

Состояние запаса и промысла раков в р. Сал в 2012–2022 гг. и краткосрочный прогноз их вылова в условиях высокой неопределенности

М.М. Пятинский¹, О.А. Мазникова², Е.М. Саенко¹

¹ Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на Дону, Россия

² ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия
Email: pyatinskiy_m_m@azniirh.ru

Аннотация. Выполнена работа по моделированию динамики численности популяции раков *Pontastacus cubanicus* в р. Сал (Ростовская область). Для моделирования применен программный комплекс «JABBA». Выполнена априорная параметризация модели Фокса исходя из известных биологических параметров популяции и ранее опубликованных работ. Результаты моделирования свидетельствуют о благоприятном, относительно целевых ориентиров, состоянии запаса раков в период 2012–2022 гг. с тенденцией незначительного снижения в период 2012–2018 гг. и стабилизации в период 2019–2022 гг. Оценки промысловой смертности и биологических ориентиров не указывают на наличие признаков переэксплуатации в период 2012–2022 гг. В 2022 г. биомасса запаса составляла 44,6 т. Максимально устойчивый вылов в прогнозный период 2023–2025 может достигать 10,6 т, при этом биомасса запаса составит не менее 29,2 т.

Ключевые слова: бассейн р. Сал, раки, промысловый запас, прогноз, продукционное моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

В р. Сал (Ростовская область) речные раки представлены видом рода *Pontastacus* — *P. cubanicus*. Раки являются типичным представителем бентофауны пресноводных водоемов Ростовской области. В этих водоемах возрастная структура популяций раков зачастую представлена 10–13 возрастными группами, а половой зрелости они достигают на 2–3 году жизни [7].

В настоящее время в результате роста минерализации водных объектов, вызванной снижением уровня осадков и усилением испарения из-за роста температуры воздуха, отмечен тренд на снижение продуктивности популяций раков. Кроме того, негативное влияние на состояние промысловой части скоплений оказывает избыточный пресс промысла [2]. Несмотря на неблагоприятные фоновые условия и высокую интенсивность промысловой эксплуатации, популяция раков р. Сал сохраняет промысловый статус [6].

Промысел раков в водоемах Нижнего Дона, включая р. Сал с притоками, всегда был традиционным на юге России. Исторические ряды суммарного

годового вылова раков предприятиями представлены начиная с 1930-х гг. Регистрируемые объемы вылова в 1960–1986 гг. варьировали от 2 до 93 т [8]. В 1987–1991 гг. вылов раков промыслом не проводился, а в 1992–2000 гг. был на низком уровне — 1–6 т [3]. В последующие годы (2000–2022) суммарный вылов ежегодно составлял от 3 до 22 т [6, 9].

В настоящее время регулирование промышленного рыболовства раков в р. Сал осуществляется в соответствии с Правилами рыболовства [5] и процедурой ежегодного определения объемов общего допустимого улова (далее — ОДУ). В соответствии с результатами мониторинга Азово-Черноморского территориального управления Росрыболовства (далее — АЧТУ), Муниципальной казачьей дружины войскового казачьего общества Донское и Южной транспортной прокуратуры в период 2021–2021 гг. отмечены признаки ННН-промысла раков, объемы которого не включены в официальную статистику. Удалось зарегистрировать 515 незаконных орудий лова в 2022 г., уловы которых могли достигать, по экспертной оценке, до 42% от объема официального вылова. Наличие высокого уровня ННН-промысла в 2022 г., а так же высокий его уровень в период 2012–2018 гг. по сведениям других авторов [2] свидетельствует о его системном характере. Отсутствие непрерывного и всеобъемлющего учета объемов ННН-промысла официальной рыбохозяйственной статистикой может существенно влиять на состояние запаса раков в р. Сал и привносить долю неопределенности в способы управления промысловой популяцией при моделировании.

Целью данной работы является моделирование динамики численности популяции речных раков в р. Сал в период 2012–2022 гг. и прогноз состояния запаса и промысла в период 2023–2025 гг. Для выполнения поставленной цели реализованы задачи:

- 1) выбор наиболее оптимального метода оценки запасов посредством моделирования динамики численности популяции раков в р. Сал;
- 2) оценка биомассы промыслового запаса и промысловой смертности в ретроспективный период 2012–2022 гг.;
- 3) формирование сценариев прогноза изменения биомассы запаса и общего допустимого улова при разных уровнях управляющего параметра промысловой смертности в период 2023–2025 гг.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2022 г. авторами были выполнены методические изыскания по апробации методов математического моделирования динамики численности популяции для описания состояния запасов и промысла раков в р. Сал. В качестве доступного информационного обеспечения имелись данные о суммарном годовом вылове, количестве разрешенных орудий лова и линейно-весовые характеристики облавливаемой части популяции за период 2012–2022 гг. Отсутствие тканей, регистрирующих возраст у раков, не позволило применить когортные модели, основанные на возрастной структуре, по причине чего были применены методы продукционного моделирования [1].

