

Моделирование динамики промысловой популяции, в условиях недостаточности информационного обеспечения, моделью CMSY на примере Черноморского шпрота в водах России

DOI

М.М. Пятинский –
ведущий специалист группы
математического моделирования
и прогноза –
Азово-Черноморский филиал
ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»)

@ pyatinskiy_m_m@azniirkh.ru

Ключевые слова:
популяционное
моделирование, оценка
запаса, шпрот, трендовое
моделирование, апробация,
CMSY, XSA, Азово-
Черноморский бассейн

Keywords:
population modeling, stock
assessment, sprat, trend
modeling, approbation, CMSY,
XSA, Azov-Black sea basin

DATA LIMITED STOCK ASSESSMENT OF POPULATION DYNAMICS BY CMSY MODEL ON THE EXAMPLE OF BLACK SEA SPRAT IN THE RUSSIAN WATERS

M.M. Piatinskii – lead researcher of math modeling and forecast group Azov-black sea branch of FSBI "VNIRO" ("Azniirkh»)

This study performs approbation of trend CMSY model on the example of Black sea sprat fishing unit, localized in Russian waters. Data sources has been reduced to the level of data limited modeling for indicator and trend models approach. CMSY population model results were compared with previously performed estimations by more powerful cohort model - XSA. CMSY results shows no significant deviations from the XSA results. Forecast scenarios and conclusions based on CMSY model fitting leads to the same statements with previously published results by XSA. CMSY model shows next results: stock biomass in 2019 $B_{2019} = 63,9$ ths. t, fishing mortality – $F_{2019} = 0,29$. Stock biomass in 2019 was significant below the target reference point $B_{MSY} = 105$ ths. t and higher then limit reference point $B_{lim} = 52,7$ ths. t. Some uncertain overexploitation in 2019 was underlined, $F_{2019}/F_{MSY} = 1,12$. Investigation of forecast scenarios with different total allowed catch levels indicates that there are no features for increasing the catch capacity in short-term projection. CMSY model fitting have passed the necessary stability tests and confirm previously founded results. In summary of this study, we can recommend to use CMSY model for stock assessment procedure in terms of data-limited information background.

ВВЕДЕНИЕ

Аналитическая оценка состояния запаса и промысла водных биологических ресурсов – актуальная задача современных рыбохозяйственных исследований. В последние годы разработан ряд научных рекомендаций российскими [1] и зарубежны-

ми [13; 14; 15; 16] авторами по выполнению аналитического популяционного моделирования. В соответствии с имеющимися работами, выделяют 3 уровня (у российских авторов) или 6 групп (у зарубежных авторов) методов аналитической популяционной оценки, в за-

висимости от качества и полноты имеющейся информации.

Первому уровню информационного обеспечения (I информационный уровень обеспеченности у российских исследователей, 1-2 категория – у зарубежных исследователей) соответствуют единицы запасы, для которых доступна многолетняя структурированная информация о возрастной и половой структуре, информация о параметрах популяции (параметры модели роста, естественная смертность и т.д.), индексы изобилия по результатам научных съемок. Для данной группы информационного обеспечения применимы наиболее надежные методы оценки запасов, в основе которых лежит восстановление структуры популяции по имеющимся данным. К методам этой группы относят когортные модели VPA, XSA и другие.

Ко второму уровню информационного обеспечения относят единицы запасов, для которых доступна многолетняя информация о промысловом изъятии и промысловом усилии (II информационный уровень у российских исследователей, 4 категория – у зарубежных исследователей). Для данного информационного уровня применимы различные реализации продукционных моделей, которые называют моделями прибавочной продукции – surplus production models [22] или моделями динамики биомассы – biomass dynamics models [12], такие как Combi, SPiCT, JABBA и другие.

В случаях недостаточной полноты или качества многолетних рядов данных используют методы популяционного моделирования, относящиеся к третьему информационному уровню у российских исследователей или 4-5 категории у зарубежных исследователей. Методы, используемые для аналитической оценки, при неполных данных, имеют название «методы с бедным информационным обеспечением» (DLM – data limited methods). Одним из вариантов реализации данного подхода является модель CMSY [11], в качестве входной информации для анализа в которой используется многолетний ряд величин уловов и информация о параметре популяционной гибкости [19].

