

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЗАПАСА  
И ПРОМЫСЛА БЫЧКОВ (СЕМ. GOBIIDAE)  
В АЗОВСКОМ МОРЕ В УСЛОВИЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ  
ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ**

© 2023 г. М.М. Пятинский (spin: 9500-3502),  
А.И. Милованов (spin: 3817-2205), У.Н. Александрова (spin: 1404-6623)

*Азово-Черноморский филиал Всероссийского  
научно-исследовательского института рыбного хозяйства  
и океанографии (АзНИИРХ), Россия, Ростов-на-Дону, 344022  
E-mail: pyatinskiy\_m\_m@azniirkh.ru*

Поступила в редакцию 30.05.2023 г.

В работе представлен комбинированный подход к оценке и прогнозу состояния запаса, промысла популяции бычков в Азовском море в условиях изменения условий среды обитания. Оценка запаса за период 2015–2022 гг. выполнена при помощи продукционной модели Пелла-Томлинсона в ППП «ЈАВВА» с априорной параметризацией. Прогнозирование запаса в условиях изменения управляющего параметра (с промысла на среду обитания) выполнено при помощи описания основных биологических процессов: воспроизводства при помощи модели «запас-пополнение» Рикера, естественной смертности – приближенным методом Чарнова, весового прироста – при помощи относительных линейно-массовых показателей. Текущее состояние запаса бычков в Азовском море на 2022 г. оценено как истощённое, составило  $B_{2022} = 12,5$  тыс. т, ниже граничного ориентира состояния запаса  $B_{lim} = 14,9$  тыс. т. Такое состояние запаса лишь частично объясняется переэксплуатацией в период 2016–2019 гг. В прогнозный период 2023–2024 гг., восстановление популяции бычка не ожидается даже в условиях полного прекращения промысла.

*Ключевые слова:* бычки, Азовское море, оценка запаса, ЈАВВА, прогноз, динамика численности, промысел

**ВВЕДЕНИЕ**

Семейство бычковых (Gobiidae) в Азовском море представлено большим разнообразием различных видов, хотя промысловое значение имеют лишь 5 видов: бычок-кругляк (*Neogobius melanostomus*), бычок-песочник (*N. fluviatilis*), бычок-сирман (*Ponticola syrman*), бычок-мартовик (*Mesogobius batrachocephalus*) и бычок-травяник (*Zosterisessor ophiocephalus*). Среди этих видов около 90% улова бычков приходится на бычка-кругляка (Демченко, Демченко, 2013).

Бычки являются типичными теплолюбивыми донными рыбами, достига-

ющими половой зрелости преимущественно на первом-втором году жизни (Васильева, Лужняк, 2013), жизненный цикл достигает до 5–6 лет. Основой питания бычка-кругляка являются тонкостенные 2-х створчатые моллюски, мелкие крабы и реже – мелкие рыбы (атерина) (Костюченко, 1960; Лус, 1963; Комарова, Корсун, 2020). В свою очередь бычки являются одними из основных кормовых объектов для таких видов рыб как русский осетр, севрюга, белуга, судак, камбала-калкан (Александрова, Корпакова, 2014).

Основными факторами, определяющими численность и биомассу быч-

ков в Азовском море являются показателем солёности вод, численность хищников и темпы промысловой эксплуатации (Шляхов и др., 2017; Афанасьев и др., 2022). Показатели солёности Азовского моря являются определяющими для процесса воспроизводства бычков: при солёности выше 13‰ эффективность воспроизводства существенно снижается. В свою очередь темпы промысловой эксплуатации существенно влияют на изобилие старших возрастных групп в возрасте 3+, 4+, биомассу запаса и численность бычка (Милованов, Ефанов, 2021).

Бычки являются одним из основных промысловых объектов в Азовском море, начиная с 1930 г. Промысел бычков осуществляется как любительским так промышленным рыболовством. При осуществлении прибрежного промышленного рыболовства специализированный промысел бычков выполняется подъёмными ловушками, ручными драгами, венгерями, а в качестве прилова бычков добывают ставными хамсово-тюлечными и барабуле-ставридовыми неводами. При осуществлении промысла в открытом море при помощи промысловых судов добыча бычка осуществляется механизированными бычковыми драгами.

Наиболее высокая численность и биомасса бычков в Азовском море отмечались в период 1930–1950 гг.: численность всех видов бычков в этот период достигала 7 млрд шт., среди которых бычок-кругляк составлял 1,8 млрд шт. (Майский, 1960). В 1950–1970 гг. биомасса запаса бычков постепенно сокращалась от 120 тыс. т до 80 тыс. т. В период 1970–1979 г. биомасса запаса бычков стремительно сократилась до 20 тыс. т и в 1980–1999 гг. находилась на критически низком уровне и колебалась в пределах от 1,1 до 7 тыс. т. В период 2000–

2004 гг. биомасса запаса несколько возросла до 21,1 тыс. т, а после, в период 2005–2009 гг. – до 34,9 тыс. т (Александрова, Корпакова, 2014). В 2010–2016 гг. наблюдался дальнейший рост биомассы бычков, которая в 2016 г. достигла своего максимума в современный период – 97,5 тыс. т. После 2016 г. прямой учёт запаса бычков был нерепрезентативен, однако, результаты прогнозирования на продукционной модели свидетельствовали об ожидаемом росте биомассы запаса в 2016–2018 гг. от 100 тыс. т до 120 тыс. т (Шляхов и др., 2017).

В период 1930–1974 гг. промысел бычков выполнялся СССР, а начиная с 2004 г. – Россией и Украиной. В период 2004–2022 гг. промысел бычков в Азовском море выполнялся в соответствии с международными договорённостями между Россией и Украиной в рамках решений Российско-Украинской комиссии (далее – РУК). Начиная с 2005 г. специализированный промысел бычков разделён на две зоны: прибрежная до 5 миль от береговой линии: промысел осуществляется ставными неводами, ручными драгами, волокушами, подъёмными ловушками и венгерями, морская – далее 5 миль от береговой линии: промысел осуществляется механизированными бычковыми драгами.

