

Промысловые виды и их биология

УДК 639.238.001.57

Аналитическое оценивание пиленгаса в Азовском море с помощью когортной модели XSA

Е.А. Кожурин, М.М. Пятинский, В.А. Шляхов, О.В. Шляхова

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону
E-mail: shlyahov_v_a@azniirkh.ru

Для аналитического оценивания пиленгаса *Planiliza haematocheila* в Азовском море использованы фондовые материалы ЮгНИРО и АзНИИРХ, опубликованные экспертные оценки ННН-промысла, рыбопромысловая статистика Российской Федерации и Украины за 1996–2019 гг. Оценивание производилось на когортной модели XSA в пакете *FLR*. Приведено описание диагностики модели. По результатам моделирования нерестовый запас пиленгаса *SSB* в начальной фазе эксплуатации (1996–1997 гг.) был близок к 60 тыс. т, в 2005–2009 гг. он составлял 21–30 тыс. т (32–43 тыс. т при включении во входные данные ННН-вылова), а в 2019 г. — 6 тыс. т (9 тыс. т с учётом ННН). В качестве целевого ориентира управления принято фиксированное значение темпа эксплуатации $E = F/Z = 0,4$. Фактические значения E по XSA указывают на чрезмерную эксплуатацию запаса в 2004–2011 гг., в остальные годы превышение целевого ориентира было незначительным или отсутствовало. Наибольшее воздействие на изменения запаса оказывало воспроизводство. Кросс-корреляционное тестирование связи сеголеток с 4–6-летними рыбами тех же поколений в уловах указывает на решающую роль Молочного лимана в воспроизводстве вплоть до 2001 г. В последующие годы значение лимана в воспроизводстве уменьшалось до полного отсутствия. Выявленный по результатам оценки пополнения (*Rec*) на XSA рост эффективности воспроизводства (Rec / SSB) с 2011 по 2019 г. можно объяснить повышением солёности моря.

Ключевые слова: модель XSA, вылов, запас, пополнение, воспроизводство, пиленгас *Planiliza haematocheila*, Молочный лиман, Азовское море.

DOI:10.36038/2307-3497-2020-182-7-26

ВВЕДЕНИЕ

Акклиматизированный в Азово-Черноморском бассейне во второй половине 1980-х гг. пиленгас *Planiliza haematocheila* (Temminck & Schlegel, 1845) к 1992 г. сформировал в Азовском море самовоспроизводящуюся популяцию и стал важным объектом российского и украинского рыболовства в этом водоёме [Шляхов и др., 1995; Янов-

ский, Изергин, 1998; Пряхин, 2004]. В результате интенсификации промысла кольцевыми неводами на зимовальных скоплениях пиленгаса его общий вылов в Азовском море в 2005–2007 гг. достиг рекордных 9–10 тыс. т, при этом на долю Российской Федерации приходилось 28–30% общекоспассейнового вылова. В кольцевом промысле с обеих сторон суммарно участвовало до 40 сейнеров, сред-

несуточные уловы которых в промысловый сезон составляли 5–7 т. Имевший место с самого начала эксплуатации запаса пиленгаса его браконьерский лов ставными сетями с середины 2000-х гг. стал крупномасштабным, участились также случаи массового сокрытия уловов на кольцевом и кошельковом промысле.

В последующие годы из-за ухудшения условий воспроизводства азовской популяции пиленгаса и продолжавшегося высокоинтенсивного промысла, включая ННН-промысел, состояние запаса этой рыбы стало ухудшаться. По рекомендациям Российско-Украинской комиссии по вопросам рыболовства в Азовском море (далее — РУК) в 2012 г. общее количество сейнеров с кольцевыми и кошельковыми неводами было ограничено до 8 ед., а с 2013 г. этот вид промысла был полностью закрыт. Принятые меры по существенному ограничению легального промысла не смогли предотвратить дальнейшего ухудшения состояния азовской популяции пиленгаса, поскольку масштабы нелегального вылова по-прежнему оставались высокими, а воспроизводство на основном его нерестилище — Молочном лимане — практически прекратилось из-за нарушившейся связи лимана с морем. К 2014 г. вылов стал снижаться и упал до 0,3 тыс. т. Однако в 2016–2019 гг. в условиях устойчивого роста солёности Азовского моря численность пиленгаса стала восстанавливаться, российские уловы увеличились до 0,4–0,6 тыс. т, ежегодно превышая общие бассейновые объёмы добычи, утверждаемые на сессиях РУК, предварительно определённые по материалам российской и украинской учётных траловых съёмок.

Главным методом, применяемым научными рыбохозяйственными организациями Российской Федерации и Украины для оценки запаса пиленгаса и общебассейновых объёмов добычи (лимитов) в Азовском море, является метод площадей по данным учётных съёмок, которые производятся донными тралами. До 2008 г. траловые съёмки ещё удовлетворительно отражали тенденцию изменений численности и биомассы пиленгаса в Азовском море, однако

уже в 2009 г. съёмка пиленгаса была признана малопоказательной, поскольку во время её проведения рыба была рассеяна в толще воды и плохо облавливалась донным тралом [Оцінка сучасного ..., 2009]. В последующие годы прямой учёт тралами стал давать нерелевные, заниженные оценки запаса пиленгаса, которые иногда оказывались даже ниже официального вылова. Это вынудило специалистов ЮгНИРО в 2009–2010 гг. перейти на оценивание азовского пиленгаса аналитическим методом — анализом возрастных когорт с использованием прикладного пакета ANACO [Mesnil, 1989], а в дальнейшем, из-за снижения надёжности украинской рыбопромысловой статистики, вообще давать экспертные оценки запасов и объёмов рекомендованного вылова.

Можно с уверенностью констатировать отсутствие внушающих доверие методических оценок запаса пиленгаса в Азовском море после 2008 г., что приводит к недостаточно обоснованным мерам регулирования его промысла. Согласно приложению № 1 к приказу ФГБНУ «ВНИРО» от 29.03.2019 г. № 155 «Об утверждении Регламента разработки и представления материалов, обосновывающих рекомендованные объёмы добычи (вылова) водных биологических ресурсов ...», выбор базовых методов оценки и анализа состояния запасов ВБР зависит от структуры и качества доступной информации. Благодаря недавно завершившейся подготовительной работе с фондовыми материалами ЮгНИРО и АзНИИРХ по пиленгасу, информационное обеспечение его азовской единицы запаса стало соответствовать I уровню, который предполагает использование структурированных по возрасту когортных моделей в качестве базового метода. На XXXI сессии РУК, состоявшейся 13–14 ноября 2019 г. в режиме скайп-конференции, величины запаса и объёма добычи пиленгаса на 2020 г. впервые были установлены по результатам аналитического оценивания Азово-Черноморского филиала ВНИРО.

Настоящая работа посвящена аналитическому оцениванию пиленгаса на когортной модели расширенного анализа выживания

XSA (extended survivor analysis) [Shepherd, 1999; Darby, Flatman, 1994], реализованной в пакете *FLR* (Fisheries Library for R). В 2011–2018 гг. модель XSA широко применялась Рабочими группами экспертов Научного технического и экономического Комитета по рыболовству Европейской Комиссии (EWG STECF) для оценки средиземноморских и черноморских видов рыб, соответствующие отчёты размещены на сайте STECF [2020] и находятся в свободном доступе. В Российской Федерации программный комплекс XSA вошёл в число методов, рекомендованных для оценки запасов приоритетных видов рыб [Бабаян и др., 2018].

Основной задачей настоящей работы является получение аналитических оценок запаса пиленгаса в Азовском море в 1996–2019 гг. и его биологических ориентиров управления. В работе дано достаточно подробное описание диагностики модели (регрессионный анализ индексов учётных съёмов, ретроспективный анализ стабильности и устойчивости, влияние фактора «стягивания» и др.), поскольку она характеризует корректность применения XSA и степень доверия к результатам когортного анализа. Принимая во внимание наличие высокого уровня нелегального промысла пиленгаса в Азовском море, аналитические оценки запаса были выполнены как по данным официальной статистики, так и с учётом ННН-промысла, ориентируясь на собранные ЮгНИРО сведения и опубликованные экспертные оценки его величины в 2007–2010 гг. [Шляхов, Михайлюк, 2011], и на материалы службы государственного мониторинга водных биоресурсов и среды их обитания АзНИИРХ за 2018–2019 гг.

Второй задачей являлась интерпретация полученных на XSA оценок запаса и пополнения пиленгаса в Азовском море, а также рассмотрение воздействия природных и антропогенных факторов на воспроизводство этой рыбы и его эффективность.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Статистические сведения о вылове пиленгаса в Азовском море (с заливами, лиманами и Керченским проливом) в 1996–2019 гг.

взяты из отчётов Азово-Черноморского территориального управления Росрыболовства и органов рыбоохраны Госрыбагентства Украины; привлечены также материалы научно-технического сотрудничества в рамках Российско-Украинской комиссии по вопросам рыболовства в Азовском море.

Использованы ранее выполненные оценки запаса, материалы о темпах наступления половозрелости, размерной, возрастной и весовой структуре промысловых уловов пиленгаса и уловов в учётных траловых съёмках, содержащиеся в фондах НТБ ЮгНИРО и АзНИИРХ. Для определения возрастного состава промысловых уловов в годы, когда прямые возрастные определения отсутствовали или их число было малым, применяли размерно-возрастные ключи и массовые промеры длины. Оценки естественной смертности азовской единицы запаса пиленгаса в возрасте 1–2 лет выполнены методом [Gislason et al., 2010] для $L_{\infty} = 71$ см, $t_0 = -0,990$ лет, $K = 0,267$ [Шляхов, 1998], а 3–7-летних рыб — методом Чена-Ватанебе, подробно описанным в работе [Özdamar et al., 1996].