Актуальной задачей для выполнения процедуры оценки запаса, ориентиров эксплуатации и степени рационального использования единиц запаса Азово-Черноморского бассейна и р. Дон является апробация и применение методов III-информационного уровня для единиц запаса с дефицитом информации – при недостаточной полноте и качестве имеющихся данных. Для некоторых проходных и полупроходных видов Азово-Донского бассейна отсутствуют многолетние непрерывные ряды данных о возрастной и половой структуре популяции [2]. Ведение промысла различными типами орудий лова и высокий уровень ННН-промысла [4; 7; 8; 3] делает невозможным стандартизацию информации о промысловом усилии и улове на единицу промыслового усилия. Учитывая имеющиеся данные, оценка запасов многих видов рыб Азово-Донского бассейна, как и процедура популяционного моделирования при помощи аналитических методов, может быть вы-

полнена только методами III-информационного уровня.

В данной работе выполнена апробация результатов популяционного моделирования доработанным методом CMSY (III-информационный уровень) способом искусственного сокращения доступной информации, в сравнении с опубликованными результатами когортной модели XSA [6] для единицы запаса черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* в водах России. Биологические особенности [5] и пространственное распределение черноморского шпрота в данной статье не рассматриваются.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В качестве исходных данных для моделирования использовались ранее опубликованные многолетние ряды уловов шпрота в водах России в работе [6]. Трендовое моделирование выполнено при помощи модифицированной версии модели CMSY, реализованной в среде R [10; 17; 11].

Модель CMSY позволяет выполнить оценку биомассы запаса (B), промысловой смертности (F) и ориентиров рациональной эксплуатации (MSY) на основе входного ряда о величинах многолетнего вылова (C) и биологической информации о популяционной гибкости вида. Модель CMSY реализует продукционный подход [22] к популяционному моделированию в виде уравнения Шеффера [23, 11] для решения дифференциального уравнения изменения биомассы запаса во времени (dB/dt):

$$B_{t+1} = B_t + r(1 - B_t/K)B_t - C_t, \quad [1]$$

$$\phi_{F(t)} = F_t = C_t/B_t, \quad [2]$$

где:

- t – индекс векторной записи по времени (год)
- B – биомасса запаса (вектор)
- C – суммарный годовой вылов (вектор)
- ϕ_F и F – промысловая смертность (убыль) (вектор)
- r – параметр мгновенного популяционного роста (оптимизируемый параметр)
- K – параметр максимальной емкости среды (оптимизируемый параметр)

Решение уравнения (1) выполняется при помощи итеративной апостериорной процедуры вероятностного решения алгоритмом Марковских цепей Монте-Карло (Markov-chain Monte-Carlo, MCMC) [9]. Итерации MCMC выполняются для поиска оптимума пары параметров r/K . Диапазон поиска оптимальных значений r/K пары задается в соответствии с параметром популяционной гибкости, определенным пользователем при настройке модели. После оценки параметров r/K выполняется расчет биомассы запаса (B) и промысловой смертности (промысловая убыль – на относительной шкале $0 \dots 1$, ϕ_F) (F) и целевых ориентиров эксплуатации, в соответствии с работами [23; 22]:

$$MSY = (rK)/4, \quad [2]$$

$$F_{MSY} = 0,5r, \quad [3]$$

$$B_{MSY} = 0,5K, \quad [4]$$

Для построения модели CMSY использовался ряд многолетней рыбохозяйственной статистики вылова Черноморского шпрота в водах России за период 1994-2019 гг. (табл. 1) и критерий популяционной гибкости, определенный по видовым характеристикам шпрота как средний [19].

После построения модели CMSY выполнялось сравнение оценок биомассы запаса, промысловой смертности, целевых и граничных ориентиров эксплуатации с более надежным методом, результаты которого были опубликованы ранее [6].

Для проверки адекватности многолетних трендов изменчивости биомассы запаса выполнен корреляционный анализ [20]. Оценка надежности модели к укорачиванию ряда входных данных (ретроспективный анализ) выполнена при помощи аналитического теста Mohn rho [18] с ретроспективным горизонтом 3 года.