Промысловые уловы бычков в период 1950–2022 гг. в целом соответствовали уровню биомассы запаса бычков, процент изъятия варьировал от 8,6 до 55% от биомассы запаса (Александрова, Корпакова, 2014). В период максимальной продуктивности популяций бычков 1950–1970 гг. промысловые уловы варьировали от 31,5 до 67,8 тыс. т. В период стремительного сокращения запаса 1970–1979 гг. уловы бычка сократились практически на порядок, до 3,1–4,4 тыс. т. В период депрессивного состояния запасов бычков 1980–1999 гг.

уловы не достигали и 0,5 тыс. т. В период постепенного восстановления запаса бычков 2000–2009 гг. промысловые уловы находились на высоком уровне относительно предшествующего периода, в среднем от 8,6 до 13,6 тыс. т. В последующий период максимального уровня биомассы запаса 2010–2017 гг., уловы бычка постепенно возрастали с 10,6 тыс. т до 26,7 тыс. т. В последующий период отмечено стремительное сокращение уловов: в 2018 г. – 15 тыс. т, в 2019 – 14,4 тыс. т, в 2020 г. – 8,4 тыс. т, в 2021 г. – 3,2 тыс. т, в 2022 г. – 1,2 тыс. т.

Изменения в динамике системы «запас-промысел», вероятно соответствуют динамике циклов осолонения и распределения вод Азовского моря (Дроздов, 2010; Бердников и др., 2019). В период 1920–2000 гг. наиболее высокие показатели солёности как в среднем для Азовского моря, так и для Таганрогского залива отмечались в период 1970–1980 гг. (Косенко и др., 2023). В этот же период отмечено существенное сокращение как биомассы запаса бычков, так и промысловых уловов. Последующий цикл относительного распределения 1981–2006 гг., продлившийся до 2006 г. (средние показатели солёности Азовского моря снизились до 3,6‰) с постепенным трендом на рост солёностей до уровня 14‰ и выше в 2016 г. позволил запасу бычков восстановиться до высокого уровня (97,5 тыс. т в 2016 г.). Однако, последующий экстремальный рост солёности как Азовского моря так и Таганрогского залива сопровождался существенным сокращением запасов бычков, внося существенный негативный вклад в эффективность воспроизводства (Цема и др., 2020).

Современное состояние запасов, промысла бычков в Азовском море и среды обитания в период 2010–2022 гг. очень похоже на то состояние, кото-

рое наблюдалось в период 1965–1974 гг. Предшествующий период стремительного сокращения запасов бычков и осолонения Азовского моря привёл к коллапсу популяции бычков, истощённое состояние которых наблюдалось около 20 лет. В настоящее время существует высокая вероятность повторения данного сценария стремительного сокращения запасов бычков в условиях изменения показателей солёности моря с последующей сменой доминантных групп ихтиофауны с понтических реликтов (мелкосельдевые и бычки) на средиземноморских вселенцев (калкан, кефали, барабуля) и виды-интродуценты (пиленгас) (Афанасьев и др., 2022).

Целью данного исследования является оценка состояния запасов, промысла и параметров популяции бычка-кругляка Азовского моря в современный период и выполнение краткосрочного прогноза состояния запасов с учётом изменений в среде обитания и эффективности воспроизводства.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Существенное сокращение численности бычков в уловах научных орудиях лова начиная с 2016 г. не позволяет выполнять оценки биомассы запаса и структуру популяций методами прямого учёта (Шляхов и др., 2017). По этой причине авторами данной работы применяются методы моделирования динамики численности популяции и косвенные способы оценки биологических процессов жизненного цикла.

Моделирование динамики промыслового запаса выполнено на основе данных рыбохозяйственной статистики Азово-Черноморского территориального управления России (далее – АЧТУ) и статистики Государственного агентства по мелиорации и рыбному хозяйству Украины (табл. 1). Дополни-

но использовалась статистическая информация по данным института ФГБУ «ЦСМС» (Россия) об улове на 1 драгу в год и улове на один час драгирования в период 2015–2022 гг. Многолетняя информация об уловах на единицу усилий прибрежных орудий лова – отсутствует. Для моделирования динамики запаса и промысла выбран ППП «JABBA» (Winker et.al., 2018), успешный опыт международной апробации и с учётом положительного опыта моделирования запаса бычков при помощи продукционных моделей другими авторами (Шляхов и др., 2017).

ляций и опытом других исследователей (Music, 1999; Шляхов и др., 2017);

– возможность корректировки величины входных данных об общем годовом вылове на величину до 2 тыс. т в большую сторону, что позволит косвенно уменьшить неопределённость, вносимую несообщённым, незаконным, нерегулируемым промыслом (далее – ННН-промысел).

Для оценки параметров популяции используются данные о наиболее массовом виде – бычке-кругляке, собранные в ходе мониторинга прибрежного промысла (в пределах до 5 миль от

**Таблица 1.** Общий годовой вылов, улов на единицу промыслового усилия бычков в Азовском море в период 2015–2022 гг.

Год	Общий годовой вылов России и Украины, тыс. т	Улов на час драгирования, т/ч	Улов на 1 драгу в год, тыс. т
2015	23,2	2,29	1,05
2016	36,37	1,01	2,14
2017	31,25	0,75	1,84
2018	15,35	0,52	0,73
2019	16,11	0,54	1,07
2020	8,39	0,58	0,93
2021	4,82	0,18	0,6
2022	1,17	0,12	0,29

При построении продукционной модели для периода 2015–2022 гг. применялась априорная параметризация:

– диапазон оптимума параметра ёмкости среды определён на уровне  $K = (120; 160)$  тыс. т, что соответствует уровню максимальной биомассы запаса в период 1965–1974 гг., умноженному на 1,5 и 2,0 соответственно;

– диапазон оптимума параметра мгновенного популяционного роста определён на уровне  $r = (0,16; 0,4)$  в соответствии с рекомендованными значениями для короткоцикловых попу-

береговой линии) бычков и научного мониторинга в морской акватории (за пределами 5-мильной зоны) состояния запасов бычков в Азовском море Азово-Черноморским филиалом «ВНИРО», таблица 2 (Милованов, Ефанов, 2021) и другими исследователями (Демченко, Митяй, 2001). Для оценки продуктивности нерестового запаса используются фондовые данные Азово-Черноморского филиала, собранные в ходе научного мониторинга и результаты прямого учёта запаса и пополнения в период 2001–2013 гг. (табл. 3).

