

Научная статья

УДК 597.556.35–113.4(265.5)

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-342-356

EDN: VOVPVK



**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОЦЕНОК ВОЗРАСТА
ЧЕРНОГО ПАЛТУСА *REINHARDTIUS HIPPOGLOSSOIDES MATSUURAE*
СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА НА ОСНОВЕ
РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ**

О.З. Бадаев, И.С. Черниенко, С.Л. Овсянникова*

Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),

690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Значительное сокращение численности черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* в северо-западной Пацифике явилось одной из причин для исследования методов определения его возраста по разным регистрирующим структурам. Работа проведена в соответствии с рекомендациями Организации по рыболовству в северо-западной части Атлантического океана (НАФО) и Международного совета по исследованию моря (ИКЕС). Анализ данных определения возраста исследуемого вида по разным регистрирующим структурам показал, что при оценке по чешуе и цельным отолидам возраст черного палтуса занижается по сравнению с методом по срезам отолидов через бугорок. Предполагаем, что стратегия эксплуатации, основанная на некорректном определении возраста, может быть основной причиной или оказывать совместное с естественными причинами негативное воздействие на состояние запаса черного палтуса.

Ключевые слова: черный палтус, возраст, чешуя, отолиды, сравнение методов, северо-западная Пацифика, численность

Для цитирования: Бадаев О.З., Черниенко И.С., Овсянникова С.Л. Сравнительный анализ оценок возраста черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* северо-западной части Тихого океана на основе различных методических подходов // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 2. — С. 342–356. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-342-356. EDN: VOVPVK.

* Бадаев Олег Зинурович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, badayev@yandex.ru, ORCID 0000-0001-9797-7763; Черниенко Игорь Сергеевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, igor.chernienko@tinro.ru, ORCID 0000-0002-6410-0081; Овсянникова Светлана Леонидовна, и.о. заведующего лабораторией, svetlana.ovsyannikova@tinro.ru, ORCID 0009-0009-4165-3706.

© Бадаев О.З., Черниенко И.С., Овсянникова С.Л., 2023

Original article

Comparative analysis of the age estimates for greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* in the North-West Pacific based on different methodological approaches

Oleg Z. Badaev*, Igor S. Chernienko, Svetlana L. Ovsyannikova*****

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

4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

* Ph.D., leading researcher, badayev@yandex.ru, ORCID 0000-0001-9797-7763

** Ph.D., leading researcher, Igor.chernienko@tinro.ru, ORCID 0000-0002-6410-0081

*** acting head of laboratory, svetlana.ovsyannikova@tinro.ru, ORCID 0009-0009-4165-3706

Abstract. Significant decline in abundance of greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* in the North-West Pacific is one of the reasons for development the methods of this species age determination using different age-recording structures. The study is based on recommendations of the Northwest Atlantic Fisheries Organization (NAFO) and International Council for the Exploration of the Sea (ICES). Underestimation of age is found for the records on scales or whole otoliths, compared to records on the otolith slices through the tubercle. An exploitation strategy based on improper age determination can have a negative impact on the state of the greenland halibut stock, in combination with natural causes, or even be a major reason of this species depression.

Keywords: greenland halibut, fish age, scales, otolith, corroboration of methods, North-West Pacific, fish species abundance

For citation: Badaev O.Z., Chernienko I.S., Ovsyannikova S.L. Comparative analysis of the age estimates for greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* in the North-West Pacific based on different methodological approaches, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 2, pp. 342–356. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-342-356. EDN: VOVPVK.

Введение

Черный палтус *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* является важным элементом в донном ихтиоценозе северо-западной Пацифики [Шунтов, 1985; Дудник, Долганов, 1992; Иванов, Шунтов, 2022], имеет сложную размерно-возрастную структуру [Дьяков, 1985]. Наибольшую численность в водах Дальнего Востока исследуемый вид имеет в Охотском море, здесь его вылов в 1977 г. достигал 16,2 тыс. т [Антонов, 2011]. Кроме известных трех крупных нерестилищ — в прол. Дэвис, к северу от Алеутских островов в Беринговом море и на континентальном склоне вдоль побережья Норвегии в сторону архипелага Шпицбергена в Баренцевом море [Vihtakari et al., 2021], район северной части Охотского моря (материковый склон западной Камчатки, впадина ТИНРО и район северо-восточнее о. Сахалин) можно отнести к основным районам нереста вида. Возможно, факторы, влияющие на снижение численности черного палтуса на всем его ареале, одни и те же.

Одной из причин для начала данного исследования по сравнению методов определения возраста черного палтуса по разным возрастнорегистрирующим структурам (ВРС) явилось сокращение запасов этого важного промыслового вида в дальневосточных морях России [Антонов, 2011; Кулик и др., 2022; Шунтов, 2022].

В 2004 г. Научный совет НАФО* рекомендовал создать семинар для рассмотрения вопроса, связанного с трудностью оценки возраста черного палтуса. Семинар был проведен в 2006 г. с участием ведущих лабораторий стран, в водах которых обитает исследуемый вид, и других стран [Treble, Dwyer, 2008]. Были представлены резуль-

* Организация по рыболовству в северо-западной части Атлантического океана является межправительственной, уполномоченной предоставлять научные консультации и управлять рыболовством в северо-западной части Атлантического океана. Головной офис НАФО находится в Дартмуте, Новая Шотландия, Канада.

таты применения методов возрастной валидации и обнаружено, что возраст более крупных образцов был недооценен, хотя определить степень недооценки с помощью имеющихся в то время доступных методов не представлялось возможным [Gregg et al., 2006; Matta, Kimura, 2012]. Большинство участников семинара отметило, что наибольший потенциал открывает метод чтения по срезам отолита. В 2011 г. в г. Виго (Испания) состоялось совещание рабочей группы ИКЕС* по определению возраста черного палтуса, где также произошел обмен информацией, и Россия вновь отставивала метод определения возраста по чешуе и поверхности отоликов. Работу по сравнению методов оценки возраста черного палтуса было предложено продолжить, расширив круг участников. В российской части северо-западной Пацифики оценка возраста до последнего времени проводилась по чешуе [Кулик и др., 2022] или эпизодически по отоликам методом слом-обжиг [Пальм и др., 1999; Кузнецова и др., 2018].

Цель настоящей работы — сравнение результатов определения возраста черного палтуса из северо-западной части Тихого океана по чешуе, цельным отоликам и срезам отоликов через бугорок. Итоговые материалы могут быть учтены при рассмотрении гипотез, объясняющих причины снижения численности палтуса, и в определении стратегии управления запасом этого промыслового вида.

Материалы и методы

Глоссарий терминов, как в работе Treble, Dwyer [2008].

Возрастрегистрирующие структуры (ВРС) собирались научными сотрудниками во время траловых съемок и на промысловых судах в Охотском (БМРТ «27 съезд КПСС» и «Анатолий Пономарев» в 2021 г.) и северо-западной части Берингова моря (НИС «ТИНРО», 2020 г.) в рамках ежегодного государственного мониторинга состояния водных биологических ресурсов. Количество подготовленных препаратов (поступило для работы / пригодные для использования): чешуя — 175/161 шт.; цельные отолики (sagitta) — 175/131; отолики, срез через бугорок — 83/50. Сравнение велось по 50 экз., у которых удалось получить качественные препараты для чтения возраста по всем трем методам. Так как не ставилась задача сравнения возраста черного палтуса из разных морей, использовали смешанный материал.