Для построения краткосрочного прогноза на 3 года, 2020-2022 гг., применено уравнение (1), найденные оптимумы r/K параметров и биомасса запаса в терминальный год выполняемых оценок ($B_t = B_{2019}$). Для прогнозирования биомассы запаса и промысловой смертности рассматривались 3 возможных сценария:

- щадящий сценарий – постепенное снижение величины годового вылова ($C_{2020} = 16$ тыс. т, $C_{2021} = 15$ тыс. т, $C_{2022} = 14$ тыс. т)
- сценарий «статус кво» – сохранение величины годового вылова на уровне последних лет ($C_{2020-2022} = 18$ тыс. т)
- сценарий наращивания изъятия – увеличение величины годового вылова до уровня максимальных уловов в прошлом ($C_{2020} = 20$ тыс. т, $C_{2021} = 25$ тыс. т, $C_{2022} = 30$ тыс. т)

Все модификации базовой реализации модели CMSY в пакете «datalimited2» опубликованы в репозитории авторов: <https://bitbucket.org/model-examples/cmsy/src/master/>.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При выполнении процедуры поиска оптимумов пары r/K модели Шеффера (1) были найдены следующие оптимумы: $r = 0,503$ [0,335 – 0,756], $K = 216582,2$ [149691 – 313364]. Результаты построения модели CMSY – оценки биомассы запаса (B), промысловой смертности (F) и их доверительные интервалы при $p = 0,95$ представлены в таблице 2.

По уравнениям (2-4), в соответствии с найденными оптимумами r/K модели, были вычислены

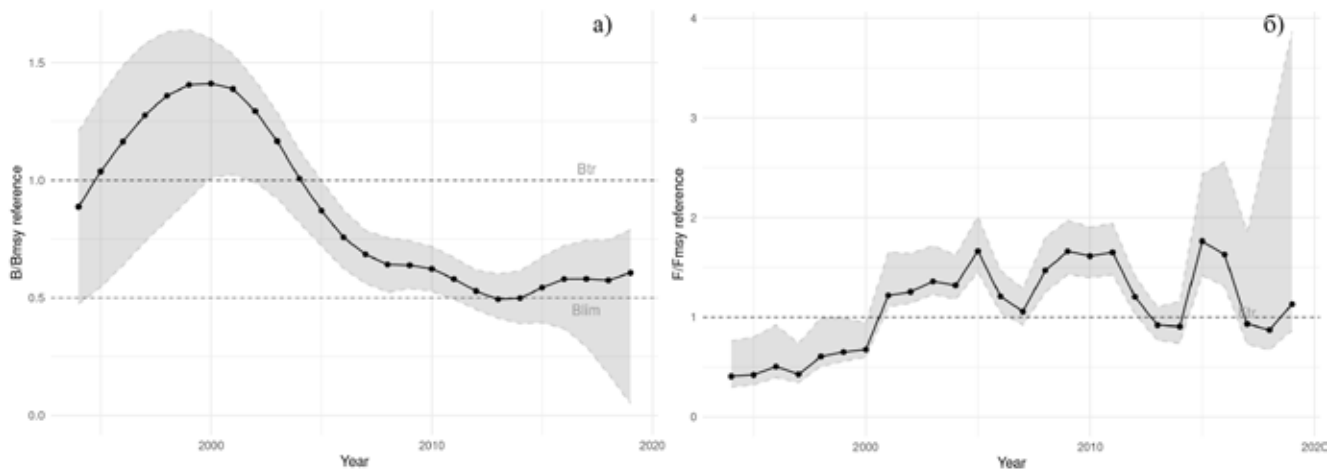


Рисунок 1. Оценки моделью CMSY для Черноморского шпрота – биомасса запаса относительно целевого ориентира B_{MSY} и граничный ориентир B_{lim} (а), промысловая смертность относительно целевой ориентира F_{MSY} (б)

Figure 1. Black sea sprat CMSY model results: stock biomass VS reference point B_{MSY} (а), fishing mortality VS reference point F_{MSY} (б)

Таблица 1. Многолетняя рыбопромысловая статистика вылова шпрота в Черном море в водах России / **Table 1.** Black sea sprat annual catch statistics in Russian waters (input data)

Год	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Улов(т)	9843	11915	16041	14851	22440	24939	26033	46195	44283	43241
Год	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2001	2011	2012	2013
Улов(т)	36269	39495	24993	19715	25703	28939	27415	26118	17393	12416
Год	2014	2015	2016	2017	2018	2019				
Улов(т)	12338	26119	25766	14782	13693	18677				