**Таблица 2.** Размерно-возрастные показатели бычка-кругляка в Азовском море по результатам работ (Демченко, Митяй, 2001; Милованов, Ефанов, 2021)

Возраст (лет) / Длина SL (см)	1996–1999 *	2014 **	2015 **	2019 **
0+	-	5,5	6,0	6,0
1+	5,1	9,3	10,2	9,3
2+	10,4	10,7	12,2	10,6
3+	11,8	11,6	12,4	11,4
4+	12,7	-	13,3	-
5+	13,1	-	-	-

**Примечание:** \* – данные по материалам работы Демченко, Митяй (2001),  
\*\* – данные по материалам работы Милованов, Ефанов (2021).

**Таблица 3.** Результаты оценки величины нерестовой биомассы запаса бычков и численности пополнения в период 2001–2013 гг. методом прямого учёта в Азовском море

Год	Биомасса нерестового запаса, тыс. т	Численность пополнения, млн. шт
2001	17,8	239,2
2002	33,5	341,3
2003	48,7	358,6
2004	47,6	1030
2005	55	550
2006	26	360
2007	30	529,9
2008	30	655
2009	27	567
2010	30	215
2011	15	577
2012	34	853
2013	50	712

Результаты прямого учёта запаса бычков в Азовском море и оценки численности пополнения имелись за более продолжительный период, чем представлены в таблице 3. Однако эти результаты были исключены из построения модели «запас-пополнения» по причине необъяснимых колебаний удельной продуктивности запаса в 1998–2000 гг. и в период 2014–2022 гг. Основанием для от-

клонения этих данных послужил предварительный тест графическим способом «ящик с усами».

Учитывая изменение управляющего параметра (с промысловой нагрузки на состояние среды обитания) и, вероятно, существенно изменившуюся урожайность запаса, выполнять прогнозирование на основе продукционного уравнения – недопустимо. Продукционный

подход не может быть применён для прогнозирования и по причине очевидных колебаний в функциональной связи «запас-пополнение», что не предусматривается теоретическими основаниями этого подхода.

В данной работе прогнозирование запаса и промысла выполнено на основе биологических параметров популяции и оценках основных популяционных процессов – средней мгновенной естественной смертности, урожайности запаса, ожидаемой промысловой смертности в прогнозный период (Шибает, 2014).

При реализации биологического подхода к составлению прогноза применён ряд допущений и упрощений. Первое из допущений касается того, что промысловая биомасса запаса, оценённая производственным уравнением, соответствует биомассе нерестового запаса. Второе допущение сделано относительно параметров различных популяций бычков, сумма которых составляет общую биомассу запаса: расчёты выполняются по результатам оценки параметров популяции бычка-кругляка (как наиболее массового в период 2015–2022 гг.).

Прогнозирование биомассы запаса на 2023–2024 гг. авторы предлагают выполнить решением следующего уравнения:

$$B_{t+1} = B_t \times e^{-(F+M)} \times g + B(R_{t+1}), \quad (1)$$

где:

$B_t$  – биомасса промыслового запаса в год  $t$ ,

$B_{t+1}$  – биомасса промыслового запаса в год  $t+1$ ,

$g$  – коэффициент, характеризующий линейный прирост биомассы запаса за период  $t$ ,

$R_{t+1}$  – ожидаемая численность пополнения в год  $t+1$ ,

$B(R_{t+1})$  – ожидаемая биомасса пополнения в год  $t+1$ ,

$F, M$  – мгновенная промысловая и естественная смертность.

В случае, если нет необходимости определения уровня промысловой смертности ( $F$ ) в прогнозный период, когда улов предшествующего года ( $C_t$ ) уже известен (в данной работе – улов 2022 г., который окажет влияние на запас 2023 г.) уравнение редуцируется до вида:

$$B_{t+1} = B_t \times e^{-M} \times g + B(R_{t+1}) - C_t \quad (2)$$

При таком подходе в работе рассматривается упрощенная структура популяции, которая разделяется на 2 компоненты: нерестовая компонента запаса ( $B$ ) и компонента пополнения в возрасте первого созревания ( $R$ ). К компоненте нерестового запаса отнесена часть популяции в возрасте 1+ – 3+ лет. К компоненте пополнения отнесена часть популяции в возрасте первого созревания – 1 год.

Оценка весового популяционного прироста (компонента  $g$  уравнений 1, 2) за время  $t+1$  выполняется путём определения относительного индивидуально-линейного весового прироста бычка-кругляка в возрасте 1+ – 3+ лет при помощи уравнения:

$$g = 1 + \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n \frac{w_{a+1} - w_a}{w_a}, \quad (3)$$

где:

–  $w_a$  и  $w_{a+1}$  – средняя навеска бычка в возрасте  $a$  и  $a+1$  соответственно,

–  $n$  – количество последовательных возрастных классов, в нашем случае 2 (прирост от возраста 1+ до 2+ лет, прирост от 2+ до 3+ лет).

Для оценки мгновенной естественной смертности (компонента  $M$  в урав-

нениях 1, 2), использовался косвенный подход Чарнова (уравнение 5) (Charnov et al., 2013), который позволяет оценить естественную смертность на основе параметров уравнения модели роста Бергаланфи (уравнение 4) (Ogle, 2018):

$$E(L|t) = L_{inf}(1 - e^{-K(t-t_0)}), \quad (4)$$

$$M = \left(\frac{L}{L_{inf}}\right)^{-1.5} \times K, \quad (5)$$

где:

- $L_{inf}$  – максимальная теоретическая длина (параметр уравнения роста),
- $K$  – скорость линейного роста (параметр уравнения роста),
- $t_0$  – связующий параметр уравнения роста,
- $M$  – косвенная оценка мгновенной естественной смертности.

