

Научная статья

УДК 639.22:597.556.334.1

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-850-860

EDN: LHIQJR



СТАНДАРТИЗАЦИЯ УЛОВОВ НА УСИЛИЕ
ТИХООКЕАНСКОЙ СКУМБРИИ *SCOMBER JAPONICUS*
В ПРИКУРИЛЬСКИХ ВОДАХ

Э.П. Черниенко, И.С. Черниенко*

Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. По данным промысловой статистики за 2015–2021 гг. выполнена стандартизация целевых траловых уловов японской скумбрии *Scomber japonicus* в исключительной экономической зоне Российской Федерации. В качестве предикторов были использованы производственные и природные факторы. Для анализа влияния предикторов применяли обобщенные аддитивные модели (GAM), выбор наилучшей модели произведен при помощи информационных критериев Акаике (AIC) и Шварца (BIC). Значение объясненной дисперсии в GAM для японской скумбрии Южно-Курильской подзоны составило 63 %. Выбранная модель включает в себя координаты, день года, длину судна, мощность двигателя, ежедневное усилие (количество судов на промысле) и температуру поверхности океана (SST). Дана интерпретация характера влияния рассматриваемых факторов на величину улова на усилие. Показано, что влияние природных и производственных факторов оказывает значимое действие на оценку индексов биомассы, что, в свою очередь, ведет к искажению оценки численности и некорректному прогнозу запаса.

Ключевые слова: промысловая статистика, индексы обилия, стандартизация уловов, аддитивные линейные модели, Тихий океан, японская скумбрия

Для цитирования: Черниенко Э.П., Черниенко И.С. Стандартизация уловов на усилие тихоокеанской скумбрии *Scomber japonicus* в прикурильских водах // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 850–860. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-850-860. EDN: LHIQJR.

Original article

Standardization of catch per unite effort for chub mackerel *Scomber japonicus*
in the waters at Kuril Islands

Emilia P. Chernienko*, Igor S. Chernienko**

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

4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

* leading specialist, emilya.chernienko@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-4605-742X

** Ph.D., leading researcher, chernienko.igor@gmail.com, ORCID 0000-0002-6410-0081

* Черниенко Эмилия Петровна, ведущий специалист, emilya.chernienko@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-4605-742X; Черниенко Игорь Сергеевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, igor.chernienko@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-6410-0081.

© Черниенко Э.П., Черниенко И.С., 2022

Abstract. Chub mackerel became an important object of Russian fishery in the North-West Pacific since 2015. Annual catch of the species by Russian fleet reached 87,388 t in 2021. The data of trawl catches by Russian fishing vessels in the national waters in autumn of 2015–2021 are considered for possibility of CPUE standardization taking into account the factors of fishing gear and environments. Generalized additive models (GAM) were used as the method, the best model was chosen using the information criteria of Akaike and Schwarz. The selected model explains 63% of dispersion and includes such predictors as coordinates of catch, date of catch, vessel length, engine power, number of fishing vessels, and SST. Influence of these factors on CPUE is interpreted and discussed.

Keywords: fishery statistics, fish abundance, catch standardization, generalized additive model, North-West Pacific, chub mackerel

For citation: Chernienko E.P., Chernienko I.S. Standardization of catch per unite effort for chub mackerel *Scomber japonicus* in the waters at Kuril Islands, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 850–860. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-850-860. EDN: LHIQJR.

Введение

Качество оценки запаса и выполненного на ее основе прогноза зависит от качества собранной информации и ее интерпретации. Входными данными для моделей, применяемых при оценке запаса, прогнозировании и определении возможного изъятия, служат индексы обилия — величины, связанные с численностью или биомассой запаса, получаемые из различных источников. Типичными источниками информации являются учетные съемки, наблюдения на промысле, а также данные судовых суточных донесений (ССД).

Большинство используемых в настоящее время моделей предполагает прямую связь между индексом и запасом [Newman et al., 2014]. В реальности это условие соблюдается не всегда. Кроме того, информация, получаемая из различных источников, неизбежно искажается. Природа части этих искажений нам неизвестна, и мы считаем их случайными. Часть искажений вызвана причинами, которые могут быть учтены при анализе и обработке исходных материалов. Это могут быть факторы, связанные с природными условиями, — сезонной динамикой уловов, обусловленной особенностями жизненного цикла промысловых объектов, структурой района обитания, склонностью особей к образованию плотных скоплений при низкой численности и т.д. Нарушения прямой связи индекса с обилием запаса также могут быть связаны с производственными факторами, например типом судна, промысловой нагрузкой на ресурс, состоянием судна, квалификацией команды. Из года в год промысловая нагрузка может различаться по месяцам, тяготеть к различным участкам промыслового района.

Эти и любые другие факторы могут быть учтены при конструировании модели наблюдения [Newman et al., 2014], однако усложнение модели может привести к вычислительным сложностям, которые сделают корректный прогноз невозможным [Auger-Méthé et al., 2016]. Указанной проблемы можно избежать путем стандартизации — приведением индекса к некоторому набору фиксированных значений факторов. Стандартизация широко используется в практике оценки и прогнозирования запасов [Quinn, Deriso, 1999]. Например, стандартизация является обязательной процедурой для оценки запасов трансграничных объектов в рамках Комиссии по рыболовству в северной части Тихого океана (СТО), Комиссией разработаны протоколы, регламентирующие рассматриваемую процедуру.

