

Научная статья

УДК 639.2.053.7

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-1003-1017

EDN: WSMBSP



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ОБРАТНЫХ РАСЧИСЛЕНИЙ РОСТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА УЛОВОВ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ МОРСКИХ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ

А.О. Золотов*

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

Аннотация. На основании данных по размерному составу промысловых уловов желтоперой камбалы зал. Терпения в 1950–2024 гг. и результатов определения возраста на базе метода обратных расчислений роста рыб предложена методика формирования размерно-возрастных ключей для оценки возрастного состава уловов. Показано, что в тех случаях, когда объем имеющейся коллекции регистрирующих возраст структур ограничен, использование данного метода позволяет сформировать корректный размерно-возрастной ключ, достаточный для решения задачи оценки возрастного состава уловов по результатам массовых промеров и при этом позволяющий нивелировать влияние селективности орудий лова при сборе первичного материала. Метод может оказаться полезен при решении практических задач, связанных с расчетами возрастного состава уловов и последующей оценкой численности популяций морских рыб, а также объемов их допустимого изъятия.

Ключевые слова: размерный состав, возрастной состав, размерно-возрастной ключ, оценка возраста, отолиты, желтоперая камбала

Для цитирования: Золотов А.О. Использование метода обратных расчислений роста для определения возрастного состава уловов некоторых видов морских промысловых рыб // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 1003–1017. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-1003-1017. EDN: WSMBSP.

Original article

Using the method of inverse growth calculations to determine the age composition in catches for certain species of marine commercial fish

Alexander O. Zolotov

Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

Ph.D., leading researcher, Alk-90@yandex.ru, ORCID 0000-0002-7438-2991

Abstract. New method for constructing size-and-age keys is proposed and tested on the data on size composition of yellowfin sole in commercial catches in the Patience Bay in 1950–2024, with the age of fish determined using the inverse growth calculations techniques. The method makes it possible to get a correct size-and-age key sufficient for estimating the age

* Золотов Александр Олегович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Alk-90@yandex.ru, ORCID 0000-0002-7438-2991.

© Золотов А.О., 2024

composition in catch on results of mass measurements when collection of age-recording samples is not available, and at the same time allows to neutralize an effect of fishing gear selectivity. The method was practically used in cases of pacific cod in the South Kuril fishing area and in the Japan Sea, yellowfin sole in Sakhalin waters, rock sole of genus *Lepidopsetta* in waters at the Kuril Islands and in the western Bering Sea, and pacific herring in the South Kuril area. The method may be useful for solving practical tasks of calculation the age composition in catches and subsequent assessments of stock and allowable catch volume for marine fish species.

Keywords: size composition, age composition, size-and-age key, age estimation, otolith, yellowfin sole

For citation: Zolotov A.O. Using the method of inverse growth calculations to determine the age composition of catches for certain species of marine commercial fish, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 1003–1017. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-1003-1017. EDN: WSMBSP.

Введение

Исследованиям закономерностей роста рыб и формирования возрастного состава их промысловых популяций традиционно уделяется повышенное внимание. Адекватное оценивание ретроспективной динамики запасов, моделирование их состояния на прогнозный период, определение ориентиров управления промыслом и в конечном итоге выработка рекомендаций по объемам допустимого вылова для рыбной промышленности невозможны без знаний о возрасте и росте рыб. В большинстве современных структурированных когортных моделей так называемая «матрица уловов по возрастам» является базовой входной информацией, необходимой для расчетов численности и биомассы [Бабаян и др., 2018].

Основные методики расчета возрастного состава, используемые в отечественной практике, были разработаны к середине 1950-х гг. [Чугунова, 1959], когда в связи с бурным развитием рыбной промышленности методология ихтиологических исследований также активно развивалась. В целом использование этих методов не представляет особенных затруднений, за исключением, пожалуй, одного «узкого» момента. При сборе материала для возрастных исследований, особенно при его отборе из промысловых уловов, не всегда есть возможность получить достаточное количество возрастных препаратов (чешуи, отолигов, костей рыб) от самых крупных и самых мелких особей. Иногда, за недостатком времени в период наблюдений, для биологического анализа отбирается не репрезентативная выборка, а только особи отдельных размерных диапазонов. В итоге не всегда удается в полной мере охватить основные размерно-возрастные группы, представленные в уловах.

