

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЗАПАСА СЕЛЬДИ В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ БАСЕЙНЕ ПРИ НЕДОСТАТКЕ ИНФОРМАЦИИ (2007–2020 гг.)

**И.Д. Козоброд, М.М. Пятинский**

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»)  
Kuznecovainna1811@yandex.ru; pyatinskiy\_m\_m@azniirh.ru

**Аннотация.** Аналитическая оценка запаса черноморско-азовской проходной сельди *Alosa immaculate* (Bennett, 1835) для периода 2007–2020 гг. выполнена при помощи трендовой модели для ограниченных данных CMSY в среде R. Результаты моделирования показали, что текущее состояние популяции находится на биологически безопасном уровне ( $B_{2020} = 2291$  т,  $B_{MSY} = 1855$  т,  $B_{2020}/B_{MSY} = 1,23$ ), а промысловая смертность незначительно превышает уровень целевой эксплуатации ( $F_{2020} = 0,35$ ,  $F_{MSY} = 0,28$ ,  $F_{2020}/F_{MSY} = 1,25$ ). Полученные оценки биомассы запаса свидетельствуют о постепенном незначительном восстановлении популяции черноморско-азовской сельди за период 2007–2020 гг. Отмечаются признаки незначительной переэксплуатации популяции в период после 2018 г., вероятно, по причине высоких объемов ННН-промысла. Результаты работы указывают на необходимость принятия мер контроля и устранения незаконного, несообщенного и нерегулируемого промысла сельди в Азово-Черноморском бассейне.

**Ключевые слова:** черноморско-азовская проходная сельдь, оценка запаса, Азовское море, популяция, биологические ориентиры, прогнозирование запаса.

### Введение

Черноморско-азовская проходная сельдь является проходной рыбой, которая совершает длительные горизонтальные нерестовые и нагульные миграции в Азово-Черноморском бассейне. Зимовка сельди происходит в Черном море у побережья Кавказа. Миграция сельди в Азовское море начинается в конце февраля – в начале марта, при повышении температуры воды до 3–4 °С. Часть неполовозрелых особей остается в Черном море на лето, а особи, достигшие половой зрелости, идут на нерест в р. Дон, где ход производителей наблюдается с конца апреля до конца июня [1]. Отнерестившаяся сельдь в июле скатывается в Азовское море, где нагуливается все лето, а осенью уходит на зимовку в Черное море [2–4].

Постепенное зарегулирование р. Дон и строительство Цимлянского водохранилища в 1952 г. привело к существенному сокращению нерестовых площадей для сельди, что привело к резкому уменьшению ее численности (с 9,54–19,2 тыс. т в период 1930–1940-х гг. до 2,1–5,6 тыс. т после зарегулирования стока) [5].

В начале 1990-х гг. промысловый запас сельди находился на самом низком уровне за весь наблюдаемый период (150 т). В результате катастрофически низкого запаса промышленный лов сельди в 1994 г. был запрещен [6].

В начале 2000-х гг. наметились тенденции к постепенному восстановлению запаса сельди до 500 т. Черноморско-азовская проходная сельдь – единственный промысловый вид Азово-Черноморского бассейна, который частично восстановил свой

промысловый запас в условиях отсутствия искусственного воспроизводства [7]. Восстановление промысловой добычи сельди произошло в 2005 г.

После продолжительного запрета ведения промысла (1994–1996 и 1998–2004 гг.) в период с 2007 по 2014 г. наблюдался постепенный умеренный рост запаса сельди.

Основной целью данной работы является выполнение аналитической оценки запаса, целевых ориентиров рациональной эксплуатации промыслом в соответствии с методическими рекомендациями ФГБНУ «ВНИРО» [8].

### Материал и методика

В предыдущие годы оценка запаса сельди выполнялась при помощи метода прямого учета. Данный метод традиционно использовался в водоемах Азовского бассейна, в том числе в Ростовской области [9]. В основе метода лежит оценка промыслового (или общего) запаса на обследованной площади по данным учетных траловых съемок.