Оценка ожидаемой численности пополнения запаса (компонента  $R_{t+1}$  уравнений 1, 2), выполнена при помощи модели «запас-пополнение» Рикера (Ricker, 1954; Ogle, 2018). Параметризация регрессионного уравнения Рикера выполнена в среде *R*, пакет *FSA*, решение достигается методом наименьших квадратов (Ogle, 2018). После определения параметров уравнения методом наименьших квадратов выполняется процедура ресемплинга регрессионной подгонки с 1000 итераций для уточнения оценок параметров. В генеральном виде из всех имеющихся форм уравнения Рикера использовалась 2-х параметрическая его форма:

$$R_{t+1} = B_t \times e^{(a-b \times B_t)}, \quad (6)$$

где:

- $R_{t+1}$  – численность рекрутов в момент времени  $t+1$ ,
- $B_t$  – нерестовая биомасса запаса в момент времени  $t$ , породившая рекрутов в момент  $t+1$ ,
- $a, b$  – параметры уравнения Рикера.

При помощи модели запас-пополнение Рикера определяются целевой ( $B_{tr}$ ) и граничный ( $B_{lim}$ ) ориентиры по биомассе нерестового запаса. Определение ориентиров выполнено по следующей цепочке решений: изначально рассчитан целевой ориентир по биомассе запаса из параметра модели запас-пополнение ( $B_{tr}$ , уравнение 7), далее – вычислен целевой уровень пополнения ( $R_{tr}$ , уравнение 8), далее вычислен граничный уровень пополнения запаса, с учётом недопустимости сокращения продуктивности запаса более, чем на 30% (уравнение 9) (Hordyk et.al., 2015; Prince et al., 2019). В конечном итоге ориентир  $B_{lim}$  вычислен исходя из сниженной на 30% численности пополнения запаса через выражение  $V$  из уравнения 6.

$$B_{tr} = \frac{1}{b}, \quad (7)$$

$$R_{tr} = B_{tr} \times e^{(a-b \times B_{tr})}, \quad (8)$$

$$R_{lim} = R_{tr} \times 0,3, \quad (9)$$

$$B_{lim} = f(R_{lim}), \quad (10)$$

Определение целевого уровня промысловой смертности в прогнозный период ( $F_{tr}$ ) невозможно при помощи классических методик в условиях изменения управляющего параметра, при которых целевой уровень промысловой смертности каким-либо образом относили к уровню естественной смертности ( $F_{tr} \sim M$ ,  $F_{tr} = 2/3 \times M$ ,  $E = F/(F+M)$ ) (Patterson, 1992). Невозможным оказался и расчёт ориентира  $F_{0,1}$  (при помощи анализа урожайности пополнения) по причине существенно меняющихся темпов урожайности поколений бычка. При таких условиях использовались уровни промысловой убыли ( $U$ ), отмечаемые в период со схожими условиями 1965–1974 гг., конвертированные на логариф-

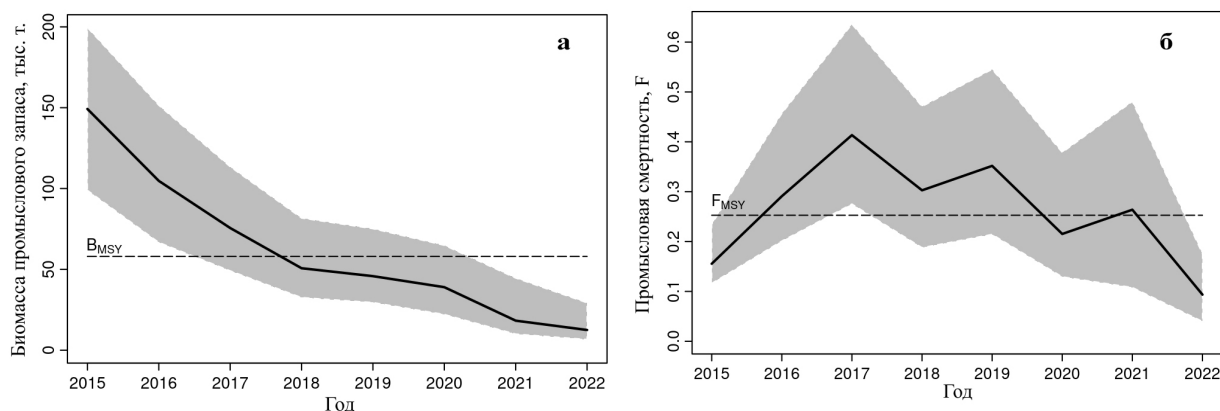
мическую шкалу мгновенной промысловой смертности  $F$ :  $F = -\text{LN}(1 - u)$  (обратная конвертация:  $U = 1 - e^{-F}$ ).

### РЕЗУЛЬТАТЫ

При построении различных типов продукционных моделей на основе входных данных (табл. 1) и априорной параметризации наиболее надёжные результаты продемонстрировала модель Пелла-Томлинсона. Выбор модели основывался на величине среднеквадратичной ошибки отклонения фактических индексов улова-на-усилие от теоретических ожиданий модели (далее – RMSE). Модель Шефера продемонстрировала  $\text{RMSE} = 44,1\%$ , Фокса –  $\text{RMSE} = 42,4\%$ , Пелла-Томлинсона –  $\text{RMSE} = 42,1\%$ . Результаты оценок биомассы запаса и промысловой смертности моделью Пелла-Томлинсона представлены на рисунке 1.

нию входного ряда данных не продемонстрировала значительных отклонений. В аналитическом выражении ретроспективного теста, коэффициент Мона составил:  $p_{\text{SSB}} = 0,2$ ,  $p_F = -0,19$ , что укладывается в рамки рекомендованного доверительного интервала для надёжных результатов  $p = (-0,22; +0,2)$  (Mohn, 1999).

В результате моделирования для терминального года (2022) были получены оценки биомассы запаса  $B_{2022} = 12,5$  тыс. т., промысловой смертности  $F_{2022} = 0,08$ . Оптимумы параметров продукционного уравнения:  $r = 0,3$ ,  $K = 145$  тыс. т.,  $m = 1,19$ . Были выполнены оценки целевых и граничных ориентиров управления при помощи продукционной кривой:  $F_{\text{MSY}} = 0,25$ ,  $B_{\text{MSY}} = 58,0$  тыс. т.,  $B_{\text{lim}} = 0,5B_{\text{MSY}} = 29,0$  тыс. т.,  $\text{MSY} = 14,7$  тыс. т.



