

## ДИНАМИКА ЗАПАСОВ ШПРОТА В ЧЕРНОМ МОРЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ОСВОЕНИЯ

© 2020 г. М. М. Пятинский, В. А. Шляхов, О. В. Шляхова

Азово-Черноморский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АзНИИРХ), г. Ростов-на-Дону, 344022

E-mail: pyatinskiy \_ m \_ m@azniirh.ru

Поступила в редакцию 4.09.2020 г.

Аналитическая оценка запаса черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus*, локализованного в водах у берегов Крыма и Кавказа, для периода 1994–2019 гг. выполнена на когортной модели XSA в среде R, в реализации FLR. Текущее состояние системы «запас-промысел» шпрота в российских водах Черного моря характеризуется незначительным превышением принятых ориентиров управления по промысловой смертности —  $F_{2017-2019}/F_{0,1} = 1,08$  и  $E_{2017-2019} = 0,45$ . Сопоставление полученных в настоящем исследовании результатов с предшествующими оценками на когортных моделях XSA и ICA, позволили получить непрерывный ряд годовых значений крымско-кавказского запаса шпрота в 1951–2019 гг. и распределить их по трем состояниям: «хорошему» (1951, 1973–1981, 1985–1989, 1999–2004 гг.), «плохому» (1953–1958, 1963–1971, 1990–1997 и 2006–2019 гг.) и «срединному» (оставшиеся годы). Текущее «плохое» состояние запаса предположительно связано с хищничеством пелагиды, массовые заходы которой из Мраморного моря участились в последние 15 лет и со снижением средней массы 1–3 летнего шпрота. Происходящее изменение климата не дает оснований ожидать благоприятных изменений в состоянии крымско-кавказского запаса шпрота и позволяет сделать заключение об отсутствии резервов для увеличения российского вылова шпрота в Черном море в среднесрочной перспективе.

**Ключевые слова:** шпрот, XSA, динамика, запас, пополнение, средняя масса, рыболовство, пелагида, Черное море.

### ВВЕДЕНИЕ

Черноморский шпрот является короткоцикловым, стайным пелагическим видом, достигающим промыслового размера и половой зрелости уже на первом году своей жизни. Черноморский шпрот не совершает длительных пространственных миграций (Асланова, 1954). В Черном море шпрот добывается всеми прибрежными странами региона. Его траловый промысел отечественным рыболовством ведется с 1976 г. В первые 5 лет переориентации флота на траловый промысел пелагического шпрота его годовые уловы СССР (в шельфовой зоне современ-

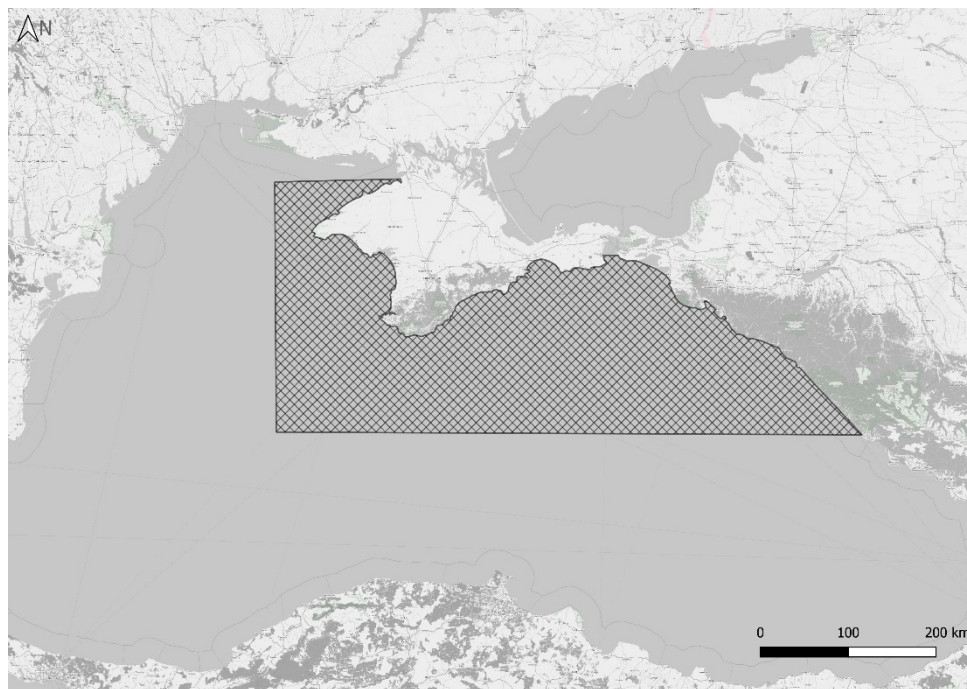
ной России, Украины, Грузии и водах за пределами прибрежной 12-мильной зоны Болгарии и Румынии) возросли с 0,3–4,4 до 66,9 тыс. т. В последующие 1980–2019 гг. суммарный вылов шпрота в водах Российской Федерации и Украины колебался от 15 до 79 тыс. т. Наибольшая доля вылова черноморского шпрота в водах Российской Федерации приходится на шельфовую зону Республики Крым и составляет около 70–80% общего российского вылова этой рыбы в Черном море. С середины 1990-х годов добычу черноморского шпрота начала вести Турция, вылов которой в отдельные годы стал превы-

шать суммарный вылов всех остальных стран Причерноморья и максимально составил 87 тыс. т (2011 г.).

Многие отечественные исследователи отмечали, что шпрот является наиболее перспективным видом для развития промышленного рыболовства в Черном море (Голенченко, 1940; Асланова, 1954; Любимова, 1957; Юрьев, 1978; Состояние биологических ресурсов..., 1995 и др.), а его запасы по результатам траловых и гидроакустических съемок в северной половине моря могут достигать 1600 тыс. т (Чащин, 1997). Втрое меньшую оценку максимальной величины запаса шпрота для всего региона Черного моря, полученную на когортных моделях XSA и ICA, указывали международные группы экспертов (Prodanov et al., 1997; STECF, 2017). Эмпирические методы оценок запаса черноморского шпрота, использующие независимую от промысла информацию, как и аналитические методы анализа промыслово-биологических данных, дают широкий размах межгодовых колебаний оценок (до 5–10 и более раз).

Вся история промысла черноморского шпрота приурочена к неустойчивому состоянию пелагической экосистемы Черного моря, которое обуславливается климатическими изменениями, загрязнением водоема, усилением степени эвтрофикации, вспышками развития вселенцев-планктофагов, периодическим нарастанием промысловой нагрузки и масштабов хищничества крупных пелагических рыб-мигрантов из Мраморного моря (Чащин, 1997; Гуси, 2002; BSC, 2008; Шляхов, Шляхова, 2011; Daskalov et al, 2017; Шляхов и др., 2018; Панов и др., 2020). Постоянные изменения в пелагической экосистеме усложняют задачу оценки запаса шпрота и построения стратегии устойчивого развития его промысла в российских водах Черного моря.

С 2015 г. при регулировании промысла в российских водах, черноморский шпрот рассматривается как локальная крымско-кавказская единица запаса, распределяющаяся у берегов Крыма и Краснодарского края (далее — Кавказа) (рис. 1).