На практике среди отечественных ихтиологов одним из наиболее надежных и общепотребимых способов определения возрастного состава считается «метод размерно-возрастных ключей». В классическом руководстве Н.И. Чугуновой [1959] он именован как «способ взвешенного возрастного состава Морозова-Майоровой». В приведенном в данной монографии примере формирования размерно-возрастного ключа для туркменской воблы — вида, диапазон вариации длины тела которого в промысловых уловах составлял 12–31 см, а предельный возраст достигал 6 полных лет, объем выборки, достаточный для решения поставленной задачи, оценивался величиной 469 экз., или около 24 экз. на каждый сантиметр размерного ряда и почти 78 экз. на каждую возрастную группу, представленную в уловах.

Известно, что большинство морских промысловых рыб, составляющих основу вылова в дальневосточных морях Российской Федерации, относятся к средне- и долгоживущим видам, с предельной эмпирической продолжительностью жизни в диапазоне 20–50 лет. Например, максимальный возраст минтая *Gadus chalcogrammus* в промысловых уловах составляет около 23 лет [Буслов, 2005], большинства беринговоморских и охотоморских камбал — от 20 до 38 лет [Золотов, 2007], а для некоторых глубоководных видов, таких как угольная рыба *Anoplopoma fimbria* или морские окуни семейства Sebastidae, предельные оценки этой величины могут превышать сотню лет

[Munk, 2001]. Если еще учесть, что и характерные линейные размеры особей этих видов в промысловых уловах могут значительно варьировать, то становится понятным, что формирование надежного размерно-возрастного ключа для оценки возрастного состава с практической точки зрения может оказаться не самой простой задачей, поскольку для ее решения требуется обеспечить сбор значительного объема первичного материала.

В настоящей статье приводится один из возможных подходов к решению этой проблемы, позволяющий, в определенном смысле, нивелировать недостаток первичной информации для оценки возраста в отдельных размерных группах морских рыб. Идея применения такого способа возникла спонтанно и была обусловлена необходимостью оперативной подготовки базовой матрицы уловов по возрастам для оценки запасов желтоперой камбалы *Limanda aspera* сахалинских вод когортными методами в условиях ограниченного набора данных для определения возраста [Золотов и др., 2014].

Несмотря на то что результаты исследований по данному вопросу публикуются впервые, следует отметить, что к настоящему времени этот метод уже был применен для расчетов возрастного состава при оценке ресурсов нескольких группировок тихоокеанской трески *Gadus microcephalus* [Золотов и др., 2020; Золотов, 2024], дальневосточных камбал [Золотов, Дубинина, 2017; Золотов и др., 2023] и тихоокеанской сельди *Clupea pallasii* [Золотов и др., 2022]. Таким образом, фактически эта методика уже используется на практике на постоянной основе.

Целью работы является ознакомление специалистов отраслевой рыбохозяйственной науки с результатами применения метода обратных расчислений для определения возрастного состава уловов как базового элемента для оценки запасов морских рыб.

Материалы и методы

Работа основана на результатах определения возраста и расчисления темпов роста особей желтоперой камбалы, которые раньше были использованы при оценке запасов желтоперой камбалы зал. Терпения методами когортного анализа [Золотов и др., 2014]. Возраст желтоперой камбалы определяли по отолитам, собранным специалистами отраслевых рыбохозяйственных институтов в научно-промысловых рейсах и на береговых рыбоперерабатывающих предприятиях в 2010–2011, 2013–2014 гг. и в 2024 г. в зал. Терпения, основная часть камеральной обработки была выполнена автором при подготовке публикации по оценке состояния запасов желтоперой камбалы присахалинских вод [Золотов и др., 2014].