Таблица 2. Результаты оценки биомассы запаса и промысловой смертности Черноморского шпрота за период 1994-2019 годов при помощи модели CMSY / **Table 2.** CMSY Black sea sprat stock assessment results - biomass and fishing mortality in period 1994-2019

Год	Биомасса запаса (т)		Промысловая смертность	
	Оценка	Доверительный интервал, $\rho = 0,95$	Оценка	Доверительный интервал, $\rho = 0,95$
1994	93638	50052 - 127690	0,105	0,077 - 0,197
1995	109485	57457 - 143473	0,109	0,083 - 0,207
1996	122822	67194 - 157042	0,131	0,102 - 0,239
1997	134671	77785 - 166991	0,11	0,089 - 0,191
1998	143493	87391 - 172144	0,156	0,13 - 0,257
1999	148309	97038 - 173078	0,168	0,144 - 0,257
2000	148877	106716 - 169037	0,175	0,154 - 0,244
2001	146505	108035 - 162177	0,315	0,285 - 0,428
2002	136587	104529 - 150451	0,324	0,294 - 0,424
2003	123034	97264 - 136043	0,351	0,318 - 0,445
2004	106311	86395 - 119011	0,341	0,305 - 0,42
2005	91945	76078 - 105511	0,43	0,374 - 0,519
2006	79895	65794 - 92263	0,313	0,271 - 0,38
2007	72228	59163 - 83051	0,273	0,237 - 0,333
2008	67747	55214 - 79769	0,379	0,322 - 0,466
2009	67413	56821 - 78409	0,429	0,369 - 0,509
2010	65749	55675 - 75888	0,417	0,361 - 0,492
2011	61270	52056 - 70937	0,426	0,368 - 0,502
2012	55829	47565 - 65275	0,312	0,266 - 0,366
2013	52153	43560 - 63508	0,238	0,196 - 0,285
2014	52670	41130 - 64871	0,234	0,19 - 0,3
2015	57323	41494 - 71205	0,456	0,367 - 0,629
2016	61270	38945 - 76333	0,421	0,338 - 0,662
2017	61328	30748 - 78545	0,241	0,188 - 0,481
2018	60662	18550 - 78748	0,226	0,174 - 0,738
2019	63972	5330 - 83427	0,292	0,224 - 1

целевые ориентиры концепции MSY и их доверительные интервалы:

- MSY = 27272 [23381 - 31810] (т)
- $B_{MSY} = 105531$ [72329 - 153975] (т)
- $F_{MSY} = 0,258$ [0,176 - 0,379]

В соответствии с вычисленными значениями целевых ориентиров и полученными оценками биомассы запаса и промысловой смертности были построены графики их отношений к целевым ориентирам (рис. 1). Уровень граничного ориентира B_{lim} был определен исходя из международной практики рабочих групп ICCAT, публикации авторов [21], и составил $B_{lim} = 0,5 B_{MSY} = 52,7$ тыс. тонн.

По результатам параметризации модели в ретроспективный период было выполнено краткосрочное прогнозирование с 3-мя сценариями. Результаты прогнозных сценариев представлены на рисунке 2.

Для оценки устойчивости модели к укорачиванию ряда входных данных выполнен ретроспективный анализ в аналитической интерпретации – тест Mohn rho. Результаты тестирования модели CMSY и ранее опубликованной работы представлены в таблице 3. В соответствии с результатами работы [18] надежной подгонкой считаются оценки ρ , не выходящие за границы интервала [-0,22; +0,3].

Результаты оценки биомассы запаса методом CMSY и ранее полученные результаты моделью XSA с доверительными интервалами представлены на рисунке 3 (а). Для модели CMSY представлен доверительный интервал оценок биомассы запаса при уровне значимости $p = 0,95$, для ранее опубликованных результатов XSA – при уровне значимости $p = 0,99$ (красная область) и $p = 0,95$ (светло красная область). Результаты корреляционного теста оценок биомассы 2-мя методами представлены на рисунке 3 (б).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Оценки биомассы запаса и промысловой смертности (табл. 2) относительно целевых ориентиров (рис. 1), выполненные моделью CMSY для черноморского шпрота в водах России, удовлетворительно соответствуют оценкам, полученным более сложной когортной моделью XSA [6]. Аналогично ранее полученным результатам отмечается переэксплуатация запаса шпрота практически за весь современный период, 2002-2019 годы. Отмечается и постепенное сокращение биомассы запаса шпрота ниже целевого уровня $B_{cr} = 105,5$ тыс. т в период 2005-2019 гг., соответствующее ранее полученным результатам.