**Рис. 1.** Район исследований черноморского шпрота в водах Крыма и Кавказа.

С одной стороны, такое допущение является условным, не совпадающим с преобладающим мнением отечественных и зарубежных ученых о существовании в Черном море единой популяции шпрота (Юрьев, 1978; STECF, 2013), хотя в его пользу свидетельствуют некоторые недавние исследования (Зуев и др., 2005; Зуев и др., 2016). С другой стороны, была показана низкая адекватность когортных методов оценивания шпрота без учета географического распределения вида и его промысла в черноморском ареале (Шляхов, 2015). Обособленный анализ промыслово-биологических данных посредством когортных моделей, относящихся к району локализации крымско-кавказской единицы шпрота, позволяет избежать искажающего влияния турецкого промысла, который ведется на менее чем на 20% черноморского шельфа, но в 2000-х и 2010-х гг. давал наибольший вклад в региональный вылов — в отдельные годы более 60–70%.

Основная цель работы — выполнение аналитической оценки состояния крымско-кавказской единицы запаса черноморского шпрота и исследование ее динамики.

В работе также предпринята попытка ответить на вопрос: является ли шпрот важным ресурсом для увеличения российского вылова рыбы в Черном море?

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе выполняется аналитическая оценка запаса черноморского шпрота по фоновым данным 1994–2019 гг., имеющимся в Азово-Черноморском филиале «ВНИРО» (ранее — научно-исследовательские институты «ЮгНИРО» и «АзНИИРХ»). Эти данные характеризуют возрастную, размерную, весовую структуру промысловых уловов и темпы наступления половой зрелости шпрота. Для настройки модели используются индексы численности шпрота в возрасте 1–4 лет, полученные при мониторинге промысла (Крым) и по данным учетных траловых съемок (Кавказ). Статистические сведения о вылове шпрота в шельфовой зоне

Крыма и Кавказа взяты из сводок Азово-Черноморского территориального управления Росрыболовства и из отчетов крымских органов рыбоохраны Госрыбгентства Украины (1994–2013 гг.).

Аналитическая оценка биомассы нерестовой популяции (*SSB*), промысловой смертности (*F*), численности пополнения (*Rec*) шпрота выполнялась на когортной модели расширенного анализа выживания XSA (eXtended Survivor Analysis) (Darby, Flatman, 1994; Shepherd, 1999) в пакете FLR, полное описание которого приведено в (Kell et al., 2007; Hillary, 2009; Бабаян и др., 2018). В Российской Федерации XSA вошел в число методов, рекомендованных для оценки запасов приоритетных видов рыб. Выбор метода был основан на высокой информационной обеспеченности, полноте имеющихся данных, а также репрезентативности различных статистических когортных моделей, среди которых XSA дает наиболее устойчивые оценки (Horbowy, 2011; Deroba et al., 2015). Рассматриваемый район локализации изучаемой единицы запаса черноморского шпрота представлен на рисунке 1. Процедура анализа выполнена в соответствии с предшествующими работами авторов (Кожурин и др., 2020). Все входные данные, программная реализация алгоритма анализа, диагностики и параметризации модели доступны в репозитории авторов по ссылке <https://bitbucket.org/phdp/sprat-xsa/src/master/>.

Для 1994–2009 гг. естественная смертность учитывалась согласно относящимся к периоду 1976–1992 гг. оценкам международной группы экспертов (Prodanov et al., 1997), т.е. отдельно для 0-группы, или пополнения ( $M_0 = 0,72$ ) и рыб нерестового запаса в возрасте 1 года и старше ( $M_{1-5} = 0,96$ ). Для 2010–2019 гг. в анализе использовались дифференцированные для всех возрастных групп оценки  $M$ , полученные методом (Gislason et al., 2010) из параметров роста уравнения Берталанффи. Значения параметров  $L_{inf}$ ,  $K$ ,  $t_0$  оценивались в среде R (пакеты FSA и nlstools) на материалах 2015–2018 гг. Поскольку основную долю

в траловых уловах составляет шпрот в возрасте от 1 до 3 лет, усредненные в данном диапазоне оценки промысловой смертности  $F_{\text{bar}}$  используются в XSA в качестве главного показателя промысловой смертности крымско-кавказской единицы запаса этой рыбы. Аналогичная параметризация основной облавливаемой группы шпрота для всего Черного моря приведена в отчетах Научного, технического и экономического комитета по рыболовству при Европейской комиссии (STECF) (STECF, 2017).

Параметризация модели XSA (количество оцениваемых лет, допустимая ошибка стягивания, диапазон возрастных групп со статичным уровнем улавливаемости и др.) определена на основе выполнения предварительной диагностики.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе предварительной диагностики входных данных и параметризации модели выполнены следующие тесты: оценка качества промысловых индексов, ретроспективный анализ стабильности модели, анализ чувствительности модели к различным стартовым параметрам, параметрический тест Mohn rho (Mohn, 1999).

Анализ качества данных промысловых индексов показал удовлетворительные результаты: большинство регрессионных прямых, учитывающих изменения численности поколений по возрастным группам, имели положительный угол наклона. Индекс численности по траловым съемкам кавказского шельфа показал лучшее качество, чем крымский. Отмечается низкая надежность данных для первой возрастной группы в крымском промысловом индексе. Наилучшая устойчивость модели на основе ретроспективной диагностики была достигнута при допустимой ошибке стягивания  $F_{\text{SE}} = 0,5$ . При такой параметризации, аналитический тест стабильности Mohn rho (далее — коэффициент  $\rho$ ) позволил получить оценки  $\rho_{\text{SSB}} = -0,115$  и  $\rho_{\text{Fbar}} = 0,184$  для биомассы нерестового запаса и промысловой смертно-

сти соответственно, которые попали в рекомендуемый интервал  $\rho \in [-0,22; 0,20]$ , что свидетельствует о высокой степени стабильности модели. Результаты моделирования на XSA даны в таблице 1, оценки пополнения, биомассы нерестового запаса и промысловой смертности с учетом фактора неопределенности (Cochrane, 2002), характеризуемого  $\sigma = 0,39$ , представлены на рисунке 2.

После получения окончательных результатов моделирования выполнялась диагностика невязок (остатков). Результаты диагностики невязок не свидетельствуют о наличии накопительных годовых или возрастных отклонений (все остатки положительные или отрицательные в возрастной группе или по годовому вектору) ни для одной из съемок. Самые значимые невязки выявлены для 4-й возрастной группы по данным индексов кавказских съемок. Численность шпрота в возрасте 4 лет в съемках и промысле чрезвычайно низкая, а в некоторые годы четырехлетний шпрот в уловах полностью отсутствовал, поэтому данные невязки не оказывают серьезного влияния на окончательные результаты модели, однако их следует учитывать в дальнейшем анализе.

Учитывая все выполненные тесты и полученные результаты диагностики, модель XSA устойчива к колебаниям стартовых параметров, имеет отличную стабильность, прошедшую проверку критерием Mohn rho, с высокой точностью описывает имеющиеся эмпирические данные и параметры крымско-кавказской единицы запаса шпрота.