В ходе апробации были испытаны реализации трендовых и продукционных моделей: CMSY [4, 11], BSM [11], «Combi 4.0» [1], «JABBA» [12]. В ходе диагностики результатов модели CMSY и BSM показали достаточно низкую надежность, слабую прогностическую силу и невозможность гибкой настройки стартовых параметров модели. Прогнозирование при помощи ППП «Combi 4.0» показало недостаточную гибкость параметризации модели (в области параметризации диапазонов r/K пары и прогнозных сценариев), в результате чего было принято решение к применению комплекса «JABBA».

Дополнительно к выбору математического аппарата для прогнозирования были выполнены изыскания относительно априорной настройки модели в соответствии с ранее полученными результатами оценивания в ходе прямого учета (в 2012–2019 гг.) [2]. В результате, при параметризации модели JABBA диапазон параметра емкости среды (K) был определен в диапазоне $1,5–1,8 * \text{MAX}[B_i + C_i]$ (в полтора раза выше от максимального уровня биомассы + улов в годы, когда выполнялся прямой учет). Диапазон поиска оптимума для параметра мгновенного популяционного роста задан в интервале оптимума для видов со средней популяционной пластичностью, $r = [0,16; 0,5]$. Для сглаживания неопределенности от ННН-добычи (компенсация отсутствия ее учета во входных данных) применялся стохастический тюнинг входных данных ППП JABBA, который допускал неточность оценок улова на уровне до 50% от уровня среднегодового вылова.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе предварительной диагностики наилучшие результаты и наименьшую накопительную ошибку продемонстрировала продукционная модель Фокса. В результате стохастической процедуры моделирования на модели Фокса в ППП JABBA были получены оценки биомассы запаса, промысловой смертности и целевые ориентиры эксплуатации (рисунок). Были выполнены оценки оптимальных значений параметров продукционного уравнения Фокса и их доверительные интервалы: $r = 0,36 [0,23; 0,56]$, $K = 92,3 [84,7; 100,4]$. Также были получены оценки целевых ориентиров: состояния биомассы запаса $B_{MSY} = 34,0 [31,2; 37,0]$, промысловой смертности $F_{MSY} = 0,36 [0,23; 0,56]$ и максимально устойчивого вылова $MSY = 12,3 [7,8; 18,9]$. В соответствии с принципами концепции MSY был вычислен граничный ориентир для состояния биомассы запаса: $B_{lim} = 0,5 * B_{MSY} = 17,0$ т.

В ходе диагностики модели выполнены тесты: схождения модели, репрезентативности оценок, ретроспективный тест прогностической надежности модели и диагностика невязок индекса улова-на-усилие относительно теоретических ожиданий. Тест сходимости модели Geweke не показал наличие значимых доказательств для отклонения нулевой гипотезы о достижении схождения подгонки ($p\text{-value} > 0,05$) [10]. Диагностика репрезентативности выполненных оценок свидетельствовала о достаточно широких доверительных интервалах вероятностных оценок биомассы запаса и промысловой смертно-

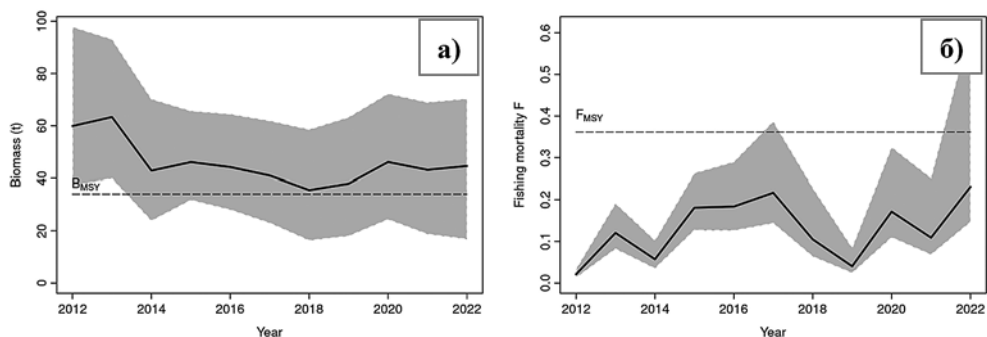


Рисунок. Ретроспективные оценки биомассы запаса (B) и целевого ориентира состояния запаса B_{MSY} (а), оценки промысловой смертности популяции и целевой ориентир F_{MSY} (б)

