

УДК 597.556.35–152.6(265.53)

**В.В. Кулик¹, С.В. Пранц², М.В. Будянский², М.Ю. Улейский²,
П.А. Файман², И.И. Глебов¹, С.Ю. Глебова¹, Р.Н. Новиков³**

¹ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;

² Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43;

³ Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
683000, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18

СВЯЗЬ ЗАПАСОВ ЧЕРНОГО ПАЛТУСА В ОХОТСКОМ МОРЕ С ФАКТОРАМИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Представлена оценка динамики биомассы черного палтуса в различных подзонах промысловой зоны Охотское море. Обнаружена значимая ($p < 0,05$) отрицательная корреляция изменений промыслового запаса (FSB) в подзоне Восточно-Сахалинской (ПВС) с численностью трехгодовиков в остальных подзонах Охотского моря с учетом необходимых временных сдвигов в 3 года ($r = -0,53$) и в 4 года ($r = -0,49$). Эта численность, в свою очередь, значимо и положительно связана ($r = 0,52$, $p < 0,05$) с изменениями индексов зонального переноса в январе и меридионального в марте, произошедшими в год рождения пополнения. Ошибки определения зависимости величины этого пополнения от нерестового запаса по зависимости Бивертон-Холта значимо положительно ($r = 0,64$,

* *Кулик Владимир Владимирович, кандидат биологических наук, начальник отдела, e-mail: vladimir.kulik@tinro-center.ru; Пранц Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией, e-mail: prants@poi.dvo.ru; Будянский Максим Васильевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, e-mail: plztic@poi.dvo.ru; Улейский Михаил Юрьевич, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: uleysky@poi.dvo.ru; Файман Павел Аркадьевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, e-mail: pfayman@poi.dvo.ru; Глебов Игорь Иванович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, e-mail: igor.glebov@tinro-center.ru; Глебова Светлана Юрьевна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: svetlana.glebova@tinro-center.ru; Новиков Роман Николаевич, старший научный сотрудник, e-mail: novikov.r.n@kamniro.ru.*

Kulik Vladimir V., Ph.D., head of department, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: vladimir.kulik@tinro-center.ru; Prants Sergey V., D.Phys., professor, head of laboratory, Pacific Oceanological Institute, Far East Branch, Russian Ac. Sci., 43, Baltiyskaya Str., Vladivostok, 690041, Russia, e-mail: prants@poi.dvo.ru; Budyansky Maxim V., Ph.D., senior researcher, Pacific Oceanological Institute, Far East Branch, Russian Ac. Sci., 43, Baltiyskaya Str., Vladivostok, 690041, Russia, e-mail: plztic@poi.dvo.ru; Uleysky Mikhail Yu., Ph.D., leading researcher, Pacific Oceanological Institute, Far East Branch, Russian Ac. Sci., 43, Baltiyskaya Str., Vladivostok, 690041, Russia, e-mail: uleysky@poi.dvo.ru; Fayman Pavel A., Ph.D., senior researcher, Pacific Oceanological Institute, Far East Branch, Russian Ac. Sci., 43, Baltiyskaya Str., Vladivostok, 690041, Russia, e-mail: pfayman@poi.dvo.ru; Glebov Igor I., Ph.D., head of laboratory, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: igor.glebov@tinro-center.ru; Glebova Svetlana Yu., Ph.D., leading researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: svetlana.glebova@tinro-center.ru; Novikov Roman N., senior researcher, Kamchatka branch of VNIRO (KamchatNIRO), 18, Naberezhnaya Str., Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia, e-mail: novikov.r.n@kamniro.ru.

$p = 0,03$) связаны с индексом арктического колебания. Циркуляция в Охотском море названа прямой причиной сноса икры, личинок и молоди черного палтуса с нерестилищ в восточной части моря в западную. Перенос будущего пополнения черного палтуса моделировался адвекцией искусственных пассивных частиц в поле скорости численной модели циркуляции JCOPE2. Используются гидрофизические поля для Охотского моря с 1993 по 2017 г. в слое 40–50 м, где предполагается основной перенос икры, личинок и молоди. Пассивные частицы (250 тыс. шт.), имитирующие икру и личинок рыб, запускались у западной Камчатки в районе с максимальной концентрацией преднерестовых и нерестовых самок черного палтуса. Рассчитывалась доля частиц, дошедших до выделенных разрезов у восточного Сахалина, а также пути их переноса и распределение по времени прибытия на эти разрезы. Обнаружена значимая положительная корреляция ($r = 0,44, p < 0,05$) доли частиц, запущенных в декабре и дошедших до северного разреза у восточного Сахалина менее чем за 150 дней, с изменениями FSB через 6 лет в ПВС. Еще более высокая корреляция ($r = 0,94, p < 0,05$) обнаружена с FSB в ПВС при запуске частиц в октябре и ноябре при учете их нелинейного оптимума в обобщенной аддитивной модели. Таким образом, показан механизм прямого влияния циркуляции на FSB в ПВС путем переноса части будущего пополнения из восточной части моря. В итоге сделан прогноз о снижении FSB в ПВС в ближайшие 6 лет.

Ключевые слова: черный палтус, вылов, Охотское море, циркуляция, адвекция пассивных частиц.

DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-58-81.

Kulik V.V., Prants S.V., Budyansky M.V., Uleysky M.Yu., Fayman P.A., Glebov I.I., Glebova S.Yu., Novikov R.N. Relationship of the greenland halibut stocks in the Okhotsk Sea with environmental factors // Izv. TINRO. — 2020. — Vol. 200, Iss. 1. — P. 58–81.

Dynamics of the greenland halibut biomass in the fishery districts of the Okhotsk Sea (or subzones) is considered. The biomass variation in the East-Sakhalin subzone has a significant ($p < 0.05$) negative correlation with the number of 3+ fish in other subzones, with the time lag of 3 years ($r = -0.53$) and 4 years ($r = -0.49$), that is interpreted as alternative distribution of the halibut recruitment from the common spawning area either to this district or other ones. From other hand, the recruits abundance in other districts is significantly and positively associated ($r = 0.52, p < 0.05$) with the index of zonal atmosphere transfer in January and with the index of meridional atmosphere transfer in March of the years of hatching. The recruitment dependence on the spawning stock could be explained by Beverton-Holt equation with the residuals significantly and positively ($r = 0.64, p = 0.03$) related with the Arctic Oscillation index. Transport of the eggs, larvae and juveniles of greenland halibut from the spawning grounds at western Kamchatka to the western Okhotsk Sea is considered as the mechanism of its recruitment distribution between the districts in relation with atmospheric indices. The transport was simulated for 1993–2017 using the circulation model JCOPE2 as the movement of 250,000 artificial passive particles, imitating eggs and larvae, with water flows at the depth 40–50 m where their main aggregations are supposed. The particles were released in the area at western Kamchatka where the maximal concentration of spawning females occurred. Number of the particles reached the sections off eastern Sakhalin and their arrival times were computed, their pathways were tracked. The portion of particles released in December and reached northern Sakhalin within 150 days changed in significant positive correlation ($r = 0.44, p < 0.05$) with dynamics of the halibut stock in the East-Sakhalin subzone, with the time lag 6 years. Even closer correlation ($r = 0.94, p < 0.05$) could be found for the optimum income of the particles released in October or November in the general additive model of the stock. Using the model results for the recent years, the greenland halibut stock decreasing in the East-Sakhalin subzone is forecasted for the next 6 years.

Key words: greenland halibut, fishery, Okhotsk Sea, water circulation, transport of eggs and larvae.

Введение

Подвид *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* (Jordan et Snyder), выделяемый из вида черный палтус *Reinhardtius hippoglossoides* [Walbaum, 1792], в промысловой зоне Охотское море (ЗОМ) составляет, вероятно, единую суперпопуляцию [Шунтов, 1966; Дьяков, 1984, 1991, 2011; Николенко, 1998; Николенко, Катугин, 1998], но расчет

объемов его допустимого улова (ОДУ) по-прежнему ведется для каждой из промысловых подзон в ЗОМ отдельно. Черный палтус морфологически слабо различается в пределах всей северной части Тихого океана и считается амфибореальным видом с продолжительной пелагической стадией развития молоди [Hubbs, Wilimovsky, 1964].

Впервые ОДУ черного палтуса в ЗОМ оценен в модели по трем подзонам вместе — Камчатско-Курильской (ПКК), Западно-Камчатской (ПЗК) и Северо-Охотоморской (ПСО) — как для единой популяции, вероятно, состоящей из двух субпопуляций на 2017 г.*, а в подзоне Восточно-Сахалинской (ПВС) расчет ОДУ производится все еще отдельно, как для другой популяции**. До 2017 г. расчет ОДУ производился отдельно не только для ПВС, но и для ПСО, а для ПЗК и ПКК производилась совместная оценка ОДУ***. При этом утверждение, что в Охотском море обитает единая группировка (популяция) черного палтуса, постулировалось еще в 2006 г. [Шершенков, 2006].

Одна из причин раздельного обоснования ОДУ черного палтуса в разных подзонах в ЗОМ — различный уровень информационного обеспечения прогнозов. Информационное обеспечение в ПВС соответствует II уровню согласно Приказу Росрыболовства № 104 от 6 февраля 2015 г., а не высшему — I уровню, который обязывает использовать когортные модели, как в ПСО, ПЗК и ПКК. В последних трех подзонах применяется модель «Синтез»****, рекомендованная для I уровня информационного обеспечения наряду с другими когортными моделями [Бабаян и др., 2018]. Она и ранее применялась для оценки запасов таких массовых рыб, как минтай [Ильин и др., 2014].

Если регулярные наблюдения о возрастном составе уловов отсутствуют, но есть информация о вылове и усилиях, то уровень информационного обеспечения прогноза снижается до II, а рекомендуемый метод оценки запаса изменяется с когортной модели на модель прибавочной продукции. Впервые настройка обобщенной модели прибавочной продукции черного палтуса в ПВС произведена при оценке ОДУ на 2017 г.***** в пакете прикладных программ (ППП) ASPIC [Prager, 1994, 2002]. Данный ППП позволил провести калибровку оценок биомассы по промысловым и научным уловам. ASPIC также рекомендован для оценки запасов со II уровнем информационного обеспечения наряду с другими моделями прибавочной продукции [Бабаян и др., 2018].

В последние 5 лет происходят постоянное снижение ОДУ промысловых запасов черного палтуса в северо-восточных подзонах (ПЗК, ПКК, ПСО) с 13,0 тыс. т в 2016 г. до 10,0 тыс. т в 2020 г. и рост в западной части моря (ПВС) с 0,25 до 0,72 тыс. т*****. Такие изменения не были объяснены ранее в моделях динамики численности. В последних публикациях сотрудников ТИНРО одновременно высказывается суждение как о росте запасов и уловов черного палтуса, судя по уловам на усилие [Зуенко и др., 2019], так и о снижении уловов, которые сократились с 20 тыс. т в 2000 г. до примерно 9 тыс. т в 2017–2018 гг. [Шунтов и др., 2019]. Следовательно, необходимо опубликовать последние оценки запасов и разобраться с причинами расхождений прогнозов ОДУ и уловов. Одна из причин снижения эффективности промысла многократно

* Состояние промысловых ресурсов. Прогноз общего вылова гидробионтов по Дальневосточному рыбохозяйственному бассейну на 2017 г. (краткая версия). Владивосток: ТИНРО, 2017. С. 101–103.

** Состояние промысловых ресурсов... на 2019 г. (краткая версия). Владивосток: ТИНРО, 2019. С. 113–114.

*** Состояние промысловых ресурсов..., 2016. С. 91.

**** Состояние промысловых ресурсов..., 2019. С. 110–112.

***** Состояние промысловых ресурсов..., 2017. С. 103.

***** Состояние промысловых ресурсов..., 2016. С. 90–91; 2017. С. 101–103; 2018. С. 107–109; 2019. С. 113–114, С. 110–112; Приказ об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации и Каспийском море на 2020 год. М.: Минсельхоз России, 2019. № 610 (29.10.2019).

называлась и повторена в последней публикации на тему изменений в экосистеме Охотского моря — это рост численности косаток *Orcinus orca*, объедающих уловы рыбаков [Зуенко и др., 2019].