Для стандартизации уловов на усилие используют обобщенные линейные модели (Generalized Linear Model, GLM) [Hilborn, Walters, 1992; Quinn, Deriso, 1999; Maunder, Punt, 2004]. В качестве фиксированных, т.е. стандартных, значений факторов могут выбираться наиболее часто встречающиеся (средние, медианные, модальные и т.д.) либо значения, выбранные экспертно из тех или иных соображений как наиболее показательные.

Влияние внешних факторов на удельный улов, как правило, имеет нелинейный характер. Нелинейный характер может быть учтен путем представления факторов как

категориальных переменных [Баканев, 2019; Буяновский, 2019, 2020]. В этом случае возникают вычислительные сложности, связанные с увеличением числа оцениваемых параметров. Кроме того, полученные результаты довольно сложно интерпретировать.

Более гибким способом учета нелинейных эффектов является использование аддитивных линейных моделей (Generalized Additive Model, GAM) [Wood, 2017]. Указанный вид моделей применяется для моделирования эффекта сплайн-функции [Hastie, Tibshirani, 2014], что позволяет не только гибко учитывать влияние номинального значения фактора, но и в большинстве случаев интерпретировать полученный результат. Стандартизация индексов запаса с использованием GAM нашла применение как в международных организациях [Kulik, 2017; Chernienko, Chernienko, 2022], так и в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне России, для стандартизации уловов минтая в Охотском море [Кулик и др., 2020] и промысловых ракообразных [Черниенко, 2021].

Целью настоящей работы является получение индексов обилия японской скумбрии Южно-Курильской зоны, очищенных от влияния природных и производственных факторов путем стандартизации с использованием обобщенных аддитивных моделей.

Материалы и методы

Использовали материалы промысловой статистики за 2015–2021 гг. в пределах южных Курильских островов по данным судовых суточных донесений (ССД) и позиций судов Отраслевой системы мониторинга Росрыболовства [Пырков и др., 2015] (рис. 1). Из этого же источника брались технические характеристики судов, непосредственно влияющие на производительность промысла: тип, длина судна, мощность двигателя. Под уловом на усилие (catch per unit effort, CPUE) в данной работе понимается улов в сутки на одно судно. Выбирали только целевой лов (от 50 % скумбрии в улове) [Battaile,

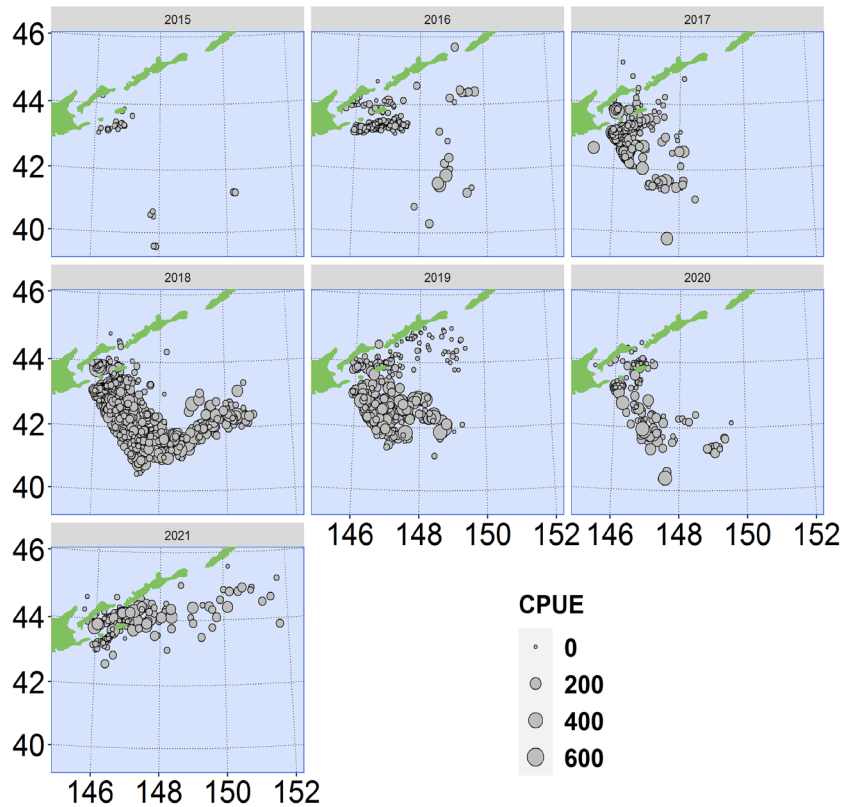


Рис. 1. Улов на усилие (CPUE) в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) Российской Федерации в 2015–2021 гг., т на судно-сутки

Fig. 1. Dynamics of CPUE in the national waters of Russia in 2015–2021, t per vessel-day

Quinn, 2004] и разноглубинные тралы как орудие лова, наиболее часто используемое с максимальным среднесуточным выловом [Кручинин и др., 2022]. Промысел осуществлялся в сентябре-декабре (рис. 2). Глубины получены из общей батиметрической карты океанов [The GEBCO_2020 version, <http://www.gebco.net>]. Данные по температуре поверхности океана (sea surface temperature, SST) с разрешением $0,01 \times 0,01^\circ$ за каждые сутки брали из The GHR SST Multi-Product Ensemble (GMPE) SST [Chin et al., 2017].