Для оценки биологических ориентиров управления оказалось невозможным применить результаты подгонки модели запас-пополнение, а также получить правдоподобные оценки предосторожных ориентиров  $B_{\text{pa}}$  и  $B_{\text{lim}}$  на основе девственной биомассы  $B_{\text{virgin}}$  (которая для крымско-кавказской единицы запаса шпрота неизвестна) с учетом фактора неопределенности. Связь между нерестовым запасом и численностью пополнения оказалась очень слабой и подверженной частым случайным флуктуациям, что не позволило осуществить удовлетворительную



**Таблица 1.** Итоговые оценки численности пополнения ( $R_{ec}$ , млрд. шт.), нерестового запаса ( $SSB$ , т) и промысловой смертности ( $F_{bar}$ ) на XSA для черноморского шпрота в 1994–2019 гг.

Год	Оценки XSA		
	$R_{ec}$	$SSB$	$F_{bar}$
1994	17,3	45936,4	1,54
1995	17,9	46884,6	0,77
1996	50,0	48647,8	1,34
1997	60,6	90764,0	0,68
1998	93,3	158063,1	1,09
1999	190,9	202165,7	0,16
2000	152,4	408827,3	0,31
2001	126,7	348799,6	0,31
2002	59,9	326394,9	0,31
2003	64,1	218473,7	0,49
2004	41,9	168863,4	0,53
2005	34,9	132936,6	0,93
2006	32,8	87050,7	0,79
2007	40,4	77612,2	0,60
2008	30,8	83500,0	1,41
2009	32,3	62608,6	2,49
2010	47,3	49614,9	1,54
2011	52,5	43563,9	1,16
2012	95,1	40805,7	1,23
2013	75,4	69383,7	0,40
2014	70,9	66110,1	0,22
2015	88,9	97983,7	0,79
2016	79,0	75885,4	1,01
2017	77,7	69426,0	0,35
2018	69,8	63345,8	0,86
2019	75,3	64357,6	0,77

подгонку модели запас-пополнение (Бивертон-Холта и Рикера) и указывает на ведущую роль среды обитания на формирование продуктивности запаса черноморского шпрота. Поэтому был использован альтернативный подход из практики ICES и других международных рыбохозяйственных организаций, при котором текущий показатель темпа эксплуатации,  $E$  (отношение промысловой смертности к общей,  $E = F/Z$ ), со-

относится с его фиксированным значением  $E = 0,4$  (Patterson, 1992). Эксплуатация запаса считается максимально устойчивой в том случае, если значения  $E$  близки к 0,4. Если текущее значение  $E$  заметно превышает эту величину, эксплуатация запаса чрезмерна. Рассмотрен также традиционный ориентир управления —  $F_{0,1}$  (Gulland, Boerema, 1973), известный как «щадящий» уровень промысловой смертности (Бабаян, 1982). Согласно

этим двум ориентирам управления, эксплуатация крымско-кавказского запаса шпрота считалась устойчивой, когда текущие значения темпа эксплуатации и промысловой смертности оказываются близкими к  $E = 0,4$  и  $F_{0,1}$ , а граничный уровень промысловой смертности  $F_{MSY}$  не превышен. Принятые ориентиры управления, результаты вычислений нерестовой биомассы и промысловой смертности представлены в таблице 2 и рисунке 3.

Как свидетельствуют результаты XSA, в последние 20 лет за исключением 1999–2004, 2013–2014 и 2017 гг. отмечена переэксплуатация крымско-кавказской единицы запаса шпрота, однако, начиная с 2011 г. ее степень существенно сократилась.

После получения оценок, характеризующих крымско-кавказскую единицу запаса шпрота и биологических ориентиров управления, были рассмотрены несколько сценариев краткосрочного прогноза, т.е. прогноза от терминального 2019 г. на три последующих года:

- $F_{SQ} = 0,66$ : сценарий сохранения промысловой смертности на уровне средней 3-х-летней за период 2017–2019 гг.;

- $F_{0,1} = 0,605$ : сценарий снижения промысловой смертности до «падающего» уровня;

- $F_{MSY} = 0,64$ : сценарий снижения промысловой смертности до уровня максимального устойчивого улова;

- $F = 0,4$  и  $F = 0,5$ : два произвольных сценария, которые должны показать возможные изменения запаса и вылова при резком сокращении промысловой смертности на 25% и 40% соответственно.

Расчет численности пополнения для прогнозных лет выполнялся на основе геометрического усреднения численности за последние 3 года промысла ввиду невозможности удовлетворительно оценить параметры зависимости «запас-пополнение». Результаты прогноза по пяти указанным выше сценариям занесены в таблицу 3.

Они показывают небольшое увеличение  $SSB$  по отношению к терминальному при всех заданных значениях промысловой смертности в последний год трехлетнего горизонта прогноза — от 6% (при  $F_{SQ} = 0,660$ ) до 18% ( $F = 0,400$ ), при одновременном снижении годового улова от 5 до 26% соответственно. С учетом текущего состояния популяции и влияния на нее промысла для определения величины рекомендованного вылова разумно использовать вариант с  $F_{0,1}$ , что потребует сокращения промысловых усилий не более, чем на 10% от текущего уровня. При таком варианте будет обеспечен умеренный рост биомассы запаса. Сценарии с более жестким ограничением промыслового усилия приведут к более высокому росту биомассы запаса, однако промысел не станет максимально эффективным, и запас будет недоиспользоваться.

**Таблица 2.** Биологические ориентиры управления крымско-кавказской единицы запаса черноморского шпрота

Ориентиры управления по промысловой смертности и ее текущее состояние	Значение	Источник
$F_{0,1}$	0,605	(STECF, 2017)
$F_{MSY}$	0,640	(STECF, 2017)
$SSB_{2017-2019}$	65,7 тыс. т	Наша оценка по данным табл. 1
$F_{2017-2019}$	0,660	Наша оценка по данным табл. 1
$F_{2017-2019}/F_{0,1}$	1,091	Наша оценка по данным табл. 1
$E_{2017-2019}$	0,45	Наша оценка по данным табл. 1

**Таблица 3.** Краткосрочный прогноз величины запаса и вылова (в тыс. т) черноморского шпрота в водах России при различной промысловой смертности