Ранее мы уже находили значимые связи динамики обилия черного палтуса с несколькими факторами в анализе главных компонент, которые, в свою очередь, оказывались тесно связанными с типами атмосферной циркуляции с различной временной задержкой [Кулик, 2007], но прямых сравнений мы не проводили. К сожалению, расчеты ОДУ в полном объеме в России не публикуются, поэтому в данной статье мы вынуждены повторить их частично, чтобы сравнить динамику обилия запасов черного палтуса в разных частях моря между собой и с внешними факторами. Однако наша конечная цель — оценить статистическую значимость вероятных связей между запасами черного палтуса, обусловленных факторами внешней среды.

Материалы и методы

Исходные наблюдения для оценки как физиологического, так и популяционного состояния черного палтуса сохранены в 5 базах данных (БД). Информация, полученная из тралений в научных съемках, содержится в БД «Траловая макрофауна бентали 1977–2010 гг.» (№ ГР 2014620535) и «Траловая макрофауна пелагиали 1979–2009» (№ ГР 2014620536). Они сформированы и обновляются из БД «Морская биология» (№ ГР 0220006765) [Волвенко, Кулик, 2011; Волвенко, 2014], куда наряду с наблюдениями из научных съемок добавляются данные, собранные наблюдателями на траловом промысле. Биологическая информация, собранная наблюдателями на ярусном промысле, сохраняется в БД «Ярусный промысел» (№ ГР 2017620351), а общая промысловая статистика в виде судовых суточных донесений (ССД) импортируется в БД «Промысел» (№ ГР 0220006764). Все вышеперечисленные БД доступны в Тихоокеанском филиале ВНИРО (ТИНРО), но последняя БД пополняется из Отраслевой системы мониторинга (ОСМ), которая ведется в Центре системы мониторинга рыболовства и связи [<http://cfmc.ru/>].

В пелагиали Охотского моря чаще всего динамика обилия рыб оказывалась связана с изменениями в индексе сибирского антициклона [Kulik, 2009], но сейчас, к сожалению, все его ряды прерваны, а унифицированной методики его расчета нет [Хен и др., 2019a]. В рядах данных, использованных нами ранее [<https://www.beringclimate.noaa.gov/>], последний год наблюдений — 2013. В итоге поиска альтернатив мы выбрали более крупномасштабный индекс — арктическое колебание в помесечном масштабе [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii.table]. Он связан с низкочастотными изменениями полей ветра и температуры воздуха, отражает изменения снежного и ледяного покровов [Хен и др., 2019a]. Изменения арктического колебания в положительной фазе синхронны с изменениями индекса сибирского антициклона [Overland et al., 1999]. Эта синхронность в целом имеет высокую статистическую достоверность ($p = 0,01$) и объясняется вовлечением сибирского антициклона в процесс взаимного проникновения арктических и субарктических воздушных масс по всему Северному полушарию [Хен и др., 2019b].

Индексы зональной и меридиональной атмосферной циркуляции, специфичные для Охотского моря, рассчитаны по методу Каца [Кац, 1954] в районе, ограниченном 40–60° с.ш. 130–160° в.д., как и ранее [Глебова, 2007], и предоставлены автором С.Ю. Глебовой.

Материалы по циркуляции вод получены из второй версии Японского эксперимента по прогнозированию циркуляции прибрежных вод океана (Japan Coastal Ocean Predictability Experiment 2) — JCOPE2 [www.jamstec.go.jp/jcope; Miyazawa et al., 2009]. Японское агентство морских и геологических наук и технологий (JAMSTEC) разрабатывает JCOPE2 с целью анализа и прогнозирования циркуляции океана. JCOPE2

основан на Принстонской модели океана с s-системой координат [Mellor et al., 2002]. Область моделирования охватывает северо-западную часть Тихого океана в диапазонах 10,5–62,0° с.ш. 108–180° в.д. Горизонтальное разрешение составляет 0,08° по обеим координатам. Напряжение трения и потоки тепла на поверхности рассчитаны по данным реанализа Национального центра прогнозирования окружающей среды (NCEP)/Национального центра атмосферных исследований (NCAR) [Kalnay et al., 1996]. Соленость поверхности моря ассимилирована по климатологическим среднемесячным данным [Conkright et al., 2002]. Спутниковые данные уровня и температуры поверхности моря, а также измеренные данные температуры и солености усваиваются трехмерным вариационным сопряженным методом.

Методы оценки запасов черного палтуса полностью соответствуют требованиям Приказа Росрыболовства № 104 от 6 февраля 2015 г. и рекомендациям ВНИРО [Бабаян и др., 2018]. В подзонах ПСО, ПЗК и ПКК применена модель «Синтез» [Ильин и др., 2014]. Она относится к числу статистических когортных моделей с сепарабельным представлением промысловой смертности и позволяет получить детальное описание динамики возрастной структуры оцениваемого запаса. Модель «Синтез» имеет сходство с такими общеизвестными моделями, как «CAGEAN» [Deriso et al., 1985] и другими статистическими когортными моделями [Quinn, Deriso, 1999]. В ПВС оценка параметров модели прибавочной продукции произведена в пространстве состояний с использованием ППП «JABBA» [Winker et al., 2018]. ППП «JABBA» все чаще замещает ППП «ASPIC» и уже используется для оценки запасов гидробионтов с различной продолжительностью жизни — тунцов в Международной комиссии по сохранению атлантических тунцов (ICCAT) и в Комиссии по тунцу в Индийском океане (IOTC), крабов в Региональном совете по управлению рыболовством в западной части Тихого океана (WPRFMC) совместно с Научным центром рыбного хозяйства тихоокеанских островов в НОАА (NOAA FPIFSC) и Региональным бюро тихоокеанских островов (PIRO), а также тихоокеанской сайры в Комиссии по рыболовству в северной части Тихого океана (NPFC).

В моделях прибавочной продукции большое значение имеет индекс вылова на усилие — CPUE_i, так как он должен отражать динамику численности, поэтому необходимо его стандартизировать. Один из самых продвинутых методов стандартизации — фильтрация наблюдений через обобщенные линейные модели (GLM) [Quinn, Deriso, 1999]. Мы провели такую стандартизацию ССД, используя GLM, в ППП «influ» [Bentley et al., 2011], рекомендуемом Международным советом по исследованию моря (ICES). Линейный предиктор η связан со средними ССД (μ) через натуральный логарифм по формуле (1), соответственно, математическое ожидание E каждого ССД (C_i) вычисляется по формуле (2), связь дисперсии с ожиданием задана по формуле (3), а линейные предикторы в ПВС и в остальных трех подзонах состоят из сумм коэффициентов категориальных факторов по формулам соответственно (4) и (5):

$$\eta = \ln(\mu); \quad (1)$$

$$E(C_i) = \exp(\eta_i); \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \phi \mu^p; \quad (3)$$

$$\eta_i = \beta_0 + \beta_{y_i}^Y + \beta_{m_i}^M + \beta_{v_i}^V; \quad (4)$$

$$\eta_i = \beta_0 + \beta_{y_i}^Y + \beta_{m_i}^M + \beta_{r_i}^R + \beta_{v_i}^V, \quad (5)$$

где σ^2 — дисперсия; ϕ — коэффициент масштаба дисперсии; β_0 — общее смещение; $\beta_{y_i}^Y$ — коэффициент i -го года (y_i) из вектора соответствующих коэффициентов в диагонали матрицы Y ; остальные бета-коэффициенты аналогичны по месяцам (M), кодам судов (V) и подзонам (R).

Степенной параметр p в составном распределении Пуассона-Гамма (или Твиди) [Jørgensen, 1997] оценивался вместе с остальными коэффициентами в ППП «mgcv» [<https://cran.r-project.org/web/packages/mgcv/index.html>]. Если этот параметр приблизит-

ся к 2, тогда распределение Твиди можно будет заменить примерно соответствующим ему (при $p = 2$) распределением Гамма [Dunn, Smyth, 2005]. Стоит отметить, что в отличие от общих линейных моделей, настроенных на трансформированных логарифмом рядах, в GLM ошибка не мультипликативная [Venables, Dichmont, 2004], а аддитивная, поэтому коррекция смещения в GLM не потребуется.

Модели биологических процессов для оценки запасов «Синтез» и «JABBA» позволяют использовать для настройки не только промысловые индексы численности (CPUE_i), но и другие, например полученные в ходе научных съемок. В качестве независимых от промысла источников информации о биомассе черного палтуса в ПВС использованы оценки запасов по данным учетных траловых съемок ТИПРО в 1997 г. — 30,0 тыс. т, в 2009 г. — 18,0 и в 2018 г. — 50,71 тыс. т, а в остальных трех подзонах в 2010 г. — 249,46 и в 2013 г. — 206,12 тыс. т, а также оценки нерестовых запасов в 2010 г. — 220,98 и в 2013 г. — 190,92 тыс. т. Именно эти оценки биомасс использовались для калибровки моделей «Синтез» и «JABBA» при обосновании ОДУ на 2020 г.

Поиск наиболее плотного ядра в скоплениях самок, готовых или готовящихся к нересту, осуществлен после моделирования их численности в обобщенной аддитивной модели (GAM), которая является частным случаем GLM [Wood, 2017] при условии стадий зрелости гонад от IV до V–VI по формуле

$$\eta_i = \beta_0 + f_1(xkm, ykm) + f_2(doy, depth) + f_3(year), \quad (6)$$

где f_1 — двумерный тонкоплечный регрессионный сплайн (TPC) [Wood, 2003] по координатам xkm , ykm на километровой сетке в универсальной трансверсальной проекции Меркатора для 56-й зоны Северного полушария (UTM56N); f_2 — тензорное произведение порядкового номера дня в году (doy) и глубины ($depth$) для учета сезонных миграций по глубине; f_3 — одномерный TPC по годам ($year$) для оценки нелинейных тенденций в численности учтенных самок.

Дисперсия моделировалась аналогично GLM по формуле (3), а связь линейного предиктора с ожиданием — по формулам (1) и (2), но вместо уловов (C_i) в наблюдениях использована плотность скоплений самок. Настройка GAM и GLM произведена методом ограниченного максимального правдоподобия [Wood, 2011], а оптимизация числа псевдоузлов TPC в GAM — методом обобщенной кросс-валидации [Wood, 2004].

После нахождения плотного ядра в скоплениях самок в его границах запускалось 250 тыс. равномерно распределенных пассивных частиц. Затем рассчитывалась их адвекция в Охотском море в поле скорости JCOPE2 в период с 1993 по 2016 г. в слое 40–50 м по глубине. Время запуска в каждый из годов: 1 октября, 1 ноября и 1 декабря. Эти месяцы соответствуют основному нерестовому сезону черного палтуса. Фиксировались время и координаты пересечения частицами из Западно-Камчатской подзоны северного (53° с.ш. 143–146° в.д.) и южного (50° с.ш. 144–147° в.д.) разрезов у восточного Сахалина, а также траектории частиц от места запуска на период времени до 240 сут. Таким образом, число частиц, пересекших разрезы, может служить косвенным показателем интенсивности переноса вод с мест нереста до восточного Сахалина.

Полученные помесечные индексы сравнивались с динамикой промыслового запаса в ПВС и численностью трехгодовиков в остальных подзонах в GLM и GAM (по формулам (1)–(3)) с учетом необходимых сдвигов во времени до 6 лет с перебором возможных сочетаний TPC и тензорных произведений. Только в одной ПВС проверено несколько десятков формул, поэтому здесь приводятся не все, а только финальная

$$\eta_i = \beta_0 + f_4(O, N), \quad (7)$$

где f_4 — тензорное произведение числа частиц, пересекших разрез у восточного Сахалина менее чем за 150 дней после запуска в октябре (O) и ноябре (N). Число степеней свободы по каждой из осей (O и N) искалось в пределах от 1 до 4 в ППП «mgcv».

Результаты и их обсуждение

Оценка запаса черного палтуса в Восточно-Сахалинской подзоне

Информационные критерии [Sakamoto et al., 1986] GLM по формуле (4) увеличивались при исключении любого из дополнительных к году факторов, следовательно, она не включает избыточное число членов. Эта GLM объяснила 35 % отклонений (в масштабе функции связи). Среди факторов стандартизации названия судов ($\beta_{v_i}^V$) объяснили большую часть дисперсии: около 26 %. Стандартизованный CPUE, или индекс численности (CPUEi), показан на рис. 1.