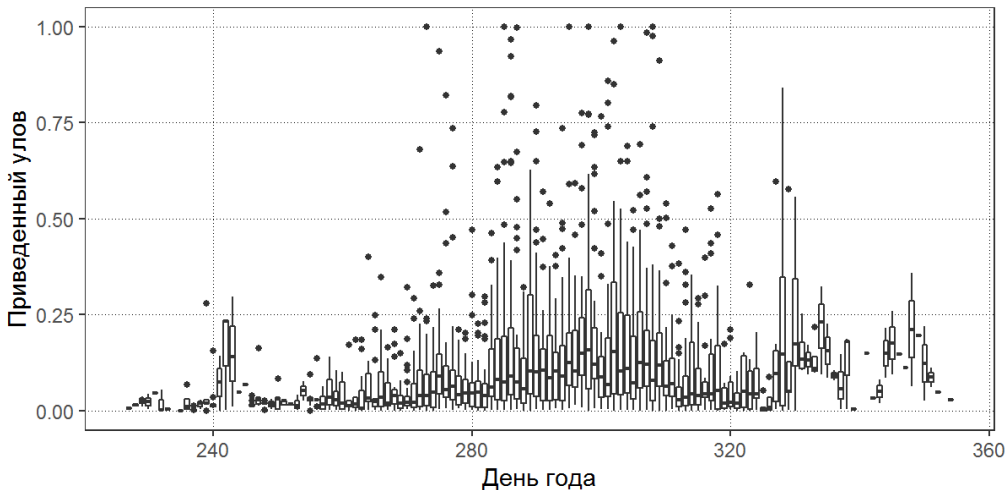


Рис. 2. Динамика CPUE, приведенного к максимальному в году в течение года в ИЭЗ Российской Федерации в 2015–2021 гг.

Fig. 2. Dynamics of CPUE in the national waters of Russia in 2015–2021, relative to the maximum value in each year

Для набора данных формировали дополнительные переменные: день года, глубина, расстояние от берега, суточное усилие. К набору присоединяли данные о суточном промысловом усилии, т.е. о количестве судов, находившихся на промысле, что отражает нагрузку на запас. Описание переменных представлено в табл. 1.

Таблица 1

Описание переменных, использованных в моделях-кандидатах

Table 1

Predictor factors used for all candidate models

Переменные	Обозначение	Единицы измерения	Описание
Год (year)	β_i^Y	Категориальная переменная	7 лет, с 2015 по 2021 г.
Тип судна (ves_type)	β_i^Y	Категориальная переменная	20 типов рыболовных судов
Долгота (lon)	x	Десятичные градусы	
Широта (lat)	y	Десятичные градусы	
Глубина (depth)	h	Метры	
День года (day)	d		Порядковый номер дня года в сезон промысла (сентябрь-декабрь), 277–366
Ежедневное усилие (daily_effort)	E		Количество судов на промысле за день
Длина судна (length)	L_v	Метры	
Мощность двигателя (engine_power)	P_v	КВт	Мощность установленного двигателя
Температура поверхности океана (SST)	SST	Градусы Цельсия	Температура поверхности океана в местах нахождения судов

Для моделирования влияния на CPUE перечисленных выше факторов и стандартизации использовали аддитивные обобщенные модели (GAM). Полагали, что остаток распределяется в соответствии с составным распределением Пуассона-Гамма (Твиди) [Jørgensen, 1997].

GAM может включать гладкие функции f от влияющих переменных [Wood, 2011, 2017; Hastie, Tibshirani, 2014]:

$$\mu_i = \beta X_i + \sum L_{ij} f_j,$$

где μ_i — зависимая переменная; X_i — независимые переменные; β — коэффициенты; L_{ij} — линейные функционалы, связанные с влияющими переменными.

Для того чтобы определить наилучший набор факторов и характер их взаимодействия, применили процедуру выбора моделей [Burnham, Anderson, 2002]. Для этого построили несколько моделей (моделей-кандидатов) с различным сочетанием независимых переменных.

Рассматривали следующие модели-кандидаты:

$$\eta(\text{cpue}_i) = \beta_0 + \beta_i^Y + f_1(x) + f_2(y) + f_3(d) + \beta_{\text{vestype}_i}^V \quad (1)$$

$$\eta(\text{cpue}_i) = \beta_0 + \beta_i^Y + f_1(x) + f_2(y) + f_3(d) + f_4(h) + \beta_{\text{vestype}_i}^V \quad (2)$$

$$\eta(\text{cpue}_i) = \beta_0 + \beta_i^Y + f_1(x) + f_2(y) + f_3(d) + f_4(h) + f_5(E) + \beta_{\text{vestype}_i}^V \quad (3)$$

$$\eta(\text{cpue}_i) = \beta_0 + \beta_i^Y + f_1(x) + f_2(y) + f_3(d) + f_4(h) + f_5(E) + f_6(L_V) + f_7(P_V) \quad (4)$$

$$\eta(\text{cpue}_i) = \beta_0 + \beta_i^Y + f_1(x, y) + f_2(d) + f_3(h) + f_4(E) + f_5(L_V) + f_6(P_V) \quad (5)$$

$$\eta(\text{cpue}_i) = \beta_0 + \beta_i^Y + f_1(x) + f_2(y) + f_3(d) + f_4(h) + f_5(E) + f_6(L_V) + f_7(P_V) + f_8(SST) \quad (6)$$

$$\eta(\text{cpue}_i) = \beta_0 + \beta_i^Y + f_1(x, y) + f_2(d) + f_3(h) + f_4(E) + f_5(L_V) + f_6(P_V) + f_7(SST) \quad (7)$$

$$\eta(\text{cpue}_i) = \beta_0 + \beta_i^Y + f_1(x, y) + f_2(d) + f_3(E) + f_4(L_V) + f_5(P_V) + f_6(SST), \quad (8)$$

