

Промысловые виды и их биология

УДК 639.222.4 (261.24)

О перспективах развития отечественного промысла шпрота в Балтийском море до 2025 г.

В.М. Амосова, Т.Г. Васильева, А.С. Зезера

Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «АтлантНИРО»), г. Калининград
E-mail: amosova@atlantniro.ru

В работе рассматривается вопрос о долгосрочных перспективах промысла шпрота (*Sprattus sprattus balticus*) в исключительной экономической зоне и территориальном море России 26 подрайона ИКЕС Балтийского моря при различных сценариях развития ситуации в зависимости от возрастного состава шпрота, его численности и биомассы, влияния хищничества трески. Проведён анализ основных трендов океанографических процессов связанных с изменением среднегодовых значений температуры, солёности и концентраций кислорода в поверхностном и придонном слоях моря. Определены верхние и нижние пределы возможного вылова шпрота отечественными рыбодобывающими организациями до 2025 г., а также наиболее вероятный сценарий в связи с изменяющимися абиотическими факторами. Прогностические оценки возможного объёма отечественного вылова балтийского шпрота могут служить ориентирами для рыбодобывающих организаций при планировании промысловых нагрузок, в т. ч. и в рамках задачи по достижению баланса между промысловыми мощностями и сырьевой базой, на ближайшие несколько лет.

Ключевые слова: Балтийское море, шпрот *Sprattus sprattus balticus*, детерминированный долгосрочный прогноз, максимальный улов, абиотические факторы.

ВВЕДЕНИЕ

За последние несколько десятилетий экосистема Балтийского моря претерпела заметные структурные изменения и режимные сдвиги, вызванные сочетанием различных стресс-факторов, в первую очередь, таких как рыболовство (пресс промысла), эвтрофикация и изменение (потепление) климата. Это нашло отражение в видовом составе, численности, пространственном распределении и функционировании зоопланктонного и рыбного сообществ

[Feldman, Vasilieva, 2001; Feldman et al., 2002; MacKenzie, Koster, 2004; Зезера, 2009; Зезера, Иванович, 2011; Зезера и др., 2012, 2014; Карпушевский и др., 2013; Amosova et al., 2016; Амосова и др., 2017].

С точки зрения рыболовства наиболее важными были изменения, определившие новое качество морского биоценоза, характеризующиеся доминированием более мелких видов рыб, а в внутри отдельных видов — особей более мелкого размера, соответственно и массы

[Daufresne M. et al., 2009], т. е. изменилась не только структура рыбного сообщества в целом, но и биологические и физиологические параметры самих популяций.

Кроме того, увеличилась пространственная неоднородность распределения промысловых видов рыб в рамках единиц запасов, снижение/отсутствие хищничества трески в Центральной и Северной Балтике усилило межвидовую и внутривидовую конкуренцию мелкосельдевых в этих районах. В связи с этим учёт так называемых «плотностно-зависимых» эффектов роста и естественной смертности стал играть важную роль в настройках прогностических моделей состояния запасов шпрота и балтийской сельди [Horbowy, Luzenczyk, 2016].

В современных условиях на фоне модернизации и обновления российского промыслового флота, с учётом повышенной чувствительности экосистемы к любому внешнему воздействию (как среды, так и человека), вероятность экологических неопределенностей и рисков, связанных с использованием водных биологических ресурсов (ВБР), значительно возросла. Для сохранения устойчивой сырьевой базы, репродуктивной способности рыбных популяций, достижения баланса между промысловыми мощностями (возможностями) и существующими запасами ВБР крайне актуальными стали вопросы прогностических оценок состояния промысловых популяций и научно обоснованных объёмов вылова не только в краткосрочном, но и долгосрочном аспектах.

В данной работе рассмотрены перспективы российского промысла наиболее массового вида Балтийского моря — шпрота *Sprattus sprattus balticus* (Schneider, 1908). Целью исследования являлось определение верхних и нижних пределов возможного объёма вылова шпрота в экономической зоне России 26-го подрайона ИКЕС Балтийского моря до 2025 г., установление наиболее вероятного максимального уравнивающего улова в связи с изменяющимися абиотическими условиями, возрастным составом популяции, её численностью и биомассой, а также влиянием хищничества трески.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для характеристики абиотических условий были использованы данные многолетних океа-

нологических наблюдений на мониторинговых станциях Балтийского моря: ВУ5 в Борнхольской, Р1 в Гданьской и ВУ15 в Готландской котловинах (базы данных: ФГБНУ «Атлант-НИРО», ИКЕС — <http://ocean.ices.dk/Helcom/Helcom.aspx?Mode=1>). Положение станций показано на карте 22–32-го подрайонов ИКЕС в Балтийском море (рис. 1). За период 1975–2016 гг. были рассчитаны средние годовые значения температуры, солёности и содержания кислорода в поверхностном и придонном слоях. Для анализа основных трендов океанографических процессов применялись пятилетние скользящие средние годовых значений.

Анализ динамики эксплуатируемого запаса шпрота был основан на детерминистическом долгосрочном моделировании нерестовой биомассы и вылова шпрота при разных уровнях промысловой смертности (от 0 до 1 с шагом 0,05) с определением максимального уравнивающего улова (MSY), соответствующего оптимальной интенсивности промысла (F_{msy}) и биомассе промыслового запаса на уровне MSY (B_{msy}) до 2025 г.

Были использованы классические уравнения динамики запасов рыб. Численность и биомасса запаса шпрота, а также величина его годового вылова оценены по формулам Ф.И. Баранова по годам и возрастам [Horbowy, Luzenczyk, 2016; Бабаян, 1988; Гасюков и др., 1980].

Численность пополнения шпрота в возрасте 1 год в различные годы $N(1, t+1)$ рассчитывалась по уравнению Бивертон-Холта [Beverton, Holt, 1957] для системы «запас-пополнение» (S-R модель), которое традиционно применяется для запаса шпрота 22–32 подрайонов ИКЕС Балтийского моря [Horbowy, Luzenczyk, 2016]:

$$N(1, t+1) = R(t+1) = \frac{aR \times SSB(t)}{1 + bR \times SSB(t)},$$

где: aR и bR — параметры S-R модели, $SSB(t)$ — нерестовая биомасса в годы наблюдений.

Коэффициенты естественной смертности (M) шпрота, переменные для различных возрастных групп, в разные годы зависели от влияния хищничества трески [Report of the Baltic

