

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ
METHODS OF INVESTIGATIONS

Научная статья

УДК 639.2.053.72:597.555.5

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-443-463

EDN: XCSYXY

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОГО УСТОЙЧИВОГО УЛОВА
МАЛОГЛАЗОГО МАКРУРУСА *ALBATROSSIA PECTORALIS*
(MACROURIDAE) НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ
НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКОЙ ПРОДУКЦИОННОЙ МОДЕЛИ JABBA

В.В. Кулик, А.И. Алфёров, М.И. Горюнов*

Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),

690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. На основе данных об истории уловов и индексах численности малоглазого макруруса впервые показаны статистические оценки межгодовой динамики промысловой биомассы и её эксплуатации по рыбопромысловым зонам на Дальнем Востоке России относительно ориентиров динамических моделей биомассы. Байесовский подход в JABBA позволил учесть априорные допущения о девственных биомассах, рассчитанных ранее по данным научных съёмок и экстраполированных на необследованные площади, ошибки в уловах и индексах численности, а также скорость мгновенного пополнения популяции (r) и изначальное истощение. Показано, что ни в одной зоне запасы ещё не переловлены, но в Западно-Беринговоморской (ЗБМ) проявилась отрицательная тенденция в динамике биомассы с 2015 г. Причина этого снижения согласно принятым допущениям заключается в реализации завышенного целевого ориентира по эксплуатации промысловой биомассы ($\phi_F = 0,1$). Во всех зонах, кроме курильских, он оказался по медиане ниже 0,08, а при установлении объёмов допустимых уловов (ОДУ) многие годы использовали $\phi_F = 0,1$. В ЗБМ зоне уловы превышали прибавочную продукцию долгое время: в 2012 г. и с 2015 г. Сумма медиан максимальных устойчивых уловов по зонам найдена около 47,4 тыс. т, что выше официальных уловов. В соседних зонах — ЗБМ и Восточно-Камчатской — параметр r оказался примерно равным как по медиане (0,086–0,085), так и по 95 %-ным доверительным интервалам (от 0,05 до 0,14). В курильских зонах параметр r был выше и максимален в Северо-Курильской зоне, что может свидетельствовать о более высоких темпах роста в них или внешнем притоке молоди. Следовательно, крайне важно уточнить популяционную структуру малоглазого макруруса, а до тех пор мы вынуждены продолжать оценку запасов в пределах рыболовных зон.

Ключевые слова: максимальный устойчивый улов, MSY, малоглазый макрурус, Берингово море, Охотское море, Курильские острова, JABBA, CPUE, GLM, GAM

Для цитирования: Кулик В.В., Алфёров А.И., Горюнов М.И. Оценка максимального устойчивого улова малоглазого макруруса *Albatrossia pectoralis* (Macrouridae) на Дальнем Востоке России на основе байесовской продукционной модели JABBA // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 2. — С. 443–463. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-443-463. EDN: XCSYXY.

* Кулик Владимир Владимирович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, vladimir.kulik@tinro.ru, ORCID 0000-0003-0920-5312; Алфёров Андрей Иванович, ведущий специалист, andrey.alferov@tinro.ru, ORCID 0000-0002-4492-0867; Горюнов Михаил Игоревич, ведущий специалист, mikhael.goryunov@tinro.ru.

**Estimation of the maximum sustainable yield of giant grenadier
Albatrossia pectoralis (Macrouridae) in the Russian Far East
using Bayesian surplus production model JABBA**

Vladimir V. Kulik*, Andrey I. Alferov, Mikhail I. Goryunov*****

*-*** Pacific branch of VNIRO (TINRO),

4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

* Ph.D., head of laboratory, vladimir.kulik@tinro.ru, ORCID 0000-0003-0920-5312

** leading specialist, andrey.alferov@tinro.ru, ORCID 0000-0002-4492-0867

*** leading specialist, mikhail.goryunov@tinro.ru

Abstract. Statistical estimates for the exploitable stock of giant grenadier are determined, by fishing zones in the Russian Far East, and interannual dynamics of the species biomass is considered using historical data on catches and abundance. The assessments relationship with reference points of the biomass dynamic models is examined for the first time. With using the Bayesian approach, *a priori* assumptions about virgin biomass, which were made earlier on results of scientific surveys extrapolated to unsurveyed areas, are accounted in JABBA model; some errors in the catch and abundance indices are revealed. The parameters of instantaneous rate of recruitment and initial depletion of population are determined. Overfishing is not detected yet in any fishing zone, but a negative trend of the biomass dynamics is noticed for the Western Bering Sea fishing zone since 2015 (if the stock estimations based on surveys are realistic). The decline is reasoned by implementation of too high target for exploitation rate of vulnerable biomass ($\varphi_F = 0.10$) that is higher than such target for other fishing zones (< 0.08 or even 0.01 for the stocks exploited with the total allowable catch limits). That's why annual catches exceeded the surplus production in the Western Bering Sea fishing zone in 2012 and since 2015 to nowadays. The sum of median estimations for the maximum sustainable yields in all fishing zones is about $47.4 \cdot 10^3$ t that exceeds the values of total annual catch. The instantaneous rate of recruitment is almost equal in the neighboring fishing zones in the western Bering Sea and at East Kamchatka (0.086–0.085 by median, with 95 % credible intervals from 0.05 to 0.14) and is much higher at Kuril Islands with the maximum in the North-Kuril fishing zone. The latter case is possibly conditioned by partially external recruitment. Therefore, population structure of giant grenadier should be clarified for correct modeling of the recruitment; until then, the stocks assessments by fishing zones are available.

Keywords: Bering Sea, Okhotsk Sea, Kuril Islands, giant grenadier, JABBA, maximum sustainable yield, catch, CPUE, GLM, GAM

For citation: Kulik V.V., Alferov A.I., Goryunov M.I. Estimation of the maximum sustainable yield of giant grenadier *Albatrossia pectoralis* (Macrouridae) in the Russian Far East using Bayesian surplus production model JABBA, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 2, pp. 443–463. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-443-463. EDN: XCSYXY.

Введение

Ранее материалы по численному моделированию запасов макрурусов на Дальнем Востоке России не публиковались в рецензируемых изданиях, не были известны ориентиры управления, являющиеся также важными биологическими характеристиками популяций, а также не имелось статистически обоснованных оценок динамики запаса. Однако целевой промысел макрурусов ведётся уже не первое десятилетие, поэтому крайне важно уточнить состояние их запасов. К сожалению, рыбодобытчики перестали делить макрурусов по видам в промысловых уловах с 1994 г. Целевой вылов макрурусов (семейство Macrouridae) и их прилов состоят в основном из малоглазого макруруса *Albatrossia pectoralis*, который является массовым видом материкового склона на глубинах более 400–500 м, чёрный макрурус *Coryphaenoides acrolepis* занимает второе место, а третье — пепельный *Coryphaenoides cinereus**. Малоглазый макрурус обитает

* Состояние промысловых ресурсов Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна — 2022 г. Владивосток: ТИНРО, 2022. 435 с.

в широком диапазоне глубин (900–1800 м), образуя максимальные концентрации у дна [Новиков, 1970, 1974].

Согласно официальной статистике с 1980-х до начала 2000-х гг. малоглазый макрурус не добывался целевым образом, а ловился в небольших количествах при донном траловом, ярусном и сетном промысле палтусов, трески, окуней в нижней части шельфа и верхней части материкового склона (до глубин 600–700 м). В начале 2000-х гг. некоторые суда, преимущественно ярусоловные, переходили на специализированный лов макрурусов от нескольких дней до одного-двух месяцев. Их вылов вырос до десятков кило тонн с явным преобладанием Западно-Беринговоморской (ЗБМ) зоны во вкладе в общий вылов макрурусов в последние годы (рис. 1). Эти утверждения остаются неизменными во всех материалах общего допустимого улова (ОДУ) макрурусов, но в монографии М.Е. Барышко [2012] и в статистике Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО ООН) отмечаются высокие уловы макрурусов в северо-западной части Тихого океана — СЗТО, или 61-й район ФАО — и в период существования СССР (рис. 2). Требуется выяснить, каких именно макрурусов тогда ловили, что и станет одной из наших задач в данной работе.

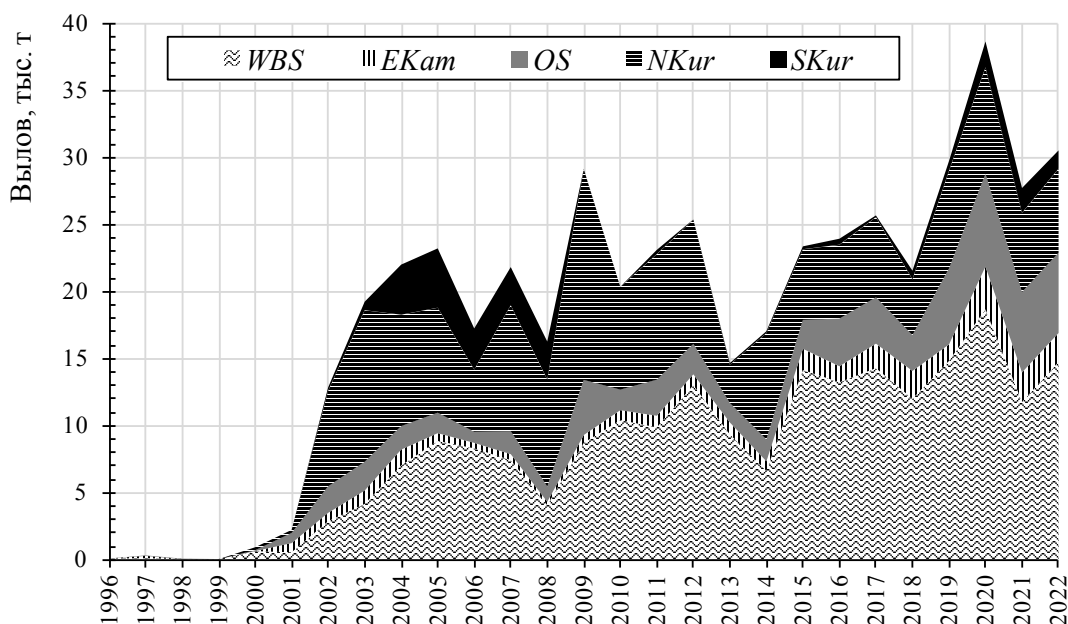


Рис. 1. Вылов всех макрурусов по рыбопромысловым зонам: *WBS* — ЗБМ, *EKam* — Восточно-Камчатская (ВКам), *OS* — Охотское море (ОМ), *NKur* — Северо-Курильская (СКур) и *SKur* — Южно-Курильская (ЮКур)

Fig. 1. Catch of all grenadier species, 10^3 t, by fishing zones: *WBS* — Western Bering Sea, *EKam* — East Kamchatka, *NKur* — North-Kuril, *OS* — Okhotsk Sea, and *SKur* — South-Kuril

Цель данной работы — определить максимальный устойчивый улов (MSY) малоглазого макруруса, а также оценить неопределённость MSY и вероятности различных состояний запасов относительно MSY ориентиров.