где $\eta(\text{cpue}_i)$ — математическое ожидание улова на усилие; f_i — тонкоплечный регрессионный сплайн (TPC) [Wood, 2003].

Оценка параметров модели произведена методом максимального правдоподобия, оптимизация числа псевдоузлов TPC выполнена методом обобщенной кросс-валидации [Wood, 2004, 2011]. Для проверки независимости признаков рассчитывали коэффициент корреляции Пирсона [<http://www.r-analytics.blogspot.com>]. Качественную характеристику связи определяли в соответствии со шкалой Чеддока [Медик и др., 2000] (табл. 2).

Таблица 2

Шкала Чеддока

Table 2

Chaddock scale

г	0,1–0,3	0,3–0,5	0,5–0,7	0,7–0,9	0,9–1,0
Степень связи	Слабая	Умеренная	Заметная	Высокая	Весьма высокая

Для итоговых расчетов выбирали модель с наименьшим значением информационных критериев Акаике (AIC) и Шварца (BIC) [Burnham, Anderson, 2002].

Для стандартизации интенсивности промысла вычисляли ее значения для каждого года, фиксируя категориальные признаки на наиболее часто встречающихся значениях, количественные — на медианных. Для расчетов использовали язык сценариев R [<https://www.R-project.org/>] с пакетами raster [<https://rdr.io/cran/raster/>], maptools [<https://CRAN.R-project.org/package=maptools>] (работа с пространственными данными), geosphere [<https://cran.r-project.org/web/packages/geosphere/geosphere.pdf>] (расчет расстояний от береговой линии), mgcv [Wood, 2017] (GAM), ggplot2 (визуализация) [Wickham, 2016].

Результаты и их обсуждение

Корреляционный анализ показал, что часть выбранных факторов значительно коррелирует (рис. 3). В связи с тем что по шкале Чеддока глубина имела высокую линейную связь с координатами ($r = -0,79$), было принято решение исключить влияние глубины из окончательной модели. На основании этого была построена еще одна модель № 8. Вместе с тем коррелированную с длиной судна мощность двигателя ($r = 0,83$) решено было оставить, поскольку связь между этими факторами нелинейна. В остальном корреляция для выбранных переменных не достигает высокого уровня значимости.

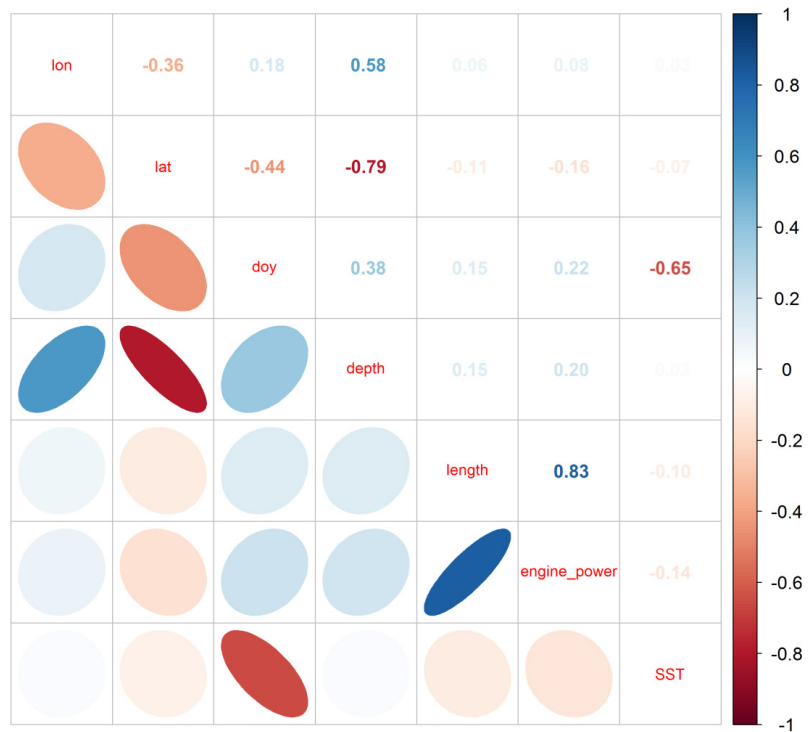


Рис. 3. Матрица корреляций объясняющих переменных
Fig. 3. Correlation matrix of the explanatory variables used in the analysis

В табл. 3 приведены значения информационных критериев AIC и BIC и объясненные вариации для моделей-кандидатов. Минимальное значение AIC (19645) и BIC (19895) и максимальная объясненная вариация (63 %) отмечена для модели № 8, которая была использована для дальнейшего анализа (рис. 4).