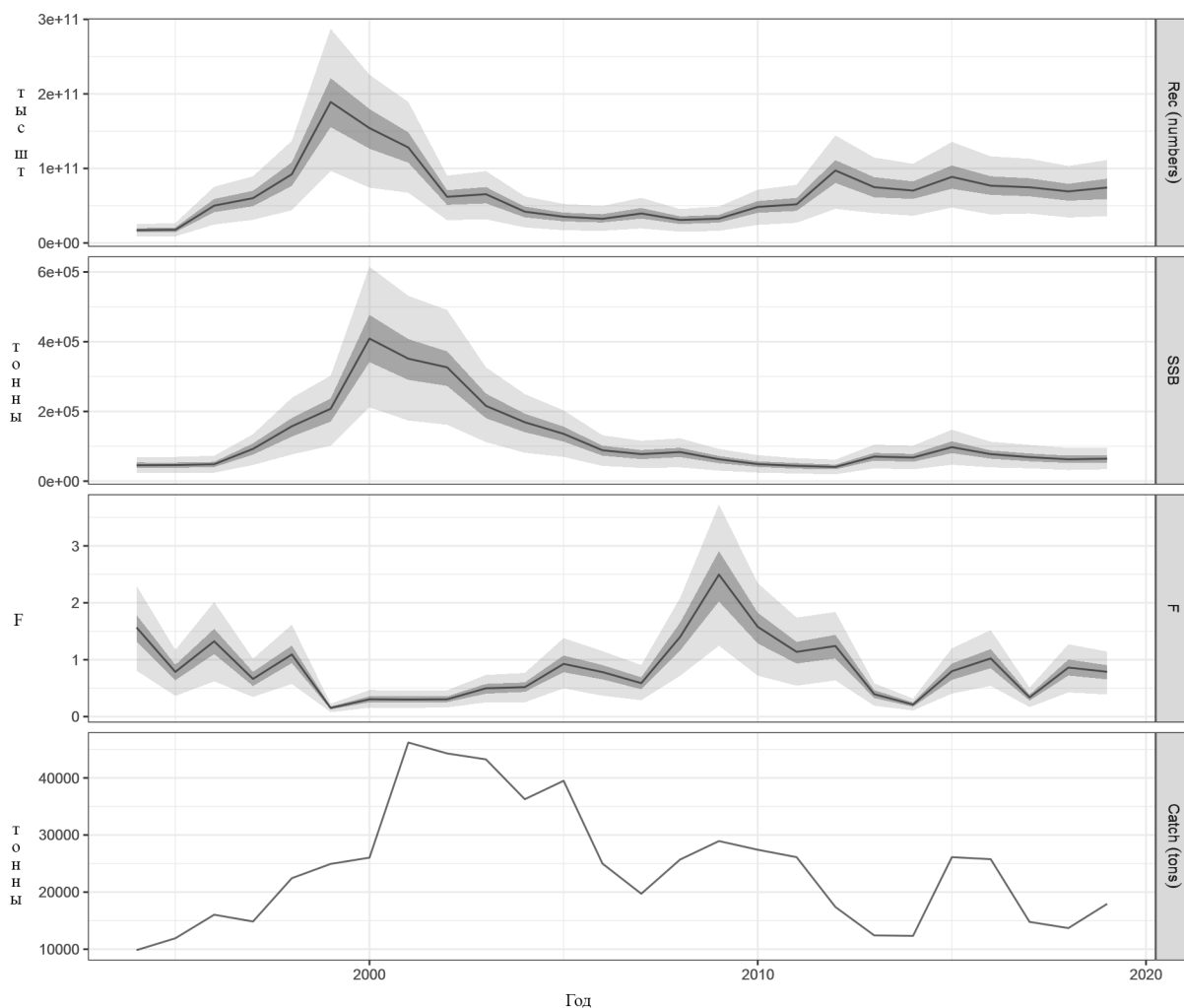
Год	Текущие (2019 г.) и прогнозируемые (2020–2022 гг.) показатели при различных сценариях $F$									
	$F_{SQ} = 0,660$		$F_{0,1} = 0,605$		$F_{MSY} = 0,640$		$F = 0,500$		$F = 0,400$	
	Запас	Улов	Запас	Улов	Запас	Улов	Запас	Улов	Запас	Улов
2019	64,4	17,9	64,4	17,9	64,4	17,9	64,4	17,9	64,4	17,9
2020	64,3	15,7	64,3	14,9	64,3	15,3	64,3	12,6	64,3	10,4
2021	67,2	16,5	68,1	15,7	67,5	16,2	70,0	14,0	71,8	12,2
2022	68,4	17,0	69,7	16,4	68,9	16,8	72,6	15,0	75,7	13,3

Прогнозирование на XSA состояния запаса короткоциклового черноморского шпрота с прогнозным горизонтом большим чем три года не имеет большого смысла, поскольку в формировании запаса важную роль играет пополнение, изменения которого главным образом обусловлены средой обитания и не могут быть спрогнозированы на основе зависимости «запас-пополнение». Понять, является ли шпрот перспективным видом для развития отечественного рыболовства в Черном море, можно изучив многолетнюю динамику его запаса. Возвращаясь к полученным оценкам биомассы нерестового запаса, численности пополнения и промысловой смертности (табл. 1, рис. 2) можно выделить три различных состояния системы запас-промысел: 1) «хорошее» (с 1999 до середины 2000-х гг.), для которого характерны высокие показатели запаса и пополнения, а промысловой смертности — ниже граничного уровня; 2) «плохое» (с середины и до конца 1990-х и с конца 2000-х по 2012 гг.), с низким запасом и пополнением и высокой промысловой смертностью; 3) «срединное» (с 2013 по 2019 гг.), когда в смежные годы показатели лежат между значениями, характерными для хорошего и плохого состояний.

Очевидно, что лишь при «хорошем» состоянии запаса имеются резервы для увеличения объема вылова шпрота. После начала тралового лова, в годы «плохого» и «срединного» состояния, запас шпрота чаще всего эксплуатировался чрезмерно. В период,

охватываемый нашим оцениванием на XSA, вылов от крымско-кавказской единицы запаса мог быть существенно увеличен только в 1999–2002 гг., это хорошо видно по соответствующим низким значениям  $F$  и  $E$  на диаграммах рисунка 3. В течение тех четырех лет скопления шпрота стабильно держались на всех участках тралового промысла и эффективно облавливались даже в зимние месяцы, а среднегодовые уловы на единицу промыслового усилия были максимальными, составляя в 2000–2002 гг. 1,3–1,8 т/час траления (Шляхов, Гришин, 2009). Годовой вылов при увеличении промыслового усилия мог быть доведен до 80–90 тыс. т. Последовавший затем переход к «плохому» состоянию запаса произошел при существенном снижении численности пополнения и не был вызван наращиванием промысловых мощностей, поскольку численность участвовавших в траловом промысле судов России и Украины в 1999–2012 гг. сохранялась на уровне 26–30 ед. с тенденцией уменьшения к концу этого периода. Высокие показатели промысловой смертности в 2008–2012 гг. (коэффициент  $F$  изменялся в пределах 1,2–2,5) свидетельствовали о чрезмерной интенсивности тралового лова, однако не стали препятствием для возрастания запаса в 2015 г. до «срединного» состояния.

Выяснить причины, определяющие состояние крымско-кавказского запаса шпрота и условия для его возвращения в «хорошее» состояние и как долго оно может со-



**Рис. 2.** Результаты оценок XSA моделирования пополнения ( $R_{ec}$ , шт.), нерестового запаса ( $SSB$ , т) и промысловой смертности ( $F_{bar}$ ) черноморского шпрота с учетом степени неопределенности распределения истинных оценок: светло-серый цвет для  $\rho = 0,99$ , темно-серый для уровня  $\rho = 0,95$ .