Материалы и методы

Достичь поставленной цели можно только посредством моделирования, решив следующие задачи: определить уровень информационного обеспечения; выбрать метод настройки модели, учитывающий максимально полно всю надёжную информацию; определить MSY ориентиры и состояние запасов малоглазого макруруса в 2022 г. относительно них.

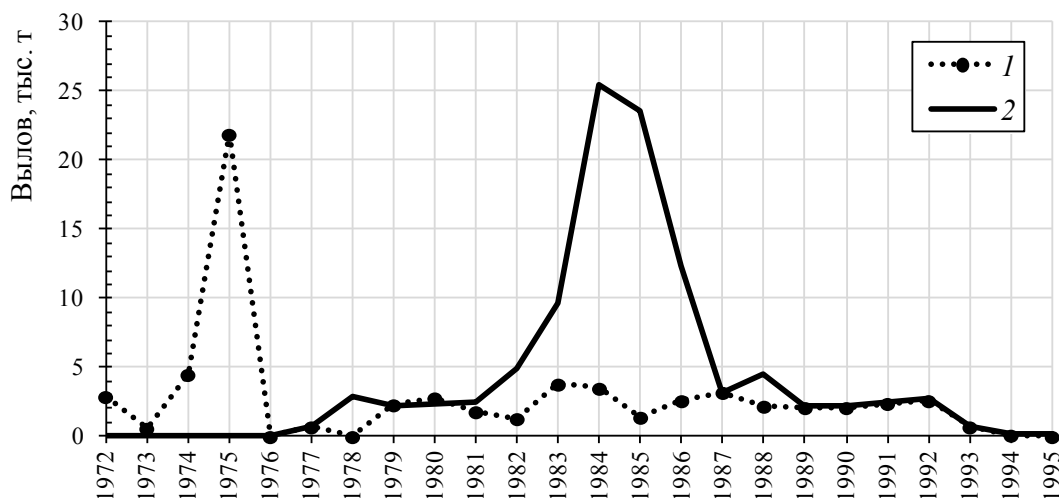


Рис. 2. Вылов всех макрурусов: 1 — в опубликованном источнике [Барышко, 2012] и 2 — в статистике ФАО по уловам СССР и России в северо-западной части Тихого океана

Fig. 2. Catch of all grenadier species, 10³ t: 1 — cited data [Baryshko, 2012]; 2 — FAO statistics for the USSR and Russia fishery in the North-West Pacific

Модель биологических процессов впервые использовалась при подготовке материалов ОДУ макрурусов на 2020 г. в зоне ЗБМ. Эта модель была настроена в пакете прикладных программ (ППП) «Just Another Bayesian Biomass Assessment» (JABBA) [Winker et al., 2018]. Полное название JABBA переводится как «просто ещё одна байесовская оценка биомассы». Такое название PPP JABBA её авторы выбрали для отсылки к языку программирования, при помощи которого происходит оптимизация моделей — Just Another Gibbs Sampler [Plummer, 2003], что переводится как «просто еще один пробатор Гиббса». Управление настройкой моделей и выводом их результатов в PPP JABBA осуществляется при помощи языка сценариев R [<https://www.R-project.org/>], что существенно упрощает использование данного PPP.

Малоглазый макрурус — долгоживущий вид, достигающий возраста более 40 лет [Тупоногов, 1991]. Максимальный возраст — 56 лет — подтверждён методом изотопной радиометрии (²¹⁰Pb:²²⁶Ra) [Burton, 1999]. Ведущие учёные мира [Rodgveller et al., 2010], включая российского — д.б.н. А.М. Орлова [Devine et al., 2012], — допускают и более высокий предельный возраст: до 58 лет. В оценках запасов макрурусов у Аляски допускается, что в уловах с малоглазым макрурусом встречается также чёрный макрурус с тихоокеанского побережья США, который живёт до 73 лет [Andrews et al., 1999], поэтому макрурусы считаются уязвимыми видами, целевой промысел которых запрещён, а их прилов допускается до 8 % [Rodgveller, Siwicke, 2020]. Столь высокие продолжительности жизни макрурусов приводят к крайне низким оценкам их естественной убыли ($\phi_m = 0,078$) [Rodgveller, Siwicke, 2020]. Низкая естественная смертность и продолжительный жизненный цикл являются важными условиями возможности применения моделей прибавочной продукции, которые в обратном случае нуждаются в специальных модификациях [Zhou et al., 2009].

Управление промыслом макрурусов на Дальнем Востоке России осуществляется на основе допущений о доминировании малоглазого макруруса и незначительности промысла чёрного макруруса, поэтому биологические особенности чёрного макруруса, которые бы заметно снизили целевые ориентиры, никогда не учитывались. Тем не менее чёрный макрурус преподносится как источник самого чистого белка с огромными запасами, способными поднять ОДУ более чем в 4 раза (до 200 тыс. т) [<https://fishnews.ru/rubric/krupnyim-planom/12534>]. Таким образом, в нашей настройке необходимо будет учесть, что промысел малоглазого макруруса затрагивает дольше

живущего макруруса — чёрного. Мы это сделаем посредством априорных допущений в настройке моделей с использованием ППП JABBA.

Глубины более 1 км редко обследуются научными донными тралениями (ДТ) по техническим причинам. Достоверность оценок биомассы макрурусов по научным ДТ в России никогда не исследовалась, но именно они долгие годы служили основой для определения ОДУ макрурусов. Эта работа не станет исключением. Использованные здесь оценки биомассы из научных съёмок (табл. 1) многократно публиковались в отраслевых сборниках «Состояние промысловых ресурсов Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна», включая сборник 2022 г.* Из них выбраны и просуммированы в пределах зон те оценки биомасс, дополненные экстраполяцией в неисследованных акваториях, что реально использовались при определении ОДУ вплоть до 2023 г. в материалах ОДУ.

Таблица 1

Биомасса макрурусов из материалов ОДУ до 2023 г. по рыболовным зонам и годам, кт

Table 1

Biomass of grenadiers calculated from TAC values, 10^3 t, by fishing zones and years

Год	ЗБМ	ВКам	ОМ	СКур	ЮКур
1996		40,0			
2000			100,0	150,0	90,0
2001					
2005	185,0				
2008	210,0				
2009		90,0	150,0	200,0	170,0
2010	190,9				
2012	218,0				
2015	180,0				
2018	220,0	130,0	100,0	100,0	
2020	250,0	150,0			

Макрурусы исключены из экосистемных индикаторов, которые рассчитываются по съёмкам ДТ, в восточной части Берингова моря по причине того, что ДТ неэффективно облавливают макрурусов [Siddon, 2022]. В России абсолютные оценки биомасс макрурусов являются очень приблизительными из-за сделанных допущений о пропорциональности обилия по глубинам из редких глубоководных тралений, поэтому мы допустили ошибку в логарифмическом масштабе биомассы из ДТ съёмок около 0,5, коэффициент доступности (q) не был равен единице, а оценивался без использования информативных априорных распределений.

В материалах ОДУ на 2023 г., прошедших через общественные обсуждения на сайте ТИНРО с 23 марта по 22 апреля 2022 г. [<http://tinro.vniro.ru>], во всех зонах, кроме ЗБМ, примитивные экстраполяции биомасс макрурусов, рассчитанных из ДТ съёмок (см. табл. 1), были единственным источником для определения ОДУ посредством их умножения на целевой коэффициент эксплуатации $F_{tr} = \varphi_F = 0,1$. Этот φ_F не был исследован на безопасность долгосрочной эксплуатации ни в одной модели, а был выбран из допущения естественной убыли $\varphi_M = 0,2$, как для рыб, живущих до 25 лет [Тюрин, 1962], а F_{tr} установили равным $M/2$ по аналогии [Alverson, Pereyra, 1969]. Более того, никогда не приводилось обоснование деления данных запасов по зонам и даже подзонам, как в зоне ВКам, где материалы ОДУ разделены по подзонам: Карагинской и Петропавловско-Командорской, поэтому выше в табл. 1 даны уже суммы биомасс этих подзон в зоне ВКам. Попытка оценки запасов в этих подзонах как независимых практически оказалась невозможной из-за аномалий в отдельных индексах численности и их огромных ошибок. Более того, в годы с низкой ошибкой индексов наблюдалось их значимое совпадение в относительном масштабе.

* Состояние промысловых ресурсов... [2022].

Вылов имеет большое значение в определении состояния запаса, а значит, и ОДУ в моделях биологических процессов, реализованных в ППП JABBA. Мы использовали максимальные оценки годовых уловов из различных источников: ОСМ, БД «Промысел», формы Росстата № 1-П (рыба), публикуемые на сайте Росрыболовства [<https://fish.gov.ru/otraslevaya-deyatelnost/ekonomika-otrasli/statistika-i-analitika/>], а также в ранних материалах ОДУ (прил. 1*). Эти максимальные уловы в реальности следует считать минимальными. Фактически они занижены из-за потери товарного вида макрурусов при длительных застоях орудий лова и пойманных рыб при их объедании косатками при выборке и другими гидробионтами при нахождении улова на дне. Даже в ловушках наносится значительный урон товарному виду макрурусов другими гидробионтами, например амфиподами [Orlov et al., 2012]. Уловы макрурусов иными орудиями, чем донные ярусы, незначительны. Косатки выедают печень макрурусов, что мешает принимать таких рыб в обработку. В России улов рассчитывается от продукции, а прямого взвешивания до переработки не требуется. Даже при наличии такого требования улов всё равно был бы занижен, так как часть массы улова уже находилась бы в желудках косаток. Таким образом, нам необходимо учитывать систематическое занижение официального вылова относительно реального. Это легко сделать в ППП JABBA, выбрав соответствующую конфигурацию с указанием коэффициента вариации (CV) неизвестного истинного улова. Мы выбрали невысокий $CV = 20 \%$.

В моделях прибавочной продукции крайне большое значение имеет стандартизированный индекс численности — вылова на усилие (CPUE). Он должен отражать динамику запаса, так как считается прямо пропорциональным индексу численности. Стандартизация должна охватывать не только данные официальной статистики, например судовые суточные донесения (ССД) и записи об операциях из электронного рыбопромыслового журнала (ЭРЖ), но и данные наблюдателей на промысле, которые зависят от места, времени и прочих особенностей операций не меньше, чем операции, сохранённые в отраслевой системе мониторинга (ОСМ). Поскольку наблюденные специалистами операции составляют очень малую долю от сообщённых всеми рыбаками, годовые индексы численности наблюдателей могут иметь ошибку в разы выше, чем отдельный индекс из ССД или ЭРЖ. Небольшое число научных наблюдений на промысле, произведённых соавторами (А.И. Алфёровым и М.И. Горюновым), показано в табл. 2. Таким образом, здесь используется вся доступная в ТИНРО промысловая статистика совместно с данными научных наблюдателей.

