаны на рис. 7.

Сравнительный анализ результатов оценок промыслового запаса шпрота и прогнозирования его биомассы по двум моделям (XSA vs. «КАФКА»), в целом, показал совпадение, а в терминальный период, что важно для прогноза, – очень хорошее (рис. 8).

Прогнозируемая численность промыслового запаса шпрота по возрастам на 2023–2024 гг. в когортном анализе «КАФКА» рассчитывалась с помощью динамических уравнений, представленных в работе

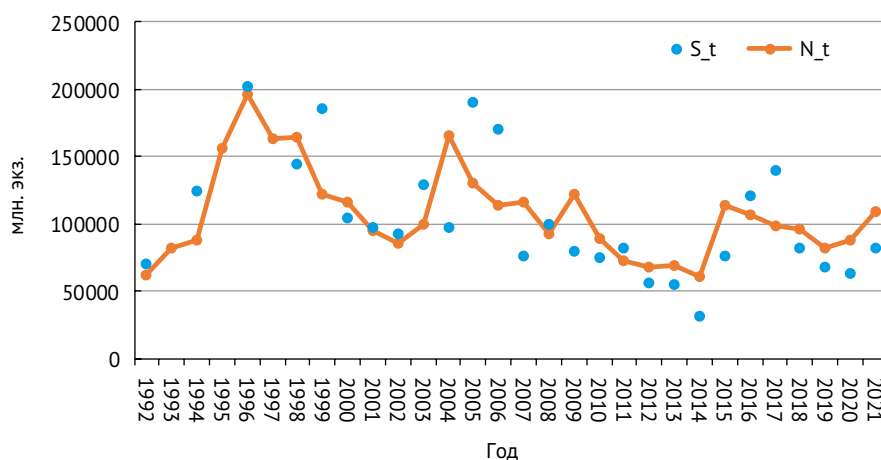


Рис. 6. Динамика запаса шпрота 22–32 подрайонов ИКЕС Балтийского моря по результатам модели «КАФКА». N_t (численность) на фоне тралово-акустических съёмов по оценке численности и биомассы шпрота в октябре месяце по годам (S_t), млн экз.

Fig. 6. Dynamics of the sprat stock in 22–32 ICES subdivisions of the Baltic Sea based on the results of the KAFKA model. N_t (abundance) against the background of abundance and biomass of sprat trawl-acoustic surveys in October by years (S_t), million ind.

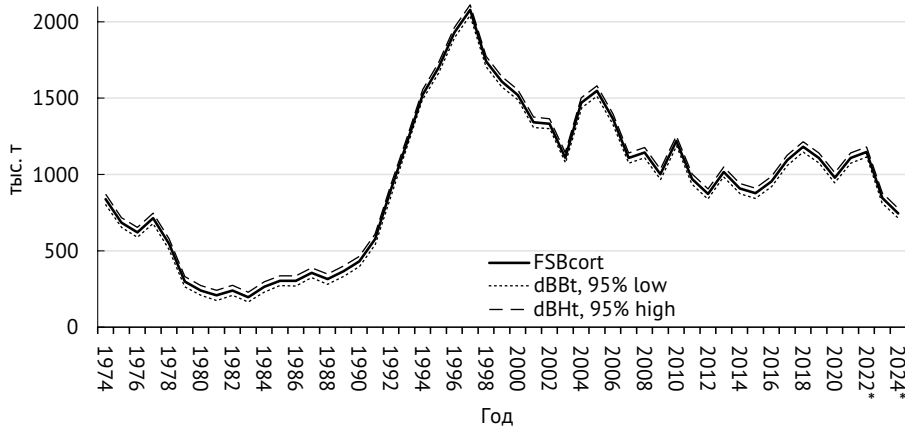


Рис. 7. Динамика скорректированных оценок биомассы промыслового запаса шпрота 22–32 подрайонов ИКЕС Балтийского моря (FSBcort, тыс. т) и её прогноз до 2024 г. на фоне 95% доверительных границ (dBBt, 95% low; dBHt, 95% high)

Fig. 7. Dynamics of adjusted estimates of the commercial sprat stock at 22–32 ICES subdivisions of the Baltic Sea (FSBcort, thousand tons) and its forecast until 2024 against the background of 95% confidence limits (dBBt, 95% low; dBHt, 95% high)