**Рис. 1.** Результаты моделирования промысловой биомассы запаса и уровня целевого ориентира  $B_{\text{MSY}}$  биомассы запаса (рисунок а) и промысловой смертности и целевого ориентира  $F_{\text{MSY}}$  промысловой смертности (рисунок б). Черная линия – оценки показателя, серая область – доверительный интервал при  $p = 0,95$ , пунктирная линия – целевой ориентир показателя.

Диагностика продукционной модели Пелла-Томлинсона выдержана тест схождения модели Geweke (оценки  $p$ -value были выше  $p > 0,05$ , что не позволило отклонить нулевую гипотезу об отсутствии убедительных доказательств ненадёжности подгонки) (Smith, 2007). Ретроспективная диагностика устойчивости модели к усече-

Для прогнозирования состояния запаса и промысла бычков в период 2023–2024 гг. в соответствии с методикой были выполнены оценки ряда популяционных параметров: величины индивидуального линейного весового прироста за 1 год, модели роста Берталанфи, мгновенной естественной смертности и продуктивности запаса.



При расчёте среднего индивидуального линейного весового прироста по результатам работы (Милованов, Ефанов, 2021) для особей в возрасте 1+ – 3+ лет были получены следующие оценки: в 2014 г. средний прирост составил 9,9 г (28% от средней навески,  $g = 1,28$ ), в 2019 г. прирост составил 8,6 г (22% от средней навески,  $g = 1,22$ ).

Результаты оценки параметров модели роста и усреднённой мгновенной естественной смертности способом Чарнова представлены в таблице 4. Подгонка моделей по данным 1996–1999, 2014, 2015 и 2019 гг. была надёжной на уровне значимости  $\alpha = 0,1$ , распределение невязок модели не имело отклонений от нормального закона распределения.

**Таблица 4.** Результаты оценивания параметров модели роста Берталанфи, мгновенной естественной смертности методом Чарнова и естественной убыли для нерестовой части запаса бычка-кругляка в Азовском море

Год	Lin $f$ , см	K	$t_0$	$M_{1-4}$	Убыль, %
1996–1999	13,09	1,03	0,51	1,78	83,1
2014	12,06	0,84	-0,73	0,97	62,1
2015	13,33	0,85	-0,70	0,98	62,5
2019	11,9	0,80	-0,88	0,92	60,1

На основе данных о численности пополнения и оценках биомассы нерестового запаса (табл. 3), выполнено построение модели «запас-пополнение» Рикера в соответствии с разделом «Материал и методика» (рис. 2). Диагностика подгонки модели не имела признаков ненадёжности полученных результатов на уровне значимости  $\alpha = 0,1$ . В результате подгонки модели методом НМК и применением стохастической процедуры ресемплинга были получены следующие оценки параметров уравнения и их доверительные интервалы на уровне достоверности  $p = 0,9$ :  $a = 3,708$  (2,928; 4,435),  $b = 0,0252$  (0,004; 0,046). Стандартная ошибка после

бутстреппирования результатов регрессионной подгонки для данных оценок составила для  $a = 0,39$ , для  $b = 0,01$ . Диагностика невязок регрессионной подгонки не имела значимых отклонений от нормального закона распределения на уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .

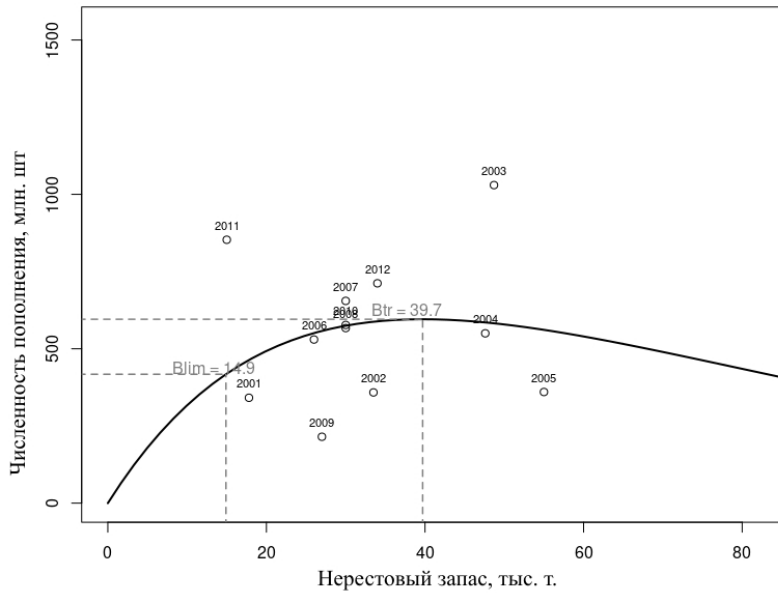
На основе модели запас-пополнение были вычислены целевой и граничный ориентир для нерестовой биомассы запаса в соответствии с уравнениями 7–10:  $V_{tr} = 39,7$  тыс. т,  $V_{lim} = 14,9$  тыс. т.

Прогнозирование возможного вылова и величины запаса выполняется на основе уравнений 1, 2. Для выполнения прогноза использовались итоговые оценки параметров, полученные в результатах данной работы:

– Мгновенная промысловая смертность нерестовой популяции в период 2023–2024 гг.: на уровне мгновенной естественной смертности в 2019 г:  $M_{1-4} = 0,92$  (табл. 4);

– Оценка весового популяционного прироста за 1 год для нерестовой популяции в период 2023–2024 гг.: на уровне наблюдаемого среднемноголетнего значения в 2014–2019 гг.,  $g = 1,25$ ;

– Биомассы пополнения нерестового стада в 2023–2024 гг.: при помощи решения уравнения 6 на основе оценок биомассы запаса в 2022 г. производимой модели и прогнозной величины запаса на 2023 г.:  $R_{t+1} = V_t \times \exp(3,708 -$



**Рис. 2.** Модель «запас-пополнение» Рикера (сплошная линия) для бычков Азовского моря за период 2001–2013 гг. и ориентиры состояния (пунктирные линии) нерестового запаса ( $B_{lim}$  – граничный,  $B_{tr}$  – целевой).