На сегодняшний день, в соответствии с методическими рекомендациями [8] и требованиями к процедуре оценки запасов, имеющиеся многолетние биологические и промысловые данные по сельди не имели достаточной полноты для выполнения полноценного биостатистического или продукционного моделирования по следующим причинам.

1. Отсутствуют непрерывные исторические ряды рыбохозяйственной статистики. Вследствие низкого запаса промышленный лов сельди был запрещен в 1994 г. В 1996–1997 гг. промысел был восстановлен,

но оказался нерезультативным и с 1998 г. опять был закрыт. Возобновился промысловый лов сельди только в 2002 г. В результате закрытия промысла образовался пробел данных по уловам данного вида с 1994 по 2002 г.

2. Не определен улов на единицу промыслового усилия. Для расчета промыслового усилия необходимы данные по количеству применяемых орудий лова. Для сельди определить эту величину невозможно, т.к. ее промысел осуществляется различными орудиями лова – жаберными сетями, ставными и закидными неводами, тралами (в Черном море) и как прилов на хамсово-тюлечные сети. На достоверность сведений по уловам большое влияние оказывает ННН-промысел. В результате нет возможности выполнить стандартизацию уловистости всех орудий лова.

3. Недостаточная полнота данных по темпам полового созревания.

4. Данные по полному биологическому анализу ограничены только уловами учетных траловых съемок, биологические сведения из промысловых изъятий неполные и прерывистые.

В связи с вышеизложенным для оценки промыслового запаса и рекомендованного вылова сельди в бассейне Азовского моря на данный момент применимы только трендовые, индикаторные и прочие косвенные методы аналитического оценивания динамики численности популяции. Для расчета

запаса применен метод из рекомендованной группы методов DLM. Для аналитической оценки запаса сельди применена модель CMSY, в качестве входной информации использующая ретроспективные данные об улове ( $C$ ) с использованием критериев популяционной пластичности для параметризации [10, 11]. Популяционная пластичность сельди определена как «средняя» по таблице критериев [12]. Модель CMSY реализует производственный подход к популяционному моделированию в условиях ограниченных данных – при помощи информации о популяционной пластичности вида выполняется параметризация  $r/K$  пары и ведется поиск их оптимумов (мгновенный популяционный рост –  $r$ , емкости среды –  $K$ ) итеративной процедурой Монте-Карло [13]. Модель CMSY была построена при помощи программной среды R и опубликованного авторами кода (пакет “datalimited2”), который был доработан для получения более расширенной диагностики модели – ретроспективного анализа, теста стабильности Мон ро [14] и стартовой параметризации модели. Апробация модели CMSY для азово-черноморских видов выполнена ранее в работе [15].

В качестве входной информации для моделирования использовалась многолетняя рыбохозяйственная статистика вылова за период 2007–2020 гг., которая была уточнена по результатам косвенной оценки объемов ННН-промысла [16, 17] (табл. 1).

**Таблица 1.** Многолетняя рыбопромысловая статистика вылова черноморско-азовской проходной сельди в бассейне Азовского моря

Год	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Официальный вылов $C$ , т	17,9	14,71	50,32	54,5	56,9	41,4	70,43
Официальный вылов + ННН, т	42,96	36,48	128,32	142,66	152,59	113,05	195,79
Год	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Официальный вылов $C$ , т	55,43	73,54	160,4	184	285	229	265
Официальный вылов + ННН, т	156,86	211,06	466,79	543,3	851,7	690,23	808,22

### Результаты

Результаты оценки биомассы запаса, промысловой смертности и их доверительных границ при помощи модели CMSY занесены в таблицу 2.

В качестве основных параметров производственной модели были получены следующие оценки коэффициента мгновенного популяционного роста и емкости среды и их доверительные интервалы при  $p = 0,95$ :  $r = 0,566$  [0,407–0,758],  $K = 3710,457$  [1970,497–6986,813].

Для диагностики стабильности оценок модели был выполнен ретроспективный анализ и параметрический тест Mohn rho [14]. В ходе выполнения параметрического теста Mohn rho были получены оценки надежности модели:  $\rho_{SSB} = -0,383$ ,  $\rho_{Fbar} = 0,685$ .