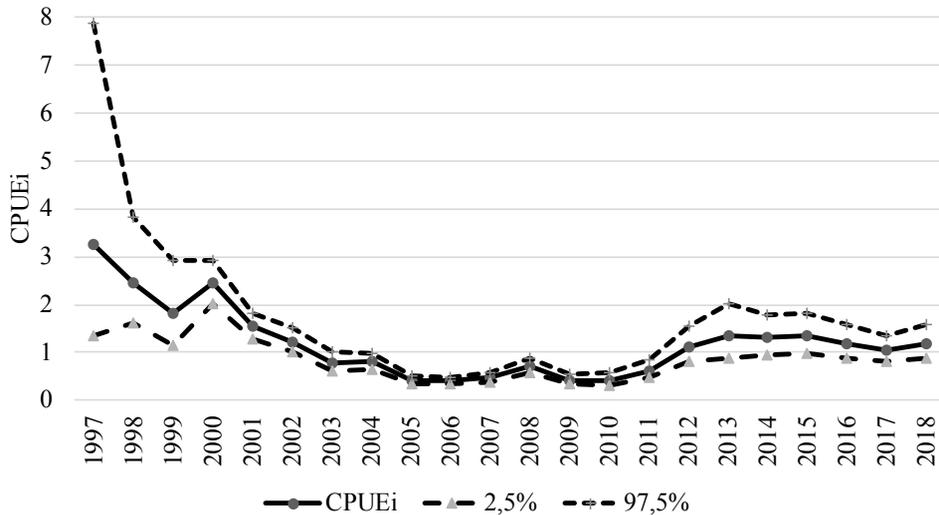


Рис. 1. Индекс вылова на усилие (CPUEi) после стандартизации в GLM и условные по данным годам границы его 95 %-ного доверительного интервала (2,5–97,5 %)

Fig. 1. Catch per unit effort index (CPUEi) after standardization in GLM and its 95 % confidence interval (2.5–97.5 %)

В отличие от оценок биомассы по данным траловых съемок, где коэффициент вариации не оценивался, ошибки индекса CPUE оценены в логарифмическом масштабе, что примерно соответствует коэффициенту вариации. Он колебался от 46 до 114 %, в среднем около 78 % с учетом ошибок в прочих параметрах. В то же время из оценок биомассы по данным траловых съемок аналогичный коэффициент вариации задан в 5 %, исходя из допущений о более точных оценках запаса в научных съемках. В ППП «ЖАВВА» неопределенность оценок CPUEi задается через стандартные ошибки в логарифмическом масштабе (LnSE), т.е. в том масштабе, в котором они и были рассчитаны в GLM.

Одно из условий применения моделей прибавочной продукции — наличие такого контраста в данных уловов и усилий, который определяется как отрицательная корреляция между ними. В нашем случае эта корреляция отрицательна ($r = -0,2$). Следовательно, мы можем использовать модели прибавочной продукции.

Найденная в ППП «ЖАВВА» динамика биомассы прошла по вероятным значениям всех индексов с низкой ошибкой процесса (от 3,2 до 9,5 %), но с высокой ошибкой наблюдений — 43,0 % (рис. 2). Стоит отметить, что положительная тенденция экстраполированных оценок из научных съемок полностью укладывается в доверительный интервал итоговой модельной динамики биомассы.

В связи с высокой неопределенностью параметров для них получены очень широкие доверительные интервалы в апостериорных распределениях (см. таблицу).

Запас в Восточно-Сахалинской подзоне, вероятно, связан с запасами в остальной части Охотского моря посредством циркуляции пелагической икры и молоди. Может

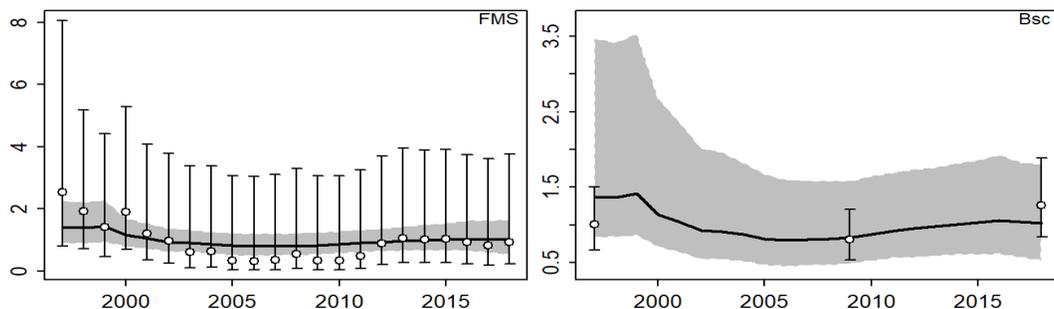


Рис. 2. Относительная динамика биомассы (черная кривая) с доверительными интервалами (серая заливка) в масштабе CPUEi (FMS) и биомасса из научных съемок (Bsc), центрированных в логарифмическом масштабе, а затем экспоненцированных

Fig. 2. Dynamics of relative biomass with credible intervals (grey shading) after scaling to CPUEi (FMS, black curve) and accounted biomass centered on the log scale and exponentiated (Bsc)

Апостериорные оценки (медианы) параметров и их 95 %-ные байесовские доверительные интервалы в обобщенной модели прибавочной продукции в пространстве состояний, полученные в ППП «JABBA»

Posterior estimates (medians) for parameters of generalized State-Space Surplus Production Model from JABBA package and their 95 % Bayesian credibility intervals (C.I.s)

Параметр	Медиана	Нижняя граница доверительного интервала (C.I.), 5 %	Верхняя граница доверительного интервала (C.I.), 95 %
K , тыс. т	13,469	5,887	40,519
r	0,100	0,042	0,225
m	1,725	0,706	4,590
F_{MSY}	0,060	0,016	0,156
B_{MSY} , тыс. т	6,322	2,265	22,805
MSY , тыс. т	0,369	0,160	0,870
B_{2018}/B_{MSY}	0,674	0,173	1,834
F_{2018}/F_{MSY}	1,542	0,369	5,872

Примечание. K — уравновешенная биомасса девственного запаса (приемная емкость); r — мгновенный коэффициент популяционного роста; m — степенной параметр формы кривой прибавочной продукции в модели Пелла-Томлинсона; F_{MSY} — мгновенный темп убыли запаса в результате промысла (F), соответствующий максимальному уравновешенному вылову (MSY); B_{MSY} — биомасса, соответствующая MSY ; B_{2018} — биомасса в 2018 г.; F_{2018} — F в 2018 г.

быть, поэтому ранее мгновенная скорость пополнения оценивалась гораздо выше: $r = 0,18$, что соответствует таковой у видов со средней продуктивностью, с возрастом массового созревания 2–4 года и сроком жизни до 10 лет, а сейчас, когда в остальной части моря началось снижение запаса, r сократился до 0,1, что больше соответствует видам с низкой продуктивностью: возрастом массового созревания 5–10 лет и продолжительностью жизни до 30 лет [Musick, 1999], как у черного палтуса [Chugunova, 1963]. Однако верхняя граница доверительного интервала r по-прежнему выше 0,2, что вместе с другими параметрами ведет к огромной неопределенности в оценках, когда в пределах вероятных прогнозов можно ожидать как рост, так и снижение биомассы запаса.

В целом за период наблюдений доля вероятных значений биомассы (B) выше максимальной устойчивой биомассы увеличивается (B_{MSY}), но доля вероятных оценок промысловой эксплуатации (F) выше максимально устойчивой (F_{MSY}) тоже выросла, особенно в последние годы (рис. 3).

При найденных широких доверительных интервалах оценка состояния запаса неоднозначна: в безопасной зоне ($B > B_{MSY}$ и $F < F_{MSY}$) находится менее 17 % вероятных относительных значений биомассы и промысловой смертности в 2018 г. В среднем

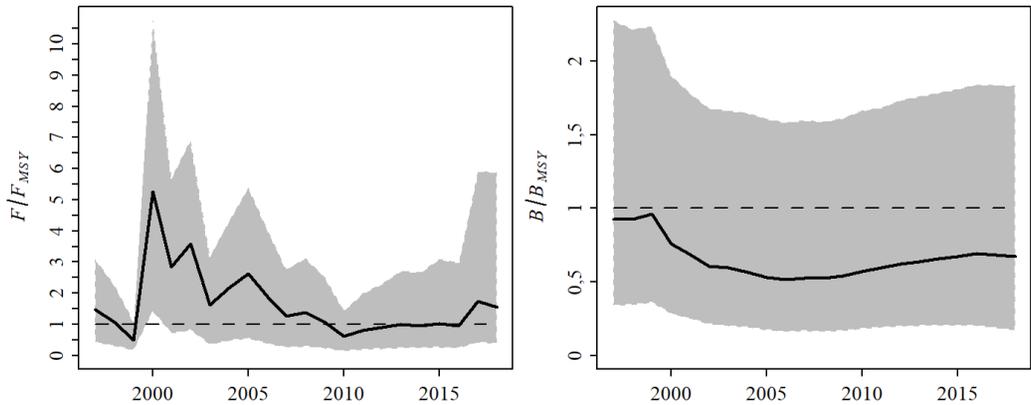


Рис. 3. Вероятные состояния запаса черного палтуса в Восточно-Сахалинской подзоне, где медианы показаны черной кривой, а 90 %-ные доверительные интервалы — серой заливкой
 Fig. 3. Probable states of greenland halibut stock in the East Sakhalin subzone. Medians are shown with black curve and 90 % credible intervals are shown in gray

биомасса прекратила рост и осталась на уровне ниже B_{MSY} , а вероятность нахождения запаса в зоне подрыва ($B < B_{MSY}$ и $F > F_{MSY}$) составляет более 71 %.

Если считать, что допущение модели о стационарности приемной емкости (K) и скорости мгновенного пополнения популяции (r) верно, то рост запаса остановился из-за увеличившегося вылова в 2017–2018 гг. Если игнорировать все возможные изменения внешней среды и считать их стационарными, то в ближайшие годы ожидается снижение биомассы черного палтуса в ПВС, если его уловы продолжат расти (рис. 4).

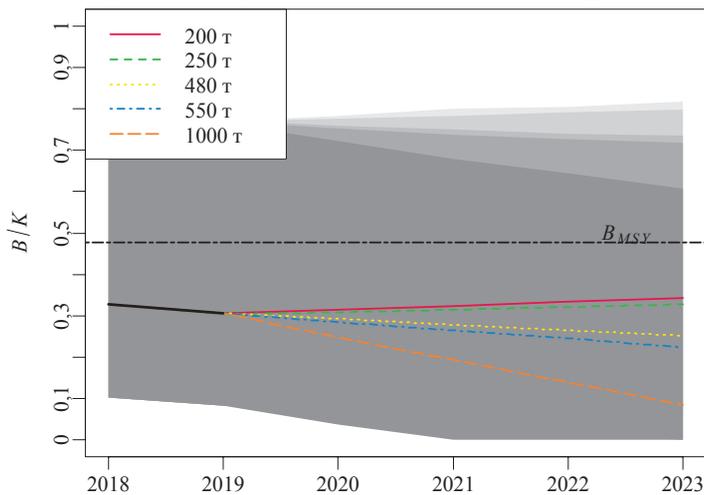


Рис. 4. Прогноз состояния запаса или динамика биомассы (B) относительно приемной емкости (K), при различном постоянном улове (т), рассчитанный в ППП «JABBA» с доверительными интервалами (серая заливка)

Fig. 4. Projections of possible states or dynamics of biomass (B) relative to carrying capacity (K) for certain constant catch (t), with credible intervals (gray shading), computed using JABBA package

С учетом неопределенности управления в современной практике регулирования ОДУ не рекомендуется изменять его более чем на 10, 15 или 20 % даже для подрыванных запасов [Kvamnsdal et al., 2016]. На 2019 г. утвержден ОДУ черного палтуса в ПВС в 600 т*, а по состоянию на 9 декабря 2019 г. добыто уже более 550 т. На следующий год ОДУ в ПВС еще выше и равен 720 т**, поэтому вопрос о вероятном влиянии факторов внеш-

* Состояние промысловых ресурсов..., 2019. С. 113–114.