Информация о каждой промысловой операции, сохранённой в ЭРЖ с 2020 г., а также из ССД с 2000 г., получена из ОСМ Росрыболовства, которая ведётся в Центре системы мониторинга рыболовства и связи [<http://cfmc.ru/>].

Информация о видовом составе уловов и за более продолжительный промежуток времени (с 1980 г.) получена из баз данных (БД) «Морская биология»**, «Ярусный промысел»*** и «Промысел»****.

Стандартизация ССД проведена с 1996 по 2022 г. в общей линейной модели (GLM) по формуле (1) в языке программирования R, следуя методике, учитывающей индивидуальные различия по судам в дополнение к учёту различий по месяцам [Bentley et al., 2011].

* Все приложения размещены на странице статьи на сайте журнала [<http://izvestiya.tinro-center.ru>] как дополнительный файл.

** Свидетельство № 6394 от 01.08.2000 г. о регистрации в Государственном регистре базы данных за № 0220006765.

*** Свидетельство № 2017620882 от 11.08.2017 г. о государственной регистрации базы данных.

**** Свидетельство № 6393 от 01.08.2000 г. о регистрации в Государственном регистре базы данных № 0220006764.

Таблица 2

Число наблюденных станций с уловами макрурусов

Table 2

Number of fishing operations with catch of grenadiers

Год	Период работ	Судно	Море	Зона, подзона	Число учетных станций
2017	24.04–24.05	БМРТ «Николай Чепик»	СЗТО	Северо-Курильская зона, Тихоокеанская подзона	34
2019	02.05–24.06	ЯМС «Восток-1»	Охотское	Северо-Охотоморская	23
2019	28.06–03.07	ЯМС «Восток-1»	Охотское	Камчатско-Курильская	4
2020	01–06.10	ЯМС «Восток-8»	Берингово	Западно-Берингоморская	4
2020	09–21.10, 29.10–12.11	ЯМС «Восток-4»	Берингово	Западно-Берингоморская	20
2020	22–26.10	ЯМС «Восток-4»	Берингово	Карагинская	2
2020	13.11–10.12	ЯМС «Триумф»	Берингово	Западно-Берингоморская	19
2020	28.04–20.08	ЯМС «Триумф»	Охотское	Северо-Охотоморская	22
2020	08.06–25.07	ЯМС «Триумф»	Охотское	Камчатско-Курильская	17
2020	12–30.07	ЯМС «Триумф»	Охотское	Западно-Камчатская	16
2020	30.05–03.06	ЯМС «Триумф»	Охотское	Восточно-Сахалинская	4
2021	26.07–24.08, 20.09, 05–12.11, 26–27.11	ЯМС «Восток-7»	Берингово	Западно-Берингоморская	27
2021	01–09.09, 27.09–13.10, 13–19.11	ЯМС «Восток-7»	Берингово	Граница между Западно-Берингоморской зоной и Карагинской подзоной	28
2021	24–28.05	ЯМС «Триумф»	Охотское	Камчатско-Курильская	5
2021	22.05–28.09	ЯМС «Триумф»	Охотское	Западно-Камчатская	153
2021	29.05–22.09	ЯМС «Триумф»	Охотское	Северо-Охотоморская	44
2022	22–23.07	ЯМС «Восток-5»	Охотское	Восточно-Сахалинская	2
2022	24–25.07	ЯМС «Восток-5»	Охотское	Северо-Охотоморская	1
2022	30.07–21.08, 01–10.10	ЯМС «Восток-1»	Охотское	Северо-Охотоморская	29
2022	22.08–26.09, 13–28.10	ЯМС «Восток-1»	Охотское	Восточно-Сахалинская	42
2022	26–27.11	ЯМС «Восток-1»	Охотское	Камчатско-Курильская	2
2022	29.09–16.12	ЯМС «Восток-7»	Берингово	Западно-Берингоморская	111

$$\ln(c_i) = \alpha_{y_i}^Y + \alpha_{m_i}^M + \alpha_{v_i}^V + \alpha_{r_i}^R + \varepsilon, \quad (1)$$

где $\ln(c_i)$ — натуральный логарифм i -го улова c_i в тоннах за 1 день по каждому судну; $\alpha_{y_i}^Y$ — коэффициент i -го года (y_i) из вектора соответствующих коэффициентов Y , аналогичны коэффициенты по месяцам (M), кодам судов (V) и подзонам (R) при их наличии в зоне; ε — нормальная ошибка с математическим ожиданием на уровне общего смещения.

Подобные методы стандартизации в логнормальных линейных моделях были известны и рекомендованы ещё в прошлом веке [Beverton, Holt, 1957]. Стоит отметить, что, в отличие от оригинальной методики [Bentley et al., 2011], мы не использовали число операций, поскольку у нас нет информации о них до 2003 г., а до 2020 г. она не вызывает доверия.

Более точная и надёжная информация об операциях сохраняется с 2020 г. в ЭРЖ, что позволяет привлечь гораздо больше данных для стандартизации, включая сборы научных наблюдателей, в едином формате с ЭРЖ. Мы исследовали всевозможные конфигурации GLM, включая обобщённые аддитивные модели (GAM) [Venables, Dichmont, 2004].

Нулевые уловы в некоторых постановках не позволяют использовать логнормальные GLM. Альтернативным решением дельта-моделям для такой проблемы является аппроксимация наблюдений составным распределением Пуассона-Гамма (Твиди), которое, в отличие от логнормального и Гамма, гибче и приближается к ним при степенном параметре дисперсии, равном 2.

Мы следовали выверенной методике стандартизации на другом объекте [Кулик и др., 2020], но здесь исключили из стандартизации суточные особенности поверхности моря (температуру и концентрации льда) и погоды, которые для глубоководных рыб не могут иметь логично объяснимой связи. Оптимальная GAM определялась по информационному критерию Шварца-Байеса (BIC) в испытаниях более простых конфигураций, чем по формулам (2) полной модели

$$\begin{aligned} \text{Log}_e(\mu) &= \eta, E(C_i) = \mu_i = \exp(\eta_i), \sigma^2 = \mu^Y \phi, \\ \eta_i &= \beta^Y + \beta_{t_i}^T + \beta_{g_i}^G + \beta_{v_i}^V + ti(D) + ti(H) + ti(D, H) + XY, \end{aligned} \quad (2)$$

где μ — математическое ожидание $E(C_i)$ i -го улова в тоннах за 1 операцию; β^Y — коэффициент тренда с 2020 по 2022 г.; γ — степенной параметр дисперсии Твиди, который находится вместе с параметром масштаба дисперсии ϕ в пакете mgcv [Wood, 2011] для языка R; $\beta_{t_i}^T$ — коэффициент i -го целевого вида (t_i) [Bentley et al., 2011]; аналогичны коэффициенты по типам орудий лова (G) и кодам судов (V); ti — тензорное произведение для взаимодействий [Wood, 2017]; D — порядковый номер дня в году; H — глубина, м; $XY = ti(Lat) + ti(Lon) + ti(Lon, Lat)$; Lon — долгота и Lat — широта места постановки.

Модель по формуле (2) является корректирующей тренд последних 3 лет (с 2020 по 2022 г.) в модельной динамике биомассы, подаваемой как индекс численности на вход в ППП JABBA, но только в зоне ЗБМ, где его настройка ранее уже проводилась, а в остальных зонах корректировать ещё нечего. Общедоступность исходных текстов ППП JABBA в сети интернет [<https://github.com/jabbamodel/JABBA>] позволяет проверять вычисления, предлагать исправления при обнаружении ошибок и тестировать результаты моделирования в перспективе, что и было уже многократно сделано в различных региональных рыбохозяйственных организациях (РРХО) в ФАО [Winker et al., 2018], включая Комиссию по рыболовству в северной части Тихого океана [<https://www.npfc.int/alternative-stock-assessment-pacific-saury-western-north-pacific-ocean-using-jabba>], где ППП JABBA тестировался в сравнении с иными реализациями аналогичных моделей. Там уже была показана высокая сходимость результатов различных программных реализаций моделей прибавочной продукции в пространстве состояний, включая JABBA, между собой даже в таком тяжёлом случае для них, как короткоцикловый вид — сайра тихоокеанская [Oshima et al., 2019]. В связи с этим мы не видим необходимости в дополнительных проверках ППП JABBA в данной статье, а ниже приведём лишь его основные уравнения.

Состояние запаса в моделях прибавочной продукции или его истощение в начале текущего года определяется относительно девственной биомассы (K) по формуле (3):

$$P_y = B_y / K, \quad (3)$$

где P_y — состояние запаса в год y в долях K ; B_y — биомасса в начале текущего года.

Однако в JABBA состояние запаса вычисляется от предыдущего состояния (P_{y-1}) и величины улова рыболовным флотом (f) в предыдущий год ($y-1$): $C_{f,y-1}$ по формуле (4).

$$P_y = \begin{cases} \varphi e^{\eta_y} & \text{for } y = 1 \\ \left(P_{y-1} + \frac{r}{(m-1)} P_{y-1} (1 - P_{y-1}^{m-1}) - \frac{\sum_f C_{f,y-1}}{K} \right) e^{\eta_y} & \text{for } P_{y-1} \geq P_{\text{lim}} \text{ \& } y = 2, 3, \dots, n \\ \left(P_{y-1} + \frac{r}{(m-1)} P_{y-1} (1 - P_{y-1}^{m-1}) \frac{P_{y-1}}{P_{\text{lim}}} - \frac{\sum_f C_{f,y-1}}{K} \right) e^{\eta_y} & \text{for } P_{y-1} < P_{\text{lim}} \text{ \& } y = 2, 3, \dots, n \end{cases}, \quad (4)$$

где φ — начальное состояние (истощение) запаса в долях K в первый год наблюдений; η_y — нормальная ошибка процесса, оцениваемая для каждого года (y) отдельно; r —

мгновенное пополнение популяции; m — параметр формы обобщённой модели Пелла-Томлинсона; P_{lim} — состояние перелова по пополнению, которое здесь установлено равным 0,25 по верхней границе из рекомендуемого диапазона [Winker et al., 2018].