Подготовка и просмотр чешуи и цельных отоликов описаны ранее [Бадаев и др., 2022]. Для определения возраста по цельному отолику брали неповрежденный отолик без разбора на правый и левый. Затем после осветления он просматривался в проходящем свете.

Методика сбора, хранения и обработки ВРС принята на основе опыта ведущих профильных лабораторий мира с собственной модификацией, учитывающей особенность работы ТИНРО [Чугунова, 1959; Chilton, Beamish, 1982; Gregg et al., 2006]. Был выбран способ с одним поперечным срезом, разделяющим бугорок пополам [Gregg et al., 2006; Treble, Dwyer, 2008; Matta, Kimura, 2012] (рис. 1). Бугорок — это куполообразная выпуклость в районе ядра на дистальной стороне левого отолика черного палтуса.

Мы не располагали низкоскоростной высокоточной пилой, поэтому сечения отоликов получали путем шлифования, которые аналогичны сечениям отоликов, полученным путем резки пилой, поэтому в тексте используем термин «срез отолика». Небольшое количество отоликов с качественным срезом связано с ручной обработкой, при которой часть отоликов отбраковывалась. При стачивании отолика вручную нередко случалось, когда специалист, занимающийся подготовкой препаратов, промахивался и стачивал оптимальную поверхность, что вело к потере нескольких годовых колец.

Отолик фиксировали в эпоксидном клее-компаунде ПЭО-510КЭ-20/0. После затвердевания отолик шлифовали с одной из сторон перпендикулярно (90°) к шлифо-

* Региональный консультативный орган по рыболовству и старейшая в мире межправительственная научная организация. Штаб-квартира ИКЕС находится в Копенгагене, Дания.

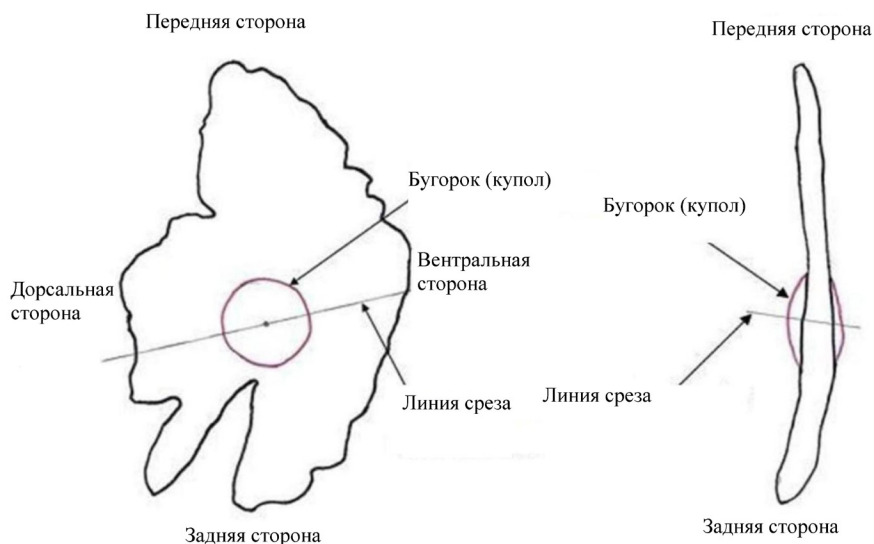


Рис. 1. Схема проксимальной стороны и вид с дорсальной стороны левого отолита черного палтуса (как у Treble, Dwyer, 2008)

Fig. 1. Scheme of the proximal side and dorsal side view for the left otolith of greenland halibut (as in Treble, Dwyer, 2008)

важной бумаге так, чтобы образовалась достаточная площадка для надежного приклеивания к предметному стеклу. На шлифовальную бумагу время от времени спринцовкой наносили воду. Шлифованной площадкой отолит приклеивался суперклеем Loctite 401 к предметному стеклу, после чего стачивался с другой стороны. По мере проявления годовых колец к центру менялась зернистость бумаги от грубой (Р-600) к тонкой (Р-2000). Шлифованную поверхность просматривали при отраженном свете с добавлением капли воды или любой иммерсионной жидкости (глицерин, репейное масло и т.д.).

На большинстве отолитов не удавалось получить максимальное количество годовых колец по поперечному сечению от дорсального до вентрального края и одновременно максимальное количество годовых колец на бугорке. Чаще, если обращать внимание на максимальное количество меток в дорсо-вентральном разрезе, теряются четкость и максимальное количество меток на бугорке. И наоборот, если сосредоточиться на максимальном количестве меток на бугорке, теряется наибольшее количество меток в дорсо-вентральном направлении. На срезе в дорсо-вентральном направлении от края до края отолита было видно большое количество меток, но так как большинство из них не замкнуты, идентифицировать, какие из них годовые или добавочные, не представляется возможным. Поэтому мы отказались от этого метода и сосредоточились на срезах отолита через бугорок. Во время шлифования нами отмечено, что, кроме основных колец, множество добавочных на срезе в дорсо-вентральном направлении сходятся в бугорке в одну метку, которую мы идентифицируем как годовую. На фотографиях в тексте статьи мы не стали откладывать метки, указывающие на годовые кольца, так как между операторами существовал разброс в прочтении возраста рыб.

Просмотр ВРС осуществлялся на микроскопе с цифровой камерой и программным обеспечением Zeiss в Центре коллективного пользования при Дальневосточном центре электронной микроскопии (ДВЦЭМ) Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского» Дальневосточного отделения Российской академии наук (ННЦМБ ДВО РАН).

Возрастные структуры читали три оператора с различным опытом работы. Первый оператор имеет опыт изучения возраста донных рыб по различным ВРС, второй — возраста короткоциклового пелагического рыб по чешуе и отолитам, третий — возраста

по чешуе и сломам отолитов придонных среднеживущих рыб. Среди разнообразия методов определения возраста черного палтуса в процессе работы были выбраны три основных — по чешуе, цельным отолитам и срезам отолитов через бугорок [Бадаев и др., 2022]. Три независимых оператора оценивали возраст самцов и самок черного палтуса по выбранным методам. Определения возраста вторым оператором значительно отличались от определений первым и третьим, поэтому были исключены при дальнейшем сравнении методов.

Сравнение определения возраста между операторами и возрастными структурами выполняли с использованием теста на симметрию Макнимара-Боукера (McNemar-Bowker symmetry test)*. Тест анализирует $k \times k$ таблицу сопряженности, где k — число возрастных групп. Строки таблицы (i) содержат возрастные категории, принятые в качестве стандарта. Столбцы (j) — сравниваемые со стандартом методы или операторы.

Таблица содержит частоты n_{ij} , соответствующие количеству особей, находящихся в возрастной категории, стандартной для каждой возрастной категории сравниваемого образца.

Нулевая гипотеза $H_0: n_{ij} = n_{ji} \forall i, j$. Статистика Макнимара-Боукера (McNemar-Bowker statistic) рассчитывается как:

$$T_{MB} = \sum_{i < j} \frac{(n_{ij} - n_{ji})^2}{n_{ij} + n_{ji}}. \quad (1)$$

Статистика следует распределению χ^2 с числом степеней свободы $\frac{k(k-1)}{2}$. При малых значениях уровня значимости p делается вывод о наличии систематического смещения.