Численность сеголеток пиленгаса, вышедших из Молочного лимана в море в 1995–2007 гг., взята по результатам их учёта АзЮгНИРО (в настоящее время Институт рыбного хозяйства и экологии моря, г. Бердянск, Украина), содержащимся в годовых отчётах ЮгНИРО [Современное состояние ..., 1999; 2004; Оцінка сучасного стану..., 2008; 2010] (табл. 1).

Наличие или отсутствие связи между численностью учтённых сеголеток и численностью взрослых особей того же поколения в возрасте от 3 до 6 лет в годовых уловах оценивалось при помощи кросс-корреляционного теста в среде *R* с последовательным укорачиванием исследуемых рядов на 1 год.

Аналитическое оценивание промысловой смертности, пополнения, запаса и рекомендованного вылова пиленгаса производили на когортной модели XSA в пакете *FLR*, работа с которым описана в [Kell et al., 2007; Hillary, 2009; Бабаян и др., 2018]. Основная промыслово-биологическая информация

Таблица 1. Численность сеголеток пиленгаса, выходящих из Молочного лимана, по данным учёта АзЮгНИРО в 1995–2008 гг., млрд шт.

Год учёта	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Численность сеголеток	6,700	1,400	4,500	0,260	0,200	0,038	0,109	1,000
Год учёта	2003	2004	2005	2006	2007	2008	с 2009	
Численность сеголеток	0,700	0,122	0,730	0,700	0,080	0,150	учёт прекратился	

для формирования входных данных (объёмов «FLStock» и «FLIndices») представлена в табл. 2–4.

В промысловых уловах пиленгас встречается в возрасте 2–10 лет, его нерестовый (промысловый) запас SSB формируют

Таблица 2. Вылов пиленгаса в Азовском море по данным рыбопромысловой статистики в 1996–2019 гг. с его распределением по возрастным группам

Год	Возраст, лет							2–7+
	2	3	4	5	6	7+		
Вылов, шт.							Годовой вылов, т	
1996	54398	171424	167320	77405	57858	19547	1206	
1997	101868	403564	341259	306331	129801	107617	3287	
1998	110750	502694	483245	369540	309695	189259	4950	
1999	388291	630798	711669	458272	386835	412445	7474	
2000	225763	1279367	531249	395074	279073	448871	7846	
2001	151088	474868	394066	146687	133013	212572	3674	
2002	224599	430267	309438	282915	106093	197450	3739	
2003	310909	530197	181556	134194	148666	96041	2898	
2004	1339538	1402990	528425	106504	102408	169997	6238	
2005	1746243	2899443	638806	160102	46430	124880	8983	
2006	2097908	1201573	1865299	356657	104899	89642	10271	
2007	1767943	2406797	1883343	417305	160513	108571	9652	
2008	1785917	1259687	863789	298681	161219	81289	6528	
2009	1937761	1307805	1211556	529014	324242	238420	8732	
2010	386070	906929	550808	260061	232584	166609	4297	
2011	130265	699269	784271	255719	118753	84404	3997	
2012	39429	179137	250139	131261	63264	3860	1264	
2013	110523	4542	21196	68888	105224	46935	752	
2014	46484	26403	18487	23375	28687	12750	302	
2015	42668	49391	26894	15516	10344	5172	260	
2016	80665	34396	120550	36290	12220	1018	402	
2017	208951	82457	112748	33871	8123	2492	564	
2018	138052	132597	97391	35548	16922	7485	473	
2019	240501	104525	195864	42515	29412	1228	646	

Таблица 3. Биологические показатели пиленгаса в Азовском море в 1996–2019 гг.: средняя масса особи, кг

Год	Возраст, лет					
	2	3	4	5	6	7+
1996	1,132	1,500	2,267	2,933	3,467	4,138
1997	1,138	1,500	2,267	2,933	3,467	4,121
1998	1,096	1,354	2,256	2,820	3,271	5,301
1999	1,012	1,598	2,256	2,914	3,384	4,418
2000	1,186	1,511	2,283	2,954	3,491	5,106
2001	1,155	1,468	2,219	2,871	3,393	4,963
2002	1,149	1,473	2,225	2,880	3,403	4,977
2003	1,137	1,466	2,216	2,868	3,389	4,957
2004	1,134	1,465	2,214	2,866	3,387	4,953
2005	1,147	1,483	2,241	2,900	3,428	5,013
2006	1,040	1,703	2,298	2,875	3,150	4,468
2007	0,834	1,332	1,747	2,135	2,488	3,596
2008	1,042	1,387	1,761	2,191	2,540	4,102
2009	0,915	1,406	1,818	2,298	2,610	3,592
2010	0,939	1,301	1,742	2,207	2,506	3,833
2011	1,155	1,440	1,850	2,643	2,883	4,390
2012	0,965	1,360	1,825	2,458	2,933	4,583
2013	0,686	0,979	1,780	2,120	2,870	3,960
2014	0,848	1,385	2,023	2,120	3,020	4,081
2015	0,902	1,483	2,100	2,425	3,229	4,087
2016	0,844	1,120	1,480	2,122	2,918	4,161
2017	0,898	1,130	1,630	2,153	2,203	3,601
2018	0,613	0,877	1,097	1,362	2,239	3,408
2019	0,364	1,024	1,565	1,894	2,095	2,375

Таблица 4. Биологические показатели пиленгаса в Азовском море в 1996–2019 гг.: естественная смертность, созревание, индексы численности в учётных траловых съёмках ЮгНИРО и АзНИИРХ

Год	Возраст, лет						
	1	2	3	4	5	6	7+
Естественная смертность, <i>M</i>							
1996–2019	0,934	0,587	0,160	0,210	0,280	0,370	0,480
Темпы созревания, <i>mat</i>							
1996–2019	0,000	0,200	0,600	1,000	1,000	1,000	1,000
Индексы численности (украинские съёмки ЮгНИРО, февраль–март)							
2000	0,110	3,325	18,177	7,802	4,119	3,050	3,128
2001	0,190	6,343	6,656	3,847	1,023	0,756	1,445
2002	0,247	5,620	6,035	4,380	1,794	0,606	1,118
2003	0,309	5,620	6,035	4,380	2,043	1,794	1,090
2004	1,265	21,089	13,362	8,219	0,827	0,129	0,310

Год	Возраст, лет						
	1	2	3	4	5	6	7+
2005	1,388	22,761	19,028	7,414	1,555	0,363	0,726
2006	1,864	26,634	16,322	25,338	4,845	1,425	1,218
2007	1,082	15,524	31,049	19,147	6,727	2,587	1,268
2008	4,051	48,495	22,167	14,596	17,700	2,865	0,750
Индексы численности (российские съёмки АзНИИРХ, сентябрь-октябрь)							
2014	1,722	0,024	0,072	0,287	0,742	1,316	0,335
2015	0,264	0,894	1,341	0,730	0,421	0,281	0,000
2016	6,411	0,371	0,000	0,083	0,000	0,000	0,083
2017	1,516	2,021	1,137	0,505	0,164	0,000	0,000
2018	4,267	1,644	1,780	0,712	0,748	0,107	0,000
2019	0,239	1,670	4,427	4,879	1,311	0,119	0,001

рыбы преимущественно в возрасте 3–6 лет. В этой связи старшие возрастные группы объединены в группу 7+, а промысловая смертность F_{bar} , характеризующая основную облавливаемую часть популяции, принята равной усреднённому значению смертности для 3–6-летних возрастных групп. Настройку XSA производили по индексам численности уловов украинских учётных траловых съёмок ЮгНИРО (2000–2008 гг.) и российских съёмок АзНИИРХ (2014–2019 гг.), распределённым по возрастам от 1 до 7+.

Моделирование включало этапы:

1. Предварительная диагностика;
2. Результаты XSA;
3. Диагностика подгонки XSA по индексам учётных съёмок;
4. Оценка зависимости запаса популяции от вылова;
5. Оценка биологических ориентиров управления;
6. Краткосрочный прогноз.

Рассмотрение последнего этапа не входило в задачу настоящей работы, поэтому приведены лишь итоговые результаты прогнозирования без их анализа.

При исследовании качества индексов численности как украинских, так и российских съёмок использовался общепринятый подход сравнения остатков логарифмов индекса численности возрастных групп со

сдвигом на 1, 2, 3 и т. д. лет. Тестирование XSA на стабильность и устойчивость производилось при последовательном усечении рядов входных данных на 1 год с горизонтом в 3 года. Стабильность модели оценивалась в ходе ретроспективного анализа, а количественная оценка стабильности модели определялась по результатам теста Мон-ро [Mohn, 1999]. Диагностика чувствительности модели выполнялась при помощи изменения стартовых параметров модели, основным из которых была допустимая ошибка стягивания по численности и промысловой смертности.

После подгонки окончательной версии модели XSA выполнялась диагностика невязок, позволяющая выявить накопительные годовые или возрастные эффекты, степень их значимости и удовлетворительность аппроксимации модели.