Первый шаг модели ($y = 1$) требует информации о начальном истощении запаса (φ) (см. формулу (4)). Если бы мы были уверены в том, что специализированный промысел малоглазого макруруса или его высокие уловы в рамках иных промыслов не существовали до начала 21 в., то мы задали бы $\varphi = 1$ с высокой точностью. Однако рис. 2 заставляет нас усомниться в данном предположении, поэтому во всех подзонах мы допустили нахождение запасов макрурусов на пике продуктивности ($\varphi = 0,5$) с высокой ошибкой в логарифмическом масштабе (0,5). Идентичным априорным распределением характеризовалось состояние запаса, приводящее к максимуму прибавочной продукции ($B/K = 0,5$), что сводило модель к Шеферовскому виду, но в формуле (3) она задаётся в обобщённом виде через параметр формы (m), используя равенство (5):

$$\frac{B_{MSY}}{K} = m \left(\frac{1}{m-1} \right). \quad (5)$$

Этот параметр формы (m), который равен 2 при $B_{MSY}/K = 0,5$, вместе с параметром мгновенного пополнения популяции (r) определяет MSY ориентир по промысловой убыли φ_F (здесь и далее $\varphi_F = F$, $\varphi_{Fmsy} = F_{MSY}$) по формуле (6):

$$F_{MSY} = \frac{r}{m-1} \left(1 - \frac{1}{m} \right). \quad (6)$$

Параметры логнормального априорного распределения для r подобраны так, чтобы 95 % распределения в естественном масштабе находились от 0,05 до 0,15, что соответствует запасам с низкой продуктивностью [Musick, 1999].

Вычисление MSY производится по формуле (7):

$$MSY = F_{MSY} B_{MSY}. \quad (7)$$

Значение B_{MSY} легко выводится из формулы (5) умножением левой и правой частей уравнения на K . Таким образом, MSY зависит от параметров r , m и K . Параметры логнормального априорного распределения для K подобраны так, чтобы 95 % распределения в естественном масштабе находились в зоне ЗБМ от 250 до 500 тыс. т, в зоне ВКам — от 150 до 300 тыс. т, в ОМ — от 100 до 510 тыс. т, в СКур зоне — от 100 до 400 тыс. т, а в зоне ЮКур — от 170 до 300 тыс. т. Пределы этих оценок взяты из предположений о максимальных значениях биомасс макрурусов, опубликованных в сборниках ТИНРО* и материалах ОДУ.

Наш успешный опыт настройки ППП JABBA для запасов макрурусов в зоне ЗБМ, подтверждённый прохождением государственной экологической экспертизы и общественных обсуждений с 2020 г., позволяет нам начать испытания данного ППП для оценки запасов макрурусов в соседних зонах. В России при обосновании ОДУ допускается использование моделей-аналогов, прошедших апробацию в международных организациях по рыболовству и профильных ведомствах развитых стран [Бабаян и др., 2018]. Выше мы уже отмечали, что ППП JABBA принят на вооружение различных РРХО в ФАО. Следовательно, мы имеем все основания провести исследование результатов применения ППП JABBA на примере малоглазого макруруса во всех зонах Дальнего Востока России, где для него выделяется ОДУ.

Результаты и их обсуждение

Анализ БД «Промысел» показал, что уловы малоглазого макруруса на Дальнем Востоке России нигде не превышали 108 т в 20-м в., но уловы других макрурусов, включая пепельного, превышали. Однако общая сумма уловов макрурусов из доступных записей в БД «Промысел» ни в один год того периода не достигла даже 1 тыс. т, в отличие

* Состояние промысловых ресурсов... [2022].

от десятков тысяч тонн, показанных на рис. 2 из других источников. Вероятно, в БД «Промысел» не учтены все уловы макрурусов. Следовательно, мы не можем утверждать, что промысловая убыль малоглазого макруруса в 20-м в. была незначительной, поэтому оставили априорное распределение φ в широких пределах, указанных выше в методике. В обратном случае мы смогли бы зажать априорное распределение φ в узких пределах и получить более определённые оценки всех остальных параметров и состояний запаса и промысла.

Отсутствие точных данных об уловах макрурусов по видам и их возрастном составе препятствует внедрению в практику методов виртуальных популяций для оценки состояния их запасов. Все подходы к виртуально-популяционному анализу имеют очень жёсткие требования: ряд наблюдений должен превышать продолжительность жизни рыб, а возрастной состав должен быть оценён точно и т.д. [Шибяев, 2017]. Первые два требования здесь нарушены: имеющиеся наблюдения размеров и определения возраста макрурусов пока не покрывают ни одну когорту по возрасту ни целиком, ни по промысловой части. Существующие размерно-возрастные ключи покрывают лишь малую часть размерного диапазона макрурусов, что не позволяет корректно оценить параметры уравнения роста и применить модели, структурированные по размерам. Следовательно, уровень информационного обеспечения в данной работе не максимальный (1-й), а 2-й согласно приказу Росрыболовства № 104 от 06.02.2015 г.

Итак, мы рассчитали индексы численности в GLM, которые оказались сильно изменчивыми (рис. 3) и с большими ошибками (рис. 4), и GAM для зоны ЗБМ, в которой обнаружена значимая отрицательная тенденция в последние годы (прил. 2). Ошибка индексов из ДТ съёмки задана тоже на высоком уровне (0,5), но во многих случаях она оказалась всё равно ниже, чем в промысловых индексах.

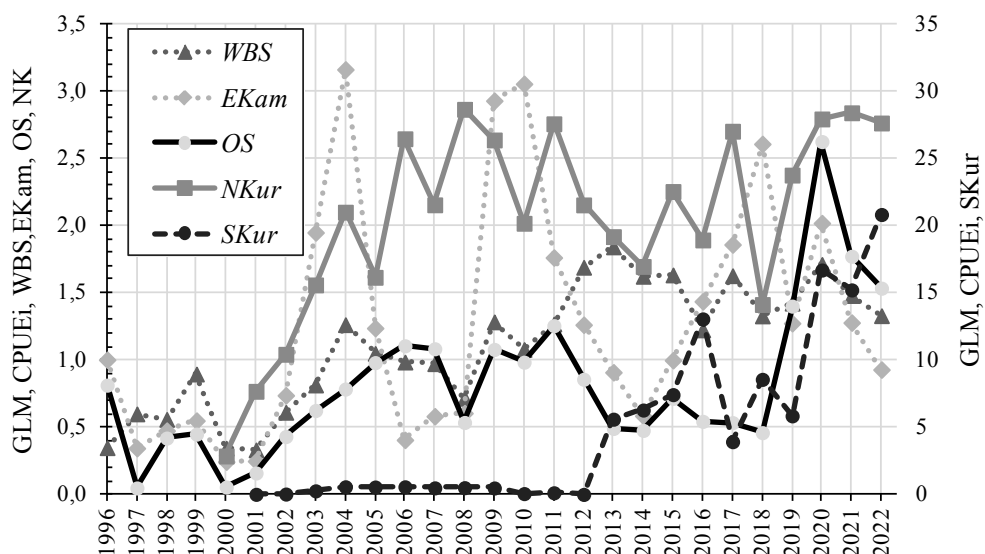


Рис. 3. Центрированные средними значениями в логарифмическом масштабе, а затем экспоненцированные CPUE макрурусов по данным ССД в GLM по формуле (1). Здесь и далее обозначения как на рис. 1

Fig. 3. CPUE of grenadiers calculated from the daily catch reports, standardized in GLM by formula (1), centered by mean values on logarithmic scale and exponentialized. Legend is similar to Fig. 1

Получив такие результаты, а также предположив систематическое занижение уловов с ошибкой 0,2, форму априорных распределений в пределах нахождения девственных биомасс в различных зонах, скорости мгновенного пополнения популяции для малопродуктивных видов, мы не находим никакой другой ППП лучше, чем JABBA, который способен учесть всю эту информацию.

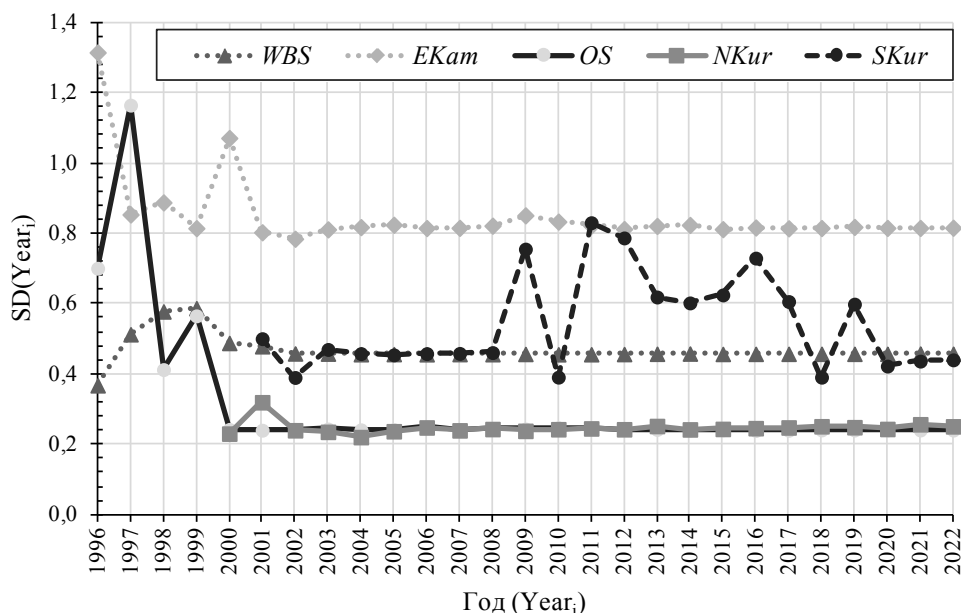


Рис. 4. Стандартные отклонения (SD) в логарифмическом масштабе CPUE макрурусов по данным ССД в GLM по формуле (1)

Fig. 4. Standard deviations for CPUE of grenadiers calculated from the daily catch reports, standardized in GLM by formula (1) and logarithmized

Применение байесовского подхода в ППП JABBA позволило оценить параметры и ориентиры, а также их неопределённость в обобщённой модели прибавочной продукции во всех зонах (прил. 3). Ретроспективный анализ показал устойчивость полученных оценок со срезами данных вплоть до 7 лет в прошлое. Показатель Мона (ρ) [Mohn, 1999] нигде не вышел за допустимые пределы от $-0,15$ до $0,20$ (прил. 4). Терминальная настройка показала, что во всех зонах запасы малоглазого макруруса не находились в девственном состоянии в начале периода моделирования, но стремились к нему до 2014 г. и находятся выше MSY ориентира, $P_y = 0,4$ (рис. 5). Отмечается снижение относительной биомассы малоглазого макруруса в ЗБМ зоне с 2015 г., а в остальных зонах запасы продолжают увеличиваться или только начинают снижение на фоне неслучайных ошибок биологических процессов (рис. 6).