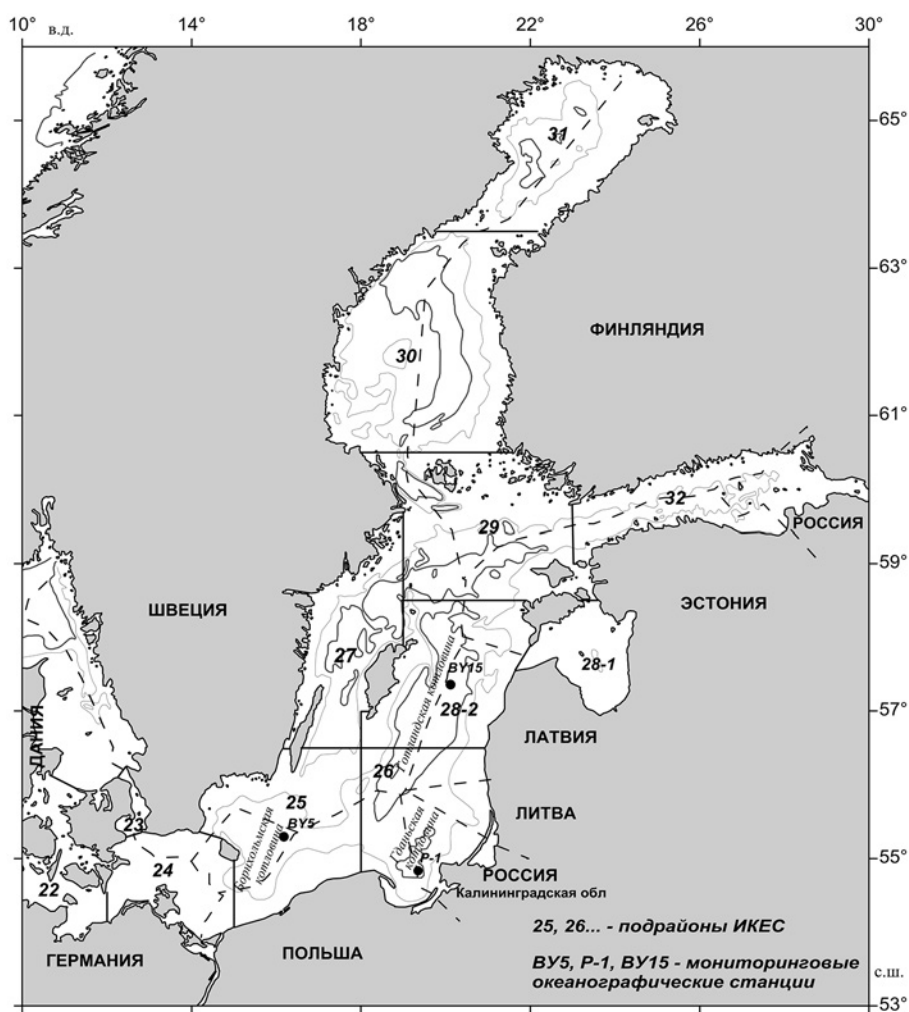


Рис. 1. Карта 22–32-го подрайонов ИКЕС в Балтийском море

..., 2016]. До 2012 г. на Рабочих группах ИКЕС коэффициенты смертности от хищничества (M_1) были получены на основе многовидового ВПА (MSVPA). Начиная с 2013 г., новые оценки M_1 (для 1974–2011 гг.) выполнялись с помощью стохастического многовидового моделирования (SMS — Stochastic Multi-Species model). Основным отличием данной модели от MSVPA явилась возможность использования в настройках долгосрочных рядов вылова трески и шпрота по возрастным группам, индексов численности, биомассы рыб и степени наполнения их желудков по данным съёмок [Report of the benchmark ..., 2013]. В среднем полученные значения M_1 отличались от таковых значений из MSVPA на $\pm 20\%$. К естественной смертности M_1 , как и ранее, была добавлена смертность от

других причин, равная 0,2 [Report of the Baltic ..., 2017]. Принятые в 2013 г. оценки корректируются каждый год на Рабочих группах ИКЕС в зависимости от величины и плотности запаса трески.

Вводные данные для расчёта возможного вылова шпрота (темпы полового созревания, численность и промысловая смертность по возрастам) были приняты в соответствии с результатами оценки запаса шпрота на Рабочей группе ИКЕС по оценке запасов рыб и рыболовства в Балтийском море (WGBFAS) [Report of the Baltic ..., 2016, 2017]. Было оценено, что 30 и 70% рыб созревают соответственно в возрасте 1 и 2 лет, с 3 лет — 100% созревание.

Доля промысловой биомассы шпрота в 26 подрайоне ИКЕС и в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) и территориаль-

ном море России была рассчитана по данным осенних международных акустических съёмок (BIAS) [Report of the Baltic ..., 2016, 2017]. Вклад используемого российского материала по исследованиям, проводимым ФГБНУ «АтлантНИРО» в 1994–2016 гг., составил в среднем 25% по площади исследуемой акватории моря в рамках единицы запаса шпрота (подрайоны 22–32 ИКЕС).

На протяжении последних 20 лет (с 1995 г.) специалисты всех Прибалтийских стран принимали участие в семинарах ИКЕС по чтению возраста шпрота из разных районов моря по научно-обоснованной методике Р.А. Апса [Апс, 1986]. Возраст рыбы определялся по отолитам под микроскопом в проходящем или поляризованном свете при увеличении 100–250 раз. Точность в определении возраста шпрота специалистом ФГБНУ «АтлантНИРО» при единовременном просмотре проб шпрота в 1998–2011 гг. составила 95%. Были также получены сравнимые оценки возраста в пробах из других районов моря для всех участников (общая сходимость около 80%) [Report of the workshop ..., 2008].

Анализ долевого распределения численности по возрастным группам в запасе и в российских промысловых уловах за все исследуемые годы показал однородность возрастной структуры между данными выборками (корреляционная связь 0,75–0,99). Поэтому численность шпрота по возрастам (1–8+) в российской акватории моря от общей численности запаса была рассчитана в равной доле для каждого возраста, которая определялась исходя из средней величины отечественного вылова за 2015–2016 гг. от общего вылова всеми Прибалтийскими странами (13,22%).

Общее количество возрастных проб составило 35 тыс. пар отолитов за период с 1992 по 2016 гг.

Были также использованы средние массы по возрастам, полученные из материалов ФГБНУ «АтлантНИРО» для российской акватории вылова в 26 подрайоне ИКЕС за I–IV кварталы с 1992 по 2016 гг. (биостатистические данные российского промысла). Российские промысловые и тралово-акустические данные по шпроту представлены в базах данных ИКЕС за период с 1992 по 2016 гг.

Объём собранного и обработанного материала в среднем за один год составил: массовые промеры — 16 437 экз., биологические анализы — 3284 экз., возрастные пробы — 2723 пар отолитов.

Рассмотрены три сценария оценки возможной величины биомассы промыслового запаса шпрота и его вылова в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) и территориальном море России Балтийского моря в зависимости от исходной ситуации:

1 сценарий. Середина 90-х гг. (1994–1996 гг.) — максимальная величина биомассы, высокая частота повторяемости урожайных поколений, доля в запасе старших возрастных групп (возраст 3+) — 30,5%, доля шпрота в 26 подрайоне ИКЕС от единицы запаса — 38,2%, доля шпрота в зоне России от единицы запаса — 11,5%;

2 сценарий. 2011–2012 гг. — минимальное значение биомассы за период 1991–2016 гг., частота урожайных поколений в два раза ниже, чем в первом случае, доля в запасе старших возрастных групп (возраст 3+) — 13,4%, доля шпрота в 26 подрайоне ИКЕС от единицы запаса — 11,7%, доля шпрота в зоне России от единицы запаса — 3,5%;

3 сценарий. 2016 г. — текущее состояние (после 2008 г. отмечено единственное урожайное поколение 2014 г.), доля в запасе старших возрастных групп (возраст 3+) — 17,3%, доля шпрота в 26 подрайоне ИКЕС от единицы запаса — 14,5%, доля шпрота в зоне России от единицы запаса — 4,3%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Балтийский шпрот порционнно-нерестующий подвид с длительным периодом нереста (февраль–август). Ввиду эвригалинности и эвритермности шпрота размножение его происходит как в прибрежных, так и в открытых районах моря. Шпрот освоил для нереста разные экосистемы: весной глубинные слои, летом поверхностные, существенно различающиеся по температурному, солевому, кислородному режимам и освещенности. Ранней весной шпрот нерестится в открытом море. В марте-мае — выметывает икру в глубинных слоях воды (на глубине 60–100 м) при температуре 4–7 °С, солёности 9–13‰, содер-

жанию кислорода не менее 1,5 мл/л. В летний период (июнь-август) нерестится в верхних слоях воды при температуре 8–17 °С, солёности 6–8‰ и содержанию кислорода более 4 мл/л. Ранее установлено, что на продолжительность и интенсивность нереста шпрота оказывают влияние суровость зим, величина нерестового запаса и возрастной состав производителей [Рехлин, 1975; Бирюков, 1980; Грауман, 1983].

В современный период наиболее важными особенностями условий среды, определяющими условия жизни балтийского шпрота, являются в поверхностном слое моря повышенная температура воды и пониженный уровень солёности. В глубинных слоях моря на фоне повышенных абсолютных значений температуры и солёности — дефицит кислорода.

Многолетняя изменчивость гидрологических условий за последние десятилетия ха-

рактеризовалась значительной вариабельностью. Общую направленность, интенсивность и амплитуду долгопериодных и межгодовых изменений абиотических характеристик в различных слоях моря достаточно наглядно иллюстрируют рис. 2, 3. На этих рисунках представлены многолетние тренды гидрологических характеристик в наиболее показательных для всего моря Борнхольмской, Гданьской и Готландской впадинах.