сти в ретроспективном периоде моделирования (рисунок). Истинные показатели биомассы запаса, в среднем, могут отклоняться от медианных оценок на 46%, а для промысловой смертности — на 36%. Результаты ретроспективного теста с последовательным усечением рядов данных на 1 год указывают на удовлетворительную надежность оценок и прогностическую силу как величин биомассы запаса, так и промысловой смертности. Диагностика невязок продемонстрировала удовлетворительную надежность входного ряда данных в период за весь период тестирования.

Результаты ретроспективного моделирования (рисунок), свидетельствуют о постепенном сокращении биомассы запаса в период 2012–2018 гг., но не ниже уровня целевого ориентира состояния запаса ($B_{2012-2018} / B_{MSY} > 1$). В этот же период отмечается постепенный тренд увеличения степени промысловой смертности, но не выше уровня целевого ориентира ($F_{2012-2018} < 1$). Полученные результаты свидетельствуют о незначительном сокращении биомассы запаса раков (в 2012–2018 гг.), основной причиной которого не являлась промысловая смертность от официально зарегистрированных объемов вылова и орудий добычи. Вероятно, что в данный период (2012–2018 гг.) незначительное сокращение было обусловлено состоянием среды обитания раков [2] и высоким уровнем ННН-промысла.

Период 2019–2022 гг. характеризуется стабилизацией уровня биомассы запаса раков незначительно выше уровня целевого ориентира без признаков переэксплуатации промыслом. В этот период, ОДУ раков был существенно ниже предшествующего периода (ОДУ₂₀₁₂₋₂₀₁₈–11,6–16,6 т, ОДУ₂₀₁₉₋₂₀₂₂–7,3–12,4 т), что, вероятно, благоприятно сказалось на состоянии запаса и частично компенсировало негативное воздействие высокого уровня незаконного вылова в современный период.

Текущее состояние запасов раков в 2022 г. можно характеризовать как благоприятное, без признаков переэксплуатации промыслом. Промысловая смертность в 2022 г. все еще была ниже целевого уровня с тенденцией увели-

чения. В соответствии с текущим состоянием сырьевой базы, биологическими ориентирами управления, были рассмотрены 4 вероятностных сценария управления запасом в период 2023–2025 гг.:

– сценарий MSY: сценарий максимально устойчивого вылова на уровне $C_{t+1} = B_t * F_{MSY}$;

– сценарий SQ («статус-кво»): сценарий изъятия на уровне среднетрехлетней промысловой смертности, $C_{t+1} = B_t * AVG(F_{2020-2022})$;

– гипотетически вероятные сценарии эксплуатации на уровне выше и ниже на 15% от целевого уровня, MSY + 15% и MSY – 15% соответственно ($C_{t+1} = B_t * F_{MSY} * 0,85$; $C_{t+1} = B_t * F_{MSY} * 1,15$).

В результате прогнозирования изменения динамики запасов по представленным сценариям были получены оценки возможных объемов ОДУ и соответствующие им оценки биомассы, которые будут достигнуты в результате реализации того или иного сценария (таблица). Результаты краткосрочного прогноза указывают на возможность реализации любого из представленных сценариев в период 2024–2025 гг., при этом предложенные сценарии будут направлены на постепенное увеличение биомассы и ее стабилизации на уровне граничного ориентира. При этом промысловая смертность при всех сценариях не будет значительно превышать целевой уровень (за исключением сценария MSY +15%).

Таблица. Сценарии краткосрочного прогноза ОДУ и запаса раков в р. Сал при различных параметрах управления промыслом на 2023–2025 гг.