Для определения биологических ориентиров использовалась концепция максимально устойчивого улова (MSY). Результаты оценки целевых ориентиров MSY,  $B_{MSY}$ ,  $F_{MSY}$  и их доверительные границы при уровне значимости  $p = 0,95$  представлены в таблице 3.

**Таблица 2.** Результаты ретроспективных оценок биомассы запаса и промысловой смертности черноморско-азовской проходной сельди в бассейне Азовского моря с учетом ННН-вылова при помощи модели CMSY

Год	B (биомасса запаса, т)	B.CI95 (доверительный интервал, т)	F (промысловая смертность)	F.CI95 (доверительный интервал оценок промысловой смертности)
2007	1477	737–2237	0,053	0,035–0,106
2008	1860	898–2704	0,044	0,03–0,091
2009	2290	1146–3115	0,078	0,058–0,157
2010	2653	1430–3338	0,064	0,051–0,12
2011	2907	1708–3413	0,064	0,055–0,11
2012	3048	1982–3420	0,045	0,04–0,07
2013	3160	2246–3443	0,075	0,069–0,106
2014	3212	2477–3433	0,090	0,084–0,116
2015	3208	2620–3397	0,070	0,066–0,086
2016	3178	2692–3334	0,151	0,144–0,179
2017	3076	2628–3298	0,181	0,169–0,212
2018	2926	2434–3216	0,296	0,27–0,356
2019	2601	1991–3040	0,271	0,232–0,354
2020	2291	1517–2873	0,353	0,281–0,533

**Таблица 3.** Биологические и промысловые целевые ориентиры концепции MSY для сельди в Азовском море на основе оценок модели CMSY

Параметр	Оценка	Нижняя граница	Верхняя граница
MSY	524,589	288,467	953,987
$F_{MSY}$	0,283	0,204	0,392
$B_{MSY}$	1855,229	985,248	3493,406

На основании полученных оценок биомассы запаса и биологических ориентиров были построены графики, позволяющие наглядно интерпретировать полученные результаты и выбрать оптимальное правило регулирования промысла (ПРП) с учетом требований предосторожного подхода эксплуатации биоресурсов (рис. 1, 2).

Результаты моделирования показали, что текущее состояние популяции находится на биологиче-

ски безопасном уровне ( $B_{2020} = 2291$  т,  $B_{MSY} = 1855$  т,  $B_{2020}/B_{MSY} = 1,23$  – биомасса запаса выше целевого ориентира  $B_{MSY}$ , нет угрозы коллапса популяции), а промысловая смертность незначительно превышала целевой уровень ( $F_{2020} = 0,35$ ,  $F_{MSY} = 0,28$ ,  $F_{2020}/F_{MSY} = 1,25$  – промысловая смертность выше целевого уровня, присутствует незначительная переэксплуатация запаса).

#### Обсуждение результатов

Результаты диагностики (тест Mohn rho и ретроспективный анализ) свидетельствуют о возможной переоценке степени промысловой смертности и недооценке биомассы запаса при построении краткосрочного прогноза. Полученные коэффициенты теста Mohn rho выходят за общий интервал рекомендованных значений  $\rho \in [-0,22; +0,3]$ , однако такой тест должны выдерживать лишь когортные и продукционные модели. Ретроспективный анализ, с оговоркой на ограниченные возможности аналитической оценки трендовыми методами, демонстрирует удовлетворительный результат.

Результаты моделирования показали, что текущее состояние популяции сельди находится на биологически безопасном уровне с признаками незначительной переэксплуатации. Практически за весь рассматриваемый период эксплуатации (2007–2020 гг.) популяция черноморско-азовской проходной сельди в Азовском море находилась в биологически безопасной зоне ( $B/B_{MSY} > 1$ ), а промысловая смертность не превышала граничный ориентир ( $F/F_{MSY} < 1$ ) до 2018 г. Вероятно, причиной переэксплуатации популяции после 2018 г. был высокий уровень объема ННН-промысла.