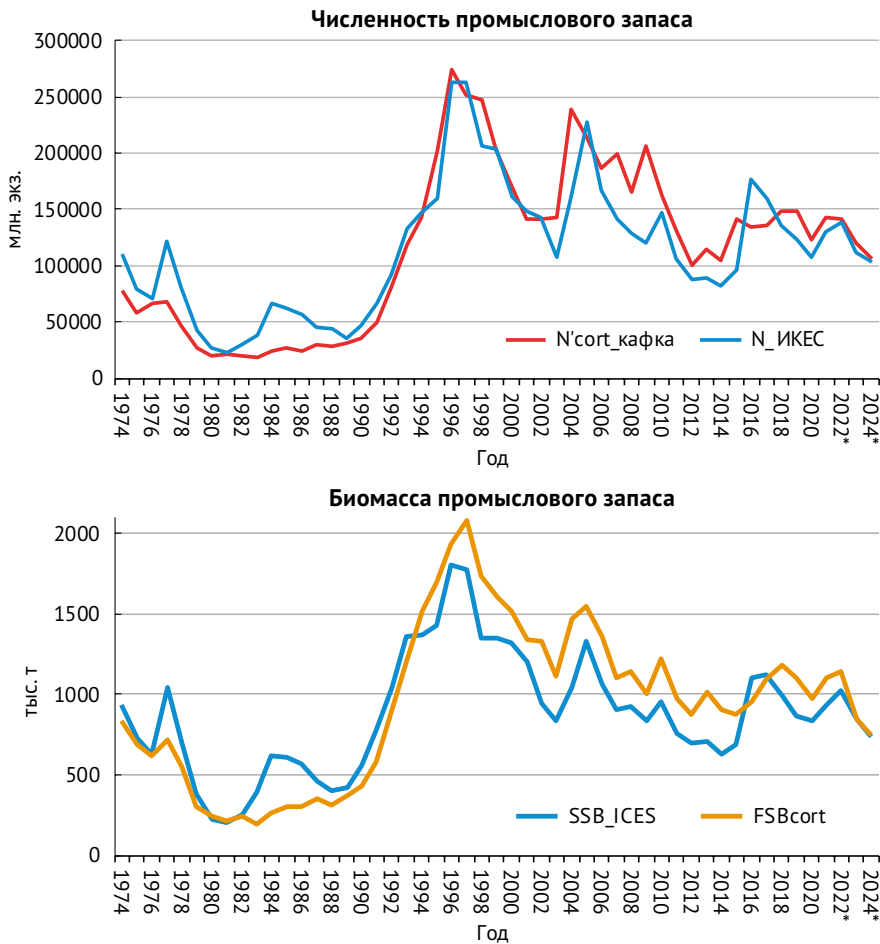


Рис. 8. Динамика численности и биомассы промыслового запаса шпрота 22–32 подрайонов ИКЕС Балтийского моря по оценкам ИКЕС (WGBFAS 2022) с помощью модели XSA (N_ИКЕС, SSB_ИКЕС) и по результатам модели «КАФКА» (N'cort_кафка, FSBcort)

Fig. 8. Dynamics of the abundance and biomass of the commercial sprat stock at 22–32 ICES subdivisions of the Baltic Sea according to ICES estimates (WGBFAS 2022) using the XSA model (N_ICES, SSB_ICES) and according to the results of the KAFKA model (N'cort_kafka, FSBcort)

В.К. Бабаяна с соавторами [2018] (стр. 93, уравнение 1.3.1.1). Вылов по возрастам 2023–2024 гг. оценивался исходя из возрастного состава уловов 2022 г. Предполагаемый общий вылов 2023 г. = ОДУ 2023 (ЕС 224,1 тыс. т + РФ 45,1 тыс. т) = 269,2 тыс. т или 27736 млн экз. Средняя масса промысловой особи рассчитывалась как средневзвешенная величина, осреднённая за последние три года. Результаты прогнозирования представлены в табл. 1, их сравнительный анализ по двум моделям (XSA vs. «КАФКА») – в табл. 2.

Интересно отметить, что полученные современные прогностические оценки отечественного вылова шпрота по двум моделям соответствуют расчётам, проведённым несколько лет назад российскими

специалистами. Наиболее реалистичным прогнозом состояния запаса балтийского шпрота в зоне России до 2025 г. являлся расчёт, основанный на сценарии в наибольшей степени учитывающем современное состояние популяции шпрота, текущий уровень его промысловой нагрузки, состояние абиотических условий и их изменения в перспективе: объём возможного вылова – 38,8–47,5 тыс. т (средний 43,0 тыс. т) [Амосова и др., 2018a].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных условиях в Балтийском регионе Россия впервые в истории оказалась ограниченной в доступе к первичной информации по единицам за-

Таблица 1. Численность и ОДУ шпрота 22–32 подрайонов ИКЕС Балтийского моря на 2024 г. по результатам расчётов «КАФКА»