Таблица 3
Информационные критерии и объясненная дисперсия для моделей-кандидатов
Table 3
Values of information criteria and percent of explained variance for the candidate models

Модель	AIC	BIC	Объясненная дисперсия
1	19860	20098	0,54
2	19860	20099	0,54
3	19817	20091	0,55
4	19645	19898	0,63
5	19665	19917	0,62
6	19646	19899	0,63
7	19646	19922	0,63
8	19645	19895	0,63

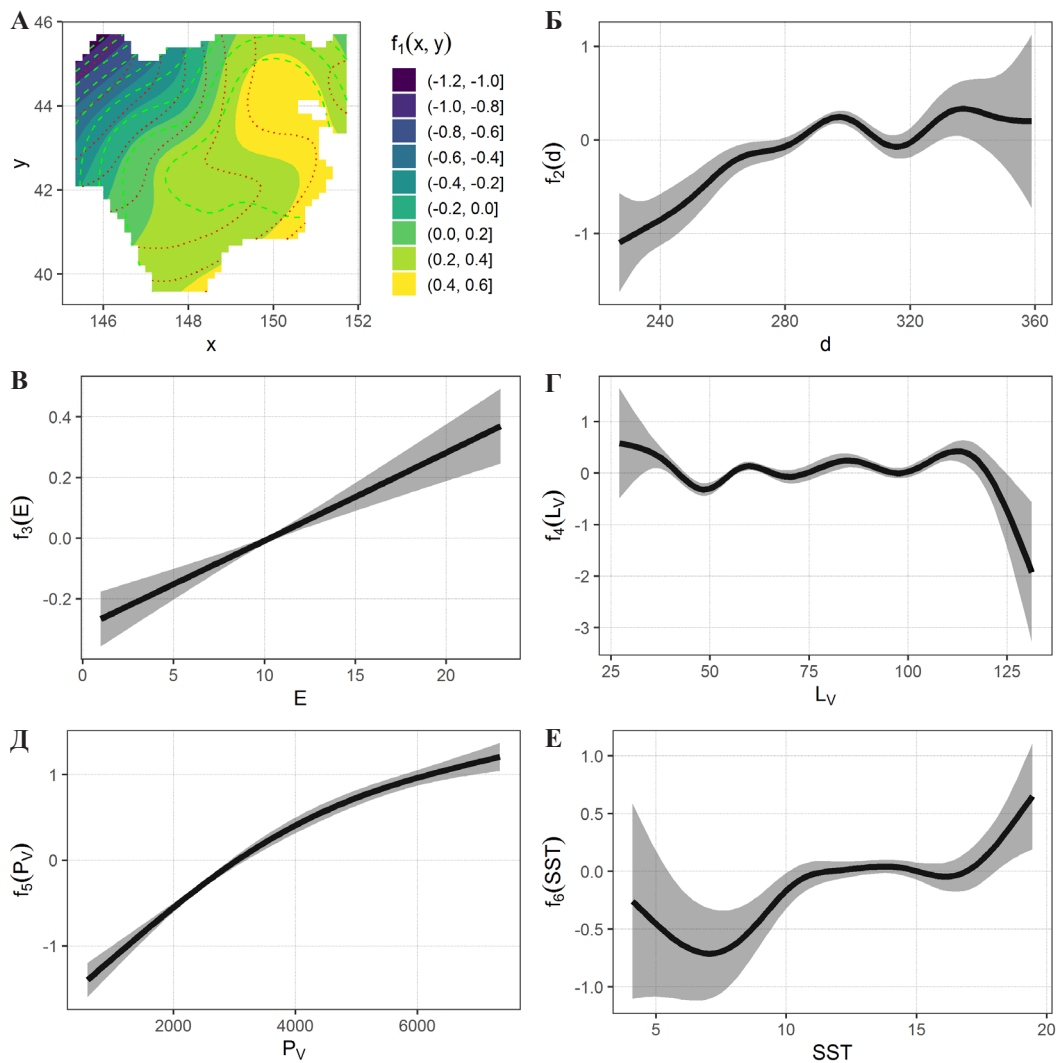


Рис. 4. Функции вклада переменных в значение улова на усилие для модели № 8: **А** — тензорное произведение для широты и долготы; **Б** — регрессионный сплайн для дня года; **В** — регрессионный сплайн для ежедневного усилия; **Г** — регрессионный сплайн для длины судна; **Д** — регрессионный сплайн для мощности двигателя; **Е** — регрессионный сплайн для SST

Fig. 4. Some components input in the GAM No 8: **A** — tensor multiplication of the catch longitude and latitude; **Б** — regression spline for date of catch; **В** — regression spline for daily fishing effort; **Г** — regression spline for vessel length; **Д** — regression spline for engine power; **Е** — regression spline for SST