Трендовая модель  $S_{MSY}$  не позволяет выполнить полноценный прогноз состояния запаса и вылова, однако полученные результаты биологических и промысловых ориентиров свидетельствуют в пользу рекомендации дальнейшей эксплуатации популяции на том же уровне. При соблюдении требований концепции максимально устойчивой эксплуатации сельди промысловыми организациями РФ на уровне, не превышающем 525 т (с учетом ННН-вылова, табл. 3, целевой ориентир  $MSY$ ), биомасса запаса на 2022 г. составит  $B_{2022} = 1855$  т [в интервале от 985,2 до 3493,4 т].

### Заключение

1. Предварительные результаты моделирования динамики запаса черноморско-азовской проходной сельди получены при помощи трендовой модели  $СMSY$  в среде R на основе данных 2007–2020 гг. с учетом объемов ННН-промысла. Модель удовлетворительно выдержала требуемые тесты стабильности и устойчивости. Полученные результаты свидетельствуют о переэксплуатации популяции сельди в последние годы (2018–2020 гг.), а ее промысловый запас находится выше целевого уровня с тенденцией к сокращению ( $B_{2020}/B_{MSY} = 1,23$ ;  $F_{2020}/F_{MSY} = 1,25$ ).

2. В соответствии с полученными результатами величина рекомендованного вылова сельди в Азовском море на 2022 г. не должна превышать 525 т (с учетом объемов ННН-изъятия). При таком уровне эксплуатации биомасса запаса не опустится ниже 1855 т.

3. Результаты работы указывают на крайне негативное влияние высоких объемов ННН-добычи на состояние популяции сельди. Необходимо усиление контроля за ННН-добытчиками.

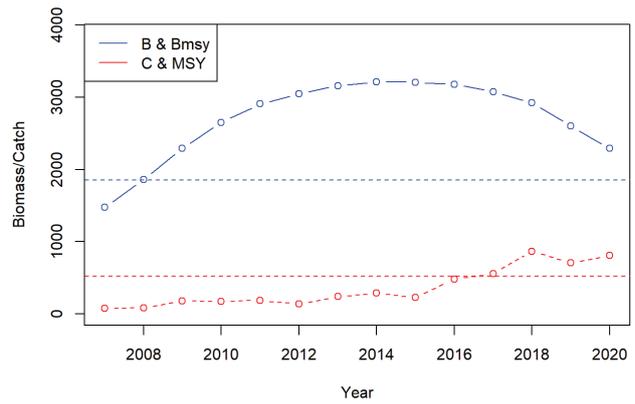


Рис. 1. Биомасса запаса (красные точки и кривая), вылов (синие точки и кривая) и целевые ориентиры  $MSY$ ,  $B_{MSY}$  (горизонтальные пунктирные линии) для популяции черноморско-азовской проходной сельди в бассейне Азовского моря за период 2007–2020 гг.