Для определения степени рассеивания результатов между стандартом и образцом использовали коэффициент вариации CV [Campana et al., 1995]:

$$CV_j = 100 \times \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R-1}}}{X_j}. \quad (2)$$

Уравнение (2) оценивает коэффициент вариации CV для одной особи, оно может быть усреднено, чтобы получить среднее значение CV .

Анализируемые выборки обозначили следующим образом: А — оператор 1, чешуя-срез, самцы; В — оператор 1, чешуя-срез, самки; С — оператор 1, цельный отолит-срез, самцы; D — оператор 1, цельный отолит-срез, самки; Е — срез, операторы 1 и 3, самцы; F — срез, операторы 1 и 3, самки.

Для расчетов и построения графиков использовали язык сценариев R с пакетами ggplot2 (визуализация), data.table (обработка первичных данных) FSA (расчет и тестирование смещений)**.

Результаты и их обсуждение

В качестве стандарта для дальнейшего сравнения методов выбрали возраст, определенный по срезам отолитов первым оператором, имеющим большой опыт изучения возраста донных видов рыб, в том числе черного палтуса, по разным ВРС. Для метода среза отолитов через бугорок было показано высокое сходство между двумя опера-

* Ogle D. FSA: Fisheries Stock Analysis R package version 0.9.1. 2021. <https://github.com/droglenc/FSA>. R.

** Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer International Publishing: Imprint: Springer, Cham., 2nd ed. 2016. 268 p. DOI: 10.1007/978-3-319-24277-4; Dowle M., Srinivasan A. data.table: Extension of «data.frame». R package version 1.14.2. 2021. <https://CRAN.R-project.org/package=data.table>; Ogle D. FSA: Fisheries Stock Analysis R package version 0.9.1. 2021. <https://github.com/droglenc/FSA>. R; R Core Team 2022. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

торами (рис. 2). Этот метод продемонстрировал более высокие значения возраста исследуемого вида.

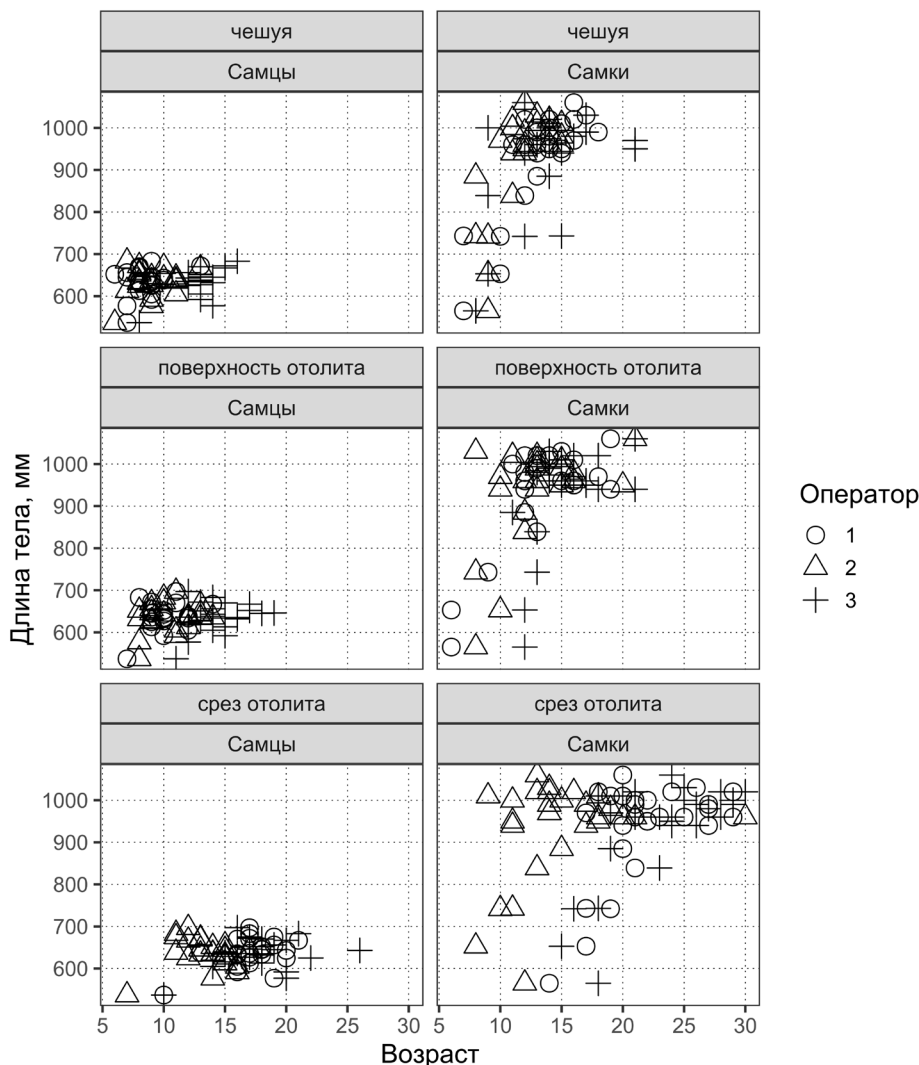


Рис. 2. Размерно-возрастная зависимость для черного палтуса из северо-западной Пацифики. Возраст определен тремя различными методами и тремя операторами

Fig. 2. Size-age relationship for greenland halibut from the North-West Pacific. The age was determined by three different methods and three operators

Результаты исследования иллюстрируются рис. 3 и данными таблицы. Видно значительное систематическое смещение определенного возраста по сравнению с принятым стандартом для выборок А–D. Выборки Е–F демонстрируют сходимость определений возраста между операторами.

Внутри возрастных классов наблюдается некоторый разброс, однако значение CV менее 10 % является незначительным [Campana et al., 1995]. Степень рассеивания результатов между операторами при использовании метода среза отолитов составляет для самцов $CV_{SO13M} = 6,5 \%$, а для самок $CV_{SO13F} = 7,0 \%$. Для сравнения: при определении возраста по чешуе $CV_{S13} = 21,3 \%$, что свидетельствует о ненадежности данного метода.

Мы согласны с большинством исследователей лабораторий мира, занимающихся изучением возраста и роста рыб и участвовавших в семинаре [Treble, Dwyer, 2008], что существует проблема с чтением возраста по чешуе и поверхности отолита у крупных