Результаты диагностики ретроспективного анализа свидетельствуют об удовлетворительной надежности модели CMSY к укорачиванию ряда входных данных и краткосрочному прогнозированию (табл. 3). Как и ожидалось, оценки, выполненные трендовой моделью CMSY в искусственных условиях ограниченности информационного

обеспечения, имеют меньшую надежность, чем ранее полученные результаты когортной моделью XSA, о чем свидетельствуют величины коэффициентов теста Mohn rho (ρ_{SSB} , ρ_F).

Визуальный анализ оценок биомассы запаса двумя разными моделями (рис. 3а) показывает удовлетворительное соответствие оценок за период 2005-2019 гг. и некоторую недооценку запаса моделью CMSY в период 1999-2004 годы. Недооценка запаса в этот период моделью CMSY, по результатам прошлой работы [6], обусловлена невозможностью учета экосистемных факторов и изменчивости системы запас-пополнение шпрота в «благоприятный» период состояния его нерестовой популяции в 1999-2004 годы. Аналитический корреляционный тест достоверности наличия связи между оценками запаса двумя различными методами (рис. 3б), подтверждает наличие значимой связи ($r = 0,73$) на уровне значимости биологических исследований $\alpha = 0,05$, что свидетельствует об удовлетворительном соответствии моделируемых трендов запаса разными методами. В период 2017-2019 гг. оценки биомассы запаса обеими моделями практически совпали.

Прогнозные сценарии, представленные на рисунке 2, свидетельствуют об отсутствии перспектив для наращивания промысла, аналогично результатам предыдущей работы. Промысел на уровне 25-30 тыс. т, в соответствии с результатами моделирования, будет способствовать дальнейшему сокращению запаса шпрота до граничного уровня $B_{lim} = 52,7$ тыс. тонн. Сохранение промыслового изъятия на уровне среднееголетнего

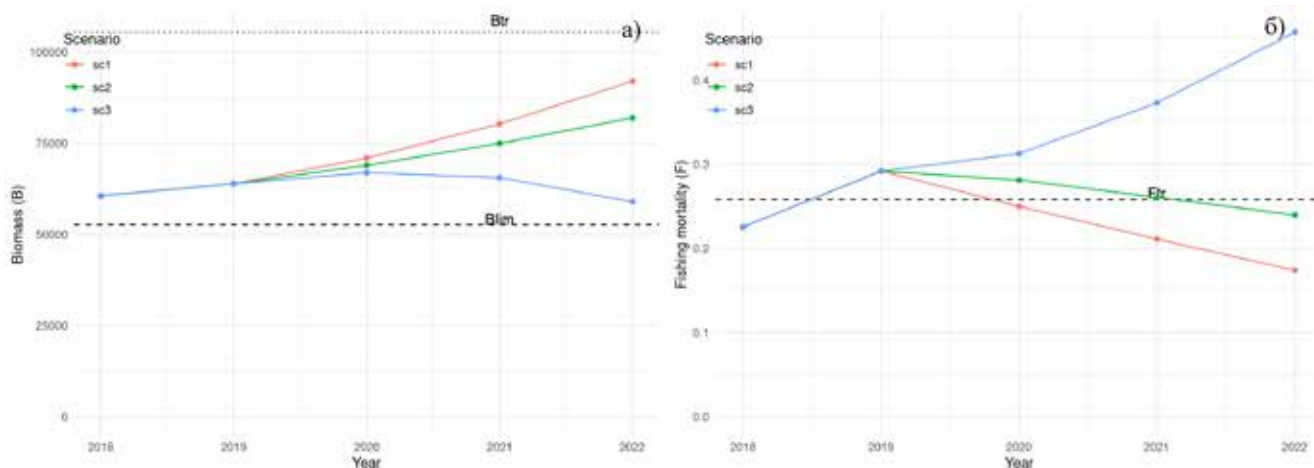


Рисунок 2. Краткосрочный прогноз биомассы запаса (а) и промысловой смертности (б) Черноморского шпрота моделью CMSY в период 2020-2022 гг. – 3 промысловых сценария
Figure 2. Short-term forecast fishery scenarios for stock biomass (a) and fishing mortality (b) of Black sea sprat by CMSY model in period 2020-2022