** Приказ... (2019).

ней среды, которые могут дополнительно к уловам повлиять на снижение биомассы черного палтуса, очень актуален. Помня о вероятной связи запасов черного палтуса в Охотском море, необходимо учесть также динамику его биомассы в остальных подзонах ЗОМ. Таким образом, в следующем подразделе частично воспроизведена нигде не опубликованная оценка запаса, использованная для расчета ОДУ черного палтуса на 2020 г. в ПКК, ПЗК и ПСО.

Оценка запаса черного палтуса в Камчатско-Курильской, Западно-Камчатской и Северо-Охотоморской подзонах

В ПКК, ПЗК и ПСО стандартизация CPUE по формуле (5) объяснила 17,4 % отклонений (в логарифмическом масштабе функции связи). Факторами стандартизации в дополнение к основному по годам выбраны месяцы (3,2 %), подзоны (0,1 %) и названия судов (11,4 %). Дисперсия соответствовала распределению Гамма. Исключение любого из дополнительных факторов вело к увеличению информационных критериев, следовательно, GLM по формуле (5) оптимальна. Обычно стандартизация не приводит к заметным изменениям тенденций, а меняет чаще масштаб, но данная GLM оказала сильное влияние на CPUE_i (рис. 5).

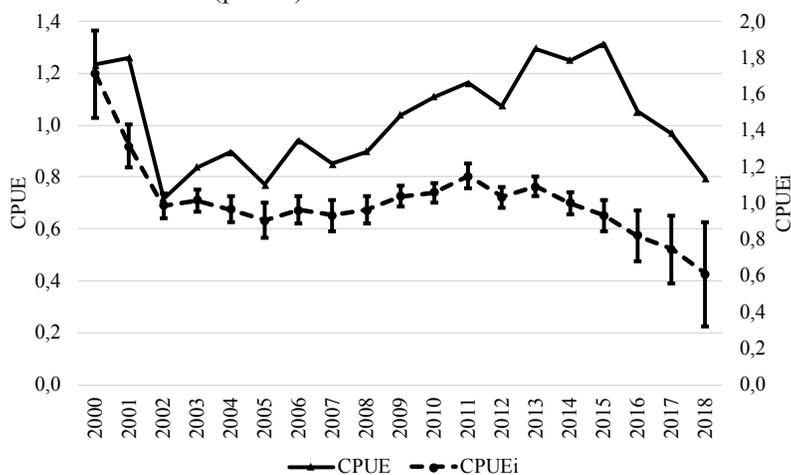


Рис. 5. CPUE и CPUE_i, центрированные средними в логарифмическом масштабе, а затем экспоненцированные. Вертикальные линии показывают условную стандартную ошибку CPUE_i
 Fig. 5. Mean CPUE and CPUE_i centered on the log scale and exponentiated. Whiskers show range of conditional standard error for CPUE_i

Такие различия не являются чем-то исключительным и лишь показывают, что стандартизация в данном случае крайне необходима. Этот процесс может быть дополнительно исследован через графики влияния факторов [Bentley et al., 2011], но это не будет нашей конечной целью, поэтому здесь пропускается.

Мгновенные коэффициенты естественной смертности по возрастным группам черного палтуса оценивались в модели «Синтез» ранее по нескольким формулам, а к оптимальной настройке привело уравнение В.В. Гулина и Г.П. Руденко [1973] при расчете ОДУ на 2017 г.* Последние оценки показаны на рис. 6.

Возрастные коэффициенты селективной промысловой смертности оценены экспоненциально-логистической функцией в результате одновременной минимизации функции потерь в программе для настройки когортной модели «Синтез» (рис. 7).

В итоге настройки модели «Синтез» оценены запасы черного палтуса (рис. 8).

Наибольший интерес для прогнозирования представляют оценки численности самой младшей возрастной группы, которая только начинает попадаться в уловах (рис. 9).

* Состояние промысловых ресурсов..., 2017. С. 101–103.

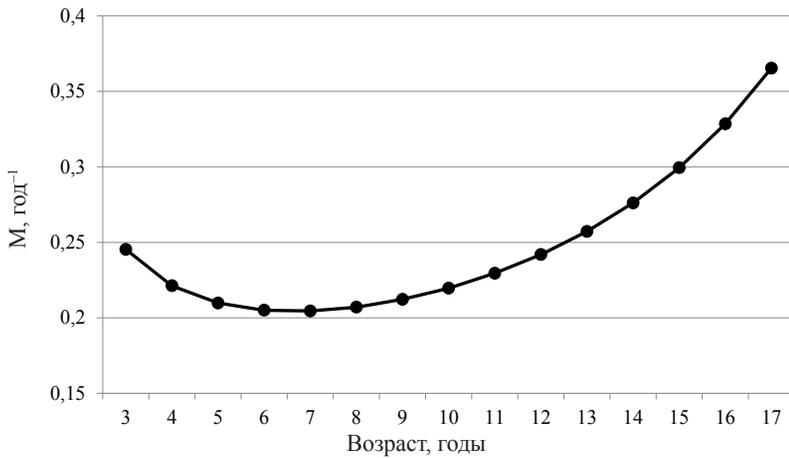


Рис. 6. Естественная смертность (M) по возрастным группам черного палтуса

Fig. 6. Natural mortality (M) of greenland halibut, by age groups

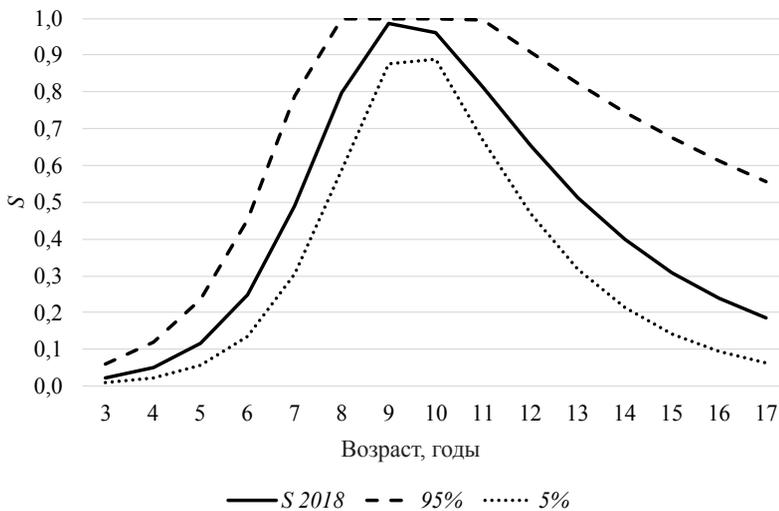


Рис. 7. Коэффициенты селективной промысловой смертности (S 2018) для возрастных групп черного палтуса и перцентили распределения S (5%...95%) после 100 переыборок

Fig. 7. Coefficients of selectivity (S 2018) for greenland halibut, by ages groups, and its percentiles (5%...95%) after 100 bootstrap runs

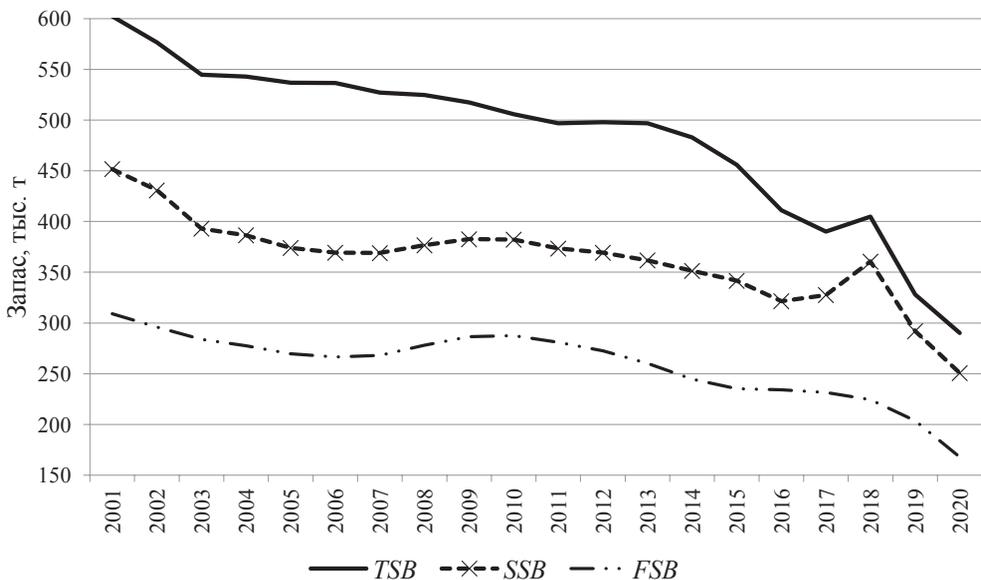


Рис. 8. Динамика общей (TSB), промысловой (FSB) и нерестовой биомассы (SSB) черного палтуса

Fig. 8. Dynamics of total stock biomass (TSB), commercial stock biomass (FSB), and spawning stock biomass (SSB) for greenland halibut

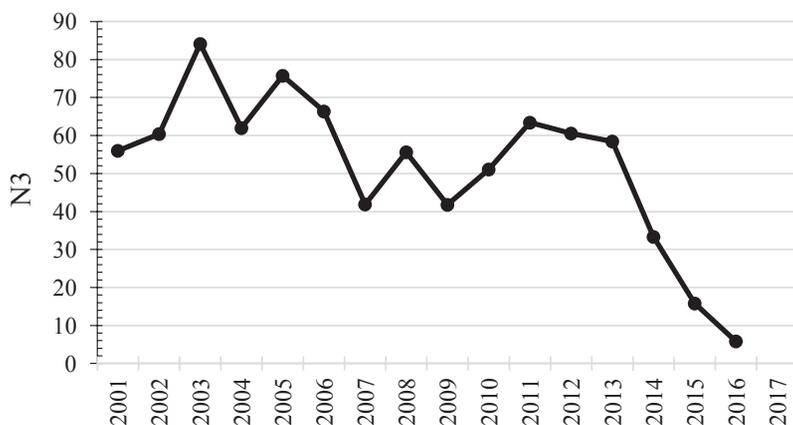


Рис. 9. Оценки численности трехгодовиков (N_3 , млн экз.) черного палтуса, найденные в статистической когортной модели уловов по возрастам «Синтез»

Fig. 9. Estimates of greenland halibut abundance in age 3+ (N_3 , 10^6 ind.) in the statistical catch-at-age cohort model Synthes

Отрицательные отклонения численности трехгодовиков от ожидаемой по зависимости Бивертон-Холта могут также быть следствием сноса пополнения с нерестилищ. Эти отклонения рассчитываются в модели «Синтез» автоматически в логарифмическом масштабе. Сильное сокращение численности трехгодовиков черного палтуса в ПКК, ПЗК и ПСО также синхронно с самыми большими отрицательными отклонениями в 2015–2016 гг. (рис. 10).

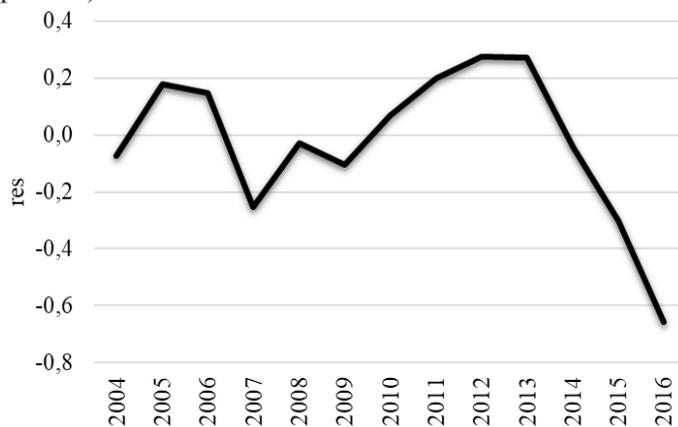


Рис. 10. Разница (res) между оценками численности черного палтуса в возрасте 3+, рассчитанной в модели «Синтез» и по зависимости Бивертон-Холта в логарифмическом масштабе

Fig. 10. Logarithmed difference (res) between the greenland halibut abundance in age 3+ calculated with the model Synthes and using Beverton-Holt equation

Плотность скоплений самок в нерестовый сезон

Согласно имеющимся данным основные месяцы, когда самки черного палтуса готовятся или уже готовы к нересту (стадии зрелости гонад IV–V) — сентябрь, пик в октябре и завершение в ноябре-декабре (рис. 11).