Полученные результаты могут быть интерпретированы в соответствии с представлениями о характере влияния факторов. На рис. 4 (А) хорошо заметно увеличение уловов с увеличением расстояния от берега, что объясняется особенностями миграции скумбрии в данном районе; рис. 4 (Б) согласуется с динамикой улова на усилия в рамках промыслового сезона в терводах Российской Федерации (см. рис. 2); рис. 4 (В) отражает увеличение улова на усилие в зависимости от количества судов на промысле скумбрии. Наиболее интересный эффект отмечен для взаимосвязи улова на усилие и длины судна (рис. 4, Г), где с увеличением длины судна свыше 110 м происходит резкое уменьшение CPUE. Мы полагаем, что это объясняется тем, что скопления скумбрии и сардины в российских водах в основном смешанные, уловы крупных судов менее селективные и часть уловов таких судов не была отнесена к целевым уловам (более 50 % от улова) и исключена из анализа. Зависимость CPUE

от мощности двигателя описывается кривой с насыщением (рис. 4, Д), а SST в территориальных водах Российской Федерации за рассмотренный период не достигает величины, когда температура начинает негативно влиять на величину вылова (рис. 4, Г).

Полученные результаты (рис. 5, табл. 4) демонстрируют значительное влияние производственных и природных факторов на наблюдаемое значение CPUE. За рассмотренный период изменилось как количество судов на промысле, так и охватываемая промыслом акватория (см. рис. 1). Помимо этого, значительное влияние оказывают появление современных типов судов на данном виде промысла и наработка опыта экипажами добывающих судов.

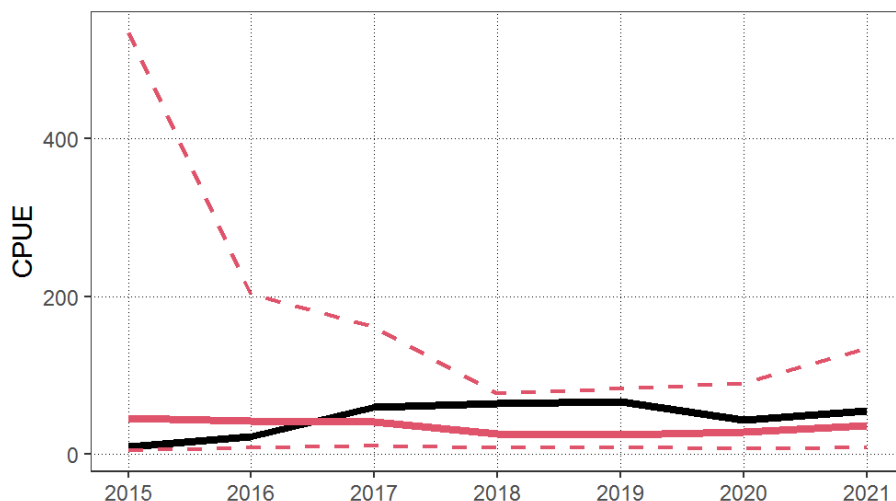


Рис. 5. Номинальные (черная сплошная линия) и стандартизованные с 95 %-ными доверительными интервалами (красные сплошная и пунктирные линии) значения уловов на судо-сутки

Fig. 5. Dynamics of nominal (black solid line) and standardized (red solid line) CPUE of chub mackerel. The 95 % confidence interval for standardized CPUE is shown by red dashed lines

Таблица 4

Номинальные и стандартизованные CPUE в 2015–2021 гг.

Table 4

Nominal and standardized CPUE of chub mackerel in 2015–2021

Год	Номинальный CPUE	Стандартизованный CPUE	Стандартное отклонение стандартизованного CPUE	95 %-ный доверительный интервал
2015	9,41	46,08	9,25	5,08–534,07
2016	22,78	42,80	3,73	9,05–202,52
2017	60,03	41,34	2,91	10,58–161,6
2018	64,91	26,10	1,95	8,84–77,01
2019	67,10	25,00	2,19	8,12–82,65
2020	43,23	27,82	2,49	7,39–90,24
2021	55,57	36,03	3,07	8,12–134,43

Закключение

Пелагический промысел осуществляется на значительной акватории, его сроки достаточно велики, условия окружающей среды могут существенно меняться год от года. Кроме того, в промысле участвуют различные типы судов. Таким образом, необходимо корректировать индексы запаса. Стандартизация уловов на усилие позволила учесть влияние природных и производственных факторов на индекс, что позволит более корректно оценить состояние запаса и выполнить его прогноз. Полученные результаты демонстрируют, что стандартизованные и номинальные значения индексов могут существенно различаться. Использованный метод позволил не только учесть

нелинейный характер воздействия различных факторов, но и дать разумную интерпретацию полученным результатам.

Стандартизацию уловов на усилие следует рекомендовать для широкого внедрения в практику обоснования ОДУ и РВ. Использование данной процедуры не только повысит корректность оценки запаса при использовании математических моделей, но и усилит репрезентативность так называемых немодельных методов для запасов с третьим уровнем информационного обеспечения.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность заведующему лабораторией рыб дальневосточных и арктических морей В.В. Кулику за методическую помощь и ценные советы.

The authors are grateful to Dr. V.V. Kulik, the head of the Resources of the Far-Eastern and Arctic Seas Laboratory of TINRO, for methodological assistance and valuable advices.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not supported by sponsors.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы использования животных были соблюдены. Библиографические ссылки на все использованные в работе данные других авторов оформлены в соответствии с правилами данного издания. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented. Bibliographic references to all used sources are formatted in accordance with the rules of this edition. The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Э.П. Черниенко — подготовка материала, интерпретация результатов расчетов, написание текста статьи; И.С. Черниенко — расчеты, написание текста статьи.