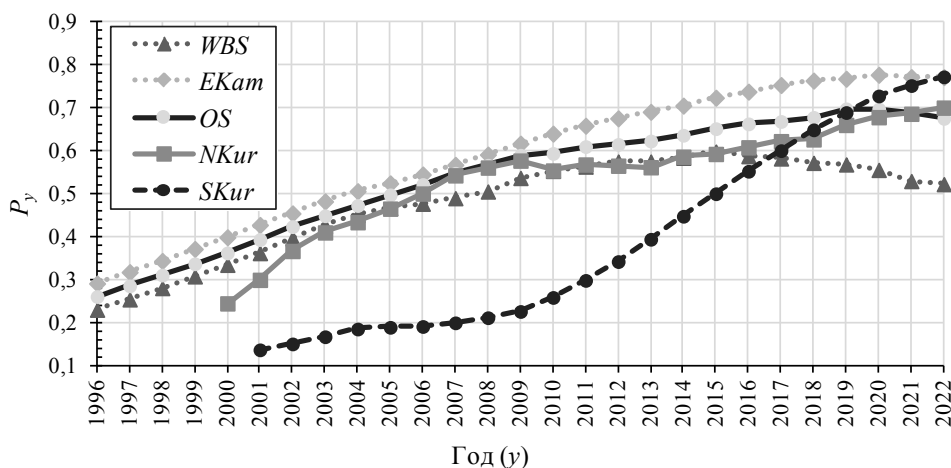


Рис. 5. Состояние запасов малоглазого макруруса по рыболовным зонам

Fig. 5. Status of the giant grenadier stock, by fishing zones

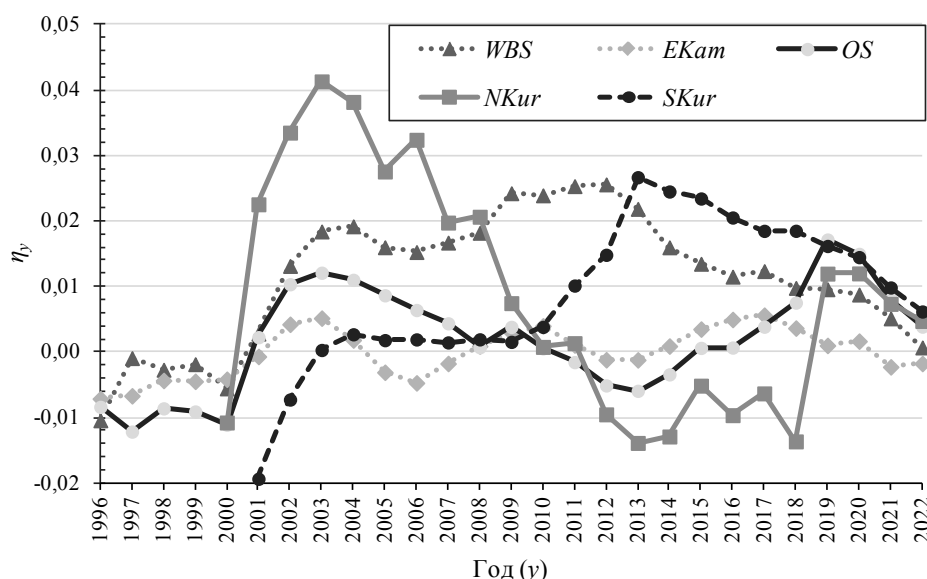


Рис. 6. Ошибка процесса в JABBA по рыболовным зонам
 Fig. 6. The process error in JABBA, by fishing zones

Ошибки процессов имеют тренды, обусловленные не учитываемыми в модели факторами. Они могут быть связаны со структурной неопределенностью модели, а также естественной изменчивостью биомассы запаса из-за стохастичности пополнения, естественной смертности, роста и созревания. Таким образом, эти результаты могут представлять интерес для дальнейшего исследования гидробиологами. Здесь важным следствием найденных неслучайных ошибок является то, что можно оценить их автокорреляцию и учесть в перспективных прогнозах при помощи ППП JABBA [Winker et al., 2018].

Наименьшие колебания этих ошибок отмечаются в ВКам зоне, а максимальные — в СКур и ЮКур зонах. В последней отмечается самое большое значение корня среднеквадратичной ошибки (RMSE) в настройке ППП JABBA — около 229 % (прил. 5). На третьем месте по размаху колебаний ошибок процессов находится настройка в ЗБМ зоне, хотя там RMSE минимальна — около 25 %. Это можно объяснить тем, что запас в ЗБМ зоне не является полностью независимым. С одной стороны, в соседней акватории — в восточной части Берингова моря — наблюдается схожая динамика индекса численности с отрицательной тенденцией в последние годы (рис. 7), а с другой — ошибки процессов в ЗБМ и ВКам зонах не были синфазны лишь с 2010 по 2015 г. (см. рис. 6).

Медианы и 95 %-ные доверительные интервалы скорости мгновенного пополнения в этих зонах идентичны, а их граничные ориентиры по эксплуатации различаются незначительно (рис. 8). Таким образом, высокая ошибка процесса в ЗБМ зоне при минимальной ошибке в настройке модели в целом, скорее всего, свидетельствует о миграциях рыб, например на стадии расселения молоди. Следовательно, имеет смысл рассматривать эти запасы не раздельно, а вместе. Единство популяции в Беринговом море может также подтверждаться широким распространением молоди малоглазого макрураса по всей мезопелагиали. Такое отделение молоди от взрослых особей, обитающих у дна материкового склона, вероятно, направлено на защиту молоди от каннибализма и помогает виду наиболее эффективно осваивать пищевые ресурсы ареала [Алфёров, 2022; Alferov, 2022].

Учитывая всю неопределённость параметров настроенных моделей, максимальный устойчивый вылов находится в очень широких пределах: от 25 до 88 тыс. т с медианой около 47,4 тыс. т (табл. 3).

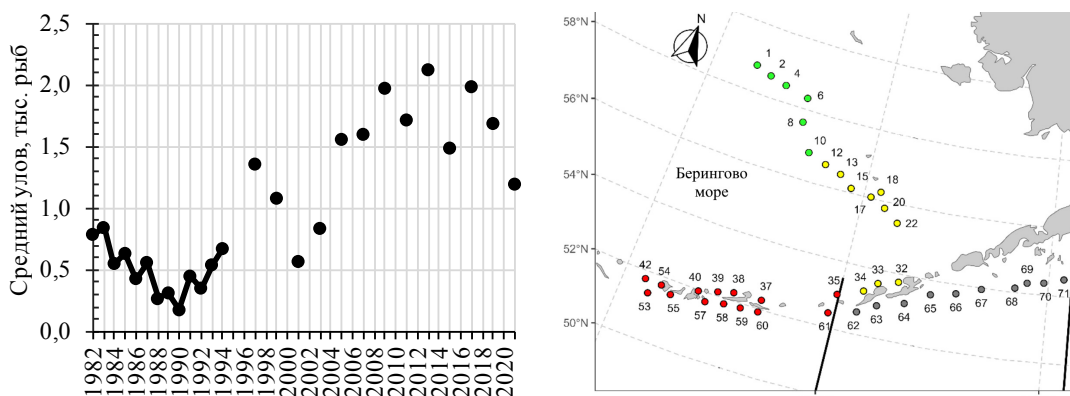


Рис. 7. Средний улов малоглазого макруруса (слева) в ярусных съёмках в восточной части Берингова моря по станциям 1–10, показанным на схеме (справа) зелёными кругами

Fig. 7. Average catch of giant grenadier for the stations 1–10 in longline surveys in the eastern Bering Sea (left panel) and the stations location shown with green circles (right panel) [https://apps-afsc.fisheries.noaa.gov/maps/longline/Map.php]

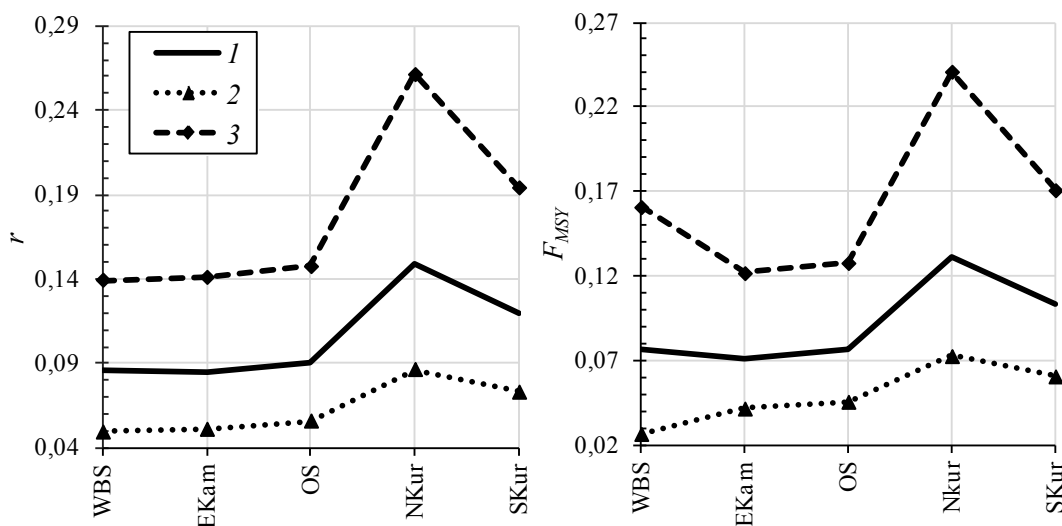


Рис. 8. Скорость мгновенного пополнения популяции — r (слева) и граничный ориентир по эксплуатации F_{MSY} (справа) по рыболовным зонам: 1 — медиана; 2 — нижняя граница 95 %-ного доверительного интервала; 3 — верхняя граница

Fig. 8. Instantaneous rate of recruitment r (left panel) and limiting reference point for exploitation rate F_{MSY} (right panel): 1 — median; 2, 3 — boundaries of 95 % credible interval

Таблица 3
Максимальный устойчивый вылов малоглазого макруруса по рыболовным зонам

Table 3

Maximum sustainable yield of giant grenadier, by fishing zones

Зона	Медиана	Нижняя граница 95 %-ного доверительного интервала	Верхняя граница 95 %-ного доверительного интервала
ЗБМ (WBS)	12,013	5,399	19,292
ВКам (EKam)	5,775	3,147	10,650
ОМ (OS)	6,526	3,186	15,125
СКур (NKur)	14,018	8,120	27,396
ЮКур (SKur)	9,084	5,194	15,760
Всего	47,416	25,046	88,223

Следует иметь в виду то, что благодаря использованию метода оценки параметров в пространстве состояний с неточным и предполагающимся заниженным уловом модель в ППП JABBA настроена на конгломерат реально эксплуатируемых видов с учётом их потерь из-за особенностей учёта вылова по продукции, разных темпов роста в неопределённости параметров формы (m) и мгновенного пополнения популяции (r), а также начального истощения (φ) и приёмной ёмкости (K). Разброс и оценки вылова, удовлетворяющего заданным условиям, показаны по зонам в приложении (прил. 6).