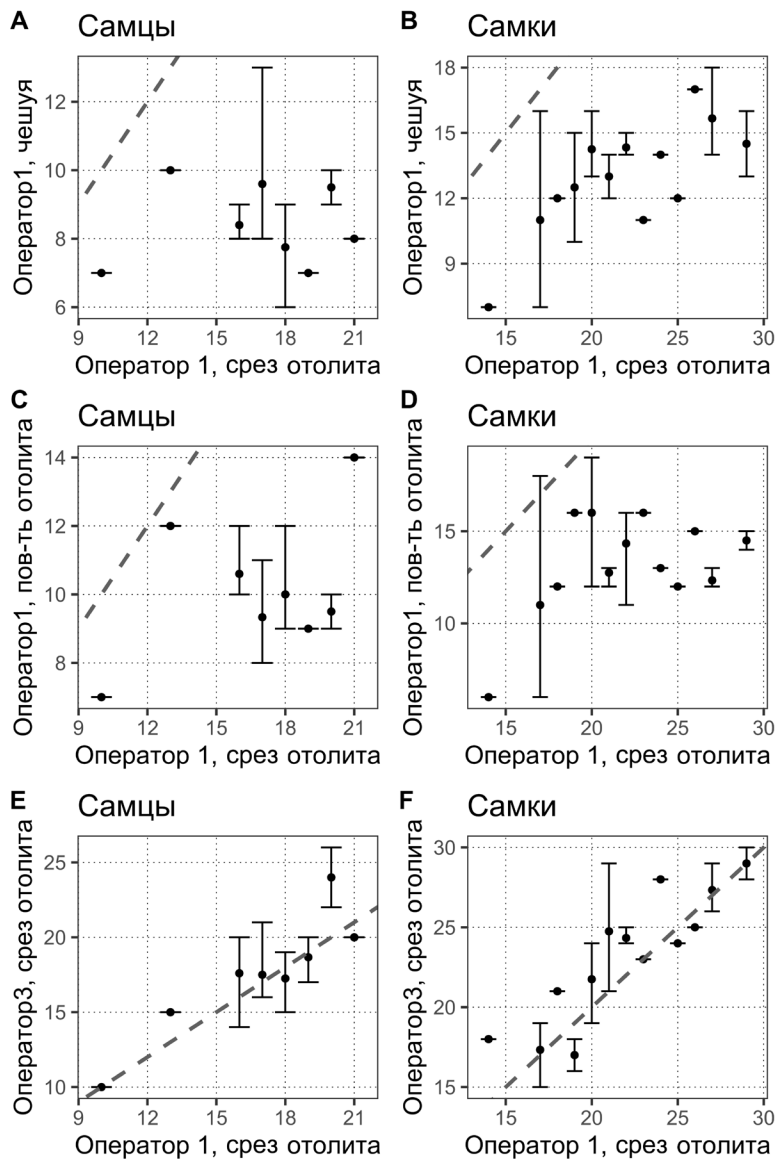


Рис. 3. Смещение возраста (годы) черного палтуса северо-западной Пацифики, определенного по разным возрастарегистрирующим структурам (чешуя, цельные отоиды (поверхность), срез отоидов) от принятого стандарта (пунктирная линия). Обозначение выборок см. в тексте

Fig. 3. Deflections (years) of the age estimates by different age-recording structures (scales, whole otolith surface, slice of otolith) from the accepted standard (dashed line) for greenland halibut from the North-West Pacific

Анализ смещения возраста черного палтуса, определенного по разным ВРС, от принятого стандарта (тест Макнимара-Боекера)

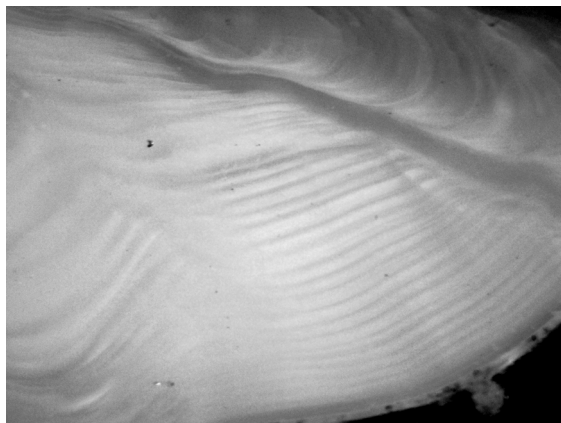
Analysis of the certain age estimates deflection from the accepted standard (McNemar-Bowker test) for greenland halibut from the North-West Pacific

Выборка	Описание	χ^2	ρ
A	Оператор 1, чешуя-срез, самцы	21,00	$4,6 \cdot 10^{-6}$
B	Оператор 1, чешуя-срез, самки	27,00	$2,0 \cdot 10^{-7}$
C	Оператор 1, цельный отоид-срез, самцы	21,00	$4,6 \cdot 10^{-6}$
D	Оператор 1, цельный отоид-срез, самки	22,15	$2,5 \cdot 10^{-6}$
E	Срез, операторы 1 и 3, самцы	0,89	0,36
F	Срез, операторы 1 и 3, самки	2,13	0,14

особей. Исследование в северо-западной части Атлантического океана с использованием мечения с помощью радиоактивного изотопа C^{14} подтвердило, что поверхность отолитов и простые методы поперечного сечения недооценивают возраст более крупного черного палтуса. Радиоуглеродный анализ показал продолжительность жизни этого вида как минимум в 27 лет [Treble, Dwyer, 2008]. Максимальный возраст особи неопределенного размера (94 см) в наших пробах по оценкам операторов достигал 29–34 лет (рис. 4), что согласуется с данными по возрасту черного палтуса из Берингова моря других исследователей [Gregg et al., 2006].

Рис. 4. Срез бугорка отолита самки черного палтуса (длина 94 см, возраст по оценкам разных операторов 29–34 года). Зона чтения возраста по прямой диагонали с левого верхнего угла изображения отолита на фотографии в правый нижний

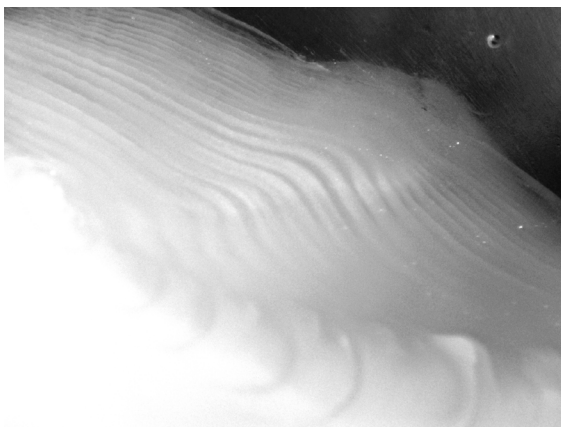
Fig. 4. Slice of the otolith tubercle of female greenland halibut (length 94 cm, age estimated by different operators 29–34 years). The age reading area is located diagonally from the upper left corner to the lower right corner of the otolith image



Нами отмечено наличие бугорка на отолите со слепой стороны рыбы у нескольких видов (предварительно просмотренных нами) других камбал сем. *Pleuronectidae*. Причем на небольшом материале мы увидели, что чем большей способностью к плаванию в пелагиали обладает вид (например, палтусы), тем меньше места занимает бугорок на отолите. И наоборот, камбалы с низкой миграционной активностью имеют бóльший «наплыв» на отолите со слепой стороны тела. Эти данные являются предварительными и нуждаются в дальнейшем исследовании. На срезах бугорков отолитов долгоживущих камбал видно значительное число годовых меток (рис. 5). В нашем образце неопределенного размера 56 см определен возраст 25 лет. Максимальный для этого вида приводится в 33 полных года [Золотов, 2007].

Рис. 5. Срез бугорка отолита самки четырехбугорчатой камбалы *Pleuronectes quadrituberculatus* (длина 56 см, возраст 23–25 лет)

Fig. 5. Slice of the otolith tubercle of female flounder *Pleuronectes quadrituberculatus* (length 56 cm, age 23–25 years)



Метод среза отолита через бугорок имеет и свои недостатки. Близко расположенные на равном расстоянии годовые кольца не позволяют провести работы по определению темпов роста палтуса по крайней мере при 12–50-кратном увеличении.