Как показали исследования ряда авторов [Hansson, Andersson, 2016], площадь и объём вод, характеризующихся гипоксией (концентрация кислорода менее 2 мл/л) и аноксией (отсутствие кислорода — появление сероводорода) в Балтике, в условиях повышенной температуры как поверхностных, так и глубинных вод значительно увеличились после 1999 г. (рис. 4). Причём эти процессы получили развитие не только на севере моря и в Готландском

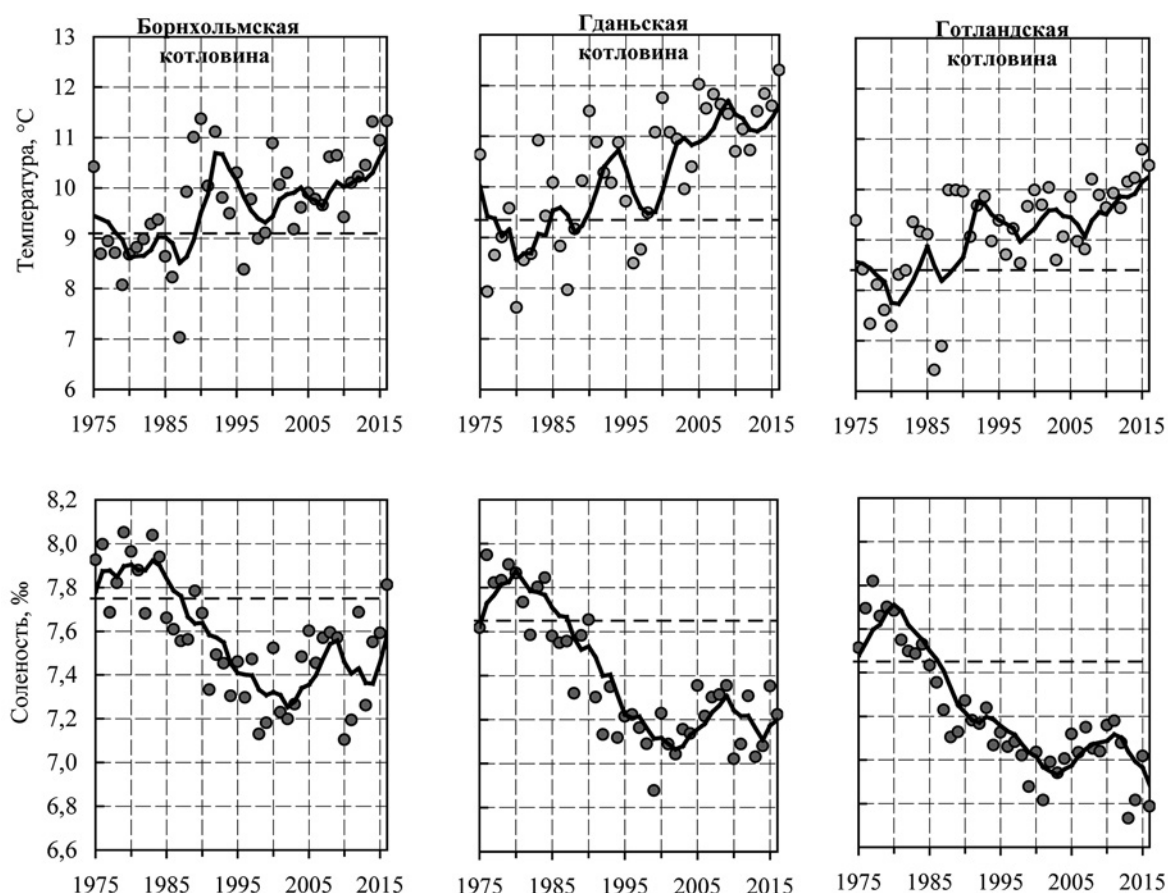


Рис. 2. Многолетние изменения среднегодовых значений температуры и солёности и их пятилетние скользящие средние в поверхностном слое Борнхольмской, Гданьской и Готландской котловин (1975–2016 гг.). Пунктирная линия — среднее многолетнее значение

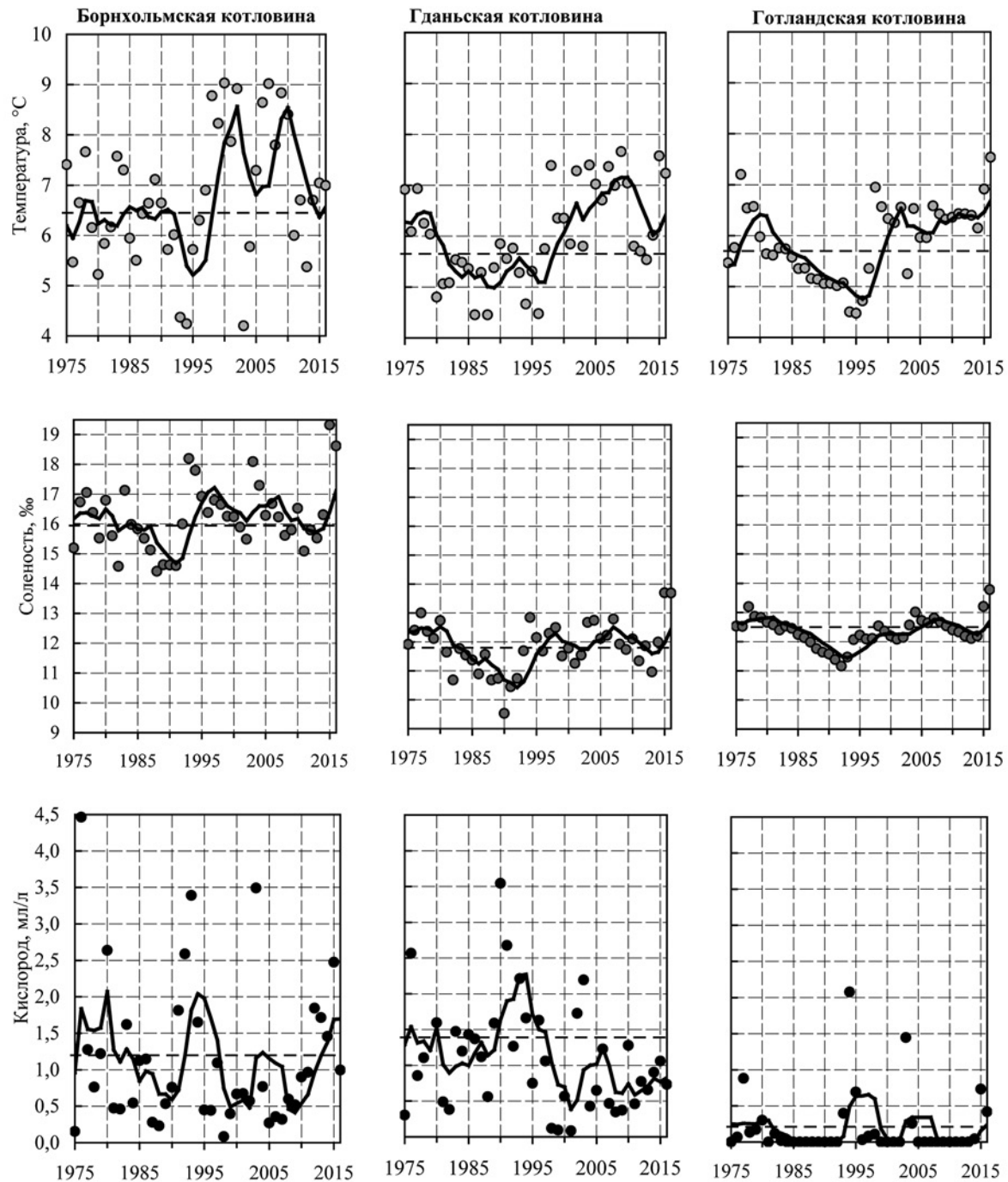


Рис. 3. Многолетние изменения среднегодовых значений температуры и солёности, концентрации кислорода и их пятилетние скользящие средние в придонном слое Борнхольмской, Гданьской и Готландской котловин (1975–2016 гг.). Пунктирная линия — среднее многолетнее значение

бассейне, но и в Гданьской котловине [Амосова и др., 2017].