После предварительной настройки смоделировано по сто тысяч сочетаний параметров в каждой зоне в каждой из 16 цепочек Монте-Карло, из которых проанализировано 16 тыс., т.е. в срезах сохранена каждая сотая итерация. Каждое такое сочетание параметров представляет собой биологически уникальную, но виртуальную единицу запаса. А выводы производятся из сводной статистики, а не по единственному сочетанию параметров в каждой зоне.

Диагностика неслучайности колебаний апостериорных срезов оценок параметров произведена через индексы, определяющие их значимость [Heidelberger, Welch, 1983; Geweke, 1992]. Эти индексы одновременно не имели значимых отклонений у всех найденных параметров (прил. 7). Если бы индекс Geweke [1992] имел $p < 0,05$, то это бы значило, что критерий сходимости оценки параметра не достигнут, а если бы критерий стационарности [Heidelberger, Welch, 1983] был статистически значим ($p < 0,05$), то это бы свидетельствовало о том, что оценка параметра колебалась между несколькими значениями, зависая в окрестностях то одной, то другой. Следовательно, нужны были бы дополнительные итерации в предварительной настройке. В нашем случае можно утверждать, что по сто тысяч итераций после первичной настройки для каждой цепочки из 16 было достаточно и увеличивать число итераций нужды нет потому, что критерии стационарности и сходимости не имеют значимых отклонений от своих допущений.

Дополнительно проведено сравнение RMSE из результатов настроек по альтернативным априорным распределениям в ППП JABBA по следующим сценариям: 1 — изложенный в методике, 2 — $m = 2$, $B_{MSY}/K = 0,5$ ($CV = 0,05$), что практически приближает модель к классической «Шеферовской» симметричной кривой прибавочной продукции; 3 — $m = 3,39$, $B_{MSY}/K = 0,6$ ($CV = 0,05$), что допускает более медленный рост продукции при меньших биомассах, чем выходят из сценария 1; 4 — $\varphi = 0,4$ ($CV = 0,1$), $B_{MSY}/K = 0,4$ ($CV = 0,1$), т.е. старт на пике продуктивности, 5 — $\varphi = 0,8$ ($CV = 0,1$), $B_{MSY}/K = 0,4$ ($CV = 0,1$), т.е. биомасса выше оптимальной в 2 раза и близка к девственной.

Во всех этих альтернативных первому сценариях RMSE был выше (табл. 4). Следовательно, опубликованные выше результаты имеют наименьшие ошибки из всех исследованных нами результатов настройки. Конечно, ещё могут быть вопросы о том, почему параметр φ (или B_{MSY}/K) близок к не столь долгоживущим рыбам, как малоглазый макрурус. Пока мы можем лишь спекулировать о вероятном внешнем пополнении и о том, что у молоди совсем другая экология — они живут рассеянно в толще мезопелагиали [Новиков, 1970], их уносит течениями далеко от места рож-

Таблица 4

RMSE альтернативных сценариев настройки ППП JABBA в сравнении с основным (1)

Table 4

RMSE for alternative scenarios of JABBA tuning compared to the basic scenario (1)

Зона	Сценарий				
	1	2	3	4	5
WBS	25,2	25,9	26,4	27,2	31,1
EKam	69,6	70,6	72,4	71,1	78,2
NKur	43,6	45,6	45,3	47,7	58,9
OS	86,9	88,1	90,8	89,7	98,0
SKur	228,6	237,2	242,8	251,0	266,3

дения (материкового склона), кормовая база молоди в разы богаче, но при высокой промысловой биомассе (когда крупных особей много) при взрослении и переходе на придонный образ жизни молодь может быть уничтожена более крупными сородичами или их конкуренция так сильно возрастает, что рост останавливается, так как ареал при взрослении сжимается с акватории огромных морских мезопелагических бассейнов до узеньких диапазонов изобат материкового склона. При низкой биомассе крупных особей быстрый рост промысловой биомассы может обеспечиваться тем, что молоди есть ещё куда расти и её некому употребить в пищу или/и ей пищи ещё достаточно для быстрого роста.

В любом случае состояние запасов макрурусов в 2022 г. находилось в безопасной зоне графика Кобэ ($B > B_{MSY}$ и $F < F_{MSY}$), но минимальная вероятность нахождения в опасной зоне (менее 1 %) обнаружена только в зонах Курильских островов и ВКам (рис. 9). Наибольшие опасения вызывают самые холодные части ареала — зоны ОМ и ЗБМ. Последняя эксплуатируется сильнее прочих и уже имеет отрицательное направление в динамике состояния запаса (см. рис. 5 и 9). В рамках выбранных допущений истощение запаса началось из-за длительного превышения уловами прибавочной продукции (рис. 10). Аналогичное ухудшение состояния запаса скоро может произойти в зоне Охотское море при сохранении уловов последних 3 лет, которые превышали прибавочную продукцию. В остальных зонах запасы скорее являются недоловленными, что связано с организационными причинами, например недостаточным числом судов, оборудованных современными автоматическими ярусными линиями, способными работать на больших глубинах и сложном рельефе дна.

Заключение

Данное исследование решает важный прикладной вопрос количественной оценки запасов малоглазого макруруса в нескольких промысловых зонах Тихого океана, поскольку ранее численное моделирование запасов не проводилось во всех зонах кроме ЗБМ и не публиковалось в научных рецензируемых журналах по всем зонам, так как не были известны ориентиры управления, являющиеся важными биологическими характеристиками популяций, а также не имелось статистически обоснованных оценок динамики запаса. Здесь показано, что информационное обеспечение для оценки состояния запасов малоглазого макруруса во всех рыболовных зонах соответствует 2-му уровню. Этот уровень допускает использование выбранного ППП JABBA, который, в свою очередь, позволил учесть максимум имеющейся информации, вызывающей наше доверие, с учётом ошибок её нахождения и априорных распределений ключевых биологических параметров. Во всех зонах малоглазый макрурус не является переловленным, но в ЗБМ вероятность такого состояния наименьшая (53,4 %), там запас уже истощается. Максимальный устойчивый вылов по всем зонам найден в широких пределах 95 %-ного доверительного интервала: от 25 до 88 тыс. т с медианой около 47,4 тыс. т, что незначительно выше суммарных уловов последних лет. При этом в зонах ЗБМ и ОМ уловы уже превышают прибавочную продукцию, поэтому рекомендуем их там снизить.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают признательность всем участникам научных рейсов и наблюдателям на промысле макрурусов на Дальнем Востоке России, а также персонально В.Н. Тупоногову, чьи материалы или экспертные заключения использованы для настройки моделей. Отдельная благодарность Центру системы мониторинга рыболовства и связи за ведение и предоставление доступа к базе данных ОCM.

The authors are thankful to all participants of scientific surveys and observers aboard commercial fishing vessels who collected the data on grenadier species in the Far-Eastern Seas of Russia and North-West Pacific, and personally to V.N. Tuponogov whose materials

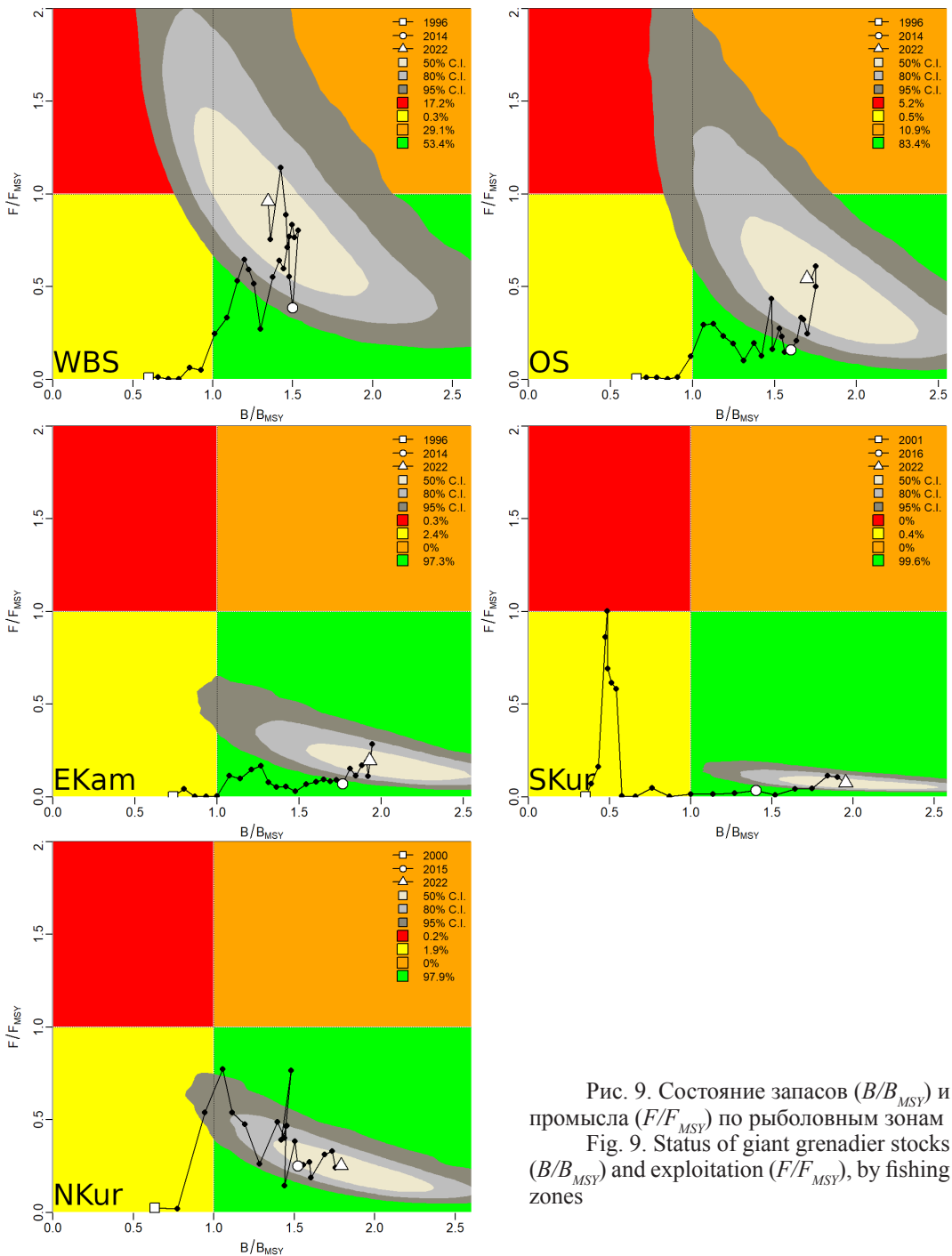


Рис. 9. Состояние запасов (B/B_{MSY}) и промысла (F/F_{MSY}) по рыболовным зонам
Fig. 9. Status of giant grenadier stocks (B/B_{MSY}) and exploitation (F/F_{MSY}), by fishing zones

and estimates were used for the models tuning. Special thanks to the Federal State Budgetary Institution “Center for the Fisheries Monitoring System and Communications” for maintaining and providing access to the database of fishery monitoring system.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.
The study had no sponsor funding.