Все компоненты GAM по формуле (6) оценены как статистически высоко значимые ($p < 0,001$). Исключение любого из них вело к увеличению информационных критериев. Следовательно, полученная GAM оптимальна. Она описала 54 % дисперсии, а степенной параметр Твиди определен около 1,4. Это значит, что составное распределение было ближе к распределению Пуассона, что неудивительно при моделировании численности. Пространственная компонента в километровой проекции показана на рис. 12. Осталь-

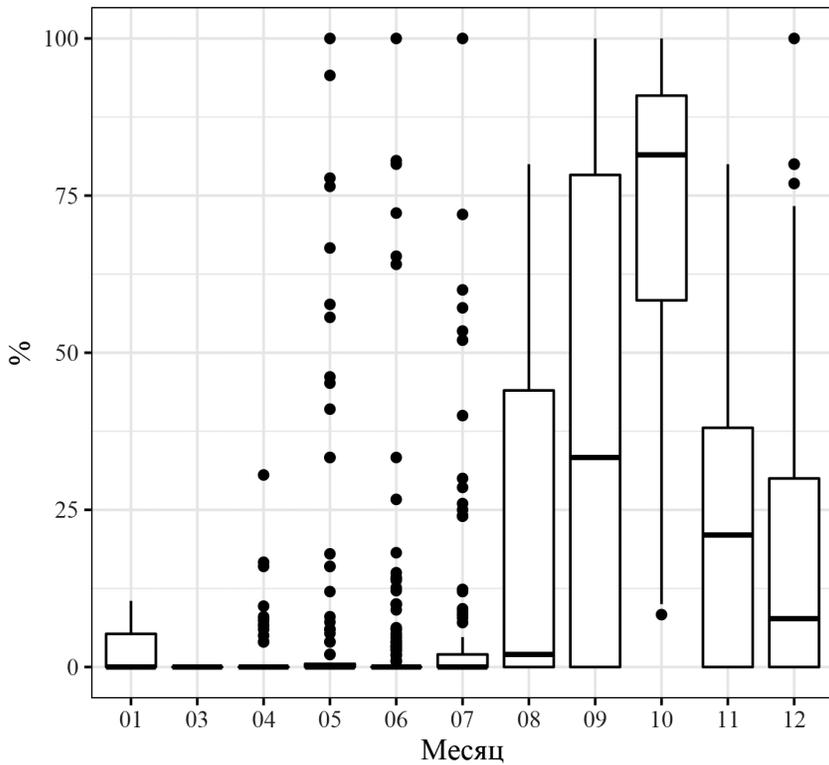


Рис. 11. Доля рыб, готовых к нересту в зависимости от месяца, %
Fig. 11. Percent of fish ready for spawning, by months

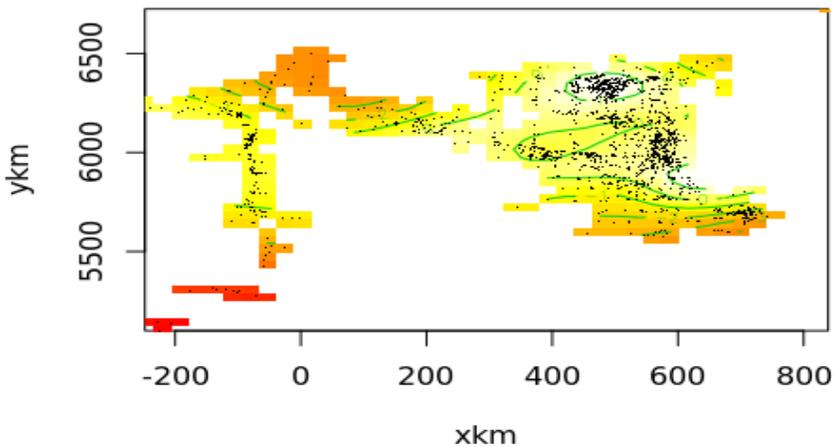


Рис. 12. Теплокарта пространственной компоненты GAM по формуле (6) в километровой сетке
Fig. 12. Heatmap of spatial component in GAM from equation (6), in km grid

ные компоненты тоже интересны, но их исследование выходит за рамки данной статьи. Главное, что мы уточнили среднестатистические пространственные границы наиболее плотных скоплений готовых к нересту самок. Прежде утверждалось, что практически весь охотоморский палтус нерестится на небольшом по площади нерестилище, расположенном у юго-западного побережья Камчатки (южнее 52° с.ш.) [Зуенко и др., 2019]. В наших расчетах этот участок оказывается севернее 52° с.ш.: в районе $53,0-54,5^\circ$ с.ш. между $151,0-153,05^\circ$ в.д., поэтому мы использовали последние границы в последующих расчетах (рис. 13).

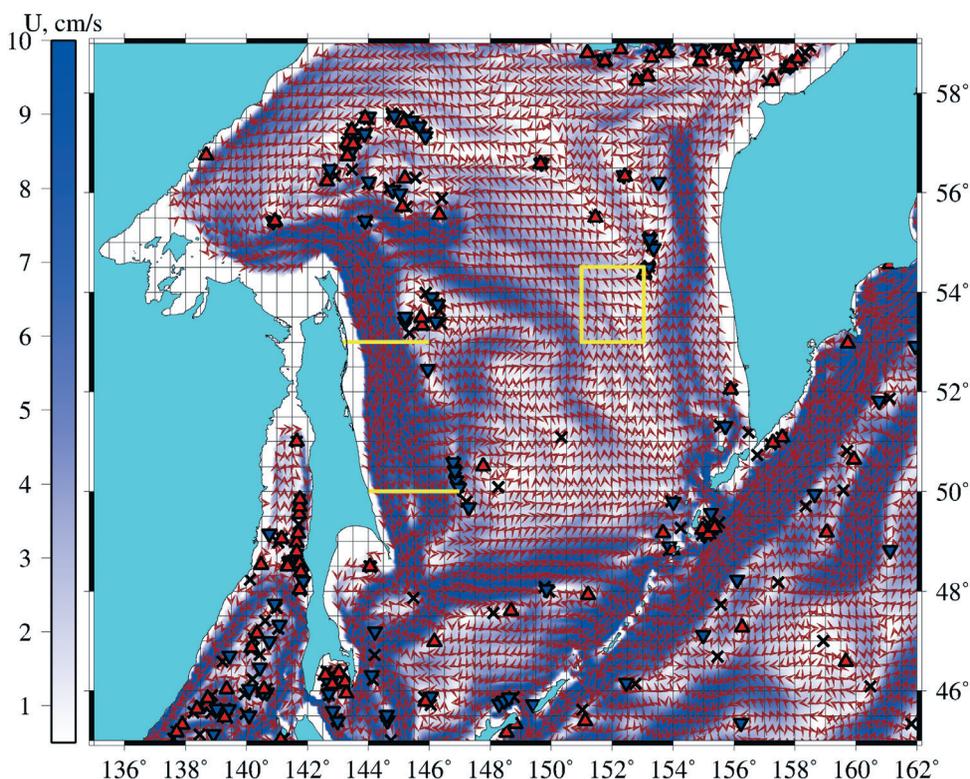


Рис. 13. Поле скорости численной модели циркуляции JCOPE2 с 1 октября по 1 апреля в слое 40–50 м, усредненное за период с 1993 по 2016 г. Желтые отрезки у восточного побережья Сахалина показывают северный и южный разрезы для счета пассивных частиц, а желтый прямоугольник у западной Камчатки — место запуска пассивных частиц

Fig. 13. Velocity field of JCOPE2 circulation model for the depth of 40–50 m averaged between October 1 and April 1 in 1993–2016. Yellow rectangle — the area of passive particles releasing at western Kamchatka; yellow segments — the sections of passive particles accounting off eastern Sakhalin

Оценка переноса пассивных частиц

Моделирование переноса пассивных частиц, имитирующих икру и личинок, выполнялось лагранжевыми методами [Prants et al., 2017]. После запуска частиц в заданном районе (рис. 13) в фиксированные даты 1 октября, 1 ноября и 1 декабря в период с 1993 по 2017 г. они адвектировались в поле скорости JCOPE2 в слое 40–50 м. Для каждой частицы, запущенной в указанные даты, рассчитано время прибытия на северный и южный сахалинские разрезы. Построены функции распределения частиц по времени их прибытия на сахалинские разрезы для каждого года с 1993 по 2016 (декабрь) или 2017 г. Эти функции распределения состоят из нескольких выделенных пиков, так как в процессе адвекции начальное пятно расщеплялось на несколько и частицы прибывали на разрезы большими группами. Для подавляющего большинства частиц время переноса до северного разреза находится в интервале 100–200 сут. Минимальное время прибытия на северный разрез — 80 сут (запуск 1 декабря 2013 г.). На южный разрез частицы приходят примерно на 20 сут позже, чем на северный. Столько времени им требуется для преодоления 330 км между разрезами при средней скорости Восточно-Сахалинского течения в холодный период года 20 см/с. На рис. 14 представлены типичные функции распределения по времени прибытия на северный и южный сахалинские разрезы частиц, запущенных 1 октября, 1 ноября и 1 декабря 2015 г. и достигших разрезов уже в 2016 г. Частицы, запущенные в осенние месяцы, адвектируются быстрее, чем запущенные 1 декабря.

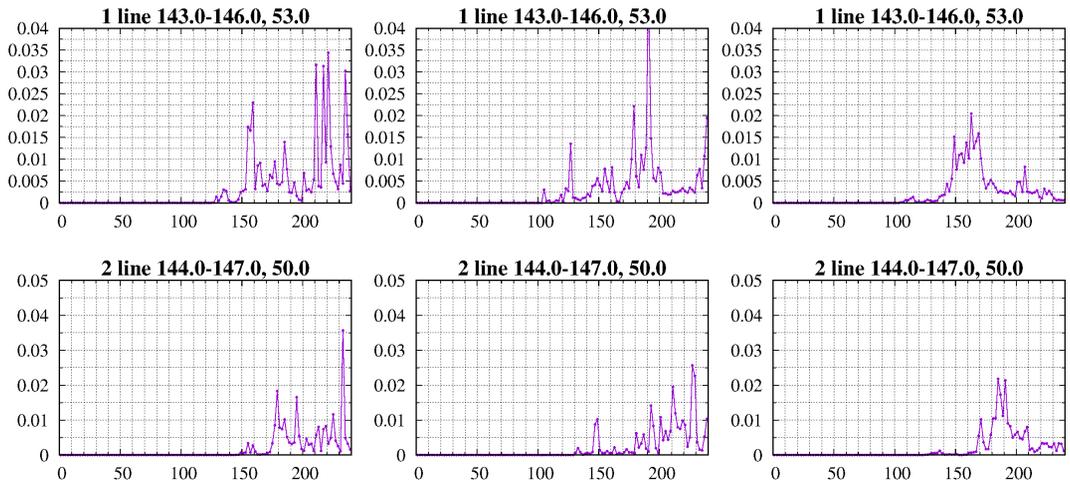


Рис. 14. Нормированное распределение частиц по времени прибытия (в сутках) на северный (верхний ряд) и южный (нижний ряд) сахалинские разрезы

Fig. 14. Normalized distribution of particles by arrival time (days) to the northern section (top panel) and southern section (bottom panel) at eastern Sakhalin

Все пути переноса пассивных частиц, представлявших икру, личинок и молодь черного палтуса, из восточной части моря в западную в поле скорости JCOPE2 показаны как «следы» всех частиц, запущенных 1 декабря каждого года в период с 1993 по 2016 г. (рис. 15). Время счета составляло 240 сут. Как и следовало ожидать, частицы адвектируются мористой ветвью Западно-Камчатского течения и Срединным течением, а затем попадают в зону влияния Восточно-Сахалинского течения, которое и приносит их на выделенные разрезы. Для частиц, запущенных 1 октября и 1 ноября, получены похожие картины переноса.