Годы	Сценарий SQ (F = 0,17)		Сценарий MSY (F = 0,36)		Сценарий +15% MSY (F = 0,30)		Сценарий -15% MSY (F = 0,41)	
	Запас, т	ОДУ, т	Запас, т	ОДУ, т	Запас, т	ОДУ, т	Запас, т	ОДУ, т
2023	26,9	4,6	26,9	9,7	26,9	11,2	26,9	8,3
2024	33,6	5,7	28,4	10,2	26,9	11,2	29,8	9,2
2025	39,0	6,6	29,2	10,6	26,7	11,1	31,9	9,8

Тем не менее, учитывая положения концепции максимально устойчивого вылова и наличие ННН-промысла наиболее рациональным является применение сценария MSY в период 2023–2025 гг. При реализации такого сценария, вылов 2023 г. должен составить не более 9,7 т, в 2024 г — не более 10,2 т, в 2025 г — не более 10,6 т. В таком случае промысловая смертность не превысит уровень целевого ориентира F_{MSY} , что приведет к устойчивой и долгосрочной эксплуатации запасов речных раков ($F_{forecast} \sim F_{MSY}$). При реали-

зации сценария MSY биомасса запаса раков в р. Сал в 2023 г. составит 26,9 т, в 2024 г — 28,4 т, в 2025–29,2 т.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения апробации различных методов моделирования динамики численности популяции раков в р. Сал на основе данных рыбохозяйственной статистики наиболее надежные результаты получены при помощи ППП «ЈАВВА».

В соответствии с полученными результатами математического моделирования состояние запасов раков в р. Сал в 2019–2022 гг. стабильно и находится выше целевого уровня на уровне 37,9–46,1 т без признаков переэксплуатации легальным промыслом. В период 2023–2025 гг. ОДУ раков не должен превышать 10,6 т, при этом биомасса промыслового запаса раков составит от 26,9 до 29,2 т.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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. Методические рекомендации, по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: Изд-во ВНИРО, 2018. 312 с.

2. Глушко Е.Ю. Состояние популяций, запасов и промысла раков в водоемах Ростовской области в период 2012–2018 гг. // Водные биоресурсы и среда обитания, 2019. Т. 2. № 3. с. 68–74.

3. Зайдинер Ю.И., Попова Л.В. Уловы и нерыбных объектов рыбохозяйственными организациями Азово-Черноморского бассейна (1990–1995 гг.) / Статистический сборник — Ростов-на-Дону: изд-во «Молот», 1997. — 100 с.

4. Пятинский М.М. Моделирование динамики промысловой популяции, в условиях недостаточности информационного обеспечения, моделью CMSY на примере Черноморского шпрота в водах России // Вопросы рыболовства. 2021. № 3. С. 76–82.

5. Правила рыболовства для Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна (с изменениями на 22 июля 2022 г.). Регистрационный номер приказа № 57719 от 9 января 2020 г. Министерство Сельского Хозяйства РФ.

6. Саенко Е.М., Жукова С.В., Косенко Ю.В., Кораблина И.В., Трушков А.В., Марченко А.О., Валиуллин В.А., Зинчук О.А., Карпушина Ю.Э., Тарадина Е.А., Бурлачко Д.С., Лутынская Л.А., Подмарева Т.И. Состояние сырьевой базы и среды обитания раков в бассейне р. Сал // Водные биоресурсы и среда обитания. 2022. Том 5, № 4. С. 35–51.

7. Черкашина Н.Я. Динамика популяций раков родов *Pontastacus* и *Caspiastacus* (Crustacea, Decapoda, Astacidae) и пути их увеличения. М.: ФГУП «Нацрыбресурс», 2002. 257 с.

8. Уловы рыб и нерыбных объектов рыбохозяйственными организациями Азовского бассейна и прилежащих участков Черного моря (1960–1990 гг.) / Под ред. Макарова Э.В. — Статистический сборник: Санкт-Петербург, 1993. — 171 с.

9. Уловы рыб и нерыбных объектов рыбохозяйственными организациями Азово-Черноморского бассейна (1995–2000 гг.) / Грибанова С.Э., Зайдинер Ю.И., Ландырь Е.А., Попова Л.В., Фильчагина И.Н. — Ростов-на-Дону: Эверест-М, 2003. — 90 с.

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

11. Froese R., Demiril N., Coro G., et al. Estimating fisheries reference points from catch and resilience // *Fish and Fisheries*. 2017. Vol. 18. Issue 3. P. 506–526.

12. Winker H., Carvalho F., Kapur M. JABBA: Just Another Bayesian Biomass Assessment // *Fisheries research*. 2018. Vol 204. P. 275–288.