Аналитическое оценивание пиленгаса на XSA выполнено в двух вариантах:

1. С использованием только рыбопромысловой статистики из табл. 2;
2. С включением ННН в общий вылов, получаемый путём перемножения каждого значения из табл. 1 за 2004–2019 гг. на повышающие коэффициенты, экспертные оценки которых даны в следующем разделе. Данный вариант рассматривается как ориентировочный, требующий уточнения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В практике EWG STECF и других международных рыбохозяйственных организаций при высоком уровне ННН-промысла настоятельно рекомендуется производить аналитическое оценивание запаса с включением ННН в общий вылов исследуемого вида водных биоресурсов, даже если ННН-вылов экспертно устанавливается на основе каких-либо предположений. Примером тому является включение EWG STECF экспертных оценок ННН-вылова черноморского калкана в общий вылов причерноморских стран в 2002–2010 гг. для последующего аналитического оценивания [STECF, 2012]. Данные экспертные оценки совершенно не опирались на исследование ННН-промысла и были приняты в допущении того, что весь его объём до 2002 г. приходился на браконьерский лов турецких судов в водах Болгарии, Румынии, Украины и Российской Федерации, отсюда доля ННН-вылова черноморского калкана в общем вылове была пропорциональна соотношению между турецким выловом в 1993–2001 и 2009–2010 гг. Тем не менее, данный подход к экспертному оцениванию ННН-вылова с его включением во входные данные аналитических моделей в последующие годы стала применять Генеральная комиссия по рыболовству в Средиземном море (далее — ГКРС), которая с середины 2010-х гг. взяла на себя функцию международного регулирования рыбного промысла в Чёрном море.

В сравнении с экспертными оценками STECF и ГКРС ННН-вылова черноморского калкана, соответствующая оценка для пиленгаса Азовского моря имеет более высокую обеспеченность фактическими данными. С середины 2000-х и по 2013 гг. ЮгНИРО осуществлял мониторинг украинского промысла в Азовском море, проводил регулярный научно-исследовательский лов на своих контрольно-наблюдательных пунктах вдоль крымского побережья и имел возможность выборочного обследования конфискованных браконьерских и сокрытых уловов пиленгаса. Как оказалось, при ННН-промысле структура вылова была очень схожей со структурой легальных ре-

гистрируемых уловов, поскольку и те, и другие были получены ставными сетями (разрешенными для промысла в Сиваше, азовских лиманах и Керченском проливе), кошельковыми и кольцевыми неводами в море (весомая их часть утаивалась, т. е. не регистрировалась статистикой). По экспертным оценкам ЮгНИРО, основанным на анализе размерно-возрастной структуры уловов, в 2007–2010 гг. в украинскую официальную статистику азовского вылова пиленгаса попадало не более 30–40% объёма его реального украинского изъятия в море [Шляхов, Михайлюк, 2011].

Для российского промысла пиленгаса в Азовском море отсутствуют публикации о количественных оценках ННН-вылова в эти годы, хотя российский ННН-промысел имел место, возможно, в меньших масштабах, чем украинский. Во второй половине 2010-х гг., судя по постоянному поступлению на рыбные рынки городов юга России свежесо- пиленгаса во время его полного запрета на лов, нелегальный и нерегистрируемый российский помысел этой рыбы продолжается. Наличие высокой активности ННН-промысла в отношении пиленгаса подтверждается данными работы службы государственного мониторинга водных биоресурсов и среды их обитания АзНИИРХ в 2018 и 2019 гг. В ходе мониторинговых работ в бассейне Азовского моря этой службой было обследовано в общей сложности 359 незаконных уловов в 2018 г. и более 600 — в 2019 г. По экспертным оценкам специалистов АзНИИРХ, в 2017–2018 гг. объём незаконного вылова пиленгаса российскими пользователями был выше официального вылова, однако эти оценки опирались на определения абсолютной численности запаса пиленгаса по осенним траловым съёмкам, которые не дают объективных оценок его численности [Пряхин, 2001], и без учёта естественной смертности, следовательно, они не вполне надёжны.

На основании имеющейся информации для моделирования с учётом ННН нами приняты следующие допущения:

1. Величиной ННН-вылова пиленгаса в Азовском море до 2004 г. можно пренебречь ввиду её незначительности;

2. Возрастная структура регистрируемого статистикой вылова и ННН-вылова была идентичной;

3. Повышающие коэффициенты (см. предыдущий раздел) для входных данных по вылову экспертно оценены: в 2004 г. в размере 1,1, в 2005 г.— 1,2, в 2006 г.— 1,3, в 2007–2019 гг.— 1,5.

Повышающие коэффициенты не вводились для 1996–2003 гг., а в последующие годы, возможно, несколько занижены, но принятые их значения гарантированно не приведут к переоценке доли ННН-вылова в общем изъятии рыбы из водоёма.

Предварительная диагностика XSA включала диагностику индексов численности учётных траловых съёмок, оценку допустимой ошибки «стягивания» по численности и промысловой смертности, ретроспективный анализ чувствительности и тест на стабильность модели параметрическим критерием Мон-ро.

Начальным шагом этапа предварительной диагностики было исследование качества учётных съёмок, при котором выполнялось сопоставление логарифмов индексов численности в возрасте a в год y [$a; y$] против численности [$a+1; y+1$], [$a+2; y+2$], то есть со сдвигом на 1, 2 и т. д. лет. Такая процедура позволяет отследить изменение численности поколения на протяжении его жизненного цикла. Диагностика качества индексов численности по данным учётных траловых съёмок ЮгНИРО и АзНИ-ИРХ, используемых для параметризации модели, пройдена успешно: все возрастные сравнения имели положительный регрессионный наклон, кроме самой старшей возрастной группы 7+, что, очевидно, связано с нестабильным возрастным составом плюс-группы.

Далее, в рамках теста чувствительности модели, производилась оценка допустимой ошибки «стягивания» для рассчитанной численности запаса N и смертности F при различных значениях «стягивания» внутри исследуемого диапазона 0,5–2,5. По результатам оценки было принято решение параметризовать модель на уровне ошибки стягивания 0,5 приводящей к наибольшей

устойчивости модели. Другие параметры модели, такие как временное окно ошибки стягивания, длина интервала лет для назначения весов в оценке «стягивания» и прочие параметры, не имели серьёзного влияния на подгонку модели.

В ходе предварительной диагностики особое внимание было обращено на оценку чувствительности и стабильности модели. Анализ стабильности модели производился ретроспективным тестом с последовательным усечением ряда входящих данных на 1 год с горизонтом в 3 года. Ретроспективный горизонт в 3 года обусловлен принятыми стандартами в международных рыбохозяйственных организациях для краткосрочного прогнозирования. Обязательным условием прохождения теста являлась сходимость результатов моделирования при трёхлетнем усечении. В данном тесте также выполнялось сравнение между различными уровнями ошибки стягивания. Наиболее устойчивой к изменениям оказалась ретроспектива при ошибке стягивания 0,5, как и ожидалось после выполненного предыдущего теста. Сам ретроспективный анализ не имел выраженных аномалий, а оценки Rec (пополнения), SSB , и $Fbar$ имели удовлетворительное сходжение. Тестирование устойчивости модели было пройдено успешно, графические результаты ретроспективного анализа чувствительности отражены на рис. 1.

Посредством параметрического критерия Мон-ро оценивается сумма относительных отклонений SSB и F в ретроспективном периоде. Согласно статистическим исследованиям, условиям стабильности соответствуют значения критерия, попадающие в диапазон между $-0,22$ и $+0,20$ [Mohn, 1999]. Для XSA с финальной параметризацией при ошибке стягивания 0,5 были получены следующие оценки критерия Мон-ро: вариант 1 (без ННН) дал $\rho_{SSB} = -0,183$ и $\rho_{Fbar} = 0,147$; вариант 2 (с ННН) — $\rho_{SSB} = -0,182$ и $\rho_{Fbar} = 0,146$. Как видно из полученных оценок, значения критерия по биомассе и промысловой смертности для обоих вариантов отличались несущественно, и все они попали в диапазон стабильности. Полученные значения критерия также свидетельствуют о вероятной