Полученные результаты показывают, что оценки возраста черного палтуса по чешуе и цельным отолитам хорошо коррелируют. Высокую степень идентичности результатов между опытными независимыми операторами имеет метод по срезам ото-

литов через бугорок. По сравнению с методом по срезам отолиров через бугорок при оценке по чешуе и целым отолиров возраст черного палтуса существенно занижается даже для рыб размером менее 50 см (рис. 6). В том числе поэтому, на наш взгляд, метод автоматизированной обработки изображений целых осветленных отолиров, например основанный на сверточных нейронных сетях [Martinsen et al., 2022], не может быть приемлемым для массовой обработки ВРС при получении размерно-возрастных ключей.

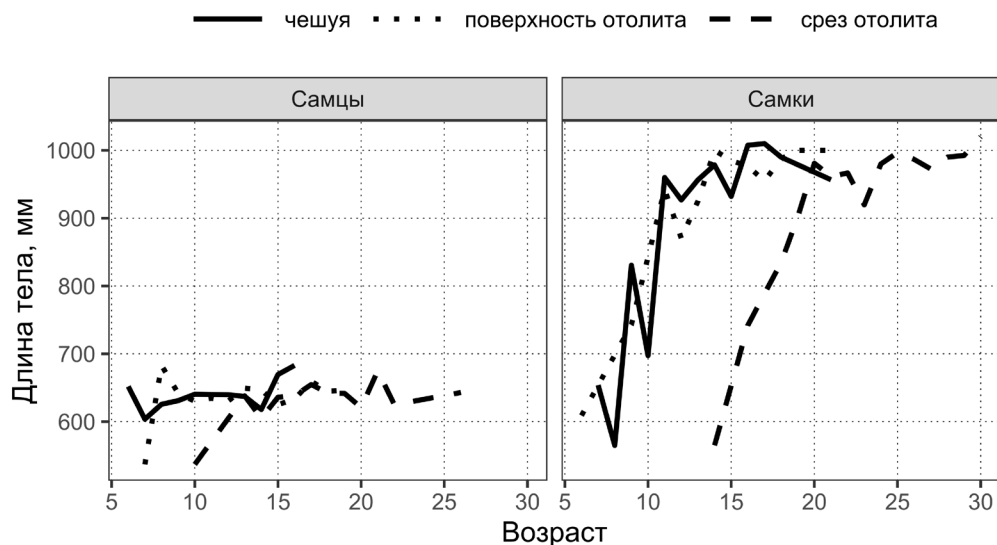


Рис. 6. Кривые роста самцов и самок черного палтуса из северо-западной Пацифики, построенные по разным возрастнорегистрирующим структурам (чешуя, целые отолиры (поверхность), срезы отолиров)

Fig. 6. Growth curves for males and females of greenland halibut from the North-West Pacific built on different age-recording structures (scales, whole otolith surface, slice of otolith)

Канадские ученые [Rideout et al., 2012], опираясь на собственные данные и обобщая результаты других исследований, в том числе с применением метода мечения, показали, что неполовозрелые самки черного палтуса в среднем дают линейный прирост $3,87 \pm 1,64$ см, а вступившие в нерестовую часть популяции — $1,92 \pm 1,16$ см в год. Массовое созревание (доля зрелых 50 %) тихоокеанского черного палтуса в целом по ареалу происходит у самцов при достижении ими длины 40–61 см, а у самок — 40–72 см [Дьяков, 2015]. Возраст, определенный нами по срезу бугорка отолира, вполне сопоставим с этими данными. Например, самка размером 94 см (см. рис. 4) при таком темпе роста и длине массового созревания может иметь возраст в среднем 30–36 лет, а созреть в возрасте 10–18 лет. Исходя из полученных нами результатов и данных по росту и длине созревания рыб можно предварительно говорить о вероятности того, что недооценивался не только общий возраст исследуемого вида, но и возраст полового созревания [Дьяков, 2015]. Очевидно, что смысл значительного возраста полового созревания в выбранной стратегии эволюции вида состоит в том, что черному палтусу до наступления половой зрелости, когда часть энергии будет направлена на развитие половых продуктов, необходимо достичь размеров, которые позволят избегать хищников и осваивать кормовую базу (более крупную добычу) вне шельфа в пределах материкового склона.

На состояние популяции могут оказывать воздействие как естественные, так и антропогенные факторы. Долгоживущие виды со сложной размерно-возрастной структурой в первом случае имеют преимущество перед короткоцикловыми рыбами и, наоборот, более уязвимы, если значительное влияние на них оказывает промысел.

Недооценка возраста (общей продолжительности жизни, полового созревания и продолжительности репродуктивного возраста) дает ошибочное представление об уровне эксплуатации, который может выдержать запас. До 2017 г. по всем подзонам в

Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне, а с 2018 по 2021 г. для Берингова моря и Восточно-Сахалинской подзоны к запасам черного палтуса применялся завышенный целевой ориентир по изъятию — 10 % от общей биомассы. К примеру, в Международном совете по исследованию моря для запасов черного палтуса в северо-восточной Арктике он составляет 3,5 % от промысловой биомассы. С 2022 г. рекомендовано к изъятию 5,2 % в Охотском море и 5,3 % в Беринговом от промысловой биомассы [Кулик и др., 2022]. Некорректность определения уровня изъятия связана с неверными расчетами возрастной структуры вида из-за неточного метода определения возраста рыб по чешуе.

Судя по статистике вылова и общего допустимого улова черного палтуса в Баренцевом море после 1980–1990-х гг., дальнейшего сокращения его запасов не наблюдается [<http://barenzevo.arktikfish.com/index.php/ekosistema-barentseva-morya-i-rybolovstvo/168-dinamika-vylova-paltusa>] [Борисов и др., 2016]. В северо-восточной Пацифике, как и в северо-западной, после интенсивного промысла вида произошло значительное уменьшение его запасов. В настоящее время вылов и запас палтуса в восточной части Берингова моря и водах Алеутских островов стабилизировались [<https://www.npfmc.org>] [Bryan et al., 2020], и группировки черного палтуса из северо-восточной и восточной Камчатки могут частично пополняться из группировок восточной части Берингова моря [Дьяков, 1991; Золотов и др., 2018].

Существует немало гипотез, которыми исследователи пытались объяснить причины снижения запасов черного палтуса в разных частях его ареала. Имеются многочисленные свидетельства негативного влияния промысла. Кроме выедания улова косатками *Orcinus orca* и иных известных потерь [Николенко, 2010], есть и другие. Например, не известен объем сверхстатистических потерь черного палтуса от значительного количества «экологических мин длительного действия» в виде сетей высотой 6 м (более 3000 шт., или более 90000 м в год), выброшенных с судов, особенно интенсивно проводивших промысел в районах нереста в Охотском море [Бадаев, 2011]. Известно, что японские суда в Охотском море продолжают вести сетной промысел палтуса [Курмазов, 2022]. На значительный прилов молоди черного палтуса при промысле креветки в Баренцевом море указывает О.В. Смирнов [2002]. Следует отметить, что основной промысел северной креветки *Pandalus borealis* в Охотском море ведется на шельфе северо-восточной части [Михайлов и др., 2003] как раз в местах, где раньше постоянно встречалась молодь черного палтуса [Николенко, 1998].