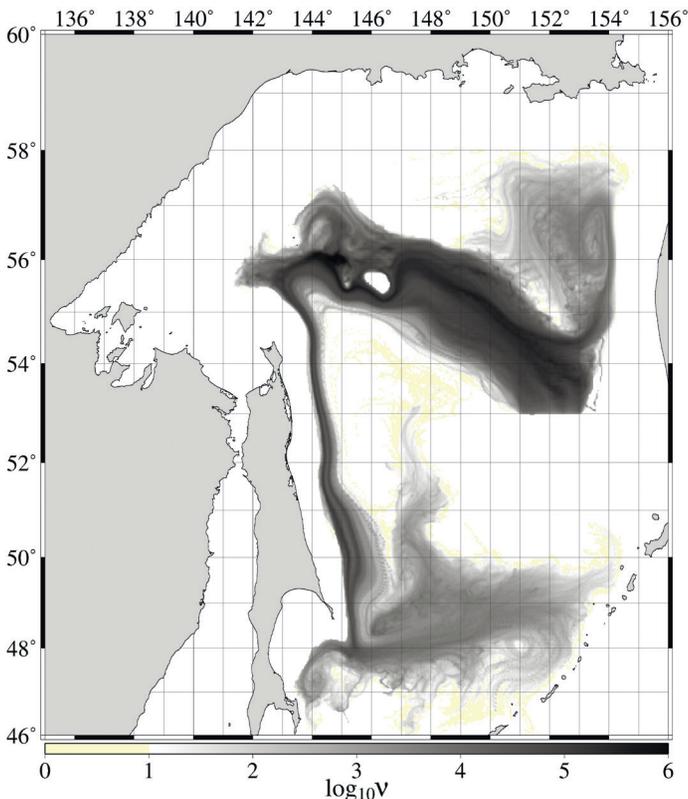


Рис. 15. Следы всех пассивных частиц, запущенных 1 декабря каждого года в период с 1993 по 2016 г. Время счета 240 сут

Fig. 15. Tracks of all particles released at western Kamchatka (rectangular at Fig. 13) on December 1 of 1993–2016 (run time 240 days)

В итоге мы сосчитали количество частиц, достигших северного сахалинского разреза в период с 1993 по 2017 г. за интервал времени менее 150 сут. Количество таких частиц по годам в процентах от полного числа частиц в начальном пятне для разных дат запуска приведено на рис. 16. Отметим довольно значительные колебания этих чисел в разные годы, от 0 до 20 %.

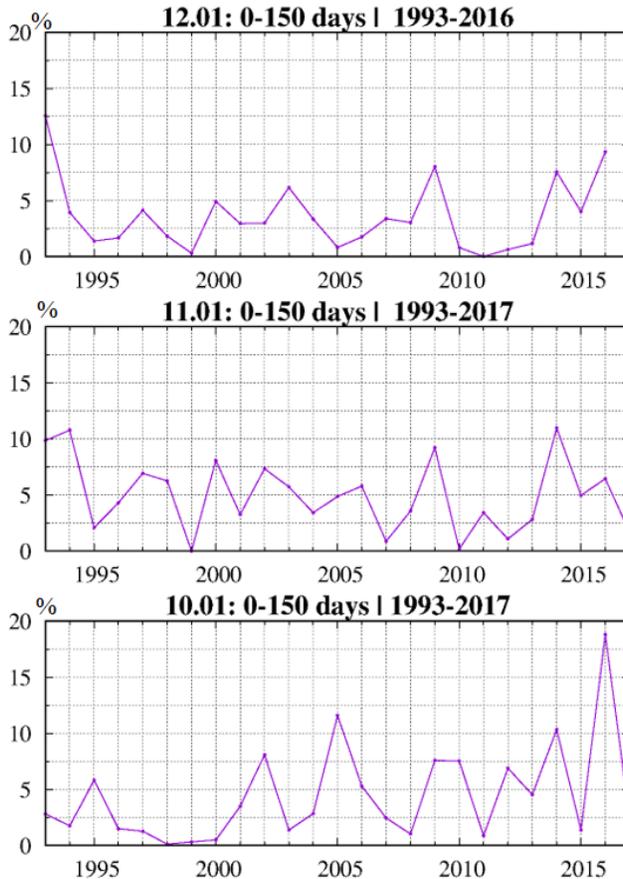


Рис. 16. Доля частиц (%) по годам, достигших северного сахалинского разреза быстрее чем за 150 сут при их запуске из заданного района в декабре (12.01), ноябре (11.01) и октябре (10.01)
Fig. 16. Percent of the particles crossed the northern section at eastern Sakhalin within 150 days after releasing on December 1 (12.01), November 1 (11.01), and October 1 (10.01) in 1993–2016

Корреляции с атмосферными индексами

Максимальная корреляция между ошибкой определения численности трехгодовиков от нерестового запаса по связи Бивертон-Холта найдена ($r = 0,64$, $p = 0,03$) с индексом арктического колебания в июле после соответствующего сдвига на 4 года назад. Массовый нерест черного палтуса начинается минимум на один месяц позже, поэтому механизм этой статистической связи мы объяснить даже не пытались. При аналогичном сдвиге в прошлое на 4 года индексов атмосферного переноса в Охотском море наибольшей ($r = 0,52$) и значимой корреляцией ($p < 0,05$) обладали связи численности трехгодовиков с индексом зонального переноса в январе и меридионального — в марте.

Усиление западного и ослабление северного переноса зимой может вызывать усиление Северо-Охотского противотечения, которое проходит по возвышенности Лебеда в юго-восточном направлении, огибая банку Кашеварова с севера. В то же время западные ветры способны препятствовать развитию Северо-Охотского течения и проникновению Северной ветви Западно-Камчатского течения на шельф Притауй-

ского района, вынуждая ее развернуться в направлении зал. Шелихова. В результате формируется обширная антициклональная циркуляция, объединяющая антициклон вдоль северного склона впадины ТИНРО и антициклон над желобом зал. Шелихова. В этот круговорот может попасть зоопланктон, выносимый как с западных, так и с южных участков моря, что, в свою очередь, способствует увеличению его биомассы в данном районе.

Устойчивые восточные ветры на фоне активизации северного переноса ослабляют Северо-Охотское противотечение, но способствуют выходу Северной ветви Западно-Камчатского течения на шельф к п-ову Кони и проникновению ее далеко на запад, где формируется восточная ветвь Северо-Охотского течения. В этом случае происходит вынос зоопланктона в северо-западные районы Охотского моря.

Таким образом, начиная с атмосферной циркуляции уже прослеживается связь пополнения черного палтуса, но пока опосредованно.

Связь запасов черного палтуса в Охотском море с переносом пассивных частиц

Численность трехгодовиков сильнее всего обратно ($r = -0,57$) и значимо связана ($p < 0,05$) с интенсивностью переноса частиц в декабре без временных сдвигов, что не имеет под собой очевидного биологического смысла, так как в таком возрасте рыбы уже давно перешли к донному образу жизни, являясь активными пловцами. Можно лишь спекулировать на тему дальних связей с кормовыми объектами, но не в этой работе. С учетом четырехлетней задержки значимых связей не обнаружено. Вероятно, численность пополнения черного палтуса в ПКК, ПЗК и ПСО прямо не зависит от гидрологической циркуляции, поэтому вероятный механизм связи с индексами атмосферной циркуляции остался для нас загадкой.

В ПВС промысловый запас находился в противофазе с численностью трехгодовиков в остальных подзонах ЗОМ: при задержке в 3 года $r = -0,53$ ($p < 0,05$), а при задержке в 4 года $r = -0,49$ ($p < 0,1$). Эти связи укладываются в гипотезу о сносе пополнения из восточной части моря в западную, что и вызывает противофазные аномалии относительно нерестового запаса.

Максимальной корреляция оказалась между нерестовым запасом черного палтуса в северо-восточной части моря и промысловым запасом в ПВС с учетом пятилетней задержки ($r = -0,70$, $p < 0,05$). Эту статистическую связь объяснить проблематично. Среди множества проверенных единственная корреляция, которую мы в состоянии прокомментировать, обнаружена между долей частиц, пересекших северный разрез на востоке Сахалина после запуска в декабре, и биомассой запаса черного палтуса в ПВС через 6 лет ($r = 0,44$, $p < 0,05$). Согласно оценкам селективности (см. рис. 7) как раз после 6 лет черный палтус начинает оказывать заметное (по медиане — это треть) влияние на уловы, следовательно, и на промысловый запас. Таким образом, мы сосредоточили внимание на шестилетних задержках, хотя и другие задержки тоже проверялись, но они не привели к лучшим результатам.

В итоге перебора множества сочетаний динамики промысловой биомассы (FSB) черного палтуса в ПВС и долей частиц, пересекших северный разрез менее чем за 150 сут, с учетом шестилетней задержки мы нашли, что прогнозы GAM по формуле (7) связаны с динамикой промысловой биомассы теснее ($r = 0,94$, $p < 0,05$), чем с CPUЕi ($r = 0,82$). Более того, прогноз динамики промысловой биомассы, рассчитываемый в данной GAM (рис. 17), соответствует отрицательным ожиданиям в динамике биомассы на ближайшие годы, показанным на рис. 4.

В масштабе функции связи полученная GAM объясняет 85,5 % дисперсии для распределения Твиди со степенным параметром, близким к 2. Однако в диапазонах возможных сочетаний долей переноса частиц, запущенных в октябре и ноябре, реальных оценок еще очень мало (рис. 18).

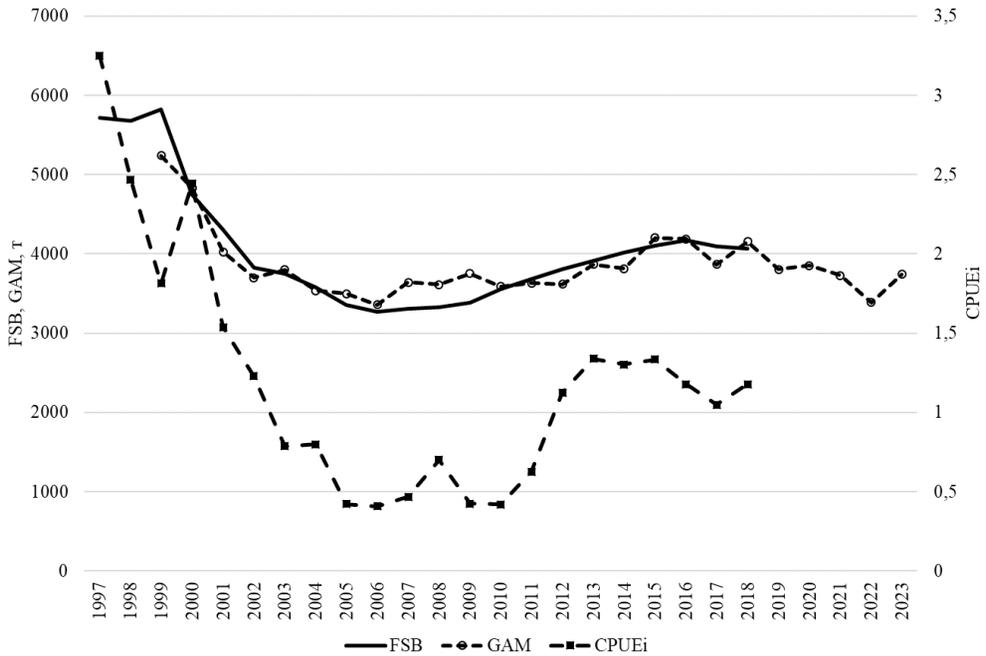


Рис. 17. Оценки промысловой биомассы (FSB), прогноз в GAM и $CPUE_i$ в подзоне Восточно-Сахалинской

Fig. 17. Estimates of commercial biomass (FSB), its GAM forecast, and $CPUE_i$ for greenland halibut in the East-Sakhalin fishery subzone