$0,0252 \times V_t$ ). Конвертация численности пополнения  $R_{t+1}$  в биомассу пополнения  $V(R_{t+1})$  выполняется при помощи умножения численности на среднюю навеску в возрасте пополнения  $V(R_{t+1}) = R_{t+1} \times w_{mean}$ . Величина средней навески группы пополнения вычислена из средних оценок для прибрежной части моря в 2019 г. – 21,8 г (Милованов, Ефанов, 2021) и наблюденной навески в 2022 г. в открытой части моря (далее 5 миль от береговой линии) – 15 г,  $w_{mean} = (21,8 + 15)/2 = 18,4$  (г).

Для определения уровня промысловой смертности ( $F$ ) в прогнозных сценариях на 2024 г. по уравнению 1 использовались следующие уровни промысловой смертности:

- сценарий закрытия промысла: изъятие отсутствует,  $F = 0$ ;
- щадящий сценарий: изъятие на уровне 10% от нерестовой биомассы запаса на начало года,  $F = 0,105$  (такое изъятие отмечалось в период 1980–1985 гг. после коллапса популяции бычков);

- предосторожный сценарий: изъятие на уровне 20% от нерестовой биомассы запаса на начало года,  $F = 0,22$  (соответствует изъятию в период 1970–1974 гг., ниже уровня оцененного на продукционной модели  $F_{MSY} = 0,24$ );

- традиционный сценарий: изъятие на уровне 30% от нерестовой биомассы запаса на начало года,  $F = 0,36$ ;

- сценарий максимальной эксплуатации: на уровне 40% от нерестовой биомассы запаса на начало года,  $F = 0,51$  (соответствует изъятию в благоприятный период состояния запаса 1965–1970 гг.).

При расчёте численности пополнения на 2023 г. от известной биомассы запаса в 2022 г. получена оценка  $R_{2023} = 372,1$  млн шт, биомасса пополнения составит 6,8 тыс. т. Учитывая известную величину вылова 2022 г. в 2023 г. биомасса нерестового запаса составит  $V_{2023} = 11,9$  тыс. т. Численность пополнения в 2024 г. от биомассы запаса 2023 г. составит  $R_{2024} = 359,6$  млн шт, что в пересчёте на биомассу пополнения даёт оценку

**Таблица 5.** Прогнозные сценарии эксплуатации бычков в Азовском море в 2024 г. на основе биологических параметров популяции

Сценарий эксплуатации в 2024 г.	Запас, тыс. т	Возможный вылов, тыс. т
Закрытие промысла, $F = 0$	12,6	0
Щадящий сценарий, $F = 0,105$	12,0	1,2
Предосторожный сценарий, $F = 0,22$	11,4	2,35
Традиционный сценарий, $F = 0,36$	10,7	3,6
Сценарий макс. эксплуатации, $F = 0,51$	10,2	4,8

6,6 тыс. т пополнения. Результаты расчёта прогнозных сценариев при различных уровнях промысловой смертности на 2024 г. представлены в таблице 5.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты продукционного моделирования (рис. 1), свидетельствуют о стремительном сокращении биомассы промыслового запаса в период 2015–2022 гг. с уровня 149 тыс. т до 12,5 тыс. т. В 2018 г. отмечено сокращение биомассы промыслового запаса ниже целевого уровня продукционной модели  $B_{MSY} = 58$  тыс. т., а в 2021 г. – ниже уровня граничного ориентира  $B_{lim} = 29$  тыс. т. Стремительное сокращение запаса в этот период сопровождалось постепенным ростом уровня промысловой смертности в период 2015–2019 гг. В период 2016–2019 гг. промысловая эксплуатация имела признаки переэксплуатации, выше уровня целевого ориентира  $F_{MSY}$ . Сравнение ретроспективных оценок запаса относительно целевого и граничного ориентира модели «запас-пополнение» (рис. 2), приводит к схожим выводам: снижение биомассы промыслового запаса ниже целевого ориентира в 2019 г., ниже граничного – в 2022 г.

Рассмотренная динамика стремительного сокращения запаса в период 2015–2022 гг. лишь частично может быть объяснена промысловой переэксплуатацией в период 2016–2019 гг., величи-

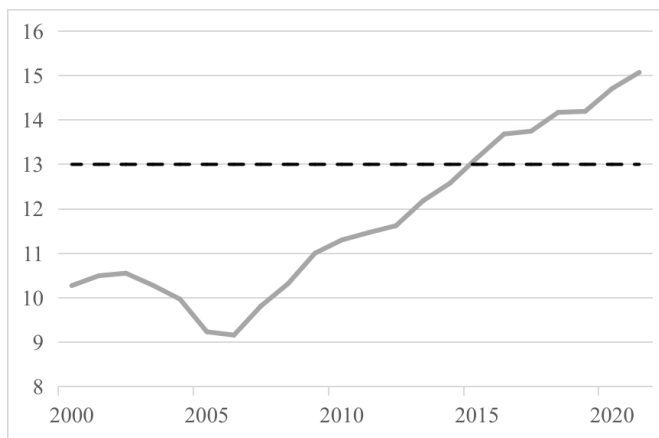
на общего годового вылова в который достигала рекордных 15,4–31,2 тыс. т. По мнению авторов, ключевым фактором в данный период являлось продолжающееся осолонение Азовского моря, при котором средние показатели солёности, начиная с 2015 г. стали превышать пределы толерантности благоприятных условий воспроизводства бычков, 13‰ (рис. 3) (Жукова и др., 2020; Косенко и др., 2023). Безусловно, средние показатели солёности моря не указывают на полное отсутствие областей, пригодных для эффективного воспроизводства бычка, тем не менее, продолжающийся тренд повышения средней солёности и работы других авторов указывает на их стремительное сокращение (Жукова и др., 2021).