E.P. Chernienko — data collection and interpretation of results; I.S. Chernienko — calculations; the text of manuscript was written jointly.

Список литературы

Баканев С.В. Стандартизация производительности промысла камчатского краба в российских водах Баренцева моря в 2010–2018 гг. с помощью обобщенной линейной модели // *Вопр. рыб-ва.* — 2019. — Т. 20, № 3. — С. 363–373.

Буяновский А.И. Использование промысловой статистики для корректировки оценок запасов краба-стригуна опилио в морях России // *Вопр. рыб-ва.* — 2020. — Т. 21, № 1. — С. 106–124.

Буяновский А.И. Использование промысловой статистики для оценки динамики запаса краба-стригуна Бэрда // *Вопр. рыб-ва.* — 2019. — Т. 20, № 4. — С. 497–512.

Кручинин О.Н., Мизюркин М.А., Захаров Е.А. и др. Работа флота на промысле дальневосточной сардины и японской скумбрии в прикурильских водах в современный период высокой численности этих видов // *Изв. ТИНРО.* — 2022. — Т. 202, № 2. — С. 414–428. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-414-428.

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.

Медик В.А., Токмачев М.С., Фишман Б.Б. Статистика в медицине и биологии : руководство в 2-х томах. Т. 1. — М. : Медицина, 2000. — 412 с.

Пырков В.Н., Солодилов А.В., Дегай А.Ю. Создание и внедрение новых спутниковых технологий в системе мониторинга рыболовства // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* — 2015. — Т. 12, № 5. — С. 251–262.

- Черниенко И.С.** Стандартизация производительности промысла краба-стригуна опилио западной части Берингова моря с использованием аддитивных линейных моделей // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, № 2. — С. 359–370. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-359-370.
- Auger-Méthé M., Field C., Albertsen C.M. et al.** State-space models' dirty little secrets: even simple linear Gaussian models can have estimation problems // Sci. Rep. — 2016. — Vol. 6, № 1. — P. 1–10. DOI: 10.1038/srep26677.
- Battaille B.C., Quinn II T.J.** Catch per unit effort standardization of the eastern Bering Sea wall-eye pollock (*Theragra chalcogramma*) fleet // Fish. Res. — 2004. — Vol. 70, Iss. 2–3. — P. 161–177. DOI: 10.1016/j.fishres.2004.08.029.
- Burnham K.P., Anderson D.R.** Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. — 2nd ed. — N.Y. : Springer, 2002. — 488 p.
- Chernienko I.S., Chernienko E.P.** Standardized CPUE for Chub mackerel (*Scomber japonicus*) caught by Russian pelagic trawl fishery in 2015–2021 : NPFC-2022-TWG CMSA05-WP03. — Tokyo, 2022. — 12 p.
- Chin T.M., Vazquez-Cuervo J., Armstrong E.M.** A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature // Remote Sens. Environ. — 2017. — Vol. 200, № 7. — P. 154–169. DOI: 10.1016/j.rse.2017.07.029.
- Hastie T., Tibshirani R.** Generalized Additive Models : Wiley StatsRef: Statistics Reference Online, 2014. DOI: 10.1002/9781118445112.stat03141.
- Hilborn R., Walters C.J.** Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. — N.Y. : Chapman and Hall, 1992. — 570 p.
- Jørgensen B.** The Theory of Dispersion Models : Monogr. Stat. Appl. Probab. (Book 76). — L. : Chapman and Hall, 1997. — 256 p.
- Kulik V.V.** CPUE standardization for the Pacific chub mackerel historical catch in the Northwest Pacific Ocean : NPFC-2017-TWG CMSA01-WP02. — Tokyo, 2017. — 11 p.
- Maunder M.N., Punt A.E.** Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches // Fish. Res. — 2004. — Vol. 70, Iss. 2–3. — P. 141–159. DOI: 10.1016/j.fishres.2004.08.002.
- Newman K.B., Buckland S.T., Morgan B.J.T. et al.** Modelling population dynamics: model formulation, fitting and assessment using state-space methods. — N.Y. : Springer, 2014. — 215 p.
- Quinn II T.J., Deriso R.B.** Quantitative Fish Dynamics. — N.Y. : Oxford University Press, 1999. — 542 p.
- Wickham H.** ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. — 2nd ed. — N.Y. : Springer Verlag, 2016. — 268 p.
- 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, № 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.
- Wood S.N.** Stable and Efficient Multiple Smoothing Parameter Estimation for Generalized Additive Models // J. Am. Stat. Assoc. — 2004. — Vol. 99, Iss. 467. — P. 673–686. DOI: 10.1198/016214504000000980.
- Wood S.N.** Thin plate regression splines // J. R. Statist. Soc. B (Statistical Methodology). — 2003. — Vol. 65, № 1. — P. 95–114. DOI: 10.1111/1467-9868.00374.