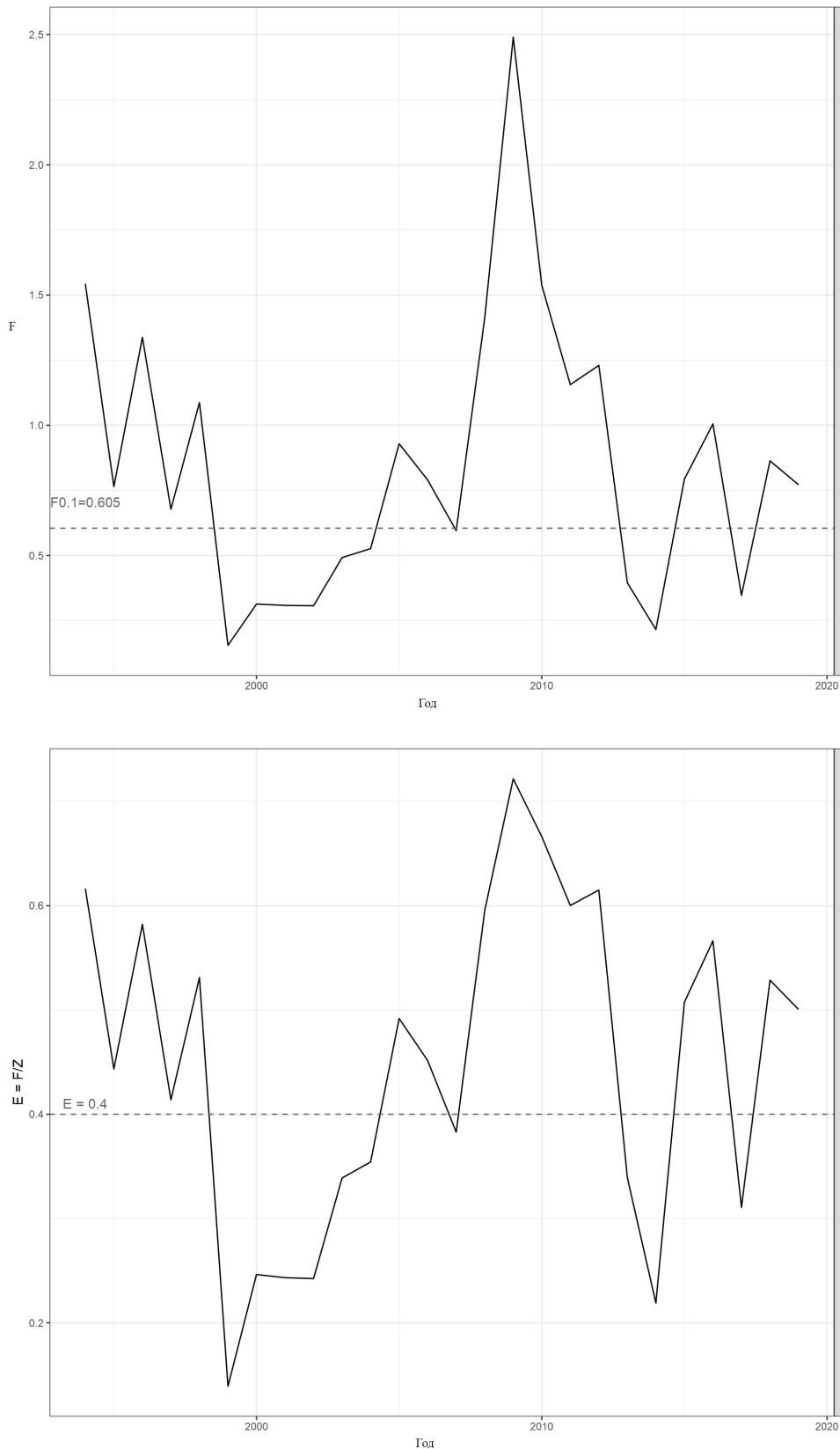
храняться, очень сложно из-за короткого ряда полученных нами оценок запаса, а также из-за множества факторов, влияющих на запас и друг на друга. Расширить анализируемый ряд оценок состояния запаса шпрота можно за счет привлечения результатов XSA (Prodanov et al., 1997) и ICA (STECF, 2017), относящихся ко всему Черному морю. Очевидно, что  $SSB$  шпрота во всем Черном море выше, чем у берегов Крыма и Кавказа, и его абсолютные значения неудобны для сопоставления. При соотношении годовых значений  $SSB$  с их средними значениями за период оценивания (рис. 4, столбцы), биомасса запаса приводится к безразмерным

относительным показателям  $SSB/SSB_{av}$ , или к относительному запасу, что более удобно для сопоставления.

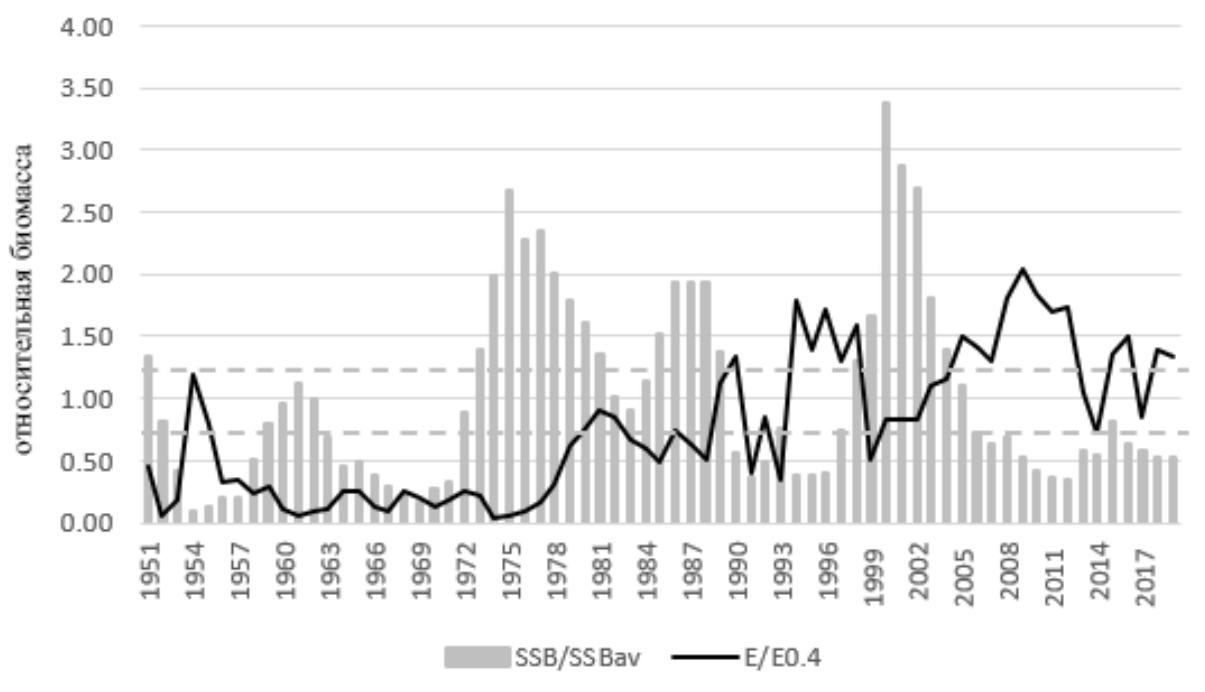
Условимся, что относительный запас находится в «срединном» состоянии при  $SSB/SSB_{av} = 1,00 \pm 0,25$ , в «хорошем» — когда  $SSB/SSB_{av} > 1,25$ , в «плохом» — при  $SSB/SSB_{av} < 0,75$ .

До 1993 г. Турция практически не добывала черноморского шпрота, и это, наряду с идентичностью методов оценки (XSA в нашей работе и Prodanov), делает возможным в первом приближении вычислить долю нерестовой биомассы запаса в 1951–1993 гг. для крымско-кавказской единицы, используя





**Рис. 3.** Биологические ориентиры промысла, черноморский шпрот: слева — промысловая смертность и ориентир  $F_{0.1}$ ; справа — темп эксплуатации и ориентир  $E = 0,4$ .