Таблица 3. Ретроспективный анализ надежности модели к укорачиванию ряда данных с горизонтом в 3 года – тест Mohn rho / **Table 3.** Retrospective analysis results by Mohn rho test with 3 year truncate

Модель / Параметр	ρ_{SSB}	ρ_F
CMSY	-0,067	0,31
XSA	-0,115	0,184

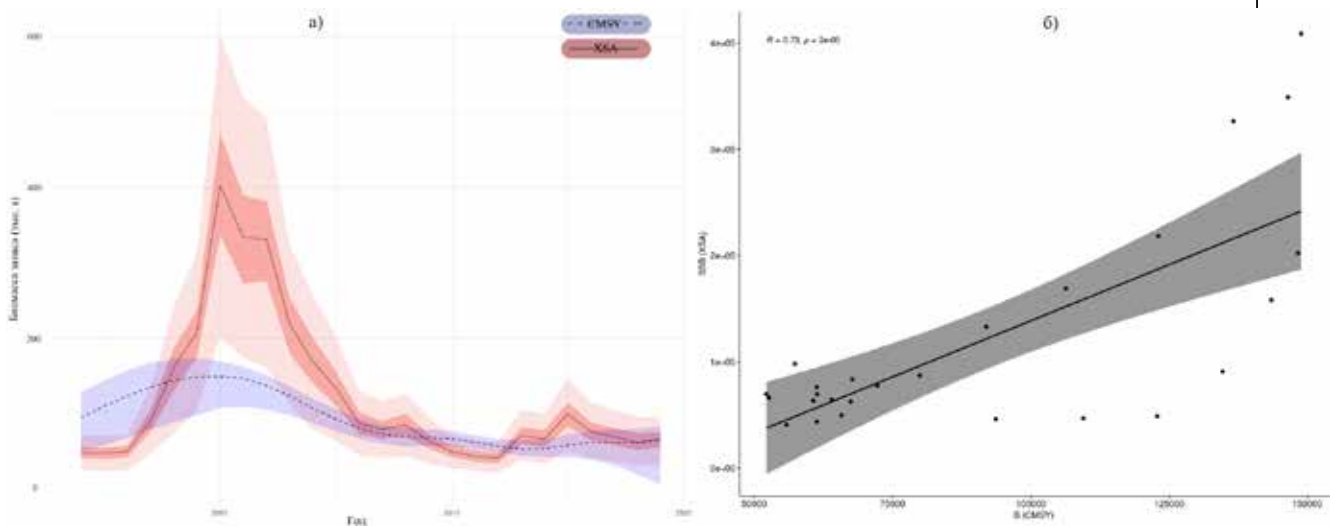


Рисунок 3. а) оценки биомассы запаса черноморского шпрота моделью CMSY (пунктирная кривая и синяя область) и ранее опубликованные результаты моделью XSA (сплошная кривая и красная область), б) корреляционный тест оценок биомассы запаса моделью CMSY и XSA

Figure 3. a) Black sea sprat stock biomass estimation by CMSY model (dashed line with blue area) and previous results by XSA model (solid line with red area), b) Pearson correlation test for stock biomass estimates by CMSY and XSA

– 18 тыс. т позволит начать плавное восстановление биомассы запаса до целевого уровня, однако в 2021-2022 гг. популяция будет подвержена переэксплуатации. В соответствии со сценарием постепенного сокращения изъятия до 14 тыс. т, возможно более стремительное восстановление биомассы запаса, тем не менее, к 2022 г. она так и не достигнет уровня целевого ориентира B_{cr} .

Полученные результаты оценки прогнозных сценариев хорошо согласуются с выводами, сделанными в публикации по когортной модели XSA [6]. В соответствии с результатами и выводами этой работы для черноморского шпрота в сложившихся условиях в краткосрочном горизонте отсутствуют перспективы наращивания промыслового изъятия, а биомасса запаса находится ниже целевого уровня эксплуатации. Все сценарии, рассмотренные в прошлой работе, как и в данной, не допускают возможности восстановления запаса до целевого уровня в краткосрочной перспективе, независимо от степени промысловой смертности.