Table 1. Abundance and TAC of sprat at 22–32 ICES subdivisions of the Baltic Sea for 2024 based on KAFKA calculations

Возраст	Промысловый запас, млн экз. npr_at_{2024}	Коэффициент изъятия 2024 г. (доля в улове в возрасте a в год t от числа выживших особей в когорте к началу промысла) $\phi_i_cor_at$	Вылов, млн экз., 2024 г.
1	13380,32	0,2705	3618,710
2	9761,53	1,3143	12829,327
3	15358,57	0,5367	8242,601
4	40090,50	0,0374	1499,664
5	22136,41	0,0423	935,286
6	2588,02	0,1440	372,679
7	1728,89	0,0615	106,376
8+	900,88	0,1458	131,364
Сумма	105945,12	сумма	27736,006
Масса промысловой особи 2024, кг		0,0092	
ОДУ 2024, тыс. т		256	

Таблица 2. Сравнительный анализ результатов прогнозирования численности, биомассы и ОДУ шпрота 22–32 подрайонов ИКЕС на 2024 г. по двум моделям (XSA vs. «КАФКА»)

Table 2. Comparative analysis of the forecasting results of the abundance, biomass and TAC of sprat at 22–32 ICES subdivisions of the Baltic Sea for 2024 using two models (XSA vs. KAFKA)

Показатели	XSA (ИКЕС)	«КАФКА»
Промысловый запас, млрд экз.	103,3	106,0
Промысловая биомасса, тыс. т	739,3	745,3
Вылов, млрд экз.	27,4	27,7
Общий вылов (ОДУ), тыс. т	252	256
Вылов РФ (ОДУ), тыс. т	44,2	44,9

пасов ВБР в полном объёме. Полученные прогнозные данные по «КАФКА» и XSA демонстрируют сходные величины, что говорит о корректности и достоверности оценок запаса шпрота.

По результатам проведённых исследований для оценки запаса и прогнозирования вылова шпрота Балтийского моря, наряду с анализом результатов расчётов по моделям ИКЕС, возможно использование отечественного программного комплекса «КАФКА» как основного инструмента. Данный подход не снизит уровня информационного обеспечения отечественных прогнозов и позволит не зависеть от наличия доступа к программным комплексам недружественных стран.

Для решения задач по рациональному управлению и сохранению устойчивого рыболовства мелко-

сельдевых видов рыб в Балтийском море необходимо сохранить российский информационный уровень как минимум на текущем уровне, что подразумевает регулярные комплексные исследования ВБР (тралово-акустические съёмки, мониторинг промысла, совершенствование и развитие отечественного программного обеспечения, моделей и т. д.).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена по личной инициативе без дополнительного финансирования.

ЛИТЕРАТУРА

- Амосова В.М., Васильева Т.Г., Зезера А.С. 2018 а. О перспективах развития отечественного промысла шпрота в Балтийском море до 2025 г. // Труды ВНИРО. Т. 171. С. 39–55. DOI: 10.36038/2307–3497–2018–171–39–55.
- Амосова В.М., Зезера А.С., Карпушевская А.И., Труфанова И.С., Васильева Т.Г., Иванов С.В., Карпушевский И.В. 2018 б. Оценка запасов рыб Балтийского моря на Рабочих группах ИКЕС // Труды ВНИРО. Т. 174. С. 58–71.
- Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И., Васильев Д.А., Ильин О.И., Ковалев Ю.А., Михайлов А.И., Михеев А.А., Петухова Н.Г., Сафаралиев И.А., Четыркин А.А., Шереметьев А.Д. 2018. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: ВНИРО. 312 с.
- Гасюков П.С., Тимошенко Н.М., Касаткина С.М., Фельдман В.Н., Нестеров А.А., Назаров Н.А., Зезера А.С., Фролкина Ж.А. 2006. Методическое руководство по планированию и проведению морских экспедиционных исследований запасов промысловых гидробионтов в Атлантическом океане, Юго-Восточной части Тихого океана и в Балтийском море. Калининград: АтлантНИРО. 182 с.
- Михеев А.А. 2016. Применение фильтра Калмана в когортной модели для корректировки оценок запаса при наличии неучтенного вылова // Вопросы рыболовства. Т. 17. № 1. С. 20–41.
- Труфанова И.С., Амосова В.М. 2021. Долгосрочный прогноз российской добычи сельди в Балтийском море // Труды ВНИРО. Т. 186. С. 78–90. DOI:10.36038/2307–3497–2021–186–78–90.
- Труфанова И.С., Амосова В.М. 2022. Методическое пособие по сбору и первичной обработке биостатистических материалов научного мониторинга промышленного лова судов, ведущих добычу водных биологических ресурсов в юго-восточной части Балтийского моря. Калининград: АтлантНИРО. 112 с.
- Manual for the International Baltic Acoustic Surveys (IBAS). 2017. Series of ICES Survey Protocols SISP 8 – IBAS. 47 pp. DOI: 10.17895/ices.pub.3368.
- Mohn R. 1999. The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data // ICES Journal of Marine Science. V. 56. № 4. P. 473–488
- Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). 2021 a. ICES Scientific Reports. 2:45. 717 pp. DOI: 10.17895/ices.pub.8187.
- Report of the Working Group on Baltic International Fish Survey (WGBIFS). 2021 b. ICES Scientific Reports. 1:37. 490 pp. DOI: 10.17895/ices.pub.8248.
- Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). 2022. ICES Scientific Reports. 4:44. 659 pp. DOI: 10.17895/ices.pub.19793014
- Shepherd J.G. 1997. Prediction of year-class strength by calibration regression analysis of multiple recruit index series // ICES Journal of Marine Science. Vol. 54. P. 741–752.