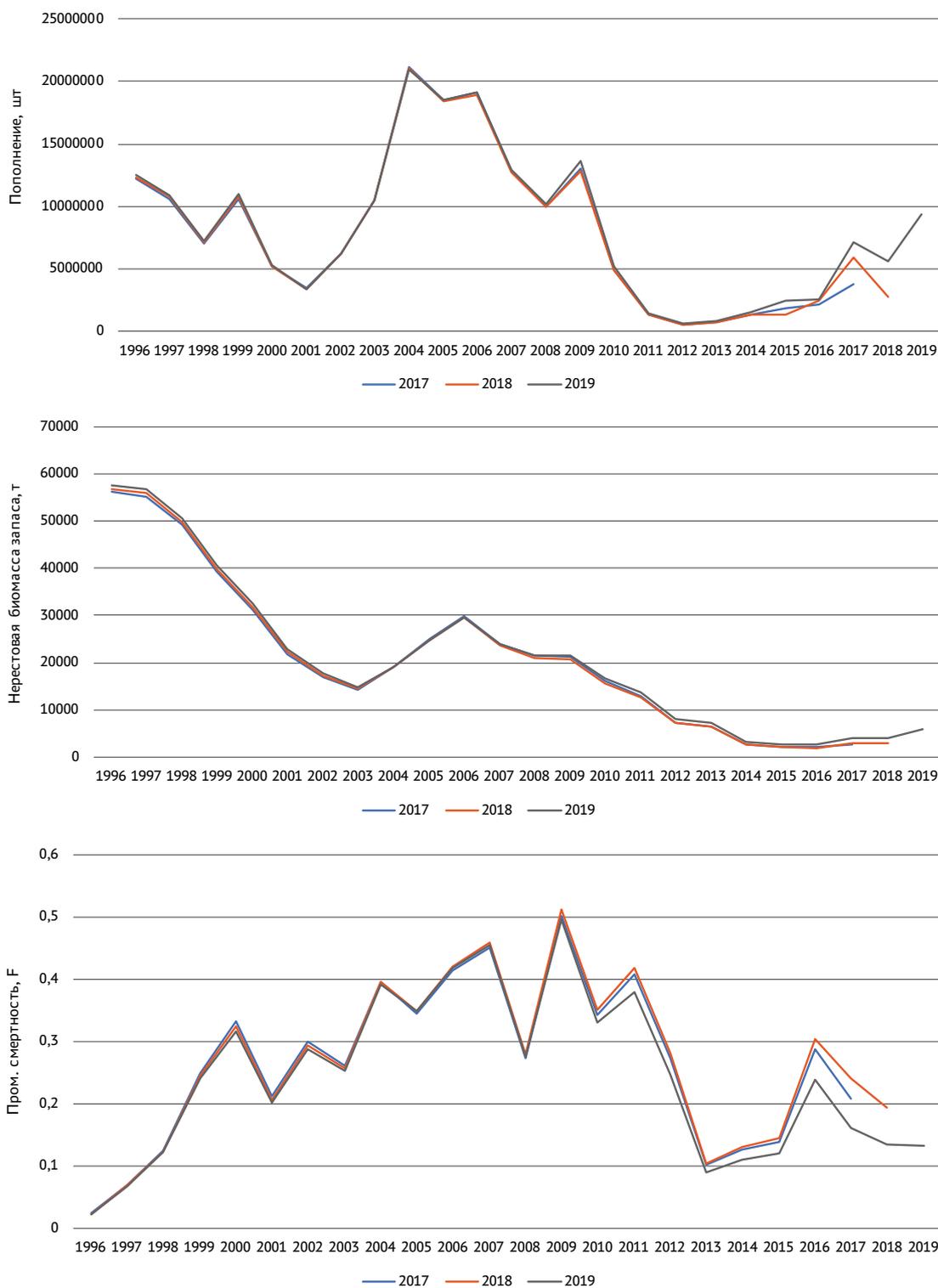


Рис. 1. Анализ чувствительности XSA модели пиленгаса при ошибке стягивания 0,5: R—пополнение, шт.; SSB —нерестовая биомасса запаса, т; F —промысловая смертность

небольшой недооценке моделью биомассы нерестовой части азовской популяции пиленгаса и незначительной переоценке промысловой смертности.

Результаты моделирования сведены в табл. 5. Они оказались довольно сходными для обоих вариантов. Обсуждение полученных итоговых оценок дано в конце раздела.

Диагностика подгонки XSA по индексам учётных съёмок. После подгонки окончательной версии модели, результаты которой содержатся в табл. 5, была выполнена диагностика невязок. Основной задачей теста являлось обнаружение значимых невязок, величины которых на логарифмической шкале менее $-2,25$ или более $2,25$, а также обнаружение накопительных годовых или возрастных эффектов. По результатам этой диагностики украинские учётные траловые съёмки (ЮгНИРО) показали лучшие результаты по

сравнению с российскими (АзНИИРХ), которые выполнялись в 2014–2019 гг. Тем не менее, обе съёмки не имели выраженных накопительных годовых или возрастных эффектов. Минимальные и максимальные остатки: для украинской учётной съёмки — $-2,08$; $1,05$, для российской — $-4,60$; $1,83$. Если сопоставить полученный размах значений остатков для входных данных без ННН и с ННН, то добавление неучтённого вылова приводит к небольшому улучшению качества подгонки модели к наблюдаемым индексам численности, особенно по украинским съёмкам ($\min -1,99$; $\max 1,01$).

Учитывая все результаты диагностики, XSA имеет хорошую стабильность, точность

Таблица 5. Итоговые оценки на XSA пополнения (*Rec*, шт.), запаса (*SSB*, т) и промысловой смертности (*Fbar*) пиленгаса в Азовском море в 1996–2019 гг.

Год	Оценки без ННН (вариант 1)			Оценки с ННН (вариант 2)		
	<i>Rec</i>	<i>SSB</i>	<i>Fbar</i>	<i>Rec</i>	<i>SSB</i>	<i>Fbar</i>
1996	12482134	57570,122	0,023	13295477	61356,009	0,022
1997	10905280	56607,760	0,068	11654952	60414,952	0,064
1998	7223736	50467,511	0,122	7758488	54091,069	0,113
1999	11010271	40530,233	0,240	12132421	43845,884	0,220
2000	5300560	32492,847	0,316	5943028	35897,150	0,282
2001	3409396	22864,081	0,201	3881771	26075,160	0,174
2002	6215002	17772,199	0,287	7496472	20820,285	0,242
2003	10477889	14923,138	0,252	13264068	18337,148	0,202
2004	20991231	19217,701	0,392	27505617	24736,026	0,326
2005	18527081	24769,784	0,349	26467709	33765,830	0,302
2006	19166763	29693,976	0,419	28097976	42562,128	0,374
2007	12895186	23910,944	0,454	19340526	35745,157	0,456
2008	10150070	21396,566	0,274	15227880	31948,378	0,276
2009	13610798	21449,427	0,495	20416197	32044,152	0,497
2010	5169736	16566,283	0,331	7754604	24762,194	0,332
2011	1435453	13764,479	0,380	2153179	20646,054	0,380
2012	605594	8127,393	0,246	908392	12192,801	0,246
2013	805563	7372,008	0,089	1208345	11058,012	0,089
2014	1566300	3266,304	0,110	2349450	4899,456	0,110
2015	2409093	2655,734	0,120	3613639	3983,601	0,120
2016	2556434	2620,378	0,239	3834651	3930,567	0,239
2017	7107029	3978,432	0,160	10660544	5967,647	0,160
2018	5574893	4015,231	0,135	8362340	6022,847	0,135
2019	9393973	5937,504	0,132	14090959	8906,256	0,132

и удовлетворительно описывает параметры азовской популяции пиленгаса.

Оценка зависимости запас-пополнение и определение биологических ориентиров управления. Наиболее точным способом определения зависимости запас-пополнение является построение модели «запас-пополнение», однако при попытке построить подобную модель были получены неудовлетворительные результаты, свидетельствующие о слабой связи между биомассой запаса и численностью пополнения, флюктуации которого обусловлены внешними факторами.

Отношение пополнения к биомассе запаса Rec/SSB представляет собой удельное воспроизводство, а его натуральный логарифм характеризует эффективность естественного воспроизводства. Падение эффективности воспроизводства в 1998–1999 и в 2009–2010 гг. (рис. 2), то есть в годы достаточно высокого запаса пиленгаса, явно указывает на мощное влияние факторов среды обитания, ослабляющих связь между запасом и пополнением.

В таких случаях как наш, когда невозможно выполнить качественную подгонку модели «запас-пополнение», для определения биологических ориентиров управления используются альтернативные методы. В практике ICES и других международных

организаций в качестве ориентира управления широко используется фиксированное значение темпа эксплуатации (отношение промысловой смертности к общей, $E = F/Z$) $E = 0,4$, выполняющее роль целевого ориентира [Patterson, 1992], превышение которого рассматривается как один из признаков перелова.

На рис. 3 приведены рассчитанные по результатам XSA фактические значения E (которые для обоих вариантов практически совпали) относительно целевого ориентира $E = 0,4$. Они свидетельствуют о чрезмерном уровне эксплуатации запаса в 2004–2011 гг., в остальные годы превышение целевого ориентира было незначительным или отсутствовало.

Краткосрочный прогноз. Результаты краткосрочного прогнозирования запаса и вылова пиленгаса в Азовском море на XSA для четырёх сценариев задаваемой промысловой смертности, включая её сохранение на усреднённом для трёх последних лет промысла уровне (FSQ), представлены в табл. 6.

В заключение приведём некоторые соображения, касающиеся результатов аналитического оценивания пиленгаса Азовского моря. Максимальный запас (около 60 тыс. т) ожидаемо пришёлся на начало его эксплуатации, когда азовская популяция пиленгаса была в состоянии, близком к «девствен-

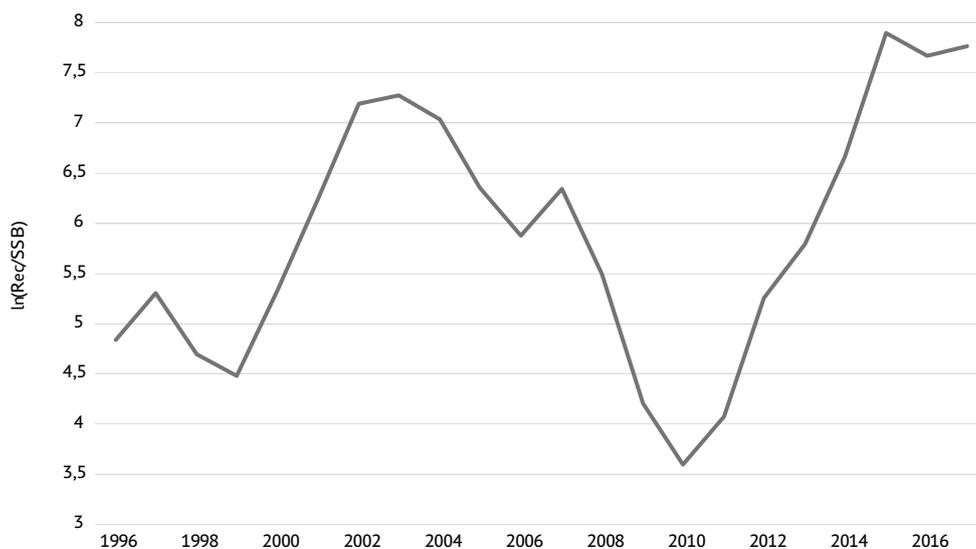


Рис. 2. Динамика логарифмированного отношения численности пополнения пиленгаса в двухлетнем возрасте к биомассе продуцирующего его запаса