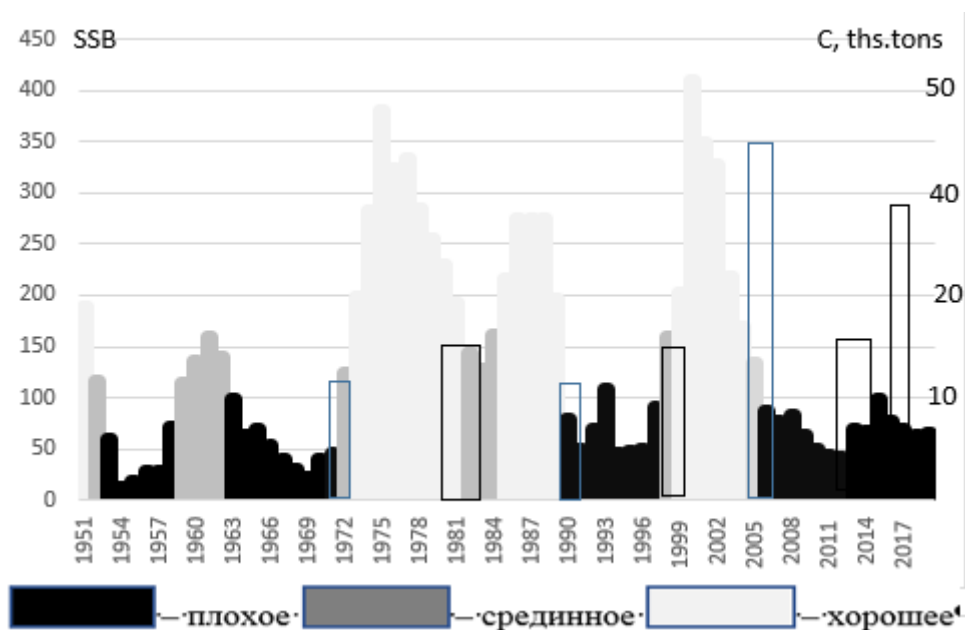
**Рис. 4.** Значения годовых отношений нерестовой биомассы запаса шпрота к их средним за период 1951–1993 гг. (в Черном море рассчитаны по оценкам на XSA из (Prodanov et al., 1997), 1994–2019 гг. (по нашим оценкам крымско-кавказского запаса на XSA) и отношений годовых значений коэффициента эксплуатации  $E$  к  $E = 0,4$ ; верхней пунктирной линией обозначено значение 1,25, нижней — 0,75.

оценки нерестовой биомассы запаса для всего Черного моря (Prodanov et al., 1997) и среднегодовую долю отношения крымско-кавказской единицы запаса ко всей черноморской  $= 0,687$  за 1997–2006 гг. (STECF, 2017). Полученный таким образом ряд приближенных оценок был дополнен нашими непосредственными оценками этого показателя. Затем были рассчитаны годовые значения крымско-кавказского относительного запаса для всего ряда за 1951–2019 гг., которые позволили их сгруппировать и усреднить по трем состояниям (рис. 5).

За весь исследованный почти 70-летний период на годы с «хорошим» состоянием крымско-кавказского запаса шпрота ( $SSB_{cr-cau} > 167$  тыс. т) пришлось 30%, а годы с «плохим» состоянием ( $SSB_{cr-cau} < 100$  тыс. т) по времени занимали 54%. С 1952 по 1972 г. не наблюдалось ни одного года с «хорошим» состоянием запаса, несмо-

тря на низкую интенсивность промысла, что, очевидно связано с большим прессом хищников — пелагиды, луфаря, крупной ставриды, дельфинов. Хищничество пелагиды и в последующие годы оказывало влияние на запас шпрота — его состояния, попадающие под градацию «хорошее» были приурочены к годам с отсутствием массовых заходов этой рыбы в Черное море.

Начиная с 1973 г. наступил самый длительный период «хорошего» состояния запаса, длившийся 9 лет подряд и еще 5 лет после кратковременного трехлетнего снижения до «срединного» уровня в 1982–1984 гг. Начало освоения крымско-кавказского запаса шпрота и развитие его отечественного тралового промысла пришлось на годы с наиболее высоким запасом — по XSA около 380 тыс. т, по эхометрической съемке 1999 г. получена оценка в полтора раза выше. Именно в 1970-х и 1980-х гг. сложилось мнение



**Рис. 5.** Состояния нерестового запаса шпрота у берегов Крыма и Кавказа ( $SSB_{cr-sau}$ , тыс. т) в 1951–2019 гг. по XSA и турецкие среднегодовые уловы пелагиды в Черном море в 1970–2016 гг. в годы ее массового захода из Мраморного моря ( $C$ , тыс. т, обозначены прозрачными прямоугольниками; периоды массовых заходов пелагиды соответствуют ее среднегодовым уловам свыше 12 тыс. т в годы с уловами не ниже 10 тыс. т).

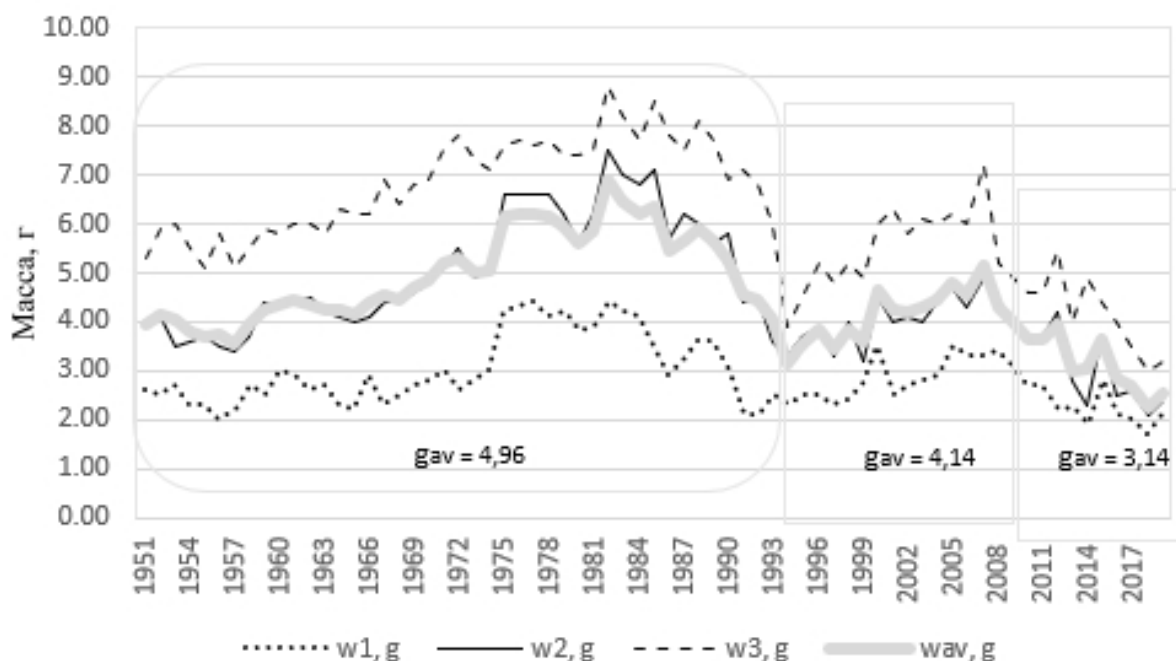
о шпроте, как о наиболее существенном и стабильном резерве черноморского рыболовства (Юрьев, 1978; Домашенко, Юрьев, 1978; Ефимов и др., 1985).