Согласно климатическим прогнозам с использованием современных региональных климатических моделей в ближайшей перспективе продолжится потепление, уменьшится ледо-

витость моря в зимний сезон, увеличится количество осадков и объём речных стоков (как следствие понизится солёность верхнего слоя моря), т. е. ожидается улучшение условий для доминирования теплолюбивых эвригалинных видов. В целом экосистема Балтийского моря

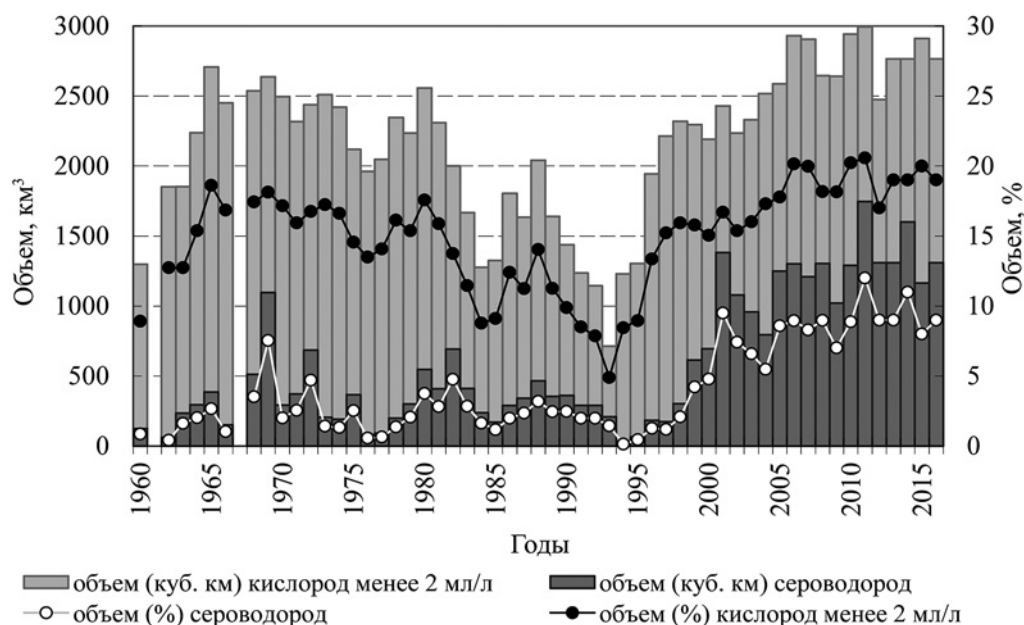


Рис. 4. Объём вод с гипоксией (концентрация кислорода менее 2 мл/л) и аноксией (отсутствие кислорода — сероводород) в Балтийском море, включая Финский и Рижский заливы в августе-октябре 1960–2016 гг. [Hansson, Andersson, 2016]

уже продемонстрировала «реакцию» на повышение температуры, и в ближайшем будущем будет подвергнута дальнейшим изменениям [BALTEX Phase II ..., 2006; Climate change ..., 2013, Second assessment ..., 2015].

Среди рыб морского фаунистического комплекса к современным условиям и будущим изменениям среды наиболее толерантен шпрот [Зезера и др., 2012, 2014; Карпушевский и др., 2013; Amosova et al., 2016]. В то же время необходимо отметить, что в перспективе рост повторяемости аномальных погодных явлений (в т. ч. и сохранение вероятности холодных зим), условия гипоксии и аноксии, температурный режим поверхностных вод в летний сезон и др., будут основными абиотическими факторами, определяющими численность пополнения, величину нерестовой биомассы и эффективность промысла балтийского шпрота. В рамках прогностических оценок состояния популяции балтийского шпрота сохраняются экологические риски, связанные с неопределенностями как прогноза изменений будущего климата в регионе, так и влиянием этих изменений на биоценоз моря в целом.

Общий вылов шпрота всеми Прибалтийскими странами в 2016 г. составил

246,5 тыс. т, что соответствовало уровню 2015 г. (247,2 тыс. т) при среднем многолетнем значении за период 1977–2016 гг. — 238,9 тыс. т. Освоение квоты странами ЕС (202,320 тыс. т) составило 104,7%. Доля вылова по основным пользователям от общего вылова: Польша — 24,0%, Швеция — 17,2%, Латвия — 11,4%, Эстония — 9,6% [Report of the Baltic ..., 2017].

Российский вылов шпрота в 26 подрайоне ИКЕС (ИЭЗ и территориальное море России) с 1993 по 2015 гг. был ниже установленного ОДУ и варьировал с 11,2 до 32,9 тыс. т и в среднем составил 24,6 тыс. т. Максимальное освоение квоты было отмечено в 2001 г. (89%), минимальное — в 1994 г. (25%), и в среднем составило 60%. Недоосвоению квот способствовала низкая закупочная цена на шпрота и низкая рентабельность устаревшего отечественного рыболовного флота на Балтике. Начиная с 2012 г. ситуация на промысле шпрота резко изменилась, чему во многом способствовали дотации из областного бюджета на рыбодобывающую отрасль, повышение закупочной стоимости шпрота. В 2013 г. освоение квоты увеличилось до 80,7% при общем вылове 22,6 тыс. т, в 2015 г. — 78,3%

при общем вылове 30,7 тыс. т. Вылов шпрота в 2016 г. находился на исторически максимальном уровне с 1992 г. и составил 34,6 тыс. т. (освоение ОДУ 41,0 тыс. т. — 84,4%). Доля России от общего вылова в 2016 г. составила 14,0% (34,6 тыс. т — освоение национальной квоты на 84,4%) против 12,4% в 2015 г.

Нерестовая биомасса шпрота снизилась с исторически максимальной величины в конце 90-х гг., но осталась выше триггерной биомассы MSY (570 тыс. т). В 2016 г. нерестовая биомасса составила 1176 тыс. т при среднемноголетней величине 935 тыс. т. Промысловая смертность в последние годы колебалась в пределах F_{msy} и F_{lim} и в 2016 г. составила 0,22 ($F_{msy} = 0,26$, $F_{lim} = 0,39$). Поколение 2014 г. было единственным высокоурожайным за период 2009–2016 гг. и будет составлять основу промысла в 2017–2019 гг. Пополнение 2016 г. оценено немного ниже среднемноголетнего значения за период 1974–2016 гг. (81,6 млрд. экз.) и составило 68,6 млрд. экз. В настоящее время величина запаса шпрота для 22–32 подрайонов ИКЕС находится в биологически безопасных пределах и в состоянии полной репродуктивной способности [Report of the Baltic ..., 2017].

Необходимо отметить, что биомасса трески восточного запаса (хищника) сосредоточена в основном в 25–26 подрайонах ИКЕС. Интенсивный промысел шпрота на данной акватории влияет на снижение его биомассы и доступность в качестве кормового объекта для трески [Амосова и др., 2017]. В 2016 г. доля промыслового изъятия шпрота в 26 подрайоне ИКЕС составила 30,5% от общего вылова. Такое увеличение промысловой нагрузки негативно влияет на доступность шпрота для трески. В связи с этим ИКЕС было рекомендовано ограничить вылов шпрота в пределах 25, 26 подрайонов, где сосредоточен основной запас восточно-балтийской трески [Report of the Baltic ..., 2016, 2017].

На рис. 5 представлен вклад подрайонов ИКЕС Балтийского моря (в %) в величину биомассы шпрота по оценкам осенних международных акустических съемок (BIAS). В 2009, 2012–2015 гг. съемки на акватории России в 26 подрайоне ИКЕС не проводились.

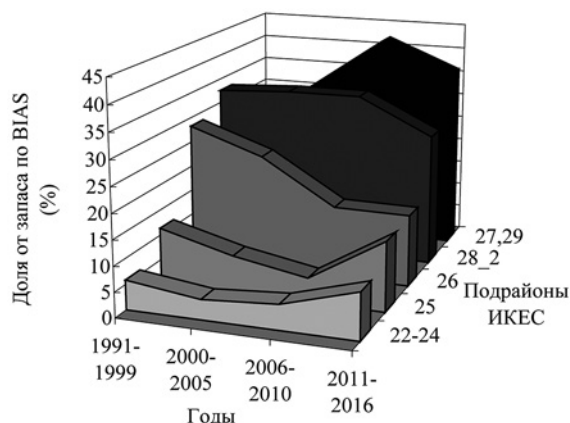


Рис. 5. Доля оцененной биомассы шпрота по данным осенних международных акустических съемок (BIAS) по подрайонам ИКЕС в Балтийском море в 1991–2016 гг.

В период 1991–2005 гг. около 30% общей биомассы шпрота находилось в 26 подрайоне ИКЕС. После 2006 г. этот показатель снижался и в 2014 г. составил только 7,5%. При этом вклад 28 подрайона ИКЕС остался практически на прежнем уровне, а 29-го (более северного) подрайона ИКЕС — заметно вырос после 2006 г. По данным Рабочих групп WGBFAS существенное снижение нерестовой биомассы шпрота в 2011–2012 гг. было связано с пониженным уровнем его биомассы в южных 25–26 подрайонах ИКЕС. Изменения в пространственном распределении величины запаса шпрота проходило на фоне увеличения его вылова именно в южной части моря. Несмотря на существенное снижение биомассы, его вылов в 26 подрайоне в последние годы оставался на высоком уровне (в среднем около 30% от общего вылова). Доля российского вылова в 26 подрайоне ИКЕС также была высокой и к 2015–2016 гг. достигла 43–46%. В целом с начала 90-х гг. интенсивность промысла (отношение вылова к биомассе) в подрайоне выросла в 9 раз, при этом нерестовая биомасса снизилась более чем в 4 раза [Report of the Baltic ..., 2017].