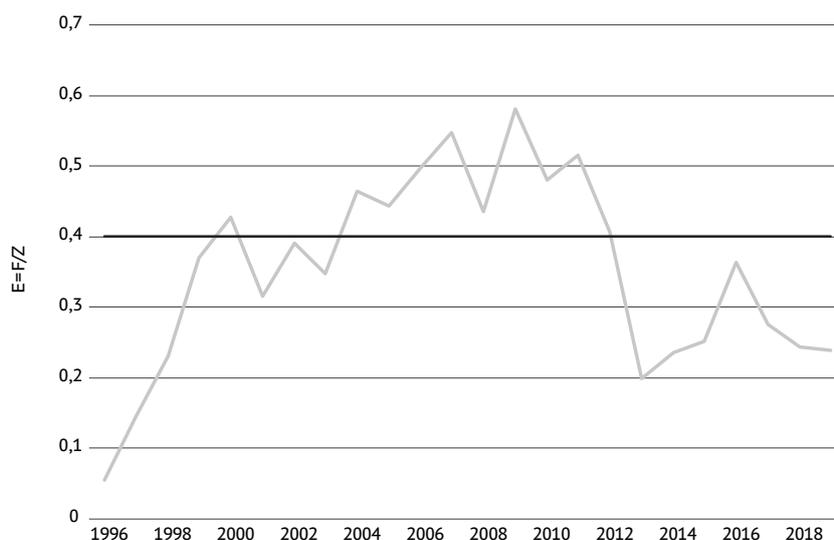


Рис. 3. Темп эксплуатации азовской популяции пиленгаса промыслом в 1996–2019 гг.

Таблица 6. Краткосрочный прогноз величины запаса пиленгаса в Азовском море на 2020–2023 гг. без учёта ННН (вариант 1) и с его учётом (вариант 2)

Год	Текущие (2019 г.) и прогнозируемые (2020–2021 гг.) показатели при различных значениях F							
	$F = 0,2$		$F = 0,4$		$FSQ = 0,14$		$F_{0.1} = 0,57$	
	вариант 1	вариант 2	вариант 1	вариант 2	вариант 1	вариант 2	вариант 1	вариант 2
	SSB, т							
2019	5938	8906	5938	8906	5938	8906	5938	8906
2020	7447	11170	7447	11170	7447	11170	7447	11170
2021	7436	11154	6428	9642	7763	11644	5721	8582
2022	6611	9917	4947	7420	7221	10831	3967	5950
	C, т							
2019	646	969	646	969	646	969	646	969
2020	1217	1826	2236	3355	890	1335	2963	4445
2021	1310	1965	2062	3092	1003	1504	2416	3624
2022	1106	1658	1518	2278	884	1325	1618	2427

ному». По мере интенсификации промысла запас снижался, по-видимому, до перехода в состояние, близкое к равновесному. После того как запас составил около половины от девственного, в 2005–2009 гг., то есть в течение 5 лет, система «запас-промысел» была наиболее продуктивной и устойчивой, в эти годы в промысел начинали вступать наиболее высокие по численности поколения, достигавшие 20–28 млн шт., а регистрируемый годовой вылов находился в пределах 6,5–10,3 тыс. т. В 2010–2011 гг. произошло резкое сокращение величины 2-летних рыб (в 4,5

раза от среднего в 2005–2009 гг.), и в 2015–2016 гг. это привело к минимальному историческому уровню запаса — по первому варианту 2,6 тыс. т, по второму — 4,0 тыс. т. В последующие годы воспроизводство и его эффективность повысились, промысловый пресс уменьшился и запас к концу 2010-х гг. увеличился в 2,7 раза. Для более наглядного восприятия динамики запаса по результатам XSA на диаграмме (рис. 4) представлен результат предшествующей аналитической оценки запаса на ANACO, индексы биомассы в учётных съёмках и вылов пиленгаса.

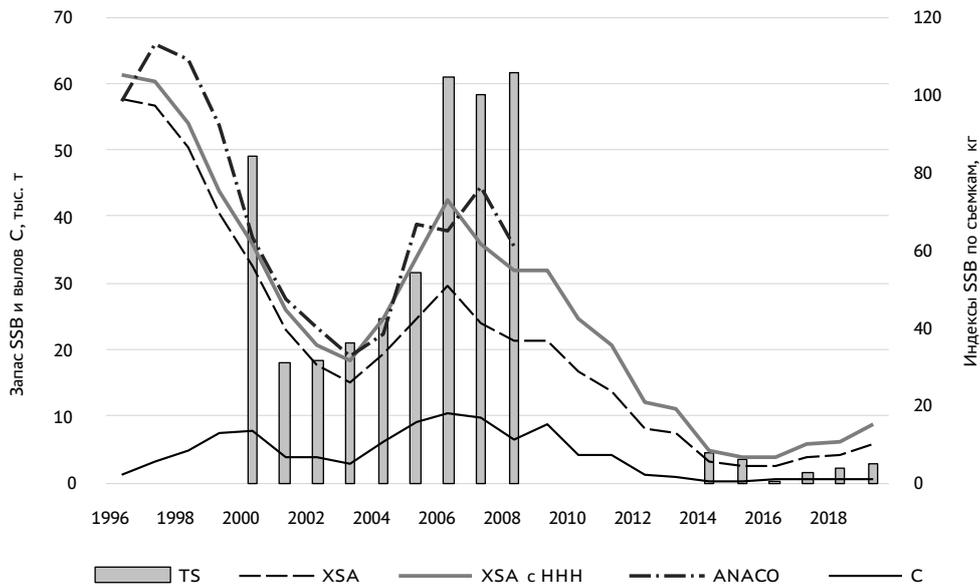


Рис. 4. Индексы биомассы пиленгаса TS по учётным траловым съёмкам ЮгНИРО (2000–2008 гг.) и АзНИИРХ (2014–2019 гг.), запас по ANACO, XSA с ННН и без него, официальный вылов С

Чтобы понять природу описанной выше динамики запаса пиленгаса, рассмотрим два определяющих её ключевых фактора — промысел, характеризуемый промысловой смертностью F_{bar} или темпом эксплуатации E , и воспроизводство, показателем которого служит пополнение Rec (в нашем случае на уровне сеголеток или двухлетних рыб). Согласно XSA, расчётные значения E свидетельствуют о чрезмерном уровне F_{bar} в 2004–2011 гг., но это не служило препятствием для роста запаса в 2004–2006 гг., напротив, при относительно низкой промысловой смертности в 1996–1999, 2001–2003 и 2013–2016 гг. запас уменьшался. Следовательно, наибольшее воздействие на изменения запаса пиленгаса оказывало воспроизводство.

В этой связи уместно вспомнить, что местом происхождения азовского запаса пиленгаса является Молочный лиман, в котором производились и успешно завершились работы по акклиматизации этой рыбы [Семеновко, 1991]. Эксплуатация пиленгаса в Азовском море началась с 1993 г. при запасах 9,4 тыс. т, определённом методом площадей по данным тралового учёта с коэффициентом уловистости 1,0 [Яновский, Изергин, 1998]. В запасах превашировало высокоурожайное поколение 1989 года рождения, сформировавшееся за счёт естественного нереста

в Молочном лимане при солёности 13–18‰, устойчивая связь которого с морем и благоприятные условия для воспроизводства пиленгаса поддерживались регулярными мелиоративными работами по расчистке соединительного канала. Начиная с 1990 г., работы по расчистке канала постепенно начали сворачиваться [Чесалин и др., 2002]. В 1998–2001 гг. мелиорация канала почти не производилась, в 2002–2006 гг. она улучшилась, но с 2007 г. практически прекратилась. С 2009 г. в Молочном лимане, потерявшем постоянную связь с морем, уменьшились уровень воды и площадь зеркала, большая часть акватории водоёма стала гипергалинной, и для пиленгаса он утратил статус основного нерестилища. По этой причине дальнейший учёт сеголеток пиленгаса от нереста в Молочном лимане перестал производиться.

По данным осенних учётов АзЮгНИРО сеголеток пиленгаса из Молочного лимана за 1995–2008 гг. (см. табл. 1) было выполнено исследование зависимости между численностью сеголеток и численностью взрослых особей тех же поколений в возрасте от 3 до 6 лет в годовых уловах (из табл. 2). Результаты корреляционных тестов занесены в табл. 7.

Как видно из табл. 7, статистически доказанная связь выявлена только у пополне-

Таблица 7. Результаты кросс-корреляционного тестирования численности молоди пиленгаса, вышедшей из Молочного лимана (*Rec* в возрасте 0+) в 1995–2008 гг., и численности взрослых рыб тех же поколений (*Age* = 3÷6) в уловах*

Годы учёта молоди	<i>Rec</i> vs <i>Age</i> = 3		<i>Rec</i> vs <i>Age</i> = 4		<i>Rec</i> vs <i>Age</i> = 5		<i>Rec</i> vs <i>Age</i> = 6	
	<i>r</i>	<i>p</i> -value						
1995–2008	-0,14	0,640	-0,04	0,881	0,31	0,277	0,39	0,169
1995–2007	-0,17	0,586	-0,09	0,768	0,28	0,358	0,36	0,223
1995–2006	-0,19	0,555	-0,09	0,771	0,24	0,457	0,38	0,226
1995–2005	-0,19	0,584	-0,11	0,747	0,23	0,490	0,37	0,266
1995–2004	-0,18	0,611	-0,09	0,805	0,23	0,523	0,38	0,272
1995–2003	-0,09	0,816	-0,08	0,833	0,46	0,210	0,33	0,390
1995–2002	-0,08	0,850	0,02	0,960	0,49	0,214	0,32	0,435
1995–2001	0,07	0,875	0,43	0,337	0,67	0,103	0,42	0,348
1995–2000	0,41	0,415	0,62	0,186	0,97	0,001	0,72	0,109
1995–1999	0,38	0,525	0,78	0,116	0,99	0,001	0,76	0,133
1995–1998	0,25	0,745	0,72	0,283	0,99	0,009	0,82	0,181

**r* — величина коэффициента корреляции Пирсона; *p*-value — тест значимости степени связи (при $p > 0,05$ корреляция является случайным совпадением, при $p < 0,05$ корреляция не может быть объяснена случайностью при биологически приемлемом уровне значимости результатов $\alpha = 0,05$).