Очевидно, что наряду с чрезмерной промысловой нагрузкой на состояние запаса черного палтуса могут оказывать влияние естественные факторы окружающей среды. Среди них деоксигенация и воздействие колебаний температуры на распределение [Yousef et al., 2013; Зуенко и др., 2021; Кулик и др., 2022], изменения в циркуляции вод, в которых совершаются пассивные миграции икры и личинок [Кулик и др., 2020]. Как повлияла сложившаяся экосистема на снижение мощности нереста палтуса? Возможно, численность икры и личинок черного палтуса не выдерживает обычной нагрузки хищников, и, как следствие, молоди палтуса в северо-западной Пацифике в последнее время наблюдается очень мало [Золотов и др., 2018]. На какой стадии онтогенеза наиболее уязвим черный палтус? Его икра батипелагическая, приспособлена к условиям пониженного содержания кислорода, а личинки и молодь развиваются на шельфе в богатых кислородом водах [Sohn et al., 2010]. Камбалы с пелагической икрой в ходе эволюции приспособились к изменению условий, способных повлиять на выживание икры и личинок [Bailey et al., 2008; Sohn et al., 2010]. Возможно, распределение вида опосредованно связано с распределением предпочтительных кормовых объектов (рыбы, кальмары, ракообразные), для которых отмеченные причины (температура, деоксигенация, интенсивность течений) существенны.

За четвертичный период вид пережил несколько глобальных климатических изменений, в том числе пульсации температуры и содержания кислорода в воде, а также мезоциркуляций водных систем. Очевидно, что пережить неблагоприятные условия

помогала в том числе продолжительность жизни, которая нивелирует значительную часть неблагоприятных факторов.

Заключение

Анализ данных определения возраста черного палтуса по разным регистрирующим структурам показал, что высокую степень идентичности результатов между операторами имеет метод по срезам отоликов через бугорок. При оценке по чешуе и поверхности отоликов возраст рыб занижается. Наши исследования сравнения методов оценки возраста черного палтуса в российской зоне северо-западной Пацифики подтверждают результаты, полученные в большинстве лабораторий мира, занимающихся вопросами возраста и роста данного вида.

В северо-западной части Тихого океана черный палтус имеет большую продолжительность жизни, чем считалось ранее при определении возраста по чешуе и поверхности отоликов, а значит, лучше приспособлен для поддержания численности популяции в случае неблагоприятных условий среды, но более уязвим перед воздействием промысла.

Необходимо продолжить работы по выяснению комплекса факторов, оказывающих влияние на изменения численности черного палтуса на всем его ареале.

Следующим шагом должен стать сбор материалов и построение размерно-возрастных ключей самцов и самок черного палтуса из различных частей северо-западной Пацифики, определение изменений в его росте и созревании. Репрезентативный материал, обработанный с использованием метода среза отоликов через бугорок, позволит более точно определить предельный возраст, возраст созревания и репродуктивной продолжительности жизни, возраст и длину, при которых начинается расхождение оценок возраста по чешуе, цельным отоликам и срезам отоликов для черного палтуса северо-западной части Тихого океана. Итоговым результатом будет разработка оптимальной стратегии управления промыслом этого ресурса.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Благодарим за содействие сотрудника лаборатории ихтиологии ННЦМБ ДВО РАН В.А. Шелехова, сотрудников ТИНРО канд. биол. наук А.Б. Савина и Е.Н. Андрееву.

The authors are thankful to their colleagues V.A. Shelekhov (Lab. of ichthyology of the Natl. Sci. Center of Marine Biology) and A.B. Savin and E.N. Andreeva (TINRO) for their assistance in the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Это исследование не получило специального финансирования.

This study did not receive special funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Соблюдались все применимые международные, национальные и/или институциональные рекомендации по уходу и использованию животных. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for the care and use of animals have been followed. The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

О.З. Бадаев — идея работы, подготовка возрастрегистрирующих структур и определение возраста, анализ данных и написание статьи, обсуждение полученных результатов.

И.С. Черниенко — анализ данных, обсуждение полученных результатов, участие в написании статьи.

С.Л. Овсянникова — определение возраста, участие в написании статьи.

О.З. Badaev — concept of the study, preparation of age-recording structures, age determination, data analysis, results discussion, the text writing and illustrating, final editing of the article; I.S. Chernienko — data analysis, results discussion, partial text writing; S.L. Ovsyannikova determined age, took part in writing the article.

Список литературы

Антонов Н.П. Промысловые рыбы Камчатского края: биология, запасы, промысел : моногр. — М. : ВНИРО, 2011. — 244 с.

Бадаев О.З. Нерациональное использование водных биоресурсов на примере некоторых видов промыслов // Вопр. рыб-ва. — 2011. — Т. 12, № 1(45). — С. 162–174.

Бадаев О.З., Шелехов В.А., Черниенко И.С. и др. Определение возраста черного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides matsuurae*) по чешуе и отолитам: методика сбора, обработки, интерпретация // 7-я Междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана». — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2022. — С. 23–30.

Борисов В.М., Древетняк К.В., Греков А.А., Русских А.А. Использование рыбопромысловых запасов Баренцева моря и сопредельных вод отечественным флотом в 2013 г. // Тр. ВНИРО. — 2016. — Т. 160. — С. 95–115.

Дудник Ю.И., Долганов В.Н. Распределение и запасы рыб на материковом склоне Охотского моря и Курильских островов летом 1989 года // Вопр. ихтиол. — 1992. — Т. 32, вып. 4. — С. 83–98.

Дьяков Ю.П. Половое созревание дальневосточных камбалообразных рыб (Pleuronectiformes) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2015. — Вып. 39. — С. 5–69. DOI: 10.15853/2072-8212.2015.39.5-69.

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

Дьяков Ю.П. Популяционная структура черного палтуса северной части Тихого океана : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ИБМ ДВНЦ АН СССР, 1985. — 22 с.

Золотов А.О. О предельном возрасте камбал (Pleuronectidae) Охотского и Берингова морей и тихоокеанского побережья Камчатки // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : мат-лы 8-й междунар. науч. конф., посвящ. 275-летию с начала Второй Камчатской экспедиции (1732–1733 гг.). — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2007. — С. 251–253.

Золотов А.О., Мазникова О.А., Дубинина А.Ю. Многолетняя динамика запасов черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* в Беринговом море и тихоокеанских водах Камчатки и Курильских островов // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 195. — С. 28–47. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-195-28-47.

Зуенко Ю.И., Асеева Н.Л., Матвеев В.И. Батиметрическое распределение черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides* в условиях деоксигенации промежуточного слоя Охотского моря // Вопр. рыб-ва. — 2021. — Т. 22, № 2. — С. 27–39. DOI: 10.36038/0234-2774-2021-22-2-27-39.

Иванов О.А., Шунтов В.П. Значимость видов рыб в донных и придонных биотопах дальневосточных морей и тихоокеанских вод России // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 2. — С. 268–282. DOI 10.26428/1606-9919-2022-202-268-282. EDN: AOINEJ.

Кузнецова Е.Н., Антонов Н.П., Мазникова О.А., Трофимова А.О. Современная характеристика роста черного палтуса северо-западной части Берингова моря // Тр. ВНИРО. — 2018. — Т. 171. — С. 80–94.

Кулик В.В., Глебов И.И., Асеева Н.Л., Новиков Р.Н. Оценка состояния запаса черного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides matsuurae*) в Охотском море // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 2. — С. 466–497. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-466-497. EDN: FHOWDD.

Кулик В.В., Пранц С.В., Будянский М.В. и др. Связь запасов черного палтуса в Охотском море с факторами внешней среды // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 1. — С. 58–81. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-58-81.

Курмазов А.А. Промысел черного палтуса японскими рыболовными судами в открытой части Охотского моря (международно-правовой и регионально-экономический аспект) // Рыб. хоз-во. — 2022. — № 2. — С. 4–10. DOI: 10.37663/0131-6184-2022-2-4-10.