Для детерминированного прогнозирования были выбраны три исходных ситуации (периода), которые характеризовались различными условиями среды, величиной и возрастной структурой запаса шпрота, пространственным распределением, частотой урожайных поколений и уровнем промысловой и естественной

смертности (рис. 6). Усиление промысловой эксплуатации шпрота, существенные изменения гидрологического режима моря в разные годы отражались на численности его пополнения [Васильева, 2009; Зезера и др., 2014]. Так в середине 90-х гг. при частой повторяемости тёплых зим, активизации адвективных процессов и аэрации глубинных вод (1993–1995 гг.), снижении хищничества трески и др. — наблюдались наиболее благоприятные условия для появления урожайных поколений и роста популяции шпрота. В годы формирования высокоурожайных поколений в возрастной структуре запаса присутствовали многочисленные старшие возрастные группы (возраст 3+) с разными сроками начала и окончания нереста, что продлевало благоприятный период для роста и выживаемости личинок и молоди шпрота [Швецов, Градалев, 1988; Васильева, 2000, 2009; Васильева, Патокина, 2015; Feldman, Vasilieva, 2000, 2001; Grygiel, Wyszynski, 2003].

Напротив, в 2011, 2012 гг. и в 2016 г. развитие условий гипоксии в глубинных слоях моря, а в 2011 г. и аномально холодная зима, были неблагоприятными факторами в первую половину нерестового периода — глубинного нереста шпрота, успех которого является решающим для появления высокоурожайных поколений [Карасева, Зезера, 2000].

Прогноз урожайности поколений шпрота задача крайне сложная и до настоящего времени не решенная [Швецов и др., 2010; Norbowy, Luzenczyk, 2016]. Сложность прогноза пополнения заключается в том, что в отдельные годы из-за неблагоприятных гидрологических условий происходит массовая гибель шпрота на стадии икры, в другие годы из-за недостатка корма — личинок. Большая численность молоди шпрота осенью, отличающейся небольшой длиной и массой, в зимний период, особенно если зима суровая, также характеризуется высокой смертностью. Прогнозирование уровня пополнения на несколько лет вперёд на основе установленных взаимосвязей с факторами среды имеет свои неопределенности.

С 1999 г. для оценки урожайности поколений шпрота стали использовать данные латвийско-российских гидроакустических



Рис. 6. Исходные ситуации (сценарии) для детерминированного прогнозирования величины биомассы шпрота и его вылова в ИЭЗ и территориальном море России

съёмок, международных гидроакустических съёмок, включающих весеннюю съёмку (май) 24–28 подрайонов ИКЕС (без 27 подрайона ИКЕС) и индексы численности 0-группы осенней съёмки (сентябрь–октябрь) 22–29 подрайонов ИКЕС. Эти данные дают возможность наиболее точно оценить урожайность поколения, однако позволяют давать прогноз величины запаса и оптимального вылова не более чем с двухгодичной заблаговременностью. Поэтому в данной работе для расчёта численности пополнения шпрота в возрасте одного года в различные годы была использована модель Бивертон-Холта, которая традиционно используется в Рабочих группах ИКЕС по оценке запасов рыб и рыболовства в Балтийском море (WGBFAS) для долгосрочного прогнозирования. Результаты расчёта по модели Рикера [Ricker, 1975], почти идентичны результатам модели Бивертон-Холта (рис. 7).

На основе данных о темпах полового созревания шпрота, коэффициентах промысловой и естественной смертности (с учётом хищничества трески), численности по возрастным группам и доли отечественного вылова за 2015–2016 гг., с помощью классических уравнений динамики запасов рыб было выполнено детерминированное долгосрочное моделирование. Были рассчитаны некоторые теоретические значения уловов в ИЭЗ и территориальном море России (MSY) в 2016–2025 гг., соответствующие оптимальным интенсивностям промысла (F_{msy}) и ве-

личинам биомассы (промыслового запаса — B_{msy}) при трёх сценариях (табл. 1).

Оценки состояния запаса шпрота и его вылова в ИЭЗ и территориальном море России к 2025 г. приведены в сравнении с равновесными значениями уловов, построенными как функция от биомассы запаса и коэффициента эксплуатации (F). Кривые устойчивых уловов к 2025 г. при различных прогнозируемых сценариях представлены на рис. 8.

В зависимости от исходной ситуации (сценариев) величина нерестовой биомассы при различных сценариях в период 2016–2025 гг. может колебаться от 71 до 223 тыс. т, при текущем состоянии достигает около 130 тыс. т на уровне интенсивности промысла (F_{msy}) для первого сценария — 0,31, для второго и третьего — 0,30. Российский вылов к 2025 г. может составить минимум 21,4 тыс. т (2 сценарий), максимум — 68,7 тыс. т (1 сценарий). При сохранении величины запаса шпрота и его возрастной структуры на уровне 2016 г. вылов к 2025 г. — 38,8 тыс. т (3 сценарий). Следует отметить, что по материалам ФГБНУ «АтлантНИРО», обосновывающим общие допустимые уловы (ОДУ) водных биологических ресурсов Балтийского моря за период с 1994 по 2017 гг., российский ОДУ по шпроту колебался от 70,6 тыс. т в 1994 г. до 27,9 тыс. т в 2014 г. и в среднем составил 42,9 тыс. т. Полученные нами результаты находятся в рамках установленных ранее величин отечественного ОДУ.



Рис. 7. Наблюдённые и смоделированные отношения запас-пополнение для балтийского шпрота

Таблица 1. Верхние и нижние пределы нерестовой биомассы и возможного российского вылова шпрота, а также их средние значения по результатам детерминированного долгосрочного моделирования за период 2016–2025 гг.

Показатель	1 сценарий			2 сценарий			3 сценарий		
	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.	Средн.
Нерестовая биомасса в зоне России, тыс. т	179,5	223,5	216,1	70,5	123,7	86,6	130,1	164,3	145,0
Российский вылов, тыс. т	56,7	68,7	66,6	21,4	35,8	26,0	38,8	47,5	43,0

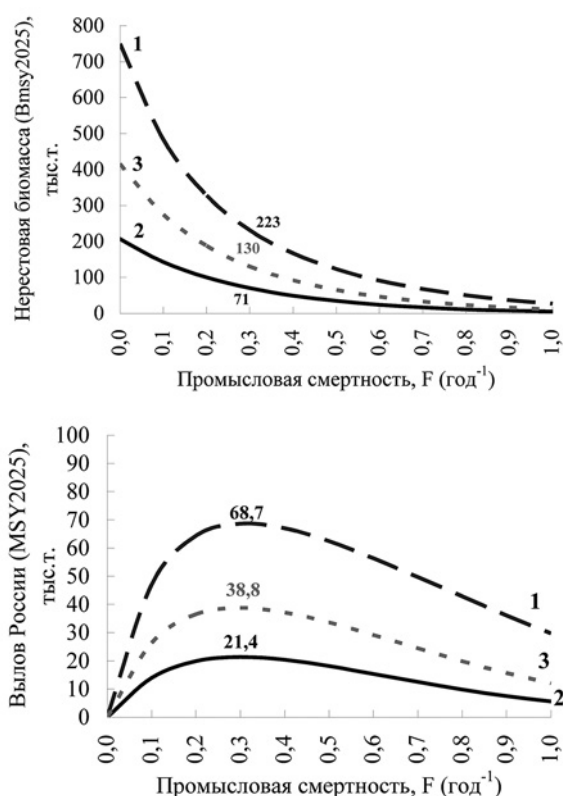


Рис. 8. Кривые равновесной биомассы и устойчивых уловов шпрота в ИЭЗ и территориальном море России Балтийского моря в 2025 г. при различных исходных ситуациях: 1, 2, 3 — прогнозируемые сценарии

Выводы

1. Нижний и верхний пределы возможного вылова шпрота отечественными рыбодобывающими организациями до 2025 г. соответствуют 21,4 и 68,7 тыс. т.

2. Основными абиотическими факторами, определяющими численность пополнения, величину нерестовой биомассы и эффективность промысла балтийского шпрота в перспективе, будут рост повторяемости аномальных погод-

ных явлений (в т. ч. и сохранение вероятности холодных зим), условия гипоксии и аноксии, температурный режим поверхностных вод в летний сезон и другие.

3. Наиболее реалистичным прогнозом состояния запаса балтийского шпрота в зоне России до 2025 г. является расчёт, основанный на 3-м сценарии: величина нерестовой биомассы 130,1–164,3 тыс. т, объём возможного вылова — 38,8–47,5 тыс. т (средний 43,0 тыс. т). Отечественный вылов в 2025 г. может составить 38,8 тыс. т при оптимальной интенсивности промысла $F_{msy} = 0,3$ и величине биомассы промыслового запаса $B_{msy} = 130$ тыс. т. Данный сценарий расчёта в наибольшей степени учитывает современное состояние популяции шпрота, текущий уровень промысловой нагрузки, состояние абиотических условий и их изменения в перспективе.