ния и рыб в возрасте 5 лет для рядов данных с 1995 по 2000 гг. Для других возрастных групп (4 и 6), хоть в эти годы и наблюдались довольно высокие положительные значения коэффициента корреляции, однако уровень её значимости оказался ниже биологически приемлемого. Менее тесная связь сеголеток с трёх- и четырёхлетними рыбами в уловах может быть объяснена селективностью орудий лова и частичным распределением неполовозрелых особей вне района промысла. Связь пополнения с рыбами тех же поколений в шестилетнем возрасте для трёх наиболее длинных рядов данных (1995–2006, 1995–2007 и 1995–2008 гг.) была не выше 0,4 и не значима на биологически приемлемом уровне, но уровень значимости находился в диапазоне 0,17÷0,23. Иными словами, вероятность случайности связи составляла порядка 20%.

Результаты корреляционного теста можно интерпретировать следующим образом:

– до 2001 г. Молочный лиман, скорее всего, играл главенствующую роль в воспроизводстве азовской популяции пиленгаса;

– в последующие годы вклад Молочного лимана в воспроизводство популяции существенно уменьшился, хотя для 5–6-летних

рыб прослеживался до конца периода функционирования лимана как нерестилища пиленгаса (2008 г.).

Воспроизводство пиленгаса в Молочном лимане после 2001 г. однозначно ослабевало, но, возможно, продолжало влиять на состояние системы «запас-промысел» вплоть до 2013–2014 гг., пока в промысловой части популяции присутствовали рыбы, родившиеся в Молочном лимане.

Ихтиопланктонными съёмками АзНИИРХ убедительно показано, что с 1994 г. размножение пиленгаса, помимо Молочного лимана, Сиваша, оз. Ханское и других приточных солоноватоводных водоёмов, стало происходить непосредственно в Азовском море, включая Таганрогский залив, при солёности 5–12‰ [Пряхин, 1995; Пряхин, 2001; Пряхин и др., 2002]. По нашему мнению, вклад собственно Азовского моря в воспроизводство азовской единицы запаса пиленгаса в 1990-х, 2000-х и первой половине 2010-х гг. не был высоким, поскольку после прекращения размножения пиленгаса в Молочном лимане морское воспроизводство не смогло остановить устойчивого снижения запаса до 2015–2016 гг. Возможное объяснение состоит в недостаточно высокой выжи-

ваемости личинок в морской воде с солёностью менее 13‰, которая была в Азовском море в те годы.

Если ещё раз обратить внимание на рис. 2, то можно заметить устойчивый рост эффективности воспроизводства популяции с 2011 г. по настоящее время. Логично связать этот рост с ежегодным повышением солёности Азовского моря, которая в осенний период 2017 г. составила в среднем 14,53‰, а в 2019 г. достигла 14,72‰. Сейчас уже очевидно, что высокая солёность морской воды сохранится в ближайшие годы, и это будет способствовать дальнейшему росту воспроизводства и численности азовского запаса пиленгаса.

ВЫВОДЫ

1. Доступная информация о состоянии запаса и промысла пиленгаса в Азовском море в 1995–2019 гг. достаточна для проведения всестороннего аналитического оценивания на структурированных по возрасту когортных моделях, включая XSA.

2. Аналитическое оценивание состояния запаса пиленгаса производилось на XSA в пакете *FLR*. В ходе её диагностики тестирование качества учётных траловых съёмов ЮгНИРО (2000–2008 гг.) и АзНИИРХ (2014–2019 гг.), а также результаты ретроспективного анализа и подгонки модели по индексам учётных съёмов признаны положительными.

3. Учитывая результаты диагностики, XSA имеет хорошую стабильность, точность и удовлетворительно описывает основные характеристики азовской популяции пиленгаса — пополнение *Rec* на уровне двухлетних рекрутов, нерестовый (промысловый) запас *SSB* и промысловую смертность F_{ba_r} , усреднённую для 3–6-летних возрастных групп.

4. По результатам моделирования, нерестовый запас пиленгаса *SSB* в начальной фазе его эксплуатации (1996–1997 гг.) был близок к 60 тыс. т, в 2005–2009 гг. он составлял 21–30 тыс. т (32–43 тыс. т при включении во входные данные ННН-вылова), а в 2019 г. — 6 тыс. т (9 тыс. т с учётом ННН).

5. По результатам оценок запаса и пополнения были построены модели «запас-пополнение» нескольких типов (Рикера, Бивертон-Холта и сегментной регрессии), однако выполнить адекватную подгонку ни одной из них не удалось. Неудача связана с непредсказуемыми в рамках зависимости «запас-пополнение» флуктуациями численности пополнения. Рассчитанный по результатам XSA логарифм этого отношения $\ln(Rec/SSB)$ характеризует эффективность воспроизводства, и его динамика указывает на мощное влияние факторов среды обитания, ослабляющих связь между запасом и пополнением.

6. В качестве целевого ориентира управления принято фиксированное значение темпа эксплуатации $E = F/Z = 0,4$ [Patterson, 1992], которое получило распространение в практике ICES и других международных организаций. Фактические значения *E* по XSA свидетельствуют о чрезмерном уровне эксплуатации азовского запаса пиленгаса в 2004–2011 гг., в остальные годы превышение целевого ориентира было незначительным или отсутствовало.

7. В 1995–2019 гг. наибольшее воздействие на изменения азовского запаса пиленгаса оказывало воспроизводство. Методом кросс-корреляции выполнено тестирование зависимости между численностью сегментов, учтенных АзЮгНИРО при выходе из Молочного лимана в море, и численностью взрослых особей тех же поколений в возрасте от 3 до 6 лет в годовых уловах. На основании выявленной статистически значимой связи пополнения с 5-летними рыбами можно допустить, что до 2001 г. решающую роль в воспроизводстве азовской популяции пиленгаса играл Молочный лиман, в последующие же годы его значение уменьшалось.

8. Выявленный по результатам оценки пополнения на XSA рост эффективности воспроизводства (Rec / SSB) с 2011 г. по настоящее время можно объяснить повышением солёности Азовского моря.