Михайлов В.И., Бандурин К.В., Горничных А.В., Карасев А.Н. Промысловые беспозвоночные шельфа и материкового склона северной части Охотского моря : моногр. — Магадан : МагаданНИРО, 2003. — 284 с.

Николенко Л.П. Распределение икры, личинок и пелагической молоди черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides* в Охотском море // Биол. моря. — 1998. — Т. 24, № 1. — С. 16–20.

Николенко Л.П. Сверхстатистические потери черного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides*), равношипого краба (*Lithodes aequispina*) и краба-стригуна (*Chionoecetes angulatus*) при глубоководном сетном и ярусном промыслах в Охотском море // Вопр. рыб-ва. — 2010. — Т. 11, № 3(43). — С. 592–600.

Пальм С.А., Чикилев В.Г., Датский А.В. Биология, промысел и распределение черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides* в анадырско-наваринском районе Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 1999. — Т. 126. — С. 252–261.

Смирнов О.В. Биология, промысел и динамика запасов черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides* (Walbaum) норвежско-баренцевоморской популяции : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М. : ВНИРО, 2002. — 24 с.

Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб (методическое пособие по ихтиологии). — М. : АН СССР, 1959. — 164 с.

Шунтов В.П. Биологические ресурсы Охотского моря : моногр. — М. : Агропромиздат, 1985. — 224 с.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России : в 3 томах : моногр. — Владивосток : ТИНРО, 2022. — Т. 3. — 445 с.

Bailey K.M., Abookire A.A., Duffy-Anderson J.T. Ocean transport paths for the early life history stages of offshore-spawning flatfishes: a case study in the Gulf of Alaska // Fish and Fisheries. — 2008. — Vol. 9(1). — P. 44–66. DOI: 10.1111/j.1467-2979.2007.00268.x.

Bryan M.D., Barbeaux S.J., Ianelli J. et al. Assessment of the Greenland turbot stock in the Bering Sea and Aleutian Islands : NPFMC Bering Sea and Aleutian Islands SAFE. — North Pacific Fishery Management Council, Anchorage, AK, 2020. — 96 p.

Campana S.E., Annand M.C., McMillan J.I. Graphical and Statistical Methods for Determining the Consistency of Age Determinations // Trans. Am. Fish. Soc. — 1995. — Vol. 124. — P. 131–138. DOI: 10.1577/1548-8659(1995)124<0131:GASMF>2.3.CO;2.

Chilton D.E., Beamish R.J. Age determination methods for fishes studied by the groundfish program at the Pacific Biological Station : Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. — 1982. — Vol. 60. — 102 p.

Gregg J.L., Anderl D.M., Kimura D.K. Improving the precision of otolith-based age estimates for Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) with preparation methods adapted for fragile sagittae // Fish. Bull. — 2006. — Vol. 104, Iss. 4. — P. 643–648.

Martinsen I., Harbitz A., Bianchi F.M. Age prediction by deep learning applied to Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) otolith images // PLoS ONE. — 2022. — Vol. 17(11): e0277244. DOI: 10.1371/journal.pone.0277244.

Matta M.E., Kimura D.K. Age determination manual of the Alaska Fisheries Science Center Age and Growth Program : NOAA Professional Paper NMFS. — 2012. — Vol. 13. — 97 p.

Rideout R., Morgan M.J., Lambert Y. et al. Oocyte development and vitellogenin production in Northwest Atlantic Greenland Halibut *Reinhardtius hippoglossoides* // J. Northw. Atl. Fish. Sci. — 2012. — Vol. 44. — P. 15–29. DOI: 10.2960/J.v44.ms679.

Sohn D., Ciannelli L., Duffy-Anderson J.T. Distribution and drift pathways of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) during early life stages in the eastern Bering Sea and Aleutian Islands // Fish. Oceanogr. — 2010. — Vol. 19(5). — P. 339–353. DOI: 10.1111/j.1365-2419.2010.00549.x.

Treble M.A., Dwyer K.S. Report of the Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) Age Determination Workshop // NAFO Sci. Coun. Studies. — 2008. — № 41. — P. 1–90. DOI: 10.2960/S.v41.m1.

Vihtakari M., Hordoir R., Treble M. et al. Pan-Arctic suitable habitat model for Greenland halibut // ICES J. Mar. Sci. — 2021. — Vol. 78, Iss. 4. — P. 1340–1356. DOI: 10.1093/icesjms/fsab007.

Youcef W.A., Lambert Y., Audet C. Spatial distribution of Greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides* in relation to abundance and hypoxia in the estuary and Gulf of St. Lawrence // Fish. Oceanogr. — 2013. — Vol. 22(1). — P. 41–60. DOI: 10.1111/fog.12004.

References

Antonov, N.P., *Commercially harvested species of fish of the Kamchatka Region: biology, stocks and fisheries*, Moscow: VNIRO, 2011.

Badaev, O.Z., Irrational use of aqueous bioresources based on the example of some forms of trades, *Vopr. Rybolov.*, 2011, vol. 12, no. 1(45), pp. 162–174.

Badaev, O.Z., Shelekhov, V.A., Chernienko, I.S., Ovsyannikova, S.L., and Andreeva, E.N., Determination of the age of the black halibut (*Reinhardtius hippoglossoides matsurae*) by scales

and otoliths: methods of collection, processing, interpretation, in *The 7th International Scientific and Technical Conference «Urgent problems of the World Ocean biological resources development»*, Vladivostok: Dal'rybvuz, 2022, pp. 23–30.

Borisov, V.M., Drevetnjak, K.V., Grekov, A.A., and Russkikh, A.A., The use of the fishing stocks by the native fleet in the Barents Sea and adjacent waters in 2013, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 160, pp. 95–115.

Dudnik, Yu.I. and Dolganov, V.N., Fish distribution and stock on the continental slope of the Okhotsk Sea and Kuril Islands in summer, 1989, *Vopr. Ikhtiolog.*, 1992, vol. 32, no. 4, pp. 83–98.

Diakov, Yu.P., Maturation of far eastern flounders (Pleuronectiformes), *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2015, vol. 39, pp. 5–69. doi 10.15853/2072-8212.2015.39.5-69

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

Dyakov, Yu.P., Population structure of Greenland halibut in the northern Pacific Ocean, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Inst. Biol. Morya, Dal'nevost. Nauchn. Tsentr, Akad. Nauk SSSR, 1985.

Zolotov, A.O., On the limiting age of flounders (Pleuronectidae) of the Okhotsk and Bering seas and the Pacific coast of Kamchatka, in *Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters: Materials of VIII scientific conference, is dedicated to The 275th anniversary of the start of the Second Kamchatka Expedition (1732–1733)*, Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2007, pp. 251–253.

Zolotov, A.O., Maznikova, O.A., and Dubinina, A.Yu., Long-term dynamics of stocks of greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* in the Bering Sea and Pacific waters at Kamchatka and Kuril Islands, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 195, pp. 28–47. doi 10.26428/1606-9919-2018-195-28-47

Zuenko Yu.I., Aseeva N.L., and Matveev, V.I., Bathymetric distribution of Greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides* in conditions of deoxygenation in the intermediate layer of the Okhotsk Sea, *Vopr. Rybolov.*, 2021, vol. 22, no. 2, pp. 27–39. doi 10.36038/0234-2774-2021-22-2-27-39

Ivanov, O.A. and Shuntov, V.P., Importance of fish species in the bottom and near-bottom biotopes of the Far-Eastern Seas and Pacific waters of Russia, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 2, pp. 268–282. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-268-282. EDN: AOINEJ.