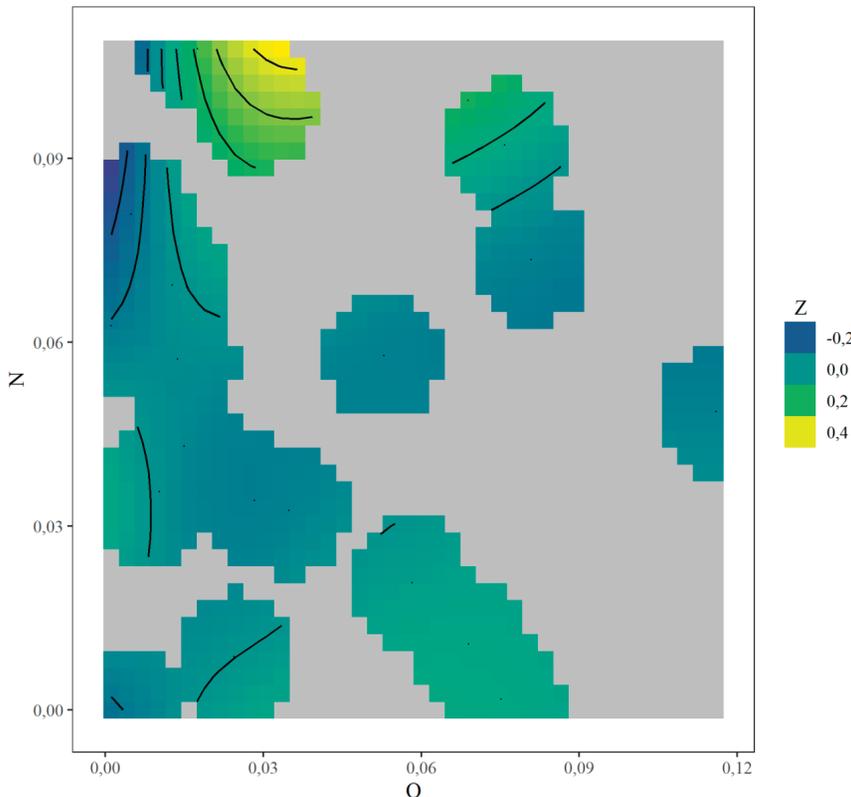


Рис. 18. Области нахождения тензорного произведения ($Z = f_4(O, N)$) долей частиц, сосчитанных после запуска в октябре (O) и ноябре (N) в GAM по формуле (7)

Fig. 18. Areas of estimation of tensor product ($Z = f_4(O, N)$) in GAM by formula (7) for portions of the particles released at western Kamchatka in October (O) and November (N) and counted at eastern Sakhalin

Заключение

В последние годы происходит снижение основных запасов черного палтуса в северо-восточной части Охотского моря на фоне небольшого роста промыслового запаса у восточного Сахалина. Однако согласно моделям прибавочной продукции и полученной GAM ожидания дальнейшего роста запаса в Восточно-Сахалинской подзоне не имеют под собой надежных оснований. Скорее всего, там промысловый запас начнет снижаться. Это может быть обусловлено не столько снижением нерестового запаса в остальной части моря, сколько уже сложившимися условиями в циркуляции во время и после нереста черного палтуса. Связь такого прогноза с динамикой промыслового запаса очень высокая и значимая ($r = 0,94$, $p < 0,05$).

В условиях огромной неопределенности прогнозов, полученных в ППП «JABBA», в которой внешние факторы считаются стационарными (выраженными через стационарную приемную емкость и скорость мгновенного пополнения популяции), новые прогнозы в данной статье на основе настроенной GAM должны помочь при принятии решений об изменении ОДУ черного палтуса.

Благодарности

Авторы выражают признательность всем участникам научных рейсов и наблюдателям на промысле, чьи материалы использованы для настройки модели «Синтез», а также руководству Центра системы мониторинга рыболовства и связи за предоставление доступа к Отраслевой системе мониторинга для получения судовых суточных наблюдений. Благодарим сотрудников JAMSTEC за проведение эксперимента JCOPE2. Особая благодарность авторам моделей «Синтез» О.И. Ильину и «JABBA» Henning Winker за разработку удобных ППП для настройки их моделей.

Финансирование работы

Работа С.В. Пранца, М.В. Будянского, М.Ю. Улейского и П.А. Файмана по лагранжево моделированию финансово поддержана Российским научным фондом в рамках проекта № 19-17-00006. Оценка состояния запасов черного палтуса проведена в рамках государственного задания № 076-00005-19-00 ФГБНУ «ВНИРО» на 2019 г.

Соблюдение этических стандартов

Авторы заявляют, что настоящая работа не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки на все использованные данные других авторов оформлены в соответствии с ГОСТом.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Информация о вкладе авторов

В.В. Кулик провел настройку и описание моделей GLM, GAM, «Синтез» и «JABBA», С.В. Пранц, М.В. Будянский, М.Ю. Улейский и П.А. Файман провели подбор данных численной модели циркуляции и лагранжево моделирование адвекции пассивных частиц в Охотском море. И.И. Глебов и Р.Н. Новиков подготовили материалы для настройки модели «Синтез», С.Ю. Глебова оценила и описала индексы зонального и меридионального переноса. В анализе и обсуждении результатов принимали участие все авторы.

Список литературы

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.

Волвенко И.В. Новая база данных донных траловых станций, выполненных в дальневосточных морях и северной части Тихого океана в 1977–2010 гг. // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 177. — С. 3–24. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-177-3-24.

Волвенко И.В., Кулик В.В. Обновленная и дополненная база данных пелагических траловых станций, выполненных в дальневосточных морях и северной части Тихого океана в 1979–2009 гг. // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 164. — С. 3–26.

Глебова С.Ю. Особенности развития атмосферных процессов над Охотским морем в 2000–2006 гг. // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 150. — С. 200–216.

Гулин В.В., Руденко Г.П. К методике определения продукции популяций рыб в озерах // Вопр. ихтиол. — 1973. — Т. 13, № 6(83). — С. 977–989.

Дьяков Ю.П. Камбалообразные (Pleuronectiformes) дальневосточных морей России (пространственная организация фауны, сезоны и продолжительность нереста, популяционная структура вида, динамика популяций) : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2011. — 433 с.

Дьяков Ю.П. Популяционная структура тихоокеанского черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides* // Вопр. ихтиол. — 1991. — Т. 31, вып. 3. — С. 404–414.

Дьяков Ю.П. Распределение и популяционная структура тихоокеанского черного палтуса // Биол. моря. — 1984. — № 5. — С. 57–60.

Зуенко Ю.И., Асеева Н.Л., Глебова С.Ю. и др. Современные изменения в экосистеме Охотского моря (2008–2018 гг.) // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 197. — С. 35–61. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-197-35-61.

Ильин О.И., Сергеева Н.П., Варкентин А.И. Оценка запасов и прогнозирование ОДУ восточно-камчатского минтая (*Theragra chalcogramma*) на основе предосторожного подхода // Тр. ВНИРО. — 2014. — Т. 151. — С. 62–74.

Кац А.Л. Об изучении и оценке общей циркуляции атмосферы // Метеорол. и гидрол. — 1954. — № 6. — С. 13–18.

Кулик В.В. Многолетняя динамика относительного обилия nekтона и макропланктона в верхних слоях пелагиали Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 150. — С. 56–85.

Николенко Л.П. Биология и промысел черного палтуса Охотского моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 1998. — 28 с.

Николенко Л.П., Катугин О.Н. Генетическая дифференциация черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides* в Охотском море и сопредельных водах // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 251–270.

Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. Основные климатические индексы для северной части Тихого океана: природа и история (литературный обзор) // Изв. ТИНРО. — 2019а. — Т. 197. — С. 166–181. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-197-166-181.

Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. Изменчивость и взаимосвязь основных климатических индексов для северной части Тихого океана: тренды, климатические сдвиги, спектры, корреляции // Изв. ТИНРО. — 2019б. — Т. 199. — С. 163–178. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-199-163-178.

Шершенков С.Ю. О минимальной промысловой мере для черного палтуса Охотского моря // Тр. ВНИРО. — 2006. — Т. 146. — С. 244–247.

Шунтов В.П. Некоторые закономерности вертикального распределения черного и стрелозубых палтусов в северной части Тихого океана // Вопр. ихтиол. — 1966. — Т. 6, вып. 1(38). — С. 32–41.

Шунтов В.П., Иванов О.А., Горбатенко К.М. Что же произошло в экосистеме Охотского моря в 2008–2018 гг.? // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 197. — С. 62–82. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-197-62-82.

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.

Chugunova N.I. Age and growth studies in fish: a systematic guide for ichthyologists. — Jerusalem : Israel Program for Scientific Translations, 1963. — 132 p.

Conkright M.E., Antonov J.I., Baranova O. et al. World ocean database 2001, Vol. 1 : Introduction / Levitus S. (ed.), NOAA Atlas NESDIS vol. 42. — Wash., DC : Government Printing Office, 2002. [CD-Rom]

Deriso R.B., Quinn II T.J., Neal P.R. Catch-age analysis with auxiliary information // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1985. — Vol. 42, № 4. — P. 815–824. DOI: 10.1139/f85-104.

Dunn P.K., Smyth G.K. Series evaluation of Tweedie exponential dispersion model densities // Stat. Comput. — 2005. — Vol. 15, Iss. 4. — P. 267–280. DOI: 10.1007/s11222-005-4070-y.

Hubbs C.L., Wilimovsky N.J. Distribution and synonymy in the Pacific Ocean and variation, of the Greenland Halibut, *Reinhardtius hippoglossoides* (Walbaum) // J. Fish. Res. Board Can. — 1964. — Vol. 21, № 5. — P. 1129–1154. DOI: 10.1139/f64-101.

- Jørgensen B.** The Theory of Dispersion Models : Monogr. Stat. Appl. Probab. (Book 76). — L. : Chapman and Hall, 1997. — 256 p.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al.** The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Am. Meteor. Soc. — 1996. — Vol. 77, № 3. — P. 437–471. DOI: 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TN YRP>2.0.CO;2.
- Kulik V.** Responses of relative abundance of dominants in fish communities to the Sea of Okhotsk climate variability // PICES Sci. Rep. — 2009. — № 36. — P. 278–287.
- Kvamsdal S.F., Eide A., Ekerhovd N.-A. et al.** Harvest control rules in modern fisheries management // Elem. Sci. Anth. — 2016. — Vol. 4. — P. 000114. DOI: 10.12952/journal.elementa.000114.
- Mellor G., Hakkinen S., Ezer T., Patchen R.** A generalization of a sigma coordinate ocean model and an intercomparison of model vertical grids // Ocean Forecasting: Conceptual Basis and Applications. — B. : Springer, 2002. — P. 55–72. DOI: 10.1007/978-3-662-22648-3_4.
- Miyazawa Y., Zhang R., Guo X. et al.** Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis // J. Oceanogr. — 2009. — Vol. 65, Iss. 6. — P. 737–756. DOI: 10.1007/s10872-009-0063-3.
- 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.
- Overland J.E., Adams J.M., Bond N.A.** Decadal variability of the Aleutian Low and its relation to high-latitude circulation // J. Climate. — 1999. — Vol. 12, Iss. 5. — P. 1542–1548. DOI: 10.1175/1520-0442(1999)012<1542:DVOTAL>2.0.CO;2.
- Prager M.H.** A suite of extensions to a nonequilibrium surplus-production model // Fish. Bull. — 1994. — Vol. 92. — P. 374–389.
- Prager M.H.** Comparison of logistic and generalized surplus-production models applied to swordfish, *Xiphias gladius*, in the north Atlantic Ocean // Fish. Res. — 2002. — Vol. 58, Iss. 1. — P. 41–57. DOI: 10.1016/S0165-7836(01)00358-7.
- Prants S.V., Uleysky M.Yu., Budyansky M.V.** Lagrangian oceanography: large-scale transport and mixing in the ocean. — B. ; N.Y. : Springer Verlag, 2017. — 271 p.
- Quinn T.J., Deriso R.B.** Quantitative Fish Dynamics. — N.Y. : Oxford Univ. Press, 1999. — 542 p.
- Sakamoto Y., Ishiguro M., Kitagawa G.** Akaike Information Criterion Statistics : Mathematics and its Applications. — Springer Netherlands, 1986. — 290 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.
- Walbaum J.J.** Petri Artedi sueci genera piscium. In quibus systema totum ichthyologiae proponitur cum classibus, ordinibus, generum characteribus, specierum differentiis, observationibus plurimis. Redactis speciebus 242 ad genera 52. Ichthyologiae pars III. — Grypeswaldiae [Greifswald] : Ant. Ferdin. Rose, 1792. — 723 p. [Reprint 1966 by J. Cramer.] — Available at <https://archive.org/details/petriartedisueci03arte>.
- 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, № 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. <https://doi.org/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

- 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.