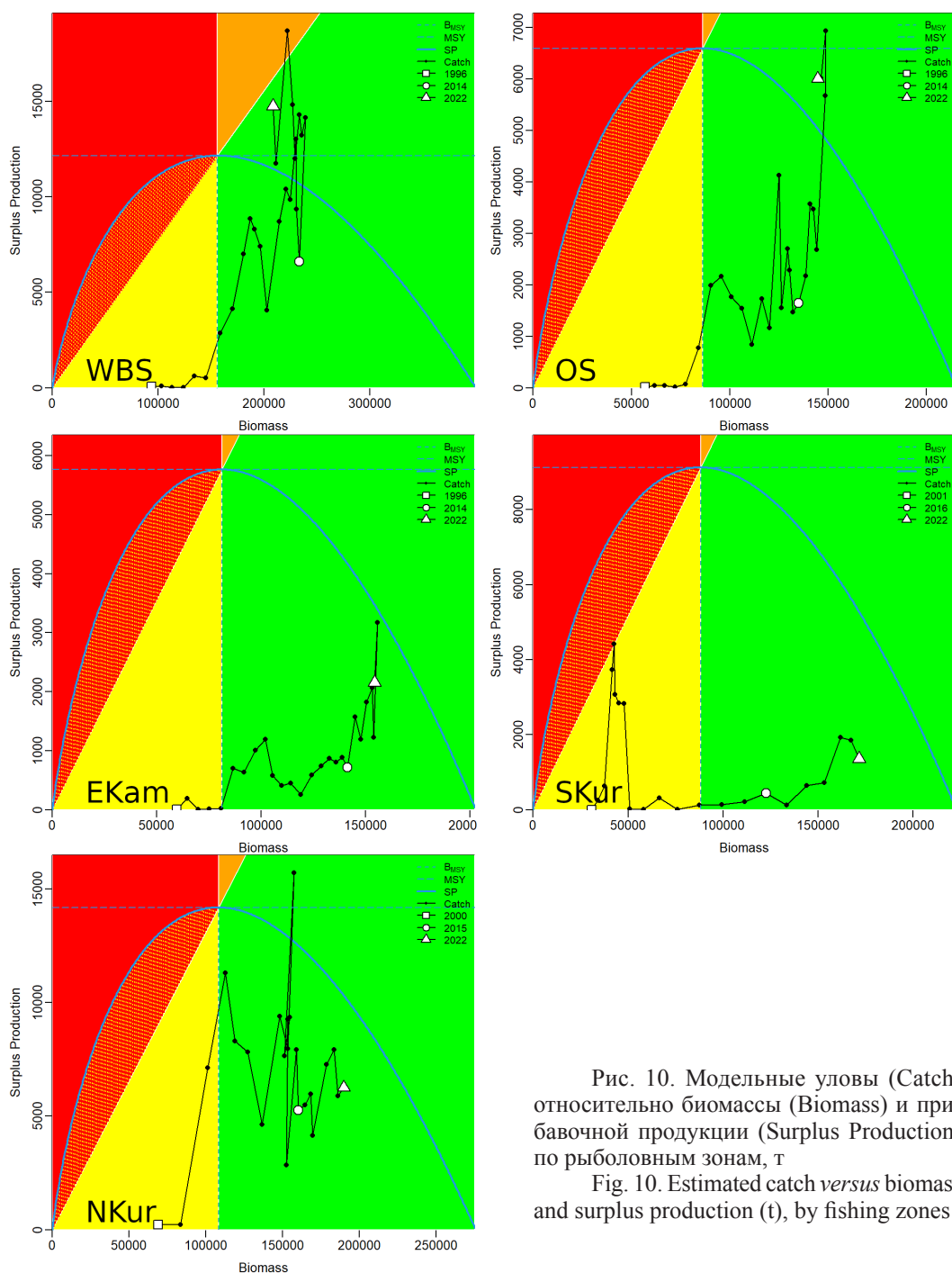


Рис. 10. Модельные уловы (Catch) относительно биомассы (Biomass) и прибавочной продукции (Surplus Production) по рыболовным зонам, т
Fig. 10. Estimated catch *versus* biomass and surplus production (t), by fishing zones

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed. The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования, настройка JABBA, написание текста, редакторская правка — В.В. Кулик; сбор и обработка материалов исследований на ярусном промысле, описание материалов — А.И. Алфёров и М.И. Горюнов. Совместно обсуждены полученные результаты.

Concept of research, model tuning, and text writing and editing — V.V. Kulik; longline fishery data collection, processing, and description — A.I. Alferov and M.I. Goryunov. All results were discussed jointly.

Список литературы

Алфёров А.И. Встречаемость молоди семейства MACROURIDAE в Беринговом море в период с 1963 по 2020 г. // Морские исследования и Образование (MARESEDU) — 2022 : тр. 11-й междунар. науч.-практ. конф. — Тверь : Полипресс, 2022. — Т. 3. — С. 295–301.

Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И. и др. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. — М. : ВНИРО, 2018. — 312 с.

Барышко М.Е. Рыбная промышленность Дальнего Востока : моногр. — 2-е изд., перераб. и доп. — Владивосток : ЛАИНС, 2012. — 739 с.

Кулик В.В., Варкентин А.И., Ильин О.И. Стандартизация уловов на усилие минтая в северной части Охотского моря с учетом некоторых факторов среды // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 4. — С. 819–836. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-819-836.

Новиков Н.П. Биология малоглазого долгохвоста *Chalinura pectoralis* в северной части Тихого океана // Тр. ВНИРО. — Т. 70 : Изв. ТИНРО. — Т. 72. — 1970. — С. 300–326.

Новиков Н.П. Промысловые рыбы материкового склона северной части Тихого океана : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1974. — 307 с.

Тупоногов В.Н. Экология малоглазого долгохвоста : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1991. — 24 с.

Тюрин П.В. Фактор естественной смертности рыб и его значение при регулировании рыболовства // Вопр. ихтиол. — 1962. — Т. 2, вып. 3(24). — С. 403–427.

Шибяев С.В. Промысловая ихтиология : учеб. — 2-е изд., стер. — СПб. : Проспект Науки, 2017. — 400 с.

Alferov A.I. Distribution of giant grenadier (*Albatrossia pectoralis*) at different stages of ontogenesis in the Bering Sea // Book of Abstracts “Sustainability of Marine Ecosystems through global knowledge networks during the UN Decade of Ocean Science”. — Busan : PICES, 2022. — P. 137.

Alverson D.L., Pereyra W.T. Demersal fish Exploration in the Northern Pacific Ocean — An evolution of Exploratory Fishing Methods and Analytical Approaches to Stock Size and Yield Forecasts // J. Fish. Res. Bd Canada. — 1969. — Vol. 26, № 8. — P. 1985–2001. DOI: 10.1139/f69-188.

Andrews A.H., Cailliet G.M., and Coale K.H. Age and growth of Pacific grenadier (*Coryphaenoides acrolepis*) with age estimate validation using an improved radiometric ageing technique // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1999. — Vol. 56, № 8. — P. 1339–1350.

Bentley N., Kendrick T.H., Starr P.J., Breen P.A. Influence plots and metrics: tools for better understanding fisheries catch-per-unit-effort standardizations // ICES J. Mar. Sci. — 2011. — Vol. 69, Iss. 1. — P. 84–88. DOI: 10.1093/icesjms/fsr174.

Beverton R.J.H., Holt S.J. On the dynamics of exploited fish populations. — L. : Chapman and Hall, 1957. — 533 p.

Burton E.J. Radiometric age determination of the giant grenadier (*Albatrossia pectoralis*) using ^{210}Pb - ^{226}Ra disequilibria : master's thesis. — California : San Francisco State University, 1999. — 91 p.

Devine J.A., Watling L., Cailliet G. et al. Evaluation of potential sustainability of deep-sea fisheries for grenadiers (Macrouridae) // J. Ichthyol. — 2012. — Vol. 52, № 10. — P. 709–721. DOI: 10.1134/S0032945212100062.

Geweke J. Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments // Bayesian Statistics 4. — England : Clarendon Press, 1992. — P. 169–193.

Heidelberger Ph., Welch P.D. Simulation Run Length Control in the Presence of an Initial Transient // Operations Research. — 1983. — Vol. 31, №. 6. — P. 1109–1144. DOI: 10.1287/opre.31.6.1109.

Mohn R. The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data // ICES J. Mar. Sci. — 1999. — Vol. 56. — P. 473–488.

Musick J.A. Criteria to define extinction risk in marine fishes: The American Fisheries Society Initiative // Fisheries. — 1999. — Vol. 24, Iss. 12. — P. 6–14. DOI: 10.1577/1548-8446(1999)024<0006:CT-DERI>2.0.CO;2.

Orlov A.M., Antonov N.P., Afanasiev P.K. Giant grenadier *Albatrossia pectoralis* in the catches of the deepwater fishing traps in Russian far-eastern waters // J. Ichthyol. — 2012. — Vol. 52. — P. 722–739. DOI: 10.1134/S0032945212100037.

Oshima K., Hashimoto M., Fuji T., Nakayama S.-I. Trial application of JABBA to Pacific saury stock assessment : NPFC-2019-SSC PS05-WP19. — Tokyo, 2019. <https://www.npfc.int/trial-application-jabba-pacific-saury-stock-assessment>.

Plummer M. JAGS: A program for analysis of Bayesian graphical models using Gibbs sampling // Proceedings of the 3rd international workshop on distributed statistical computing. — 2003. — Vol. 124, № 125.10. — P. 1–10.

Rodgveller C., Siwicke K. Assessment of the Grenadier Stock Complex in the Gulf of Alaska, Eastern Bering Sea, and Aleutian Islands : NPFMC Bering Sea, Aleutian Islands and Gulf of Alaska SAFE. — 2020. — 27 p. <https://apps-afsc.fisheries.noaa.gov/refm/docs/2020/Grenadiers.pdf>.

Rodgveller C.J., Clausen D.M., Nagler J.J., Hutchinson C. Reproductive characteristics and mortality of female giant grenadiers in the northern Pacific Ocean // Mar. Coast. Fish.: Dynamics, Management, and Ecosystem Sci. — 2010. — Vol. 2, Iss. 1. — P. 73–82. DOI: 10.1577/C09-028.1.