Как было отмечено ранее в методике, в работе сделан ряд допущений, для построения краткосрочного прогноза запаса и вылова и авторы считают эти допущения правомочными. Первое допущение о приравнивании промысловой биомассы запаса, полученной в результате оценивания на продукционной модели к нерестовой, является приемлемым: средняя длина особей по результатам работы (Милованов, Ефанов, 2021) в 2019 гг. составляла  $SL_{1+} = 9,6$  см, промысловая мера для бычка при этом составляет 10 см. Второе допущение – о использовании оценённых параметров вида бычка-кругляка на все другие виды

запаса является допустимым по причине относительно низкой численности других видов бычка в общем запасе (менее 10%) (Демченко, Демченко, 2013). Выдвинутое упрощение, при решении уравнений 1–2, о рассмотрении структуры популяции, состоящей из двух компонент нерестовой популяции и её пополнения, обусловлено отсутствием репрезентативного учёта возрастной структуры популяции и промыслового изъятия в период 2016–2022 гг. и невозможностью применения когортного решения.

(далее 5-мильной прибрежной зоны) особей старше 3 лет.

Результаты построения модели «запас-пополнение» Рикера (рис. 2) позволили выполнять прогноз ожидаемой численности пополнения. Следует отметить, что в данной модели частично учитывается влияние эффекта осолонения в период 2007–2013 гг., тем не менее, не учитывается дальнейший, более драматический период сокращения запасов. Однако, включение в модель данных за период 2014–2022 гг. привнесло в результаты огромную степень неопре-



**Рис. 3.** Среднегодовы показатели солёности Азовского моря (сплошная линия) в период 2000–2021 гг. и предел толерантности для эффективного размножения бычков (пунктирная линия).

По результатам оценивания параметров популяции бычка-кругляка – отдельного внимания заслуживают темпы естественной убыли (или естественной смертности на логарифмической шкале). Естественная убыль в 2014–2019 гг. за 1 год для нерестового стада составила около 60% (табл. 4). Такой уровень естественной убыли, на первый взгляд является слишком высоким, тем не менее, соответствует результатам представленным ранее (Воловик и др., 2005). Высокий уровень естественной смертности подтверждается и отсутствием в структуре нерестовой популяции в некоторые годы наблюдения в морской акватории

делённости и не позволяло выполнить надёжную регрессионную подгонку модели Рикера. Вероятно, это обусловлено низкой надёжностью данных и результатов, полученных в период 2014–2022 гг., что в свою очередь связано со снижением численности популяции и высоких флуктуациях численности пополнения по причине изменений продуктивности запаса.

Полученные оценки граничного и целевого ориентира по биомассам из модели «запас-пополнение» были существенно ниже оценок на продукционной модели (на модели запас-пополнение –  $B_{lim} = 14,9$  тыс. т, на продукционной моде-

ли –  $V_{lim} = 29$  тыс. т). Это является вполне объяснимым – производственное уравнение не рассматривает изменения продуктивности запаса и не оценивает ориентиры управления, исходя из уровней потенциалов воспроизводства (Бабаян, 2000). Тем не менее, оценка промысловой (нерестовой) биомассы запаса в 2022 г. находится ниже граничного ориентира –  $V_{2022} = 12,5$  тыс. т. Формально, исходя из методических рекомендаций, такая ситуация требует полного прекращения промысла. Однако следует учитывать то, что лишь непродолжительное время, исходя из результатов моделирования, ключевым фактором сокращения запаса выступала промысловая эксплуатация (в 2016–2019 гг.) и к 2022 г. её влияние существенно снизилось.

Рассмотрение возможных прогнозных сценариев эксплуатации (табл. 5) свидетельствует о дальнейшем сокращении биомассы нерестового запаса. Даже в условиях закрытия промысла, биомасса нерестового запаса в 2024 г. сохранится на уровне 2022 г – 12,5 тыс. т. Такое снижение биомассы и отсутствие перспектив его восстановления, исходя из параметров уравнения 1, будет обусловлено высоким уровнем естественной смертности и низким уровнем пополнения запаса.

Несмотря на текущее депрессивное состояние запаса, по мнению авторов, сценарии щадящей и предосторожной эксплуатации могут быть реализованы в 2024 г. При эксплуатации на уровне предосторожного сценария, при котором общий годовой вылов составит не более 2,35 тыс. т биомасса нерестового запаса в 2024 г. составит 11,4 тыс. т. В пользу выбора предосторожного сценария свидетельствует и история эксплуатации этого вида в схожих условиях повышения солёности в период 1970–1974 гг.: в этот период доля изъятия от

биомассы запаса на начало года составляла в среднем 20% (Александрова, Корпакова, 2014). Сценарии более интенсивной эксплуатации, в условиях состояния запаса ниже граничного ориентира  $V_{lim}$  не выглядят целесообразными.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненной работы указывают на истощённое состояние запаса бычков Азовского моря в 2022 г. Продолжающийся цикл увеличения показателей солёности Азовского моря с 2008 г. лишает перспектив улучшения экологических условий обитания и воспроизводства популяции бычков в краткосрочной перспективе. Рассмотренные прогнозные сценарии свидетельствуют об отсутствии перспектив дальнейшего восстановления запаса даже при условии полного запрета промысла.

В условиях неблагоприятного состояния экологии обитания бычков в Азовском море авторы рекомендуют сохранить эксплуатацию данного вида в 2024 г. на уровне не выше 2,35 тыс. т, при которой биомасса нерестового запаса составит 11,4 тыс. т.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александрова У. Н., Корпакова И. Г. Состояние популяции бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814) в Азовском море // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2014. №. 2 (180). С. 59–63.

Афанасьев Д. Ф., Белоусов В. Н., Кожурин Е. А. Анализ исторических изменений абиотических параметров среды Азовского моря, как возможный инструмент долгосрочного прогнозирования в рыбном хозяйстве. // Рыбн. хозяйство. 2022. № 1. С. 50–54.

Бабаян В. К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): Анализ и рекомендации по применению. Москва. Изд-во: ВНИРО, 2000. 191 с.

Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В. Климатические условия и гидрологический режим Азовского моря в XX-нач. XXI вв. // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2. №. 2. С. 7–19.

Васильева Е.Д., Лужняк В.А. Рыбы бассейна Азовского моря. Ростов-на-Дону. Изд-во: ЮНЦ РАН, 2013. 272 с.

Воловик С.П., Корпакова И.Г., Войнова Н.В. Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне. Краснодар. Изд-во: ФГУП «АзНИИРХ», 2005. 352 с.