ЛИТЕРАТУРА

- Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И., Васильев Д.А., Ильин О.И., Ковалев Ю.А., Михайлов А.И., Михеев А.А., Петухова Н.Г., Сафаралиев И.А., Четыркин А.А., Шереметьев А.Д. 2018. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: Изд-во ВНИРО. 312 с.
- Оцінка сучасного стану екосистем Чорного і Азовського морів, запасів промислових риб, безхребетних та водних рослин і прогноз їх вилучення на 2009–2010 рр.: доповідь про НДР. Тема 5-Ю, № ГР 0106U004382. 2008. Сост. Шляхов В.А., Чащин А.К., Литвиненко Н.М., Брянцев В.А., Боровская Р.В. Керчь: Изд-во ЮгНИРО. 99 с.
- Оцінка сучасного стану екосистем Чорного і Азовського морів, запасів промислових риб, безхребетних та водних рослин і прогноз їх вилучення на 2010–2011 рр.: доповідь про НДР. Тема 5-Ю, № ГР 0106U004382. 2009. Сост. Шляхов В.А., Чащин А.К., Литвиненко Н.М., Брянцев В.А., Боровская Р.В. Керчь: Изд-во ЮгНИРО. 110 с.
- Оцінка сучасного стану екосистем Чорного і Азовського морів, запасів промислових риб, безхребетних та водних рослин і прогноз їх вилучення на 2011–2012 рр.: доповідь про НДР. Тема 5-Ю, № ГР 0106U004382. 2010. Сост. Шляхов В.А., Чащин А.К., Литвиненко Н.М., Брянцев В.А., Боровская Р.В. Керчь: Изд-во ЮгНИРО. 115 с.
- Пряхин Ю.В. 1995. Промысловое освоение дальневосточной кефали пиленгаса в бассейне Азовского моря // VI Всерос. конф. по проблемам промыслового прогнозирования. Тез. докл. Мурманск, 04.10–06.10.1995. Мурманск: Изд-во ПИНРО. С. 122–123.
- Пряхин Ю.В. 2001. Азовская популяция пиленгаса: вопросы биологии, поведение и организация рационального промысла. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Ростов-н/Д.: АзНИИРХ. 24 с.
- Пряхин Ю.В. 2004. Об акклиматизации пиленгаса в Азовском море. Биология и промысловое использование // Комплексный мониторинг среды и биоты Азовского бассейна. Т. 6. Апатиты: Изд-во ММБИ КНЦ РАН. С. 177–192.
- Пряхин Ю.В., Воловик С.П., Чепурная Т.А. 2002. Естественное воспроизводство и состояние производителей азовской популяции пиленгаса // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоёмов Азово-Черноморского бассейна. Сб. науч. трудов (2000–2001 гг.). Ростов-н/Д.: Изд-во АзНИИРХ. С. 316–321.
- Семененко Л.И. 1991. Акклиматизация и рыбохозяйственное освоение пиленгаса // Серия: Аквакультура. Информационные материалы. № 2. М.: ВНИЭРХ. 81 с.
- Современное состояние промысловых рыб, беспозвоночных и водорослей Азово-Черноморского бассейна и прогноз их возможного вылова на 2000–2001 годы: отчёт о НИР. Т. 1. Тема 1.4.1, № ГР 0199U001508. 1999. Сост. Шляхов В.А., Михайлюк А.Н., Чащин А.К., Литвиненко Н.М., Кириосова И.П., Гришин А.Н., Брянцев В.А., Яновский Э.Г., Изергин Л.В., Толоконников Г.Ю. Керчь: Изд-во ЮгНИРО. 113 с.
- Современное состояние промысловых рыб, беспозвоночных и водорослей Азово-Черноморского бассейна и прогноз их возможного вылова на 2005–2006 годы: отчет о НИР. Тема 1, № ГР 0104U005966. 2004. Сост. Шляхов В.А., Чащин А.К., Литвиненко Н.М., Брянцев В.А. Керчь: Изд-во ЮгНИРО. 81 с.
- Чесалин М.В., Зувев Г.В., Митяй И.С., Демченко В.А. 2002. Современное состояние и проблемы рыбохозяйственного использования Молочного лимана Азовского моря // Рыбное хозяйство Украины. № 1 (18). С. 5–8.
- Шляхов В.А. 1998. Методика прогнозирования величины запаса и общего допустимого улова пиленгаса (*Mugil soiuu* Basilevsky) в Азовском море // Труды ЮгНИРО. Т. 44. С. 12–16.
- Шляхов В.А., Михайлюк А.Н. 2011. Лимиты важнейших промысловых рыб Чёрного и Азовского морей в 2007–2010 гг. и проблемы их освоения // Сучасні проблеми теоретичної і практичної іхтіології. Тези IV Міжнародної іхтіологічн. наук.-практичн. конф. Одеса, 07.09–11.09.2011 г. Одеса: Фенікс. С. 272–275.
- Шляхов В.А., Чащин А.К., Золотарев П.А., Кириосова И.П., Михайлюк А.Н., Жигуненко А.В. 1995. Разд. 1.2. Характеристика промысловых объектов и состояние их запасов в Чёрном море // Состояние биологических ресурсов Чёрного и Азовского морей. Керчь: Изд-во ЮгНИРО. С. 6–36.
- Яновский Э.Г., Изергин Л.В. 1998. О формировании промысловой популяции пиленгаса в бассейне Азовского моря // Труды ЮгНИРО. Т. 44. С. 17–21.
- Darby C.D., Flatman S. 1994. Virtual Population Analysis: Version 3.1 (Windows/DOS). User guide // MAFF Information Technology Series, Directorate of Fisheries Research. V. 1. 85 p.
- Gislason H., Daan N., Rice J.C., Pope J.G. 2010. Size, growth, temperature, and the natural mortality of marine fish // Fish and Fisheries. V. 11. P. 149–158.
- Hillary R. 2009. An introduction to FLR fisheries simulation tools // Aquatic Living Resources. V. 22. № 2. P. 225–232.
- Kell L.T., Mosqueira I., Grosjean P., Fromentin J.-M., Garcia D., Hillary R., Jardim E., Mardle S., Pastoors M.A., Poos J.J., Scott F., Scott R.D. 2007. FLR: an open-source framework for the evaluation and development of management strategies // ICES J. of Marine Science. V. 64. № 4. P. 640–646.
- Mesnil B. 1989. Computer programs for fish stock assessment. ANACO: Software for the analysis of

- catch data by age group on IBM-PC and compatibles // FAO Fisheries Technical Paper. № 101. Suppl. 3. 73 p.
- Mohn R.* 1999. The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data // ICES J. of Marine Science. V. 56. № 4. P. 473–488.
- Özdamar E., Samsun O., Kihara K., Sakuramoto K.* 1996. Stock assessment of whiting, *Merlangius merlangus euxinus* along the Turkish coast of Black Sea // J. of the Tokyo University of Fisheries. V. 82. № 2. P. 135–149.
- Patterson K.* 1992. Fisheries for small pelagic species: an empirical approach to management targets // Reviews in Fish Biology and Fisheries. № 2. P. 321–338.
- Shepherd J.G.* 1999. Extended survivors analysis: An improved method for the analysis of catch-at-age data and abundance indices // ICES J. of Marine Science. V. 56. № 5. P. 584–591.
- Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF) —Black Sea Assessments (STECF-12–15).* 2012. / G. Daskalov, G.C. Osio, A. Charef (Eds.). Luxembourg: Publications Office of the European Union. 277 p.
- STECF: Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries —Mediterranean & Black Sea Stock Assessments.* Reports referring to the assessments of Mediterranean and Black Sea stocks conducted by the STECF. 2020. Accessible via: <https://stecf.jrc.ec.europa.eu/reports/medbs> 01.03.2020.

*Поступила в редакцию 03.03.2020 г.
Принята после рецензии 02.06.2020 г.*

Commercial species and their biology

Analytical assessment of the so-iuy mullet in the Azov Sea using XSA cohort model

E.A. Kozhurin, M.M. Pyatinskii, V.A. Shliakhov, O.V. Shliakhova

Azov Sea Branch of FSBSI «VNIRO» («AzNIIRKH»), Rostov-on-Don, Russia

For analytical assessment of the so-iuy mullet *Planiliza haematocheila* in the Azov Sea, the archive materials of YugNIRO and AzNIIRKH have been used, as well as published expert estimates of IUU-fishing and fishing statistics of the Russian Federation and Ukraine for 1996–2019. Assessment was conducted based on XSA cohort model in the *FLR* software package. Description of the model diagnostics is given. According to the results of modelling, the so-iuy mullet spawning stock *SSB* at the early stages of its exploitation (1996–1997) was around 60,000 tons; in 2005–2009, it equaled 21,000–30,000 tons (32,000–43,000 tons upon including IUU-fishing to the input data); and in 2019, it made up 6,000 tons (9,000 tons taking IUU-fishing into account). As a target reference point for stock management, a fixed value of the exploitation rate $E = F/Z = 0.4$ was used. Actual values of E based on XSA give evidence of stock overfishing in 2004–2011; in other years, the target reference point exceeded insignificantly or did not exceed at all. The most significant impact on stock fluctuations was made by reproduction. Cross-correlation examination of the relations between fingerlings and 4–6-year-old individuals of the same generation in the catches shows that the Molochny Liman played the most crucial role in reproduction up to 2001. In later years, its importance for reproduction had been gradually decreasing until it ceased to exist. The increase in reproduction efficiency (Rec / SSB), which has been observed from 2011 to 2019 and was identified based on the results of recruitment (Rec) assessment using XSA, can be attributed to the increase in salinity of the sea.

Keywords: XSA model, catch, stock, recruitment, reproduction, so-iuy mullet *Planiliza haematocheila*, Molochny Liman, Azov Sea.

DOI:10.36038/2307-3497-2020-182-7-26

REFERENCES

- Babayan V.K., Bobyrev A.E., Bulgakova T.I., Vasil'ev D.A., Il'in O.I., Kovalev YU.A., Mihajlov A.I., Miheev A.A., Petuhova N.G., Safaraliev I.A., Chetyrkin A.A., Sheremet'ev A.D. 2018. Metodicheskie rekomendacii po ocenke zapasov prioritetnyh vidov vodnyh biologicheskikh resursov [Guidelines for the stock assessment of priority species of aquatic living resources]. M.: VNIRO. 312 s.
- Ocinka suchasnogo stanu ekosistem Chornogo i Azovs'kogo moriv, zapasiv promislovih rib, bezkhrebetnih ta vodnih roslin i prognoz ih viluchennya na 2009–2010 rr.: dopovid' pro NDR. Tema 5-YU, № GR 0106U004382 [Assessment of the current state of the Black and Azov Sea ecosystems, stocks of commercial fish species, invertebrates and aquatic plants, and the forecast of their exploitation for 2009–2010: a research report. Subject 5-YU, № GR 0106U004382]. 2008. Sost. Shlyahov V.A., Chashchin A.K., Litvinenko N.M., Bryancev V.A., Borovskaya R. V. Kerch: YugNIRO. 99 s.
- Ocinka suchasnogo stanu ekosistem Chornogo i Azovs'kogo moriv, zapasiv promislovih rib, bezkhrebetnih ta vodnih roslin i prognoz ih viluchennya na 2010–2011 rr.: dopovid' pro NDR. Tema 5-YU, № GR 0106U004382 [Assessment of the current state of the Black and Azov Sea ecosystems, stocks of commercial fish species, invertebrates and aquatic plants, and the forecast of their exploitation for 2010–2011: a research report. Subject 5-YU, № GR 0106U004382]. 2009. Sost. V Shlyahov V.A., Chashchin A.K., Litvinenko N.M., Bryancev V.A., Borovskaya R. V. Kerch: YugNIRO. 110 s.