4. Прогностические оценки нерестовой биомассы и возможного объёма вылова балтийского шпрота в ИЭЗ и территориальном море России 26 подрайона ИКЕС могут служить ориентирами для рыбодобывающих организаций при планировании промысловых нагрузок (в т. ч. и в рамках задачи по достижению баланса между промысловыми мощностями и сырьевой базой) на ближайшие несколько лет.

5. В рамках прогностических оценок состояния популяции балтийского шпрота сохраняются экологические риски, связанные с неопределённостями как прогноза изменений будущего климата в регионе, так и влиянием этих изменений на биоценоз моря в целом.

6. В современных условиях изменения климата, высокой чувствительности экосистемы моря на любые внешние воздействия для контроля состояния популяции балтийского шпрота, снижения экологических рисков, свя-

занных с использованием ВБР, своевременной корректировки ОДУ (для недопущения как перелова, так и недолова), важным является проведение регулярных научных траловых и акустических съёмок в ИЭЗ и территориальном море России. Необходима заинтересованность в решении данных задач региональных властей и бизнеса, в т. ч. и в поиске внебюджетных средств финансирования исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Амосова В.М., Зезера А.С., Карпушевская А.И., Карпушевский И.В., Патокина Ф.А., Дмитриева М.А., Винокур М.Л., Шумилова К.Ю. 2017. Биологические и гидрологические компоненты, характеризующие многолетние изменения и современное состояние трески *Gadus morhua callarias* в Балтийском море (Гданьский бассейн, 26-й подрайон ИКЕС) // Вопросы рыболовства. Т. 18. № 1. С. 42–51.
- Апс Р.А. 1986. Возраст и рост балтийского шпрота. Рига: АВОТС. С. 4–21.
- Бабаян В.К. 1988. Математические модели теории рыболовства. М. 68с.
- Бирюков Н.П. 1980. Шпрот Балтийского моря. Л.: ЛГУ. 95 с.
- Васильева Т.Г. 2000. Биомасса, численность и размерно-возрастная структура запаса шпрота Юго-Восточной Балтики в 1994–1999 гг. // Вопросы рыболовства. Т. 1, № 2–3, часть II. С. 79–80.
- Васильева Т.Г. 2000. Многолетняя динамика численности, возрастной структуры и пространственного распределения шпрота в 26 и 28 подрайонах Балтийского моря // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 1998–1999 годах. Калининград. С. 166–174.
- Васильева Т.Г. 2009. Многолетние пространственно-временные изменения в распределении биомассы, численности и возрастной структуры шпрота Юго-Восточной Балтики на рубеже XX–XXI веков // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2006–2007 годах. Т. 1. Балтийское море и заливы. Калининград. С. 41–54.
- Васильева Т.Г., Патокина Ф.А. 2015. Влияние трофических условий на распределение шпрота в юго-восточной Балтике // II Межд. конф. «Актуальные проблемы планктонологии». Тез. докл. 14–18 сентября 2015 г. Калининград: Изд. КГТУ. С. 36.
- Гасюков П.С., Доровских Р.С., Приц С.Э. 1980. Методические рекомендации по применению математических методов для оценки запасов и возможного вылова промысловых объектов. Калининград: АтлантНИРО. 104 с.
- Грауман Г.Б. 1983. Закономерности формирования численности поколений балтийского шпрота на ранних стадиях онтогенеза // Рыбохозяйственные исследования в бассейне Балтийского моря. Рига: АВОТС. Вып.18. С. 38–48.
- Зезера А.С. 2009. Многолетние изменения абиотических условий в Балтийском море (1975–2007 гг.) // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2006–2007 годах. Т. 1. Балтийское море и заливы. Калининград. С. 6–17.
- Зезера А.С., Иванович В.М. 2011. Изменения климата, абиотических условий и величины запасов основных промысловых видов рыб в Юго-Восточной Балтике в последние десятилетия // Мат. XV конф. по пром. океанологии, посвященной 150-летию со дня рождения академика Н.М. Книповича. Калининград: Изд. АтлантНИРО. С. 123–126.
- Зезера А.С., Иванович В.М., Патокина Ф.А., Карпушевский И.В., Васильева Т.Г. 2012. Изменения в экосистеме Балтийского моря (Юго-Восточная часть, Гданьский бассейн, 26 подрайон ИКЕС) в последние десятилетия // Тез. докл. XI Всерос. конф. по пробл. рыбопромыслового прогнозирования, посвященной 150-летию со дня рождения академика Н.М. Книповича 22–24 мая 2012 г. Мурманск: Изд-во ПИНРО. С. 28–31.
- Зезера А.С., Амосова В.М., Патокина Ф.А., Карпушевский И.В., Васильева Т.Г., Калинина Н.А. 2014. Результаты интегрированного анализа изменений абиотических условий и величин запасов основных промысловых видов рыб в Балтийском море (юго-восточная часть, Гданьский бассейн, 26 подрайон ИКЕС) // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2010–2013 годах. Т. 1. Балтийское море и его заливы. Калининград: Изд-во АтлантНИРО. С. 6–19.
- Карасева Е.М., Зезера А.С. 2000. О влиянии термического режима на размножение и выживание потомства балтийского шпрота // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 1998–1999 годах. Калининград: Изд-во АтлантНИРО. С. 159–166.
- Карпушевский И.В., Зезера А.С., Иванович В.М. 2013. Адаптационные особенности популяций пелагических и демерсальных рыб в пространственной и временной динамике фактора солёности вод Балтийского моря // Труды Зоологического института РАН. Приложение № 3. СПб. С. 128–135.
- Рехлин О. 1975. Исследования по биологии шпрота (*Sprattus sprattus* L.) и по развитию промысла

- шпрота в восточной и северной Балтике // *Fischeri-Forschung*. Rostock. № 13. P. 67–69.
- Рикер У.Е. 1979. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб. М: Пищ. пром-сть. 408 с.
- Швецов Ф.Г., Градалев Е.Б. 1988. Динамика сезонного и межгодового распределения шпрота в восточной части Балтийского моря в зависимости от океанологических факторов // *Fischeri-Forschung*. Rostock N26 (2). P. 71–73.
- Швецов Ф.Г., Стродс Г., Винговатова А., Васильева Т.Г. 2010. Динамика численности молоди Балтийского шпрота и прогнозирование урожайности поколений на среднесрочную перспективу // VIII Межд. конф. по раннему онтогенезу рыб и промысловых беспозвоночных. Тез. докл. 19–25 апреля 2010 г. Калининград: Изд. Атлант-НИРО. С. 117–119.
- Amosova V.M., Zezera A.S., Karpushevskaya A.I., Karpushevskiy I.V., Patokina F.A., Dmitrieva M.A. 2016. Integrated analysis of several biological/hydrological components and cod stomach data in the Gdansk Basin of the Baltic Sea // *ICES ASC Handbook, Annual Science Conference (ASC)*, Riga, Latvia, 19–23 September 2016. ICES CM 2016/F:665. P. 32.
- BALTEX Phase II 2003–2012 Science Framework and Implementation Strategy. April 2006, 95 p.
- Beverton R.J.H., Holt S.J. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Fishery Investigations Series 2*, Vol. 19, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London, UK. 533 p.
- Climate change in the Baltic Sea Area: HELCOM thematic assessment in 2013. *Baltic Sea Environment Proceeding*. 2013. No. 137. 352 p.
- Daufresne M., Lengfellner K., Sommer U. 2009. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems, 12788–12793 // *PNAS*. 2009. V. 106. № 31. P. 21–58.
- Feldman V.N., Vasilieva T.G. 2000. Intra-annual variability in meso- and large- scale horizontal distribution, abundance and population structure of Baltic sprat // 2000 ICES ASC Handbook, ICES Annual Science Conference, 27–30 September 2000. Belgium. P. 156.
- Feldman V.N., Vasilieva T.G. 2001. Changes in distribution, abundance and population structure of Baltic sprat in 1992–2000 // *ICES ASC Handbook*, ICES Annual Science Conference ICES, 26–29 September 2000. Oslo, Norway. ICES CM 2001/U:05. P. 111.
- Feldman V.N., Zhigalova N.N., Patokina F.A. and A.S. Zezera. 2002. Dynamics of zooplankton structure, sprat and herring feeding and trophic interactions in conditions of water warming in the southeastern Baltic Sea // *ICES ASC Handbook, Annual Science Conference ICES*, 29 September — 9 October, Copenhagen, Denmark. ICES CM/N:05: P. 1–31.
- Grygiel, W., Wyszynski M., 2003. Temporal (1980–2001) and geographic variation in the sexual maturity at age and length of herring and sprat inhabiting the southern Baltic. *Bulletin of the Sea Fish. Inst.*, Gdynia, No. 2 (159) P. 3–33.
- Hansson M., Andersson L. 2016. Oxygen Survey in the Baltic Sea 2016. Extent of Anoxia and Hypoxia 1960–2016 // *Report Oceanogr*. 2016. № 58. 26 p.
- Horbowy J., Luzencyk A. 2016. Effects of multispecies and density dependent factors on MSY reference points: Example of the Baltic Sea sprat. *CIFAS — 2016–0220.R3*: 1–27.
- MacKenzie B.R., Koster F.W. 2004. Fish production and climate: sprat in the Baltic Sea // *Ecology*. 2004. Vol. 85. P. 784–794.
- Report of the Baltic fisheries assessment working group (WGBFAS). Copenhagen, Denmark, 2016. ICES CM 2016/ACOM. 842 p.
- Report of the Baltic fisheries assessment working group (WGBFAS). Copenhagen, Denmark, 2017. ICES CM 2017/ACOM. 859 p.
- Report of the benchmark workshop on Baltic multispecies assessments (WKBALT), Copenhagen, Denmark, 2013. ICES CM 2013/ACOM:43. 399 p.
- Report of the workshop on age reading on Baltic sprat (WKARBS), Klaipeda, Lithuania, 2008. ICES CM 2008/ACOM:37. 28 p.
- Ricker W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.* No. 191 p.
- Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. 2015. BACC II Author Team. Springer. 501 pp.