Отбор рыб для биологического анализа, в ходе которого производился сбор отолигов, осуществлялся из уловов неселективно. В статье использованы только те возрастные структуры, для которых удалось одновременно выполнить оценку возраста и расчислить приросты длины рыб за каждый прожитый год. Таким образом, для формирования размерно-возрастных ключей были использованы отолиги от 760 экз. рыб.

Ширину годовых приростов измеряли по обожженным поперечным сломам отолигов, просматривая их в отраженном свете [Chilton, Beamish, 1982]. Совокупность опаковой и гиалиновой зон принимали за годовой прирост. Темп роста (длину рыбы в соответствующем возрасте) определяли методом обратных расчислений Э. Леа [1912, цит. по: Чугунова, 1959].

$$L_n = L \cdot \frac{S_n}{S},$$

где L_n — длина рыбы в возрасте n , см; L — полная длина тела рыбы, см; S — ширина сектора отолига от центра до края, см; S_n — ширина сектора отолига в возрасте n , см.

При определении возраста рыб и при выполнении исследований, связанных с расчислением роста, необходимо иметь представление о времени закладки годовых колец на регистрирующих структурах, поскольку от этого может зависеть последующая временная привязка оценок длины рыб в течение жизни. Хотя факторы, влияющие на образование концентрических зон на отолигах костистых рыб, к настоящему моменту

достоверно не выявлены и, возможно, видоспецифичны, известно, что у большого числа видов рыб умеренных широт в северном полушарии закладка нового годового прироста (опаковой зоны) приходится на апрель-июнь [Beckman, Wilson, 1995].

Для некоторых представителей семейства камбаловых, обитающих в Северной Пацифике, в том числе для желтоперой камбалы, этот вопрос ранее обсуждался [Kitano, 1969; Золотов, 2006а, б; Золотов, Дубинина, 2012]. При обобщении приведенных в данных источниках результатов в рамках настоящего исследования принято допущение, что формирование гиалиновой зоны на отолитах желтоперой камбалы в основном происходит в конце гидрологической зимы, в апреле, и рассчитанные приросты описывают изменения длины особей желтоперой камбалы по состоянию на 1 мая каждого года.

Формирование размерно-возрастных ключей для оценки возрастного состава желтоперой камбалы зал. Терпения осуществлялось двумя способами: на основе прямой оценки возраста и по результатам обратных расчетов длины тела ее особей. Предельная длина желтоперой камбалы в уловах составила 50 см, предельный возраст — 33 года (33+). Возрастные ключи, используемые в работе для анализа, составлены с интервалом 2 см по длине и ограничены возрастом 25 полных лет (табл. 1, 2).

Для того чтобы продемонстрировать, насколько критичной может быть разница в определении возрастного состава уловов при использовании различных размерно-возрастных ключей для конечных оценок запасов, были выполнены модельные расчеты численности и биомассы желтоперой камбалы зал. Терпения методом виртуально-популяционного анализа (ВПА) с использованием пакета «VPA version 3.1» [Darby and Flatman, 1994]. Входные параметры для моделирования, включая информацию по многолетнему размерному составу уловов желтоперой камбалы зал. Терпения, данные по массе тела, созреванию, естественной смертности, а также начальные параметры для настройки модели были аналогичны подготовленным для работы А.О. Золотова с соавторами [2014], с небольшими дополнениями.

Статистическую обработку и проверку гипотез проводили с использованием общепринятых в биологических исследованиях методик [Лакин, 1980].

Результаты и их обсуждение

Сформированные по результатам определения возраста желтоперой камбалы и ее годовых приростов размерно-возрастные ключи представлены в табл. 1 и 2. Первое, на что следует обратить внимание, — это то, что при одинаковом исходном объеме коллекции регистрирующих структур ($n = 760$ парных экз. отолитов) число наблюдений (оценок возраста и расчетов длины), послуживших основой для составления ключей, различается довольно значительно.