В последние 14 лет состояние крымско-кавказского запаса характеризуется как «плохое», только в 2015 г. запас вплотную приблизился к «срединному» уровню, на 2020–2023 гг. не прогнозируется существенного роста запаса (табл. 3). Такая динамика  $SSB_{cr-sau}$  не только связана с массовыми заходами пелагиды в 2005–2006, 2012–2014 и 2016 гг., но и во многом является следствием снижения темпа роста шпрота, проявляющегося в уменьшении средней массы и длины у одновозрастных особей. Поскольку величина  $SSB$  представляет собой произведение численности рыб на их среднюю массу, уменьшение средней массы влечет за собой уменьшение биомассы нерестового запаса. При рассмотрении динамики средней массы 1–3-х-летних рыб за весь имеющийся в нашем распоряжении период

наблюдений, можно констатировать тенденцию снижения этого показателя в целом для 1951–2019 гг., а в особенности на участках 1982–1994 и 2007–2018 гг. (рис. 6).

Три периода времени на рисунке соответствуют способам учета естественной смертности в XSA (раздел «Материал и методика»). При сопоставлении средней массы 1–3-х-летних особей в 1951–1993 гг. с таковой в 1994–2009 гг. и в 2010–2019 гг. зафиксировано ее уменьшение на 20% и 58% соответственно. Причины, вызывающие замедление темпов роста черноморского шпрота, здесь не рассматриваются, мы лишь предполагаем, что они связаны с фактором, неблагоприятным для физиологии холодолубового шпрота, возможно с изменением климата. Нет оснований ожидать того, что в ближайшее десятилетие средняя масса шпрота вернется к показателям 1970–1980-х гг.

Заходы в Черном море пелагиды, в рационе питания которой шпрот занимает значительную долю, в последние годы



**Рис. 6.** Многолетняя динамика средней массы шпрота в Черном море.  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  — средняя навеска для 1, 2 и 3 возрастной группы соответственно,  $w_{av}$  — средняя навеска всех особей в возрастах 1–3 лет.

участились, стали более массовыми, чем в 1970–1999 гг. (рис. 5). Возможно, и здесь не последнюю роль играют климатические изменения, благоприятные для теплолюбивой пелагиды.

Обобщая результаты проведенного исследования многолетней динамики крымско-кавказского запаса шпрота, можно сделать заключение об отсутствии резервов для увеличения его российского вылова, по крайней мере, в среднесрочной перспективе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При аналитическом оценивании черноморский шпрот рассматривается как локальная крымско-кавказская единица запаса.

2. Аналитическая оценка крымско-кавказского запаса шпрота выполнена на данных 1994–2019 гг. при помощи модели XSA в среде R в группе пакетов FLR. Модель выдержала все необходимые тесты,

оценивающие стабильность, устойчивость и точность.

3. По результатам моделирования, в последние 20 лет за исключением 1999–2004, 2013–2014 и 2017 гг. отмечена переэксплуатация крымско-кавказского запаса шпрота. С 2011 г. она существенно сократилась и в 2017–2019 гг. стала незначительной. Текущее состояние системы «запас-промысел» в российских водах Черного моря характеризуется незначительным превышением принятых для шпрота ориентиров управления по промысловой смертности —  $F_{2017-2019}/F_{0,1} = 1,08$  и  $E_{2017-2019} = 0,45$ .

4. При соотношении годовых значений биомассы нерестового запаса  $SSB$  с их средними значениями за период оценивания, биомасса запаса приводится к безразмерным относительным показателям  $SSB/SSB_{av}$ , или к относительному запасу, удобному для сопоставления аналитических оценок, относящихся к крымско-кавказскому району и к Черному морю в целом. Предложена

следующая градация состояния запаса: от-носительный запас находится в «срединном» состоянии при  $SSB/SSB_{av} = 1,00 \pm 0,25$ , в «хорошем» — когда  $SSB/SSB_{av} > 1,25$ , в «плохом» — при  $SSB/SSB_{av} < 0,75$ .

5. За весь исследованный период на годы с «хорошим» состоянием крымско-кавказского запаса шпрота (189–409 тыс. т) пришлось 30%, а годы с «плохим» состоянием по времени занимали 54%. Длительность «хороших» состояний варьировала от 5 до 9 лет, и они были приурочены к годам, в которые отсутствовали массовые заходы пелагиды в Черное море из Мраморного моря.

6. Лишь при «хорошем» состоянии запаса имеются резервы для увеличения объема вылова шпрота. После начала тралового лова, в годы «плохого» и «срединного» состояния крымско-кавказский запас чаще всего эксплуатировался чрезмерно. В последний по времени период «хорошего» состояния запаса годовой вылов от крымско-кавказского запаса при увеличении промыслового усилия мог быть доведен до 80–90 тыс. т.

7. У черноморского шпрота в много-летнем плане наблюдается снижение темпа линейного и весового роста: в 1951–1993 гг. средняя масса 1–3 летних рыб составляла 4,96 г, в 1994–2010 гг. — 4,14 г, а в 2011–2019 гг. — 3,14 г. Предположительно, замедление роста холодолюбивого шпрота связано с неблагоприятным для его физиологии изменением климата.

8. В 2006–2019 гг. состояние крымско-кавказского запаса шпрота попадает под градацию «плохое», на предстоящие четыре года не прогнозируется его переход в более высокие градации. Происходящее изменение климата не дает оснований ожидать возвращения средней массы шпрота к показателям 1970–1980-х лет и снижения интенсивности массовых заходов пелагиды из Мраморного моря в ближайшее десятилетие. На этом основании можно сделать заключение об отсутствии резервов для существенного увеличения российского вылова шпрота в Черном море, по крайней мере, в среднесрочной перспективе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Асланова Н.Е. Шпрот Черного моря // Тр. ВНИРО, 1954. Т. 28. С. 75–100.

Бабаян В.К. Метод расчета параметров шадящего режима рыболовства // Рыбн. хозяйство, 1982. № 2. С. 26–30.

Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И. и др. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: Изд-во ВНИРО, 2018. 312 с.

Голенченко А.П. Шпрот в Черном море // Рыбн. хозяйство, 1940. № 9. С. 11–14.

Домашенко Г.П., Юрьев Г.С. К обоснованию оптимального вылова шпрота в Черном море // Тр. ВНИРО, 1978. Т. 128. С. 57–60.

Ефимов Ю.Н., Домашенко Г.П., Шляхов В.А., Юрьев Г.С. Оценка величины допустимого улова шпрота в Черном море // Океанографические и рыбохозяйственные исследования Черного моря: науч. труды. М.: ВНИРО, 1985. С. 101–110.

Зуев Г.В., Бондарев В.А., Самойлов Ю.В. Географическая изменчивость размерно-возрастной структуры черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) (Pisces. Clupeidae) и его внутривидовая дифференциация // Морской биологический журнал, 2016. Т. 1. № 1. С. 24–35.