Поступила в редакцию 17.10.2017 г.
Принята после рецензии 18.11.2017 г.

Commercial species and their biology

Prospects of development of domestic sprat fishery in the Baltic Sea 2025

V.M. Amosova, T.G. Vasiljeva, A.S. Zezera

Atlantic Fisheries Research Institute (FSBSI «AtlantNIRO»), Kaliningrad

The paper discusses the long-term prospects for the sprat (*Sprattus sprattus balticus*) fishery in the Exclusive Economic Zone and the territorial sea of Russia in the 26th ICES subdivision of the Baltic Sea under various scenarios of the situation, depending on the age composition of the sprat, its abundance and biomass, and the impact of cod predation. The analysis of the main trends of oceanographic processes associated with the change in the average annual temperature, salinity and oxygen concentrations in the surface and near-bottom layers of the sea is analyzed. The upper and lower limits of the possible catch of sprat by domestic fishing organizations up to 2025 are determined, as well as the most probable scenario due to the changing abiotic factors. Prognostic assessments of the possible capacity of domestic Baltic sprat catch can serve as reference points for fishery organizations in the planning of fishing loads, including within the task of achieving a balance between fishing capacities and raw materials base for the next few years.

Keywords: Baltic Sea, sprat, deterministic long-term forecast, maximum sustainable.

REFERENCES

- Amosova V.M., Zezera A.S., Karpushevskaya A.I., Karpushevskij I.V., Patokina F.A., Dmitrieva M.A., Vinokur M.L., Shumilova K. Yu. 2017. Biologicheskie i gidrologicheskie komponenty, harakterizuyushchie mnogoletnie izmeneniya i sovremennoe sostoyanie treski *Gadus morhua callarias* v Baltijskom more (Gdan'skij bassejn, 26-j podrajon IKES) [Biological and hydrological components describing the long-term changes and the current state of cod *Gadus morhua callarias* in the Baltic Sea (Gdansk basin, subdivision ICES26)] // Voprosy Rybolovstva. T. 18. № 1. S. 42–51.
- Aps R.A. 1986. Vozrast i rost baltijskogo shprot [The age and growth of the Baltic sprat]. Riga: AVOTS. S. 4–21.
- Babayan V.K. 1988. Matematicheskie modeli teorii rybolovstva [Mathematical models of fishing theory]. M. 68 s.
- Biryukov N.P. 1980. Shprot Baltijskogo moray [Sprat of the Baltic Sea]. L.: LGU. 95 s.
- Vasil'eva T.G. 2000. Biomassa, chislennost' i razmerno-voznrastnaya struktura zapasa shprot Yugo-Vostochnoj Baltiki v 1994–1999 gg. [Biomass, abundance and size-age structure of the stock of sprat South-Eastern Baltic in 1994–1999] // Voprosy rybolovstva. T. 1. № 2–3. Chast' II. S. 79–80.
- Vasil'eva T.G. 2000. Mnogoletnyaya dinamika chislennosti, voznrastnoj struktury i prostranstvennogo raspredeleniya shprot v 26 i 28 podrajonah Baltijskogo morya [Long-term dynamics of the sprat abundance, age structure and spatial distribution in the 26th and 28th subdivisions of the Baltic Sea] // Promyslovo-biologicheskie issledovaniya AtlantNIRO v 1998–1999 godah. Kaliningrad. S. 166–174.
- Vasil'eva T.G. 2009. Mnogoletnie prostranstvenno-vremennye izmeneniya v raspredelenii biomassy, chislennosti i voznrastnoj struktury shprot Yugo-Vostochnoj Baltiki na rubezhe XX–XXI vekov [Long-term spatial-temporal changes in the sprat distribution of biomass, abundance and age structure in the South-East Baltic at the turn of the 20th and 21st centuries] // Promyslovo-biologicheskie issledovaniya