Если для ключа, составленного на базе прямого определения возраста, суммарное число наблюдений в размерно-возрастных группах было равно начальному объему коллекции отолитов ($n = 760$ экз.), что вполне объяснимо, то для табл. 2, составленной по результатам расчетов темпа роста рыб, их количество оказалось существенно выше и достигало $n = 7266$ экз. Связано это с тем, что при помощи обратных расчетов от одной особи желтоперой камбалы получали не точечную оценку возраста при ее поимке, а набор значений длины ее тела во все предшествующие годы ее жизни. Таким образом, использование предлагаемой методики позволяет существенно увеличить базовый объем выборки для формирования размерно-возрастных ключей. В нашем примере для желтоперой камбалы зал. Терпения это отношение числа наблюдений от одной и той же коллекции регистрирующих возраст структур может быть оценено величиной $7266/760 \approx 9,5$.

Вероятно, такое соотношение видоспецифично и может зависеть от продолжительности жизни особей конкретного вида рыб и их характерных размеров в уловах, но сам факт того, что эффективность использования первичного материала, собранного в полевых условиях, может быть увеличена почти на порядок, весьма существенен.

Вторым значимым аспектом является то, что использование метода обратных расчислений для формирования ключей позволяет существенно расширить охват мелкоразмерных и младшевозрастных групп данными наблюдений. Для наглядности в табл. 2 те позиции, для которых в размерно-возрастном ключе, составленном на основе прямых оценок возраста (табл. 1), отсутствовала информация, выделены цветовым маркером. Как можно видеть, использование результатов обратных расчислений длины тела желтоперой камбалы позволяет получить информацию по размерным группам до 22 см и по возрастам от 1 до 3 лет, а также расширить охваченный наблюдениями диапазон для особей возрастом старше 15 лет.

Если в первом случае (табл. 1) представлена информация по 118 размерно-возрастным группам, то при использовании метода обратных расчислений их количество увеличивается до 198, или на 68 %. Наиболее значимым является то, что во втором случае появляется информация, позволяющая объективно оценивать численность ближайшего пополнения желтоперой камбалы зал. Терпения, представленного в уловах рыбами длиной до 25 см и возрастом от 2 до 5 лет.

Таблица 1

Размерно-возрастной ключ для расчетов возрастного состава уловов желтоперой камбалы зал. Терпения, составленный по результатам прямого определения возраста рыб, %

Table 1
Size-and-age key for calculating the age composition in catches of yellowfin sole in the Patience Bay, based on results of direct determination of the age, %

Длина, см	Возраст, год																		N, экз.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
13–14	–	–	–	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Сумма 100
15–16	–	–	–	40,0	60,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100
17–18	–	–	–	18,8	43,7	25,0	12,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100
19–20	–	–	–	3,1	43,8	40,6	9,4	3,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100
21–22	–	–	–	–	10,4	52,2	29,9	6,0	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100
23–24	–	–	–	–	6,9	28,4	42,4	17,2	3,4	1,7	–	–	–	–	–	–	–	–	100
25–26	–	–	–	–	0,9	9,6	41,2	28,9	12,3	5,3	0,9	0,9	–	–	–	–	–	–	100
27–28	–	–	–	–	–	2,9	13,5	24,0	21,2	26,0	6,7	3,8	1,9	–	–	–	–	–	100
29–30	–	–	–	–	–	1,1	10,2	24,0	22,7	15,9	5,7	10,2	10,2	–	–	–	–	–	100
31–32	–	–	–	–	–	–	1,7	1,7	18,6	23,6	13,6	15,3	10,2	5,1	1,7	6,8	–	–	100
33–34	–	–	–	–	–	–	–	–	4,2	22,9	20,8	22,9	18,8	–	8,3	–	2,1	–	100
35–36	–	–	–	–	–	–	2,9	–	2,9	5,9	5,9	20,6	20,7	11,8	14,7	5,9	2,9	–	100
37–38	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5,3	15,8	5,3	20,8	15,8	15,8	5,3	–	100
39–40	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	15,8	5,3	15,8	15,8	15,8	5,3	–	100
41–42	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5,9	11,8	17,4	11,8	11,8	–	100
43–44	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6,7	6,7	6,7	6,7	–	100