References

- Bakanev, S.V.**, Standardization of the red king crab fishery efficiency in the Russian part in the Barents Sea in 2010–2018 using generalized linear model, *Vopr. Rybolov.*, 2019, vol. 20, no. 3, pp. 363–373.
- Buyanovsky, A.I.**, Use of fishery statistics to correct estimates of stocks of snow crab opilio in the seas of Russia, *Vopr. Rybolov.*, 2020, vol. 21, no. 1, pp. 106–124.
- Buyanovskiy, A.I.**, Use of fisheries statistics for the tanner crab stock dynamics, *Vopr. Rybolov.*, 2019, vol. 20, no. 4, pp. 497–512.
- Kruchinin, O.N., Misyurkin, M.A., Zakharov, E.A., Volotov, V.M., Shabelsky, D.L., and Vakker, N.L.**, Fleet operations at fishing of japanese sardine and chub mackerel in the kuril waters in the modern period of high abundance of these species, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 2, pp. 414–428. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-414-428
- 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

- Medik, V.A., Tokmachev, M.S., and Fishman, B.B.,** *Statistika v meditsine i biologii* (Statistics in medicine and biology), Moscow: Meditsina, 2000, vol. 1.
- Pyrkov, V.N., Solodilov, A.V., and Degaj, A.Yu.,** Development and implementation of new satellite techniques in the fishery monitoring system, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, vol. 12, no. 5, pp. 251–262.
- Chernienko, I.S.,** Standardization of landing efficiency for opilio crab in the western Bering Sea by using of generalized additive models, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 2, pp. 359–370. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-359-370
- Auger-Méthé, M., Field, C., Albertsen, C.M., Derocher, A.E., Lewis, M.A., Jonsen, I.D., and Flemming, J.M.,** State-space models' dirty little secrets: even simple linear Gaussian models can have estimation problems, *Sci. Rep.*, 2016, vol. 6, no. 1, pp. 1–10. doi 10.1038/srep26677
- Battaile, B.C. and Quinn II., T.J.,** Catch per unit effort standardization of the eastern Bering Sea walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) fleet, *Fish. Res.*, 2004, vol. 70, no. 2–3, pp. 161–177. doi 10.1016/j.fishres.2004.08.029
- Burnham, K.P. and Anderson, D.R.,** *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*, New York: Springer, 2002, 2nd ed.
- Chernienko, I.S. and Chernienko, E.P.,** Standardized CPUE for Chub mackerel (*Scomber japonicus*) caught by Russian pelagic trawl fishery in 2015–2021, *NPFC-2022-TWG CMSA05-WP03*, Tokyo, 2022.
- Chin, T.M., Vazquez-Cuervo, J., and Armstrong, E.M.,** A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature, *Remote Sens. Environ.*, 2017, vol. 200, no. 7, pp. 154–169. doi 10.1016/j.rse.2017.07.029
- Hastie, T. and Tibshirani, R.,** Generalized Additive Models, *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, 2014. doi 10.1002/9781118445112.stat03141
- Hilborn, R. and Walters, C.J.,** *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics, and Uncertainty*, New York: Chapman and Hall, 1992.
- Jørgensen, B.,** *The Theory of Dispersion Models: Monogr. Stat. Appl. Probab. (Book 76)*, London: Chapman and Hall, 1997.
- Kulik, V.V.,** CPUE standardization for the Pacific chub mackerel historical catch in the North-west Pacific Ocean, *NPFC-2017-TWG CMSA01-WP02*, Tokyo, 2017.
- Maunder, M.N. and Punt, A.E.,** Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches, *Fish. Res.*, 2004, vol. 70, no. 2–3, pp. 141–159. doi 10.1016/j.fishres.2004.08.002
- Newman, K.B., Buckland, S.T., Morgan, B.J.T., King, R., Borchers, D.L., Cole, D.J., Besbeas, P., Gimenez, O., and Thomas, L.,** *Modelling population dynamics: model formulation, fitting and assessment using state-space methods*, New York: Springer, 2014.
- Quinn II, T.J. and Deriso, R.B.,** *Quantitative Fish Dynamics*, New York: Oxford Univ. Press, 1999.
- Wickham, H.,** *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*, New York, 2016, 2nd ed.
- 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.
- Wood, S.N.,** Stable and Efficient Multiple Smoothing Parameter Estimation for Generalized Additive Models, *J. Am. Stat. Assoc.*, 2004, vol. 99, no. 467, pp. 673–686. doi 10.1198/016214504000000980
- Wood, S.N.,** Thin plate regression splines, *J. R. Statist. Soc. B (Statistical Methodology)*, 2003, vol. 65, no. 1, pp. 95–114. doi 10.1111/1467-9868.00374
- The GEBCO_2020 version. <http://www.gebco.net>. Cited September 1, 2022.
- R Core Team.** *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022, version 4.1.3. <https://www.R-project.org/>. Cited January 27, 2022.
- Hijmans, R.J.,** *raster: Geographic Data Analysis and Modeling*, 2021. <https://rdr.io/cran/raster/>. Cited January 27, 2022.
- Bivand, R. and Lewin-Koh, N.,** *maptools: tools for handling spatial objects*, 2020. <https://CRAN.R-project.org/package=maptools>. Cited January 27, 2022.
- Hijmans, R.J.,** *geosphere: Spherical Trigonometry*, 2021. <https://cran.r-project.org/web/packages/geosphere/geosphere.pdf>. Cited January 27, 2022.

Поступила в редакцию 12.10.2022 г.

После доработки 14.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 12.10.2022; approved after reviewing 14.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022