Демченко, В.А., Демченко, Н.А. Рыбные ресурсы Азовского моря и причины их уменьшения. // Мелитопольский краеведческий журнал. 2013. № 1. С. 78–82.

Демченко В.А., Митяй И.С. Современное состояние некоторых массовых видов бычков (Gobiidae) в молочном лимане и прилегающих районах Азовского моря // Экология моря. 2001. Т. 56. С. 5–8.

Дроздов В.В. Особенности многолетней динамики экосистемы Азовского моря под влиянием климатических и антропогенных факторов // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2010. №. 15. С. 155–176.

Жукова С.В., Шишкин В.М., Карманов В.Г. и др. Новые рекорды солёности Азовского моря // Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем. 2020. С. 41–42.

Жукова С.В., Шишкин В.М., Карманов В.Г. и др. Водно-экологические проблемы Азовского моря как трансграничного водного объекта и пути их решения // Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана. 2021. С. 137–143.

Комарова С.Н., Корсун А.С. Биологическая характеристика популяции бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus*) Таманского залива Азовского моря // Общество, образование, наука в современных парадигмах развития. Изд-во: ФГБОУ ВО «КГМУ» 2020. С. 221–226.

Косенко Ю.В., Баскакова Т.Е., Жукова С.В. и др. Влияние солёности воды на развитие

придонной гипоксии и уровень первичного продуцирования органического вещества в Таганрогском заливе // Водные биоресурсы и среда обитания. 2023. Т. 6. № 1. С. 34–47.

Костюченко В.А. Питание бычка-кругляка и использование им кормовой базы Азовского моря // Тр. АзНИИРХ. 1960. Т. 1. С. 341–360.

Лус В.Я. Питание бычков (сем. Gobiidae) Азовского моря. Труды Ин-та океанологии АН СССР. 1963. Т. 62. С. 96–127.

Майский В.Н. Состояние запасов бычков, хамсы и тюльки в Азовском море в 1931–1958 гг. // Тр. АзНИИРХ. 1960. Т. 1. № 1. С. 381–413.

Милованов А.И., Ефанов А.Д. Биологические параметры популяции бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814) в промысловых уловах из Керченского пролива с 2014 по 2019 гг. // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2021. №. 2. С. 66–75.

Цема Н.И., Бугаев Л.А., Лужняк В.А. Характеристика репродуктивного потенциала бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) в условиях повышения солёности Азовского моря // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод: сборник статей, посвященных 100-летию Гидрохимического института. Часть I. Ростов-на-Дону. 2020. С. 286–292.

Шибяев С.В. Промысловая ихтиология. Калининград: Аксиос, 2014. 534 с.

Шляхов В.А., Петренко О.А., Надолинский В.П. и др. Об использовании динамических продукционных моделей (прикладной программы combi 3. 0) для обоснования объёмов рекомендованного вылова азовской хамсы и бычков // Вопр. рыболовства. 2017. Т. 18. №. 2. С. 249–258.

Charnov E. L., Gislason H., Pope J.G. Evolutionary assembly rules for fish life histories // Fish and Fisheries. 2013. V. 14. Issue 2. P. 213–224.

Hordyk A., Ono K., Sainsbury K. et al. Some explorations of the life history ratios to describe

length composition, spawning-per-recruit, and the spawning potential ratio // ICES J. Marine Science. 2015. V. 72. Issue 1. P. 204–216.

*Mohn R.* The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data // ICES J. Marine Science. 1999. V. 56. Issue 4. P. 473–488.

*Musick J.A.* Criteria to define extinction risk in marine fishes: the American Fisheries Society initiative // Fisheries. 1999. V. 24. Issue 12. P. 6–14.

*Ogle D.H.* Introductory fisheries analyses with R. CRC Press, 2018. 303 p.

*Patterson K.* Fisheries for small pelagic species: an empirical approach to management targets // Reviews in Fish Biology and Fisheries. 1992. Issue 2. P. 321–338.

*Prince J., Watisoni L., Tamanitoakula J. et al.* Spawning potential surveys reveal an urgent need for effective management // SPC Fish. Newsl. 2019. V. 158. P. 28–36.

*Ricker W.E.* Stock and recruitment // J. Fisheries Board of Canada. 1954. V. 11. Issue 5. P. 559–623.

*Smith B.J.* Boa: an R package for MCMC output convergence assessment and posterior inference // J. statistical software. 2007. Vol. 21. P. 1–37.

*Winker H., Carvalho F., Kapur M.* JABBA: just another Bayesian biomass assessment // Fisheries Research. 2018. V. 204. P. 275–288.

DYNAMICS OF ABUNDANCE

**MODELING OF THE DYNAMICS OF THE STOCK  
AND FISHING OF GOBIES (GOBIIDAE)  
IN THE SEA OF AZOV IN THE CONDITIONS  
OF ECOLOGICAL CHANGES IN THE HABITAT**

© 2023 y. M.M. Piatinskii, A.I. Milovanov, U.N. Alexandrova

*Azov-Black Sea branch of Russian Federal Research Institute  
of Fisheries and Oceanography, Russia, Rostov-on-Don, 344002*

The combined stock assessment approach to estimate and forecast the biomass and fisheries of the gobies population in Azov Sea are presented. Biomass stock assessment during the period 2015–2022 performed based on Pella-Tomlinson surplus production model within aprior parametrization by JABBA package. In terms of change the control parameter (from fisheries to environmental conditions) biomass forecasting done by main biological process modelling: spawning process by Ricker's stock-recruitment model, instant natural mortality by Charnov approximation method, population annual weight gain by relative weight assumption. The current state of gobies stock biomass in Azov Sea during 2022 is depleted, estimated on level of  $B_{2022} = 12,5$  ths. t., lower that limit reference point value  $B_{lim} = 14,9$  ths. t. Such depleted stock status can be just partial explained by overfishing during the 2016–2019. During the forecast period, 2023–2024, there is no scenarios exists to gobies population recovery, even in total fishery prohibition.

*Keywords:* Gobies, Azov Sea, stock assessment, JABBA, forecast, population dynamics, fishery.