Kuznetsova, E.N., Antonov, N.P., Maznikova, O.A., and Trofimova, A.O., Modern characteristic of the growth of the Greenland Turbot in the northwestern part of the Bering Sea, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 171, pp. 80–94.

Kulik, V.V., Glebov, I.I., Aseeva, N.L., and Novikov, R.N., Assessment of the stock status for greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides matsuurae*) in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 2, pp. 466–497. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-466-497. EDN: FHOWDD.

Kulik, V.V., Prants, S.V., Budyansky, M.V., Uleysky, M.Y., Fayman, P.A., Glebov, I.I., Glebova, S.Y., and Novikov, R.N., Relationship of the greenland halibut stocks in the Okhotsk sea with environmental factors, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 1, pp. 58–81. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-58-81

Kurmazov, A., Greenland halibut fishing *Reinhardtius hippoglossoides* (Walbaum, 1792) in open part of the Sea of Okhotsk, *Rybn. Khoz.*, 2022, no. 2, pp. 4–10. doi 10.37663/0131-6184-2022-2-4-10

Mikhailov, V.I., Bandurin, K.V., Gornichnykh, A.V., and Karasev, A.N., *Commercial invertebrates of shelf and continental slope of the northern part of the Okhotsk sea*, Magadan: Magadan. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr., 2003.

Nikolenko, L.P., Distribution of Eggs, Larvae, and Pelagic Young of the Greenland Turbot *Reinhardtius hippoglossoides* in the Sea of Okhotsk, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1998, vol. 24, no. 1, pp. 16–20.

Nikolenko, L.P., The losses of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) and two crab species (*Lithodes aequispina* and *Chionoecetes angulatus*) during deep-sea net and longline fishery in the Okhotsk Sea, *Vopr. Rybolov.*, 2010, vol. 11, no. 3(43), pp. 592–600.

Palm, S.A., Chikilev, V.G., and Datsky, A.V., Biology, fishery, and distribution of Greenland turbot in Anadyr-Navarin area of Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1999, vol. 126, pp. 252–261.

Smirnov, O.V., Biology, fisheries and stock dynamics of the black halibut *Reinhardtius hippoglossoides* (Walbaum) of the Norwegian-Barents Sea population, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow: VNIRO, 2002.

Chugunova, N.I., *Rukovodstvo po izucheniyu vozrasta i rosta ryb (metodicheskoye posobiye po ikhtiologii)* (Guidelines for studying the age and growth of fish (a manual on ichthyology)), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1959.

Shuntov, V.P., *Biologicheskiye resursy Okhotskogo morya* (Biological Resources of the Sea of Okhotsk), Moscow: Agropromizdat, 1985.

Shuntov, V.P., *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO, 2022, vol. 3.

Bailey, K.M., Abookire, A.A., and Duffy-Anderson, J.T., Ocean transport paths for the early life history stages of offshore-spawning flatfishes: a case study in the Gulf of Alaska, *Fish and Fisheries*, 2008, vol. 9, no. 1, pp. 44–66. doi 10.1111/j.1467-2979.2007.00268.x

Bryan, M.D., Barbeaux, S.J., Ianelli, J., Zador, S., and Hoff, J., Assessment of the Greenland turbot stock in the Bering Sea and Aleutian Islands, in *Stock assessment and fishery evaluation document for groundfish resources in the Bering Sea/Aleutian Islands region as projected for 2019*. Section 5. North Pacific Fishery Management Council, Anchorage, AK, 2020.

Campana, S.E., Annand, M.C., and McMillan, J.I., Graphical and Statistical Methods for Determining the Consistency of Age Determinations, *Trans. Am. Fish. Soc.*, 1995, vol. 124, pp. 131–138. doi 10.1577/1548-8659(1995)124<0131:GASMFD>2.3.CO;2

Chilton, D.E. and Beamish, R.J., Age determination methods for fishes studied by the groundfish program at the Pacific Biological Station, *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 1982, vol. 60.

Gregg, J.L., Anderl, D.M., and Kimura, D.K., Improving the precision of otolith-based age estimates for Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) with preparation methods adapted for fragile sagittae, *Fish. Bull.*, 2006, vol. 104, no. 4, pp. 643–648.

Martinsen, I., Harbitz, A., and Bianchi, F.M., Age prediction by deep learning applied to Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) otolith images, *PLoS ONE*, 2022, vol. 17, no. 11, e0277244. doi 10.1371/journal.pone.0277244

Matta, M.E. and Kimura, D.K., Age determination manual of the Alaska Fisheries Science Center Age and Growth Program, *NOAA Professional Paper NMFS*, 2012, vol. 13.

Rideout, R., Morgan, M.J., Lambert, Y., Cohen, A.M., Banoub, J., and Treble, M.A., Oocyte development and vitellogenin production in Northwest Atlantic Greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides*, *J. Northw. Atl. Fish. Sci.*, 2012, vol. 44, pp. 15–29. doi 10.2960/J.v44.ms679

Sohn, D., Ciannelli, L., and Duffy-Anderson, J.T., Distribution and drift pathways of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) during early life stages in the eastern Bering Sea and Aleutian Islands, *Fish. Oceanogr.*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 339–353. doi 10.1111/j.1365-2419.2010.00549.x

Treble, M.A. and Dwyer, K.S., Report of the Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) Age Determination Workshop, *NAFO Sci. Coun. Studies*, 2008, no. 41, pp. 1–90. doi 10.2960/S.v41.m1

Vihtakari, M., Hordoir, R., Treble, M., Bryan, M.D., Elvarsson, B., Nogueira, A., Hallfredsson, E.H., Christiansen, J.S., and Albert, O.Th., Pan-Arctic suitable habitat model for Greenland halibut, *ICES J. Mar. Sci.*, 2021, vol. 78, iss. 4, pp. 1340–1356. doi 10.1093/icesjms/fsab007

Youcef, W.A., Lambert, Y., and Audet, C., Spatial distribution of Greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides* in relation to abundance and hypoxia in the estuary and Gulf of St. Lawrence, *Fish. Oceanogr.*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 41–60. doi 10.1111/fog.12004

Ogle, D., *FSA: Fisheries Stock Analysis R package version 0.9.1*, 2021. <https://github.com/droglenc/FSA>. R. Cited December, 2021.

Wickham, H., *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer International Publishing: Imprint: Springer, Cham., 2nd ed., 2016. doi 10.1007/978-3-319-24277-4.

Dowle, M. and Srinivasan, A., *data.table: Extension of «data.frame»*. R package version 1.14.2, 2021. <https://CRAN.R-project.org/package=data.table>. Cited December, 2021.

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 December, 2021.

<http://barenzevo.arktiskfish.com/index.php/ekosistema-barentseva-morya-i-rybolovstvo/168-dinamika-vylova-paltusa>. Cited December, 2021.

<https://www.npfmc.org>. Cited December, 2021.

Поступила в редакцию 16.02.2023 г.

После доработки 3.04.2023 г.

Принята к публикации 30.05.2023 г.

The article was submitted 16.02.2023; approved after reviewing 3.04.2023; accepted for publication 30.05.2023