Труды ВНИРО. Т. 171. С. 39–55

- AtlantNIRO v 2006–2007 godah. T. 1. Baltijskoe more i zalivy. Kaliningrad. S. 41–54.
- Vasil'eva T.G., Patokina F.A. 2015. Vliyanie troficheskikh uslovij na raspredelenie shprota v yugo-vostochnoj Baltike [Influence of trophic conditions on distribution of sprat in the South-Eastern Baltic] // II Mezhd. Konf. «Aktual'nye problemy planktonologii». Tez. dokl. 14–18 sentyabrya 2015 g. Kaliningrad: Izd. KGTU. C. 36.
- Gasyukov P.S., Dorovskih R.S., Prits S. Eh. 1980. Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu matematicheskikh metodov dlya otsenki zapasov i vozmozhnogo vylova promyslovyykh ob"ektov [Guidelines on the application of mathematical methods to the stocks assessment and the possible catch of commercial objects]. Kaliningrad: AtlantNIRO. 104 s.
- Grauman G.B. 1983. Zakonomernosti formirovaniya chislennosti pokolenij baltiyskogo shprota na rannih stadiyakh ontogeneza [Regularities in the formation of the Baltic sprat abundance generations in the early stages of ontogeny] // Rybohozyajstvennyye issledovaniya v bassejne Baltijskogo morya. Riga: AVOTS. Vyp. 18. S. 38–48.
- Zezera A.S. 2009. Mnogoletnie izmeneniya abioticheskikh uslovij v Baltijskom more (1975–2007 gg.) [Long-term changes in abiotic conditions in the Baltic Sea (1975–2007)] // Promyslovo-biologicheskie issledovaniya AtlantNIRO v 2006–2007 godah. T. 1. Baltijskoe more i zalivy. Kaliningrad. S. 6–17.
- Zezera A.S., Ivanovich V.M. 2011. Izmeneniya klimata, abioticheskikh uslovij i velichiny zapasov osnovnykh promyslovyykh vidov ryb v Yugo-Vostochnoj Baltike v poslednie desyatiletia [Climate change, abiotic conditions and the stocks size of the main commercial fish species in the South-Eastern Baltic in recent decades] // Mat. XV konf. po prom. okeanologii, posvyashchennoj 150-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N.M. Knipovicha. Kaliningrad: Izd. AtlantNIRO. S. 123–126.
- Zezera A.S., Ivanovich V.M., Patokina F.A., Karpushevskij I.V., Vasil'eva T.G. 2012. Izmeneniya v ehkosisteme Baltijskogo morya (Yugo-Vostochnaya chast', Gdan'skij bassejn, 26 podrajon IKES) v poslednie desyatiletia [The ecosystem changes of the Baltic Sea (South-East, Gdansk basin, 26 ICES subdivision) in recent decades] // Tez. dokl. XI Vseros. konf. po probl. rybopromyslovogo prognozirovaniya, posvyashchennoj 150-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N.M. Knipovicha 22–24 maya 2012 g. Murmansk: Izd-vo PINRO. S. 28–31.
- Zezera A.S., Amosova V.M., Patokina F.A., Karpushevskij I.V., Vasil'eva T.G., Kalinina N.A. 2014. Rezul'taty integrirovannogo analiza izmenenij abioticheskikh uslovij i velichin zapasov osnovnykh promyslovyykh vidov ryb v Baltijskom more (yugo-vostochnaya chast', Gdan'skij bassejn, 26 podrajon IKES) [The results of an integrated analysis of the changes in the abiotic conditions and the stocks size of the main commercial fish species in the Baltic Sea (southeastern part, Gdansk basin, 26 ICES subdivision)] // Promyslovo-biologicheskie issledovaniya AtlantNIRO v 2010–2013 godah. T. 1. Baltijskoe more i ego zalivy. Kaliningrad: Izd-vo AtlantNIRO. S. 6–19.
- Karaseva E.M., Zezera A.S. 2000. O vliyanii termicheskogo rezhima na razmnozhenie i vyzhivanie potomstva baltiyskogo shprota [On the influence of the thermal regime on the reproduction and survival of the Baltic sprat offspring] // Promyslovo-biologicheskie issledovaniya AtlantNIRO v 1998–1999 godah. Kaliningrad: Izd-vo AtlantNIRO. S. 159–166.
- Karpushevskij I.V., Zezera A.S., Ivanovich V.M. 2013. Adaptatsionnye osobennosti populyatsij pelagicheskikh i demersal'nykh ryb v prostranstvennoj i vremennoj dinamike faktora solenosti vod Baltijskogo moraya [Adaptation features of populations of pelagic and demersal fish in the spatial and temporal dynamics of the salinity factor of the Baltic Sea waters] // Trudy Zoologicheskogo instituta RAN. Prilozhenie № 3. SPb. S. 128–135.
- Rekhlin O. 1975. Issledovaniya po biologii shprota (*Sprattus sprattus* L.) i po razvitiyu promysla shprota v vostochnoj i severnoj Baltike [Studies on the biology of sprat (*Sprattus sprattus* L.) and on the development of the sprat fishery in the eastern and northern Baltic] // Fischeri-Forschung. Rostock. № 13. (1). P. 67–69.
- Riker W.E. 1979. Metody otsenki i interpretatsiya biologicheskikh pokazatelej populyatsij ryb [Computation and interpretation of biological statistics of fish populations]. M: Pishch. prom-st'. 408 s.
- Shvetsov F.G., Gradalev E.B. 1988. Dinamika sezonnogo i mezhgodovogo raspredeleniya shprota v vostochnoj chasti Baltijskogo morya v zavisimosti ot okeanologicheskikh faktorov [Dynamics of seasonal and inter-annual distribution of sprat in the eastern part of the Baltic Sea depending on oceanological factors] // Fischeri-Forschung. Rostock № 26 (2). P. 71–73.
- Shvetsov F.G., Strods G., Vingovatova A., Vasil'eva T.G. 2010. Dinamika chislennosti molodykh Baltijskogo shprota i prognozirovaniye urozhajnosti pokolenij na srednesrochnuyu perspektivu [Dynamics of juvenile Baltic sprat abundance and forecasting the yield of generations for the medium term] // VIII Mezhd. Konf. po rannemu ontogenezu ryb i promyslovyykh bespozvonochnykh. Tez. dokl. 19–25 aprelya 2010 g. Kaliningrad: Izd-vo AtlantNIRO. S. 117–119.
- Amosova V.M., Zezera A.S., Karpushevskaya A.I., Karpushevskij I.V., Patokina F.A., Dmitrieva M.A.

2016. Integrated analysis of several biological/hydrological components and cod stomach data in the Gdansk Basin of the Baltic Sea // ICES ASC Handbook, Annual Science Conference (ASC), Riga, Latvia, 19–23 September 2016. ICES CM 2016/F:665. P. 32.
- BALTEX Phase II 2003–2012 Science Framework and Implementation Strategy*. April 2006, 95 p.
- Beverton R.J.H., Holt S.J.* 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Fishery Investigations Series 2, Vol. 19, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London, UK. 533 p.
- Climate change in the Baltic Sea Area: HELCOM thematic assessment in 2013*. Baltic Sea Environment Proceeding. 2013. No. 137. 352 p.
- Daufresne M., Lengfellner K., Sommer U.* 2009. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems, 12788–12793 // PNAS. 2009. V. 106. № . 31. P. 21–58.
- Feldman V.N., Vasilijeva T.G.* 2000. Intra-annual variability in meso- and large- scale horizontal distribution, abundance and population structure of Baltic sprat // 2000 ICES ASC Handbook, ICES Annual Science Conference, 27–30 September 2000. Belgium. P. 156.
- Feldman V.N., Vasilijeva T.G.* 2001. Changes in distribution, abundance and population structure of Baltic sprat in 1992–2000 // ICES ASC Handbook, ICES Annual Science Conference ICES, 26–29 September 2000. Oslo, Norway. ICES CM 2001/U:05. P. 111.
- Feldman V.N., Zhigalova N.N., Patokina F.A. and A.S. Zezera.* 2002. Dynamics of zooplankton structure, sprat and herring feeding and trophic interactions in conditions of water warming in the southeastern Baltic Sea // ICES ASC Handbook, Annual Science Conference ICES, 29 September — 9 October, Copenhagen, Denmark. ICES CM/N:05: P. 1–31.
- Grygiel, W., Wyszynski M.,* 2003. Temporal (1980–2001) and geographic variation in the sexual maturity at age and length of herring and sprat inhabiting the southern Baltic. Bulletin of the Sea Fish. Inst., Gdynia, No. 2 (159) P. 3–33.
- Hansson M., Andersson L.* 2016. Oxygen Survey in the Baltic Sea 2016. Extent of Anoxia and Hypoxia 1960–2016 // Report Oceanogr. 2016. № 58. 26 p.
- Horbowy J., Luzenczyk A.* 2016. Effects of multispecies and density dependent factors on MSY reference points: Example of the Baltic Sea sprat. CIFAS — 2016–0220.R3: 1–27.
- MacKenzie B.R., Koster F.W.* 2004. Fish production and climate: sprat in the Baltic Sea // Ecology. 2004. Vol. 85. P. 784–794.
- Report of the Baltic fisheries assessment working group (WGBFAS)*. Copenhagen, Denmark, 2016. ICES CM 2016/ACOM. 842 p.
- Report of the Baltic fisheries assessment working group (WGBFAS)*. Copenhagen, Denmark, 2017. ICES CM 2017/ACOM. 859 p.
- Report of the benchmark workshop on Baltic multispecies assessments (WKBALT)*, Copenhagen, Denmark, 2013. ICES CM 2013/ACOM:43. 399 p.
- Report of the workshop on age reading on Baltic sprat (WKARBS)*, Klaipeda, Lithuania, 2008. ICES CM 2008/ACOM:37. 28 p.
- Ricker W.E.* 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Board Can. No. 191 p.
- Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*. 2015. BACC II Author Team. Springer. 501 pp.

TABLE CAPTIONS

Table 1. The upper and lower limits of the sprat spawning biomass and possible Russian sprat catch, as well as their average values from the results of long-term deterministic modeling for the period 2016–2025.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Map of the 22–32 ICES subdivisions in the Baltic Sea

Fig. 2. Long-term changes in the average annual temperature and salinity and their five-year sliding averages in the surface layer of the Bornholm, Gdansk and Gotland basins (1975–2016). Dotted line — average multiyear value

Fig. 3. Long-term changes in the average annual temperature and salinity, oxygen concentrations and their five-year sliding averages in the bottom layer of the Bornholm, Gdansk and Gotland basins (1975–2016). Dotted line — average multiyear value

Fig. 4. The volume of water with hypoxia (oxygen concentration less than 2 ml/l) and anoxia (absence of oxygen — hydrogen sulphide) in the Baltic Sea, including the Gulf of Finland and the Gulf of Riga in August-October 1960–2016 [Hansson, Andersson, 2016]

Fig. 5. The share of the estimated sprat biomass from the data of autumn international acoustic surveys (BIAS) by the ICES subdivisions of the Baltic Sea in 1991–2016

Fig. 6. Initial situations (scenarios) for deterministic prediction of the sprat biomass values and its catch in the EEZ and the territorial sea of Russia

Fig. 7. The observed and simulated stock-recruitment relationship for Baltic sprat

Fig. 8. The curves of the equilibrium sprat biomass and its sustainable catches in the EEZ and the territorial sea of Russia in the Baltic Sea in 2025 under different initial conditions: 1, 2, 3 — projection scenarios