REFERENCES

- Amosova V.M., Vasil'eva T.G., Zezera A.S. 2018 a. Prospects of development of domestic sprat fishery in the Baltic Sea 2025 // Trudy VNIRO. V. 171. P. 39–55. DOI: 10.36038/2307–3497–2018–171–39–55. (In Russ.).
- Amosova V.M., Zezera A.S., Karpushevskaya A.I., Trufanova I.S., Vasil'eva T.G., Ivanov S.V., Karpushevskiy I.V. 2018 б. Stock assessment of the Baltic Sea fish in the ICES Working Groups // Trudy VNIRO. V. 174. P. 58–71. (In Russ.).
- Babayana V.K., Bobyrev A.E., Bulgakova T.I., Vasiliev D.A., Ilyin O.I., Kovalev Yu.A., Mikhailov A.I., Mikheev A.A., Petukhova N.G., Safaraliev I.A., Chetyrkin A.A., Sheremetyev A.D. 2018. Methodological recommendations for assessing of the priority stocks types of aquatic biological resources. Moscow: VNIRO Publish. 312 p. (In Russ.).
- Gasyukov P.S., Timoshenko N.M., Kasatkina S.M., Feldman V.N., Nesterov A.A., Nazarov N.A., Zezera A.S., Frolova Zh.A. 2006. Methodological guide for planning and conducting marine expeditionary studies of the commercial hydrobionts stocks state in the Atlantic Ocean, the southeastern part of the Pacific Ocean and the Baltic Sea. Kaliningrad: AtlantNIRO Publish. 182 p. (In Russ.).
- Mikheyev A.A. 2016. Kalman filter application in cohort model for adjusting stock assessments in the case of unreported catch // Fisheries issues. V. 17. № 1. P. 20–41. (In Russ.).
- Trufanova I.S., Amosova V.M. 2021. Long-term forecast of Russian herring catch in the Baltic Sea // Trudy VNIRO. V. 186. P. 78–90. DOI: 10.36038/2307–3497–2021–186–78–90. (In Russ.).
- Trufanova I.S., Amosova V.M. 2022. Methodological manual for the collection and primary processing of biostatistical materials for scientific monitoring of commercial fishing vessels that harvest aquatic biological resources in the southeastern part of the Baltic Sea. Kaliningrad: AtlantNIRO Publish. 112 p. (In Russ.).
- Manual for the International Baltic Acoustic Surveys (IBAS). 2017. Series of ICES Survey Protocols SISP 8 – IBAS. 47 pp. DOI: 10.17895/ices.pub.3368.

Mohn R. 1999. The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data // ICES Journal of Marine Science. V. 56. № 4. P. 473–488

Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). 2021 a. ICES Scientific Reports. 2:45. 717 pp. DOI: 10.17895/ices.pub.8187.

Report of the Working Group on Baltic International Fish Survey (WGBIFS). 2021 b. ICES Scientific Reports. 1:37. 490 pp. DOI: 10.17895/ices.pub.8248.

Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). 2022. ICES Scientific Reports. 4:44. 659 pp. DOI: 10.17895/ices.pub.19793014.

Shepherd J.G. 1997. Prediction of year-class strength by calibration regression analysis of multiple recruit index series // ICES Journal of Marine Science. Vol. 54. P. 741–752.

Поступила в редакцию 23.05.2023 г.

Принята после рецензии 04.07.2023 г.