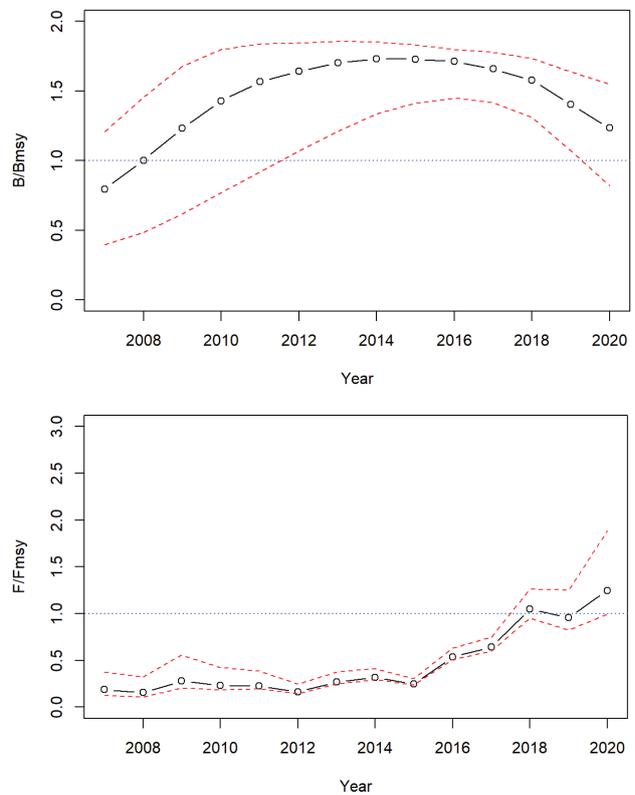


Рис. 2. Пропорция состояния биомассы запаса относительно целевого ориентира –  $B/B_{MSY}$  (слева); пропорция промысловой смертности к целевому ориентиру  $F/F_{MSY}$  (справа) для черноморско-азовской проходной сельди в бассейне Азовского моря

## Список литературы

1. Яковлев В.Н. Состояние биологических ресурсов Чёрного и Азовского морей (справочное пособие) / Министерство рыбного хозяйства Украины; ЮГНИРО. Керчь, 1995. 27 с.
2. Васильева Е.Д., Лужняк В.А. Рыбы бассейна Азовского моря. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2013. 270 с.
3. Алдакимова С.Ю. Состояние донской проходной сельди *Alosa kessleri pontica* Eichwald в современных условиях // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна: сб. науч. тр. 2000–2001 гг. / под ред. д.б.н., проф. С.П. Воловика. М.: Вопросы рыболовства, 2002. С. 308–315.
4. Кузнецова И.Д. Динамика промыслового запаса черноморско-азовской проходной сельди в современный период под воздействием антропогенных и биологических факторов // Труды АзНИИРХ (результаты рыбохозяйственных исследований в Азово-Черноморском бассейне). 2017. С. 90–97.
5. Кузнецова И.Д., Чепурная Т.А. Колебания численности черноморско-азовской проходной сельди в современный период // Комплексные исследования Мирового океана. 2017. С. 360–361.
6. Иванченко И.Н., Назарова Ю.В. Состояние популяции черноморско-азовской проходной сельди *Alosa immaculata* (Bennett) в 2010–2011 гг. // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. 2012. С. 157–167.
7. Реков Ю.И., Чепурная Т.А., Костенко С.В. Восстановление запаса черноморско-азовской проходной сельди // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. 2011. С. 148–153.
8. Бабаян В.К. и др. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. 2018.
9. Аксютин З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях. М., 1968. 225 с.
10. Martel S., Froese R. A simple method for estimating MSY from catch and resilience // Fish and Fisheries. 2013. Vol. 14. No. 4. P. 1–10.
11. Froese R., Demirel N., Coro G., Kleisner K.M., Winker H. Estimating fisheries reference points from catch and resilience // Fish and Fisheries. 2017. Vol. 18. No. 3. P. 506–526.
12. Musick J.A. Criteria to define extinction risk in marine fishes: the American Fisheries Society initiative // Fisheries. 1999. Vol. 24. Is. 12. P. 6–14.
13. Metropolis N., Ulam S. The Monte Carlo method // Journal of the American statistical association. 1949. Vol. 44. No. 247. P. 335–341.
14. Mohn R. The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data // ICES Journal of Marine Science. 1999. Vol. 56. Is. 4. P. 473–488.
15. Пятинский М.М. Моделирование динамики промысловой популяции в условиях недостаточности информационного обеспечения моделью CMSY на примере черноморского шпрота в водах России // Рыбное хозяйство. 2021. № 3. С. 76–82.
16. Шляхов В.А., Михайлюк А.Н. Лимиты важнейших промысловых рыб Черного и Азовского морей в 2007–2010 гг. и проблемы их освоения // Сучасні проблеми теоретичної і практичної іхтіології. Тези IV Міжнародної іхтіологічн. наук.-практ. конф. Одеса, 07.09–11.09.2011. Одесса: Феникс, 2011. С. 272–275.
17. Пятинский М.М., Шляхов В.А. Аналитическая аппроксимация объемов ННН-изъятия ценных видов рыб азово-черноморского бассейна в условиях неполноты прямого учета // Вопросы рыболовства (в печати).