Учитывая результаты сравнения, модель CMSY для ограниченных и неполных данных показала удовлетворительные результаты популяционного моделирования. Полученные оценки запаса, целевые ориентиры не имели существенных отклонений от результатов более надежного когортного метода – XSA. Результаты краткосрочного прогнозирования на CMSY соответствуют результатам когортной модели.

ВЫВОДЫ

1. Трендовая модель CMSY продемонстрировала удовлетворительные результаты оценки запаса и построения краткосрочного прогноза, выдержав все необходимые тесты стабильности. Трендовая модель CMSY позволила получить удовлетвори-

тельную популяционную характеристику единицы запаса черноморского шпрота в водах России.

2. Сравнение результатов трендовой модели CMSY с более надежными оценками когортной моделью XSA свидетельствует об отсутствии значимых отклонений в выполняемых оценках и возможности применения метода CMSY к единицам запаса с бедным информационным обеспечением.

3. Результаты моделирования подтверждают вывод об истощенном состоянии запаса шпрота в период 2005-2019 гг. с признаками умеренной промысловой переэксплуатации.

4. Рассмотренные прогнозные сценарии свидетельствуют об отсутствии перспектив для наращивания промыслового изъятия шпрота в период 2021-2022 годы.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Бабаян В.К. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. / В.К. Бабаян, А.Е. Бобырев, Т.И. Булгакова и др. – М.: ВНИРО, 2018. – 309 с.
1. Babayan V.K. Methodological recommendations for assessing reserves of priority types of aquatic biological resources. / V.K. Babayan, A.E. Bobyrev, T.I. Bulgakova et al. - Moscow: VNIRO, 2018 – 309 p.
2. Жердев Н.А. Многолетняя динамика состояния запаса тарани по результатам моделирования CMSY с ограниченными данными (1999-2019) в Азовском море (воды России) / Н.А. Жердев, М.М. Пятинский, И.Д. Козоброд // Рыбное хозяйство. – 2020. – №. 6. – С. 88-94. DOI 10.37663/0131-6184-2020-6-88-94
2. Zherdev N.A. Long-term dynamics of the taran stock status based on the results of CMSY modeling with limited data (1999-2019) in the Sea of Azov (waters of Russia). – 2020. – №. 6. – Pp. 88-94. DOI 10.37663/0131-6184-2020-6-88-94
3. Изергин Л.В. Современное состояние и тенденции изменения рыбных запасов Азовского моря / Л.В. Изергин, К.В. Демьяненко // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона. – 2012. – С. 22-25.