Volvenko, I.V., New database of bottom trawl stations performed in the Far-Eastern Seas and the North Pacific in 1977–2010, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 177, pp. 3–24. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-177-3-24.

Volvenko, I.V. and Kulik, V.V., Updated and expanded database of pelagic trawl surveys in the Far Eastern Seas and North Pacific for 1979–2009, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 164, pp. 3–26.

Glebova S.Yu. Features of atmospheric processes development over the Okhotsk Sea in 2000–2006, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 150, pp. 200–216.

Gulin, V.V. and Rudenko, G.P., A contribution to the methods of assessing fish production in lakes, *Vopr. Ikhtiolog.*, 1973, vol. 13, no. 6(83), pp. 977–989.

Dyakov, Yu.P., *Kambaloobraznyye (Pleuronectiformes) dal'nevostochnykh morey Rossii (prostranstvennaya organizatsiya fauny, sezony i prodolzhitel'nost' neresta, populyatsionnaya struktura vida, dinamika populyatsiy)* (Flatfish (Pleuronectiformes) of the Far Eastern Seas of Russia (spatial organization of fauna, seasons and duration of spawning, population structure of the species, population dynamics)), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2011.

Dyakov, Yu.P., Population structure of the Greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides*, *Vopr. Ikhtiolog.*, 1991, vol. 31, no. 3, pp. 404–414.

Dyakov, Yu.P., Distribution and population structure of Pacific black halibut, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1984, no. 5, pp. 57–60.

Zuenko, Yu.I., Aseeva, N.L., Glebova, S.Yu., Gostrenko, L.M., Dubinina, A.Yu., Dulepova, E.P., Zolotov, A.O., Loboda, S.V., Lysenko, A.V., Matveev, V.I., Mukte Pavel, L.S., Ovsyannikov, E.E., Figurkin, A.L., and Shatilina, T.A., Recent changes in the Okhotsk Sea ecosystem (2008–2018), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 197, pp. 35–61. doi 10.26428/1606-9919-2019-197-35-61

Ilyin, O.I., Sergeeva, N.P., and Varkentin, A.I., Estimation of reserves and forecasting of TAC of East Kamchatka pollock (*Theragra chalcogramma*) based on a precautionary approach, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 151, pp. 62–74.

Katz, A.L., On the study and assessment of the general circulation of the atmosphere, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 1954, no. 6, pp. 13–18.

Kulik, V.V., Long dynamics of nekton and macroplankton relative abundance in the upper layer of the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 150, pp. 56–85.

Nikolenko, L.P., Biology and harvesting of Greenland halibut in the Sea of Okhotsk, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 1998.

Nikolenko, L.P. and Katugin, O.N., Genetic differentiation of Greenland turbot *Reinhardtius hippoglossoides* in the Okhotsk Sea and adjacent waters, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 124, pp. 251–270.

Khen, G.V., Ustinova, E.I., and Sorokin, Yu.D., Principal climate indices for the North Pacific: nature and history (a review), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019a, vol. 197, pp. 166–181. doi 10.26428/1606-9919-2019-197-166-181

Khen, G.V., Ustinova, E.I., and Sorokin, Yu.D., Variability and interrelation of the basic climate indices for the North Pacific: trends, climate shifts, spectra, correlations, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019b, vol. 199, pp. 163–178. doi 10.26428/1606-9919-2019-199-163-178

Shershenkov, S.Yu., On the minimum commercial measure for the black halibut of the Sea of Okhotsk, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 146, pp. 244–247.

Shuntov, V.P., The vertical distribution of the black halibut *Reinhardtius hippoglossoides* matsurae J. et Snyder, *Atheresthes evermanni* J. et St. and *Atheresthes stomas* J. et G. in the northern part of the Pacific Ocean, *Vopr. Ikhtiolog.*, 1966, vol. 6, no. 1(38), pp. 32–41.

Shuntov, V.P., Ivanov, O.A., and Gorbatenko, K.M., What happened in the ecosystem of the Okhotsk Sea in 2008–2018?, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 197, pp. 62–82. doi 10.26428/1606-9919-2019-197-62-82

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

Chugunova, N.I., *Age and growth studies in fish: a systematic guide for ichthyologists*, Jerusalem: Israel Program for Scientific Translations, 1963.

Conkright, M.E., Antonov, J.I., Baranova, O., Boyer, T.P., Garcia, H.E., Gelfeld, R., Johnson, D., Locarnini, R.A., Murphy, P.P., O'Brien, T.D., Smolyar, I., and Stephens, C., *World*

ocean database 2001, Vol. 1: Introduction, Levitus, S. (ed.), NOAA Atlas NESDIS vol. 42, Wash., DC: Government Printing Office, 2002. [CD-Rom]

Deriso, R.B., Quinn II, T.J., and Neal, P.R., Catch-age analysis with auxiliary information, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1985, vol. 42, no. 4, pp. 815–824. doi 10.1139/f85-104

Dunn, P.K. and Smyth, G.K., Series evaluation of Tweedie exponential dispersion model densities, *Stat. Comput.*, 2005, vol. 15, no. 4, pp. 267–280. doi 10.1007/s11222-005-4070-y

Hubbs, C.L. and Wilimovsky, N.J., Distribution and synonymy in the Pacific Ocean and variation, of the Greenland Halibut, *Reinhardtius hippoglossoides* (Walbaum), *J. Fish. Res. Board Can.*, 1964, vol. 21, no 5, pp. 1129–1154. doi 10.1139/f64-101

Jørgensen, B., *The Theory of Dispersion Models: Monogr. Stat. Appl. Probab. (Book 76)*, London: Chapman and Hall, 1997. — 256 p.

Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, R., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R., Joseph, D., The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 1996, vol. 77, no. 3, pp. 437–471. doi 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2

Kulik, V., Responses of relative abundance of dominants in fish communities to the Sea of Okhotsk climate variability, *PICES Sci. Rep.*, 2009, no. 36, pp. 278–287.

Kvamsdal, S.F., Eide, A., Ekerhovd, N.-A., Enberg, K., Gudmundsdottir, A., Hoel, A.H., Mills, K.E., Mueter, F.J., Ravn-Jonsen, L., Sandal, L.K., Stiansen, J.E., and Vestergaard, N., Harvest control rules in modern fisheries management, *Elem. Sci. Anth.*, 2016, vol. 4, pp. 000114. doi 10.12952/journal.elementa.000114

Mellor, G., Hakkinen, S., Ezer, T., and Patchen, R., A generalization of a sigma coordinate ocean model and an intercomparison of model vertical grids, *Ocean Forecasting: Conceptual Basis and Application*, Berlin: Springer, 2002, pp. 55–72. doi 10.1007/978-3-662-22648-3_4

Miyazawa, Y., Zhang, R., Guo, X., Tamura, H., Ambe, D., Lee, J.S., Okuno, A., Yoshinari, H., Setou, T., and Komatsu, K., Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis, *J. Oceanogr.*, 2009, vol. 65, no. 6, pp. 737–756. doi 10.1007/s10872-009-0063-3

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:CTD ERI>2.0.CO;2

Overland, J.E., Adams, J.M., and Bond, N.A., Decadal variability of the Aleutian Low and its relation to high-latitude circulation, *J. Climate*, 1999, vol. 12, no. 5, pp. 1542–1548. doi 10.1175/1520-0442(1999)012<1542:DVOTAL>2.0.CO;2

Prager, M.H., A suite of extensions to a nonequilibrium surplus-production model, *Fish. Bull.*, 1994, vol. 92, pp. 374–389.

Prager, M.H., Comparison of logistic and generalized surplus-production models applied to swordfish, *Xiphias gladius*, in the north Atlantic Ocean, *Fish. Res.*, 2002, vol. 58, no. 1, pp. 41–57. doi 10.1016/S0165-7836(01)00358-7

Prants, S.V., Uleysky, M.Yu., and Budyansky, M.V., *Lagrangian oceanography: large-scale transport and mixing in the ocean*, Berlin, New York: Springer Verlag, 2017.

Quinn, T.J. and Deriso, R.B., *Quantitative Fish Dynamics*, New York: Oxford Univ. Press, 1999.

Sakamoto, Y., Ishiguro, M., and Kitagawa, G., Akaike Information Criterion Statistics, *Mathematics and its Applications*, Springer Netherlands, 1986.

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

Walbaum, J.J., *Petri Artedi sueci genera piscium. In quibus systema totum ichthyologiae proponitur cum classibus, ordinibus, generum characteribus, specierum differentiis, observationibus plurimis. Redactis speciebus 242 ad genera 52. Ichthyologiae pars III, Grypeswaldiae [Greifswald]: Ant. Ferdin. Rose, 1792. [Reprint 1966 by J. Cramer.] Available at <https://archive.org/details/petri-artedisueci03arte>*

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. <https://doi.org/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

Sostoyaniye promyslovykh resursov. Prognoz obshchego vylova gidrobiontov po Dal'nevostochnomu rybokhozyaystvennomu basseynu na 2017 g. (kratkaya versiya) (The state of fishing resources. Forecast of the total catch of aquatic organisms in the Far Eastern fisheries basin for 2017 (short version)), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2017, pp. 101–103.

Sostoyaniye promyslovykh resursov. Prognoz obshchego vylova gidrobiontov po Dal'nevostochnomu rybokhozyaystvennomu basseynu na 2019 g. (kratkaya versiya) (The state of fishing resources. Forecast of the total catch of aquatic organisms in the Far Eastern fisheries basin for 2019 (short version)), Vladivostok: TINRO, 2019, pp. 113–114.

Sostoyaniye promyslovykh resursov. Prognoz obshchego vylova gidrobiontov po Dal'nevostochnomu rybokhozyaystvennomu basseynu na 2016 g. (kratkaya versiya) (The state of fishing resources. Forecast of the total catch of aquatic organisms in the Far Eastern fisheries basin for 2016 (short version)), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016, p. 91.

Sostoyaniye promyslovykh resursov. Prognoz obshchego vylova gidrobiontov po Dal'nevostochnomu rybokhozyaystvennomu basseynu na 2019 g. (kratkaya versiya) (The state of fishing resources. Forecast of the total catch of aquatic organisms in the Far Eastern fisheries basin for 2019 (short version)), Vladivostok: TINRO, 2019, pp. 110–112.

Sostoyaniye promyslovykh resursov. Prognoz obshchego vylova gidrobiontov po Dal'nevostochnomu rybokhozyaystvennomu basseynu na 2017 g. (kratkaya versiya) (The state of fishing resources. Forecast of the total catch of aquatic organisms in the Far Eastern fisheries basin for 2017 (short version)), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2017, p. 103.

Sostoyaniye promyslovykh resursov. Prognoz obshchego vylova gidrobiontov po Dal'nevostochnomu rybokhozyaystvennomu basseynu na 2016 g. (kratkaya versiya) (The state of fishing resources. Forecast of the total catch of aquatic organisms in the Far Eastern fisheries basin for 2016 (short version)), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016, pp. 90–91.

Sostoyaniye promyslovykh resursov. Prognoz obshchego vylova gidrobiontov po Dal'nevostochnomu rybokhozyaystvennomu basseynu na 2018 g. (kratkaya versiya) (The state of fishing resources. Forecast of the total catch of aquatic organisms in the Far Eastern fisheries basin for 2018 (short version)), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2018, pp. 107–109.

Prikaz ob utverzhdenii obshchego dopustimogo ulova vodnykh biologicheskikh resursov vo vnutrennikh morskikh vodakh Rossiyskoy Federatsii, v territorial'nom more Rossiyskoy Federatsii, na kontinental'nom shel'fe Rossiyskoy Federatsii, v isklyuchitel'noy ekonomicheskoy zone Rossiyskoy Federatsii i Kaspiyskom more na 2020 god (An order approving the total allowable catch of aquatic biological resources in the inland waters of the Russian Federation, in the territorial sea of the Russian Federation, on the continental shelf of the Russian Federation, in the exclusive economic zone of the Russian Federation and the Caspian Sea for 2020), Moscow: Minsel'khoz Rossii, 2019, no. 610 (10.29.2019).

Поступила в редакцию 9.12.2019 г.

После доработки 16.01.2020 г.

Принята к публикации 20.02.2020 г.