Зуев Г.В., Мельникова Е.Б., Пустоварова Н.И. Биологическая дифференциация и структура запаса черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Pisces: Clupeidae) // Морской экологический журнал, 2005. Т. 4. № 1. С. 55–65.

Кожурин Е.А., Пятинский М.М., Шляхов В.А., Шляхова О.В. Аналитическое оценивание пиленгаса в Азовском море с помощью когортной модели XSA // Тр. ВНИРО, 2020. В печати.

Любимова Т.Г. О распределении шпрота в северо-западной части Черного моря // Рыбн. хозяйство, 1957. № 12. С. 62–64.



- Панов Б.Н., Спиридонова Е.О., Пятинский М.М., Стыцук Д.Р. О роли температурного фактора в поведении и эффективности промысла Черноморского шпрота // Водные биоресурсы и среда обитания, 2020. Т. 3. № 1. С. 106–113.
- Состояние биологических ресурсов Черного и Азовского морей (Справочное пособие) // Керчь: ЮГНИРО, 1995. 64 с.
- Чащин А.К. Основные результаты исследований пелагических ресурсов Азово-Черноморского бассейна // Тр. ЮГНИРО, 1997. Т. 43. С. 60–67.
- Шляхов В.А. О применимости результатов виртуально-популяционного анализа к управлению запасами промысловых рыб Черного моря // Вопр. рыболовства, 2015. Т. 16. № 4. С. 523–530.
- Шляхов В.А., Гришин А.Н. Состояние планктонного сообщества и промысла пелагических рыб в Черном море после вселения гребневики *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* // Рыбн. хозяйство Украины, 2009. Т. 5. № 64. С. 53–61.
- Шляхов В.А., Шляхова О.В. Динамика структуры траловых уловов шпрота на украинском шельфе Черного моря и воздействие на нее природных факторов и рыболовства // Тр. ЮГНИРО, 2011. Т. 49. С. 12–33.
- Шляхов В.А., Шляхова О.В., Надолинский В.П., Перевалов О.А. Промыслово-биологические показатели рыболовства для важнейших распределенных запасов водных биоресурсов Черного моря как основа их регионального оценивания. // Водные биоресурсы и среда обитания, 2018. Т. 1. № 1. С. 86–103.
- Юрьев Г.С. Биология, оценка запасов и перспективы промысла черноморского шпрота (*Sprattus sprattus phalericus* Risso): Автореф... дис... канд. биол. наук. Севастополь: Изд-во ИНБЮМ, 1978. 24 с.
- BSC. State of the Environment of the Black Sea (2001–2006/7). Black Sea Commission Publications 2008–3, Istanbul, Turkey, 2008. 419 p.
- Cochrane K.L. (ed.). A fishery manager's guidebook: management measures and their application. Chichester, Oxford: Blackwell Publishing, FAO Publ., 2002. 424 p.
- Darby C.D., Flatman S. Virtual Population Analysis: Version 3.1 (Windows/DOS). User guide // MAFF Information Technology Series. Directorate of Fisheries Research, 1994. V. 1. 85 p.
- Daskalov G.M., Boicenco L., Grishin A.N. et. al. Architecture of collapse: regime shift and recovery in an hierarchically structured marine ecosystem // Global Change Biology, 2017. V. 23. № 4. P. 1486–1498.
- Deroba J.J., Butterworth D.S., Methot R.D., et. al. Simulation testing the robustness of stock assessment models to error: some results from the ICES strategic initiative on stock assessment methods // ICES J. Marine Science, 2015. V. 72. № 1. P. 19–30.
- Gislason H., Daan N., Rice J.C., Pope, J.G. Size, growth, temperature and the natural mortality of marine fish // Fish and Fisheries, 2010. V. 11. № 2. P. 149–158.
- Gulland J.A., Boerema L.K. Scientific advice on catch levels // NOAA Fishery Bulletin. US, 1973. V. 71. № 2. P. 325–335.
- Gucu A.C. Can overfishing be responsible for the successful establishment of *Mnemiopsis leidyi* in the Black Sea? // Estuarine. Coastal and Shelf Science, 2002. V. 54. № 3. P. 439–451.
- Hillary R. An introduction to FLR fisheries simulation tools // Aquatic Living Resources, 2009. V. 22. № 2. P. 225–232.
- Horbowy J. Comparison of stock management with production, difference, and age-structured models using operating models // Fisheries Research, 2011. V. 108. № 1. P. 153–162.
- Kell L.T., Mosqueira I., Grosjean P. et. al. FLR: an open-source framework for the evaluation and development of management strategies // ICES J. Marine Science, 2007. V. 64. № 4. P. 640–646.
- Mohn R. The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data // ICES Journal of Marine Science, 1999. V. 56. № 4. P. 473–488.

Patterson K. Fisheries for small pelagic species: an empirical approach to management targets // Reviews in Fish Biology and Fisheries, 1992. № 2. P. 321–338.

Prodanov K., Mikhailov K., Daskalov G., et. al. Environmental management of fish resources in the Black Sea and their rational exploitation // Studies and Reviews. General Fisheries Council for the Mediterranean, 1997. No. 68. Rome, FAO. 178 p.

Shepherd J. G. Extended survivors analysis: An improved method for the analysis of catch-at-age data and abundance indices // ICES Journal of Marine Science, 1999. V. 56. № 5. P. 584–591.

STECF, 2013 Sampson D., Charref A., Osio G. C. (eds.). Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF) – Black Sea Assessments (STECF-14–14). Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. 429 p.

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

## DYNAMICS OF SPRAT STOCKS IN THE BLACK SEA AND PROSPECTS FOR ITS FISHERY

© 2020 y. M. M. Piatinskii, V. A. Shlyakhov, O. V. Shlyakhova

*Azov-Black Sea branch of Fisheries and Oceanography, Rostov-on-Don, 344002*

Stock assessment of the European sprat *Sprattus sprattus phalericus*, localized in the waters off the shores of the Crimean Peninsula and Caucasus, has been performed for 1994–2019, using XSA cohort model in FLR package in R. The current state of the system «stock–exploitation» for the sprat in Russian waters of the Black Sea is characterized by slight overfishing according to the reference points accepted in fisheries management:  $F_{2017-2019}/F_{0,1} = 1,08$  and  $E_{2017-2019} = 0,45$ . Comparison of the obtained results against the background of the previous published assessments involving XSA and ICA models allowed us to establish continuous annual time series for Crimean and Caucasian sprat stocks in 1951–2019 and to judge them into three stock states: «good» (1951, 1973–1981, 1985–1989, 1999–2004), «bad» (1953–1958, 1963–1971, 1990–1997, 2006–2019), and moderate (all other years). It is possible that current «bad» state of the sprat stock is due to bonito predation one the part, which mass invasions from the Marmara Sea have become more frequent over the last 15 years, and is also related to reduction of the average weight in 1–3-year individuals. Ongoing climate change gives no reason to expect improvement of the state of Crimean and Caucasian sprat stocks, which leads us to the conclusion that there is no room for increasing Russian exploitation of the sprat stocks in the Black Sea in the medium term.

**Keywords:** European sprat, XSA, dynamics, stock, recruitment, average weight, fisheries, bonito, Black Sea