- Ocinka* suchasnogo stanu ekosistem Chornogo i Azovs'kogo moriv, zapasiv promislivih rib, bezkhrabetnih ta vodnih roslini prognoz ih viluchennya na 2011–2012 rr.: dopovid' pro NDR. Tema 5-YU, № GR 0106U004382 [Assessment of the current state of the Black and Azov Sea ecosystems, stocks of commercial fish species, invertebrates and aquatic plants, and the forecast of their exploitation for 2011–2012: a research report. Subject 5-YU, № GR 0106U004382]. 2010. Sost. V.A. Shlyahov, A.K. Chashchin, N.M. Litvinenko, V.A. Bryancev, R.V. Borovskaya. Kerch: YugNIRO. 115 s.
- Pryahin Yu.V.* 1995. Promyslovoe osvoenie dal'nevostochnoj kefali pilengasa v bassejne Azovskogo morya [Commercial utilization of the Far Eastern so-iuy mullet in the Azov Sea Basin] // VI Vseros. konf. po problemam promyslovogo prognozirovaniya. Tez. dokl. Murmansk, 04.10–06.10.1995. Murmansk: PINRO. S. 122–123.
- Pryahin Yu.V.* 2001. Azovskaya populyaciya pilengasa: voprosy biologii, povedenie i organizaciya racional'nogo promysla. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk [The Azov population of so-iuy mullet: problems of its biology, behaviour and implementation of rational fishing]. Rostov-n/D.: AzNIIRH. 24 s.
- Pryahin Yu.V.* 2004. Ob akklimatizacii pilengasa v Azovskom more. Biologiya i promyslovoe ispol'zovanie [On acclimatization of so-iuy mullet in the Azov Sea. Biology and fisheries utilization] // Kompleksnyj monitoring sredy i bioty Azovskogo bassejna. T. 6. Apatity: MMBI KNC RAN. S. 177–192.
- Pryahin Yu.V., Volovik S.P., Chepurnaya T.A.* 2002. Estestvennoe vosproizvodstvo i sostoyanie proizvoditelej azovskoj populyacii pilengasa [Natural reproduction and status of the breeders from the Azov Sea population of so-iuy mullet] // Osnovnye problemy rybnogo hozyajstva i ohrany rybohozyajstvennyh vodoemov Azovo-Chernomorskogo bassejna. Sb. nach. trudov (2000–2001 gg.). Rostov-n/D.: AzNIIRH. S. 316–321.
- Semenenko L.I.* 1991. Akklimatizaciya i rybohozyajstvennoe osvoenie pilengasa [Acclimatization and fisheries exploitation of so-iuy mullet] // Seriya: Akvakul'tura. Informacionnye materialy. № 2. M.: VNIHRKH. 81 s.
- Sovremennoe* sostoyanie promyslovyh ryb, bespozvonochnyh i vodoroslej Azovo-Chernomorskogo bassejna i prognoz ih vozmozhnogo vylova na 2000–2001 gody: otchet o NIR. T. 1. Tema 1.4.1, № GR 0199U001508 [Current state of commercial fish species, invertebrates and aquatic plants of the Azov and Black Sea Basin, and the forecast of their prospective yield for 2000–2001: a research report. V. 1. Subject 1.4.1. № GR 0199U001508]. 1999. Sost. Shlyahov V.A., Mihajlyuk A.N., Chashchin A.K., Litvinenko N.M., Kirnosova I.P., Grishin A.N., Bryancev V.A., Yanovskij E.G., Izergin L.V., Tolokonnikov G. Yu. Kerch: YugNIRO. 113 s.
- Sovremennoe* sostoyanie promyslovyh ryb, bespozvonochnyh i vodoroslej Azovo-Chernomorskogo bassejna i prognoz ih vozmozhnogo vylova na 2005–2006 gody: otchet o NIR. Tema 1, № GR 0104U005966 [Current state of commercial fish species, invertebrates and aquatic plants of the Azov and Black Sea Basin, and the forecast of their prospective yield for 2005–2006: a research report. V. 1. Subject 1. № GR 0104U005966]. 2004. Sost. Shlyahov V.A., Chashchin A.K., Litvinenko N.M., Bryancev V.A.. Kerch: YugNIRO. 81 s.
- Chesalin M.V., Zuev G.V., Mityaj I.S., Demchenko V.A.* 2002. Sovremennoe sostoyanie i problemy rybohozyajstvennogo ispol'zovaniya Molochnogo limana Azovskogo morya [Current state and problems of fisheries utilization of the Molochny (Milk) Liman of the Azov Sea] // Rybnoe hozyajstvo Ukrainy. № 1 (18). S. 5–8.
- Shlyahov V.A.* 1998. Metodika prognozirovaniya velichiny zapasa i obshchego dopustimogo ulova pilengasa (*Mugil soiuy* Basilevsky) v Azovskom more [Methods of forecasting of the stock value and total allowable catch of haarder (*Mugil soiuy* Basilevsky) in the Sea of Azov] // Trudy YugNIRO. T. 44. S. 12–16.
- Shlyahov V.A., Mihajlyuk A.N.* 2011. Limity vazhnejshih promyslovyh ryb Chernogo i Azovskogo morej v 2007–2010 gg. i problemy ih osvoeniya [Quotas for the most valuable commercial fish species of the Black and Azov Seas in 2007–2010, and the problems of their exploitation] // Suchasni problemi teoretichnoi i praktichnoi ihtiologii. Tezi IV Mizhnarodnoi ihtiologichn. nauk.-praktichn. konf. Odesa, 07.09–11.09.2011 g. Odesa: Feniks. S. 272–275.
- Shlyahov V.A., Chashchin A.K., Zolotarev P.A., Kirnosova I.P., Mihajlyuk A.N., Zhigunenko A.V.* 1995. Razd. 1.2. Charakteristika promyslovyh ob'ektov i sostoyanie ih zapasov v Chernom more [Section 1.2. Characterization of fishing targets and state of their stocks in the Black Sea] // Sostoyanie biologicheskikh resursov Chernogo i Azovskogo morej. Kerch: YugNIRO. S. 6–36.
- Yanovskij E.G., Izergin L.V.* 1998. O formirovanii promyslovoj populyacii pilengasa v bassejne Azovskogo morya [To formation of haarder commercial population in the area of the Sea of Azov] // Trudy YUgNIRO. T. 44. S. 17–21.
- Darby C.D., Flatman S.* 1994. Virtual Population Analysis: Version 3.1 (Windows/DOS). User guide // MAFF Information Technology Series, Directorate of Fisheries Research. V. 1. 85 p.
- Gislason H., Daan N., Rice J.C., Pope J.G.* 2010. Size, growth, temperature, and the natural mortality of marine fish // Fish and Fisheries. V. 11. P. 149–158.
- Hillary R.* 2009. An introduction to FLR fisheries simulation tools // Aquatic Living Resources. V. 22. № 2. P. 225–232.

- Kell L.T., Mosqueira I., Grosjean P., Fromentin J.-M., Garcia D., Hillary R., Jardim E., Mardle S., Pastoors M.A., Poos J.J., Scott F., Scott R.D.* 2007. FLR: an open-source framework for the evaluation and development of management strategies // ICES J. of Marine Science. V. 64. № 4. P. 640–646.
- Mesnil B.* 1989. Computer programs for fish stock assessment. ANACO: Software for the analysis of catch data by age group on IBM-PC and compatibles // FAO Fisheries Technical Paper. № 101. Suppl. 3. 73 p.
- Mohn R.* 1999. The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data // ICES J. of Marine Science. V. 56. № 4. P. 473–488.
- Özdamar E., Samsun O., Kihara K., Sakuramoto K.* 1996. Stock assessment of whiting, *Merlangius merlangus* euxinus along the Turkish coast of Black Sea // J. of the Tokyo University of Fisheries. V. 82. № 2. P. 135–149.
- Patterson K.* 1992. Fisheries for small pelagic species: an empirical approach to management targets // Reviews in Fish Biology and Fisheries. № 2. P. 321–338.
- Shepherd J.G.* 1999. Extended survivors analysis: An improved method for the analysis of catch-at-age data and abundance indices // ICES J. of Marine Science. V. 56. № 5. P. 584–591.
- Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF) — Black Sea Assessments (STECF-12–15).* 2012. / G. Daskalov, G.C. Osio, A. Charef (Eds.). Luxembourg: Publications Office of the European Union. 277 p.
- STECF: Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries — Mediterranean & Black Sea Stock Assessments.* Reports referring to the assessments of Mediterranean and Black Sea stocks conducted by the STECF. 2020. Accessible via: <https://stecf.jrc.ec.europa.eu/reports/medbs> 01.03.2020.

TABLE CAPTIONS

- Table 1.** Abundance of the so-iuy mullet fingerlings, leaving the Molochny Liman, according to AzYugNIRO survey data, collected in 1995–2008, billion ind.
- Table 2.** Landing of the so-iuy mullet in the Azov Sea according to the fishing data, collected in 1996–2019
- Table 3.** Biological characteristics of the so-iuy mullet in the Azov Sea in 1996–2019 — average weight of an individual, kg
- Table 4.** Biological characteristics of the so-iuy mullet in the Azov Sea in 1996–2019 — natural mortality, maturity, abundance indices in assessment trawl surveys of YugNIRO and AzNIIRKH
- Table 5.** Final estimates of recruitment (*Rec*, ind.), stock (*SSB*, tons) and fishing mortality (*Fbar*) of the so-iuy mullet in the Azov Sea, based on XSA, in 1996–2019
- Table 6.** Short-term forecast of so-iuy mullet stock size in the Azov Sea for 2020–2023 excluding IUU-fishing (version 1) and including it (version 2)
- Table 7.** Results of cross-correlation examination of abundance of the so-iuy mullet juveniles, leaving the Molochny Liman (*Rec* at age 0+) in 1995–2008, and abundance of the mature individuals of the same generations (*Age* = 3÷6) in catches *

FIGURE CAPTIONS

- Fig. 1.** Sensitivity analysis of the so-iuy mullet XSA model when shrinkage error 0.5: R — recruitment, ind., SSB — Spawning Stock Biomass, tons, F — mortality
- Fig. 2.** Dynamics of logarithmized ratio of abundance of the 2-yearling so-iuy mullet recruitment to the biomass of the stock that produces it
- Fig. 3.** Exploitation rate of the so-iuy mullet Azov population by fishing, including IUU-fishing, in 1996–2019
- Fig. 4.** Indices of so-iuy mullet biomass TS, based on assessment trawl surveys of YugNIRO (2000–2008) and AzNIIRKH (2014–2019), the stock according to ANACO, XSA including IUU-fishing and excluding it, and reported catch C