3. Izergin L.V. Modern state and trends of changes in the fish stocks of the Sea of Azov / L.V. Izergin, K.V. Demyanenko // *Modern fisheries and environmental problems of the Azov-Black Sea region*. - 2012. - Pp. 22-25.
4. Матишов Г.Г. Состояние воспроизводства рыбы и пути возрождения биоресурсов Азовского моря / Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов, С.В. Бердников // *Вестник Южного научного центра РАН*. - 2005. - Т. 1. - №. 4. - С. 30-37.
4. Matishov G.G. The state of fish reproduction and ways of reviving the bioresources of the Sea of Azov / G.G. Matishov, D.G. Matishov, S.V. Berdnikov // *Bulletin of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. - 2005. - vol. 1. - no. 4. - Pp. 30-37.
5. Панов Б.Н. О роли температурного фактора в поведении и эффективности промысла черноморского шпрота / Б.Н. Панов, Е.О. Спиридонова, М.М. Пятинский и др. // *Водные биоресурсы и среда обитания*. - 2020. - Т. 3. - №. 1. - С. 106-113.
5. Panov B.N. On the role of the temperature factor in the behavior and efficiency of the Black Sea sprat fishery / B.N. Panov, E.O. Spiridonova, M.M. Pyatinsky et al. // *Water bioresources and habitat*. - 2020. - Vol. 3. - No. 1. - Pp. 106-113.
6. Пятинский М.М. Динамика запасов шпрота в Черном море и перспективы его освоения / М.М. Пятинский, В.А. Шляхов, О.В. Шляхова // *Вопросы рыболовства*. - 2020. - Т. 21. - №. 4. - С. 396-410. DOI 10.36038/0234-2774-2020-21-4-396-410
6. Pyatinsky M.M. Dynamics of sprat reserves in the Black Sea and prospects for its development / M.M. Pyatinsky, V.A. Shlyakhov, O.V. Shlyakhova // *Fishing issues*. - 2020. - Vol. 21. - no. 4. - P. 396-410. DOI 10.36038 / 0234-2774-2020-21-4-396-410
7. Шляхов В.А. О состоянии запасов и неучтенном вылове азовских осетровых / В.А. Шляхов, Е.П. Губанов, К.В. Демьяненко // *Проблемы и решения в современном рыбном хозяйстве на Азовском бассейне: Матер. юб. науч.-практич. конф.-Мариуполь: Рената*. - 2005. - С. 59-61.
7. Shlyakhov V.A. On the state of reserves and unaccounted catch of Azov sturgeon / V.A. Shlyakhov, E.P. Gubanov, K.V. Demyanenko // *Problems and solutions in modern fisheries in the Azov basin: Mater. yub. nauch. - praktich. konf. - Mariupol: Renata*. - 2005. - Pp. 59-61.
8. Шляхов В.А. Керченский рынок как индикатор миграций Азово-Черноморских рыб и местного рыбного промысла / В.А. Шляхов, И.А. Мирющенко // *Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона*. - 2012. - С. 148-154.
8. Shlyakhov V.A., Miryushchenko I.A. Kerch market as an indicator of migrations of the Azov-Black Sea fish and local fisheries / V.A. Shlyakhov, I.A. Miryushchenko // *Modern fisheries and environmental problems of the Azov-Black Sea region*. - 2012. - Pp. 148-154.
9. Berg B.A., Billoire A. Markov chain monte carlo simulations // *Wiley Encyclopedia of Computer Science and Engineering*. - 2007.
10. Froese R. et al. What catch data can tell us about the status of global fisheries // *Marine biology*. - 2012. - Т. 159. - No. 6. - p. 1283-1292
11. Froese R., Demiril N., Coro G., et al. Estimating fisheries reference points from catch and resilience // *Fish and Fisheries*. - 2017. - Vol. 18. - Issue 3. - P. 506-526.
12. Hilborn R., Walters C.J. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: Choice, Dynamics, Uncertainty // *Chapman and Hall, New York*. 570 pp.
13. ICES. 2016. Report of the Workshop to consider FMSY ranges for stocks in ICES categories 1 and 2 in Western Waters (WKMSYREF4), 13-16 October 2015, Brest, France. ICES CM 2015/ACOM:58. 187 Pp
14. ICES. 2017. ICES fisheries management reference points for category 1 and 2 stocks // *ICES Advice Technical Guidelines*. 19 pp. DOI: 10.17895/ices.pub.3036
15. ICES. 2018. ICES reference points for stocks in categories 3 and 4 // *ICES Advice Technical Guidelines*. 50 Pp. DOI: 10.17895/ices.pub.4128
16. ICES. 2019. Advice basis. In Report of the ICES Advisory Committee, 2019. ICES Advice 2019, section 1.2. DOI: 10.17895/ices.advice.5757
17. Martell S., Froese R. A simple method for estimating MSY from catch and resilience // *Fish and Fisheries*. - 2013. - Т. 14. - No. 4. - Pp. 504-514.
18. Mohn R. Retrospective problem in sequential population analysis: a study using cod fishing and modeled data // *ICES Journal of Marine Science*. - 1999. - Vol. 56. - no. 4. - p. 473-488.
19. Musick J.A. Criteria to define extinction risk in marine fishes: The American Fisheries Society initiative // *Fisheries*. - 1999. - Vol. 24. - Issue 12. - P. 6-14.
20. Pearson K. *Early Statistical Papers*. 1948. Cambridge, England: University Press.
21. Punt A.E., Smith A.D., Smith D.C et.al. Selecting relative abundance proxies for B MSY and B MEY // *ICES Journal of Marine Science*. - 2014. - Т. 71. - №. 3. - С. 469-483.
22. Ricker W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations // *Bulletin of the Research Board of Canada* 191. Ottawa. 382 pp.
23. Schaefer M. B. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean // *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*. - 1957. - Vol. 2. - Issue 6. - P. 243-285.