Siddon E. Ecosystem Status Report 2022: Eastern Bering Sea, Stock Assessment and Fishery Evaluation Report. — Alaska, 2022. — 227 p.

Venables W.N., Dichmont C.M. GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of theory for applications in fisheries research // Fish. Res. — 2004. — Vol. 70, Iss. 2–3. — P. 319–337. DOI: 10.1016/j.fishres.2004.08.011.

Winker H., Carvalho F., Kapur M. JABBA: Just Another Bayesian Biomass Assessment // Fish. Res. — 2018. — Vol. 204. — P. 275–288. DOI: 10.1016/j.fishres.2018.03.010.

Wood S.N. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models // J.R. Statist. Soc. B (Statistical Methodology). — 2011. — Vol. 73, Iss. 1. — P. 3–36. DOI: 10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x.

Wood S.N. Generalized Additive Models: An Introduction with R. — N.Y. : Chapman and Hall/CRC, 2017. — 2nd ed. — 496 p. DOI: 10.1201/9781315370279.

Zhou S., Punt A.E., Deng R., Dichmont C.M. Stock assessment of short-lived invertebrates using hierarchical Bayesian models // 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation. — 2009. — P. 383–389. <https://mssanz.org.au/modsim09/A6/zhou.pdf>.

References

Alferov, A.I., Occurrence of juveniles of the MACROURIDAE family in the Bering Sea from 1963 to 2020, in *Tr. 11-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Morskiye issledovaniya i Obrazovaniye (MARESEDU) — 2022"* (Tr. 11th Intern. scientific-practical. conf "Marine Research and Education (MARESEDU) — 2022"), Tver: Polypress, 2022, vol. 3, pp. 295–301.

Babayan, V.K., Bobyrev, A.E., Bulgakova, T.I., Vasiliev, D.A., Ilyin, O.I., Kovalev, Yu.A., Mikhailov, A.I., Mikheev, A.A., Petukhova, N.G., Safaraliev, I.A., Chetyrkin, A.A., and Sheremetyev, A.D., *Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke zapasov prioritnykh vidov vodnykh biologicheskikh resursov* (Guidelines for assessing stocks of priority types of aquatic biological resources), Moscow: VNIRO, 2018.

Baryshko, M.E., *Rybnaya promyshlennost' Dal'nego Vostoka* (Fisheries at the Far East), Vladivostok: LAINS, 2012, 2nd ed.

Kulik, V.V., Varkentin, A.I., and Ilyin, O.I., Standardization of CPUE for walleye pollock in the Okhotsk Sea with inclusion of some environmental factors, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 4, pp. 819–836. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-819-836

Novikov, N.P., Biology of giant grenadier *Chalinura pectoralis* in the northern part of the Pacific Ocean, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1970, vol. 70, pp. 300–326.

Novikov, N.P., *Promyslovyye ryby materikovogo sklona severnoi chasti Tikhogo okeana* (Commercial Fishes of the Continental Slope of the northern Pacific Ocean), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1974.

Tuponogov, V.N., Ecology of the giant grenadier, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevost. Otd. Akad. Nauk SSSR, 1991.

- Tyurin, P.V.**, Factor of natural mortality of fish and its importance in the regulation of fisheries, *Vopr. Ikhtiol.*, 1962, vol. 2, no. 3(24), pp. 403–427.
- Shibaev, S.V.**, *Promyslovaya ikhtologiya: uchebnik* (Commercial ichthyology), Saint-Petersburg: Prospekt Nauki, 2017, 2nd ed.
- Alferov, A.I.**, Distribution of giant grenadier (*Albatrossia pectoralis*) at different stages of ontogenesis in the Bering Sea, *Book of Abstracts "Sustainability of Marine Ecosystems through global knowledge networks during the UN Decade of Ocean Science"*, Busan: PICES, 2022.
- Alverson, D.L. and Pereyra, W.T.**, Demersal fish Exploration in the Northern Pacific Ocean — An evolution of Exploratory Fishing Methods and Analytical Approaches to Stock Size and Yield Forecasts, *J. Fish. Res. Bd Canada*, 1969, vol. 26, no. 8, pp. 1985–2001. doi 10.1139/f69-188
- Andrews, A.H., Cailliet, G.M., and Coale, K.H.**, Age and growth of Pacific grenadier (*Coryphaenoides acrolepis*) with age estimate validation using an improved radiometric ageing technique, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1999, vol. 56, no. 8, pp. 1339–1350.
- Bentley, N., Kendrick, T.H., Starr, P.J., and Breen, P.A.**, Influence plots and metrics: tools for better understanding fisheries catch-per-unit-effort standardizations, *ICES J. Mar. Sci.*, 2011, vol. 69, no. 1, pp. 84–88. doi 10.1093/icesjms/fsr174
- Beverton, R.J.H. and Holt, S.J.**, *On the dynamics of exploited fish populations*, London: Chapman and Hall, 1957.
- Burton, E.J.**, Radiometric age determination of the giant grenadier (*Albatrossia pectoralis*) using ²¹⁰Pb-²²⁶Ra disequilibria : master's thesis, California: San Francisco State University, 1999.
- Devine, J.A., Watling, L., Cailliet, G., Drazen, J., Duran, M.P., Orlov, A.M., and Bezaury, J.**, Evaluation of potential sustainability of deep-sea fisheries for grenadiers (Macrouridae), *J. Ichthyol.*, 2012, vol. 52, no. 10, pp. 709–721. doi 10.1134/S0032945212100062
- Geweke, J.**, Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments, *Bayesian Statistics 4*, England: Clarendon Press, 1992, pp. 169–193.
- Heidelberger, Ph. and Welch, P.D.**, Simulation Run Length Control in the Presence of an Initial Transient, *Operations Research*, 1983, vol. 31, no. 6, pp. 1109–1144. doi 10.1287/opre.31.6.1109
- Mohn, R.**, The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data, *ICES J. Mar. Sci.*, 1999, vol. 56, pp. 473–488.
- Musick, J.A.**, Criteria to define extinction risk in marine fishes: The American Fisheries Society Initiative, *Fisheries*, 1999, vol. 24, no. 12, pp. 6–14. doi 10.1577/1548-8446(1999)024<0006:CTDERI>2.0.CO;2
- Orlov, A.M., Antonov, N.P., and Afanasiev, P.K.**, Giant grenadier *Albatrossia pectoralis* in the catches of the deepwater fishing traps in Russian far-eastern waters, *J. Ichthyol.*, 2012, vol. 52, pp. 722–739. doi 10.1134/S0032945212100037
- Oshima, K., Hashimoto, M., Fuji, T., and Nakayama, S.-I.**, Trial application of JABBA to Pacific saury stock assessment, *NPFC-2019-SSC PS05-WP19*, Tokyo, 2019. <https://www.npfc.int/trial-application-jabba-pacific-saury-stock-assessment>. Cited March, 2023.
- Plummer, M.**, JAGS: A program for analysis of Bayesian graphical models using Gibbs sampling, *Proceedings of the 3rd international workshop on distributed statistical computing*, 2003, vol. 124, no. 125.10, pp. 1–10.
- Rodgveller, C. and Siwicke, K.**, Assessment of the Grenadier Stock Complex in the Gulf of Alaska, Eastern Bering Sea, and Aleutian Islands, *NPFMC Bering Sea, Aleutian Islands and Gulf of Alaska SAFE*, 2020, 27 p. <https://apps-afsc.fisheries.noaa.gov/refm/docs/2020/Grenadiers.pdf>.
- Rodgveller, C.J., Clausen, D.M., Nagler, J.J., and Hutchinson, C.**, Reproductive characteristics and mortality of female giant grenadiers in the northern Pacific Ocean, *Mar. Coast. Fish.: Dynamics, Management, and Ecosystem Sci.*, 2010, vol. 2, iss. 1, pp. 73–82. doi 10.1577/C09-028.1
- Siddon, E.**, *Ecosystem Status Report 2022: Eastern Bering Sea, Stock Assessment and Fishery Evaluation Report*, Alaska, 2022.
- Venables, W.N. and Dichmont, C.M.**, GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of theory for applications in fisheries research, *Fish. Res.*, 2004, vol. 70, no. 2–3, pp. 319–337. doi 10.1016/j.fishres.2004.08.011
- Winker, H., Carvalho, F., and Kapur, M.**, JABBA: Just Another Bayesian Biomass Assessment, *Fish. Res.*, 2018, vol. 204, pp. 275–288. doi 10.1016/j.fishres.2018.03.010
- Wood, S.N.**, Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models, *J.R. Statist. Soc. B (Statistical Methodology)*, 2011, vol. 73, no. 1, pp. 3–36. doi 10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x
- Wood, S.N.**, *Generalized Additive Models: An Introduction with R*, New York: Chapman and Hall/CRC, 2017, second edition. doi 10.1201/9781315370279

Zhou, S., Punt, A.E., Deng, R., and Dichmont, C.M., Stock assessment of short-lived invertebrates using hierarchical Bayesian models, *18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation*, 2009, pp. 383–389. <https://mssanz.org.au/modsim09/A6/zhou.pdf>.

Sostoyaniye promyslovykh resursov Dal'nevostochnogo rybokhozyaystvennogo basseyna — 2022 g. (State of commercial resources of the Far Eastern fishery basin — 2022) Vladivostok: TINRO, 2022.

R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing.* R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023, version 4.2.2. <https://www.R-project.org/>. Cited March 02, 2023.

<https://fishnews.ru/rubric/krupnyim-planom/12534>. Cited March 02, 2023.

Svidetel'stvo № 6394 ot 01.08.2000 g. o registratsii v Gosudarstvennom registre bazy dannykh za № 0220006765 «Morskaja biologiya» (Certificate No. 6394 dated August 1, 2000 on registration in the State Register of the database No. 0220006765 “Marine biology”).

Svidetel'stvo № 2017620882 ot 11.08.2017 g. o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh «Yarusnyy promysel» (Certificate No. 2017620882 dated August 11, 2017 on state registration of the “Longline Fishery” database).

Svidetel'stvo № 6393 ot 01.08.2000 g. o registratsii v Gosudarstvennom registre bazy dannykh za № 0220006764 «Promysel» (Certificate No. 6393 dated August 1, 2000 on registration in the State Register of the database No. 0220006764 “Fishery”).

Russia, Alternative stock assessment of Pacific saury in the western North Pacific Ocean using JABBA, *NPFC-2019-TWG PSSA04-WP04*, Tokyo, 2019. <https://www.npfc.int/alternative-stock-assessment-pacific-saury-western-north-pacific-ocean-using-jabba>. Cited March 02, 2023.

Поступила в редакцию 10.04.2023 г.

После доработки 2.05.2023 г.

Принята к публикации 30.05.2023 г.

*The article was submitted 10.04.2023; approved after reviewing 2.05.2023;
accepted for publication 30.05.2023*