Таблица 2
Размерно-возрастной ключ для расчетов возрастного состава уловов желтоперой камбалы зал. Терпения, составленный по результатам обратных расчислений годовых приростов длины тела, %

Table 2
Size-and-age key for calculating the age composition in catches of yellowfin sole in the Patience Bay, based on results of inverse calculations for annual body length increments, %

Длина, см	Возраст, год																									N, экз.	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		Сумма
0-2	88,2	11,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
3-4	92,2	7,6	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
5-6	77,3	18,4	4,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
7-8	15,3	71,7	12,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
9-10	2,9	79,4	16,6	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
11-12	-	45,7	50,3	2,9	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
13-14	-	18,8	59,4	20,6	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
15-16	-	4,2	41,5	43,9	9,3	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
17-18	-	0,2	22,6	47,7	23,1	5,2	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
19-20	-	-	9,2	34,4	38,5	14,2	3,1	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
21-22	-	-	1,1	17,2	35,0	32,7	10,8	2,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
23-24	-	-	-	6,3	21,8	31,9	27,9	9,4	2,0	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
25-26	-	-	-	1,4	10,2	25,3	26,8	21,7	9,5	3,6	1,2	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
27-28	-	-	-	0,4	4,6	13,1	24,9	19,4	17,9	11,9	5,2	1,4	1,0	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
29-30	-	-	-	-	0,7	4,8	15,4	28,3	19,2	11,8	7,7	7,2	3,6	0,7	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
31-32	-	-	-	-	-	2,1	5,6	13,6	20,9	21,4	14,2	9,7	4,7	2,4	1,8	1,5	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	100
33-34	-	-	-	-	-	-	2,5	6,3	13,1	18,6	20,0	14,3	10,1	6,3	4,2	2,1	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
35-36	-	-	-	-	-	-	0,9	3,3	9,5	11,8	12,8	14,9	11,8	9,0	6,2	3,8	2,4	2,8	2,8	2,4	1,9	1,4	1,4	0,9	-	-	100
37-38	-	-	-	-	-	-	-	1,2	3,1	9,3	11,2	14,4	13,7	11,2	9,3	6,8	6,2	3,1	1,9	1,9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,9	100	
39-40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,9	8,8	11,7	10,9	16,2	12,4	8,8	4,4	6,6	5,8	3,6	3,6	2,9	0,7	0,7	-	-	100
41-42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9	2,8	8,3	10,1	11,8	11,0	10,1	7,3	8,3	8,3	6,4	5,5	4,6	2,8	1,8	100	
43-44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,2	2,5	2,2	6,7	6,7	15,2	11,1	11,1	8,9	6,7	11,1	8,9	6,7	100	
45-46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50,0	50,0	2	

Третье, на что следует обратить внимание, — это то, что при использовании методики на основе обратных расчислений заметно расширяется диапазон вариации длины тела для основных возрастных групп желтоперой камбалы, массово представленных в уловах (4–12-годовики).

Поясним на примере. Как можно видеть, распределение парных оценок «длина–возраст» в вертикальных колонках размерно-возрастных ключей (табл. 1, 2), по существу, демонстрирует размерный состав каждого возраста. На рис. 1 показано распределение по длине для наиболее массовых возрастных групп, составляющих основу промысловых уловов желтоперой камбалы зал. Терпения (от 6- до 10-годовиков). Во всех случаях для ключа, составленного на основе метода обратных расчислений, большими оказались и диапазон вариации длины тела 6–10-годовиков, и оценки их средней длины. При этом различия в средних размерах были достоверными на высоком уровне значимости ($t_{st} > 1,96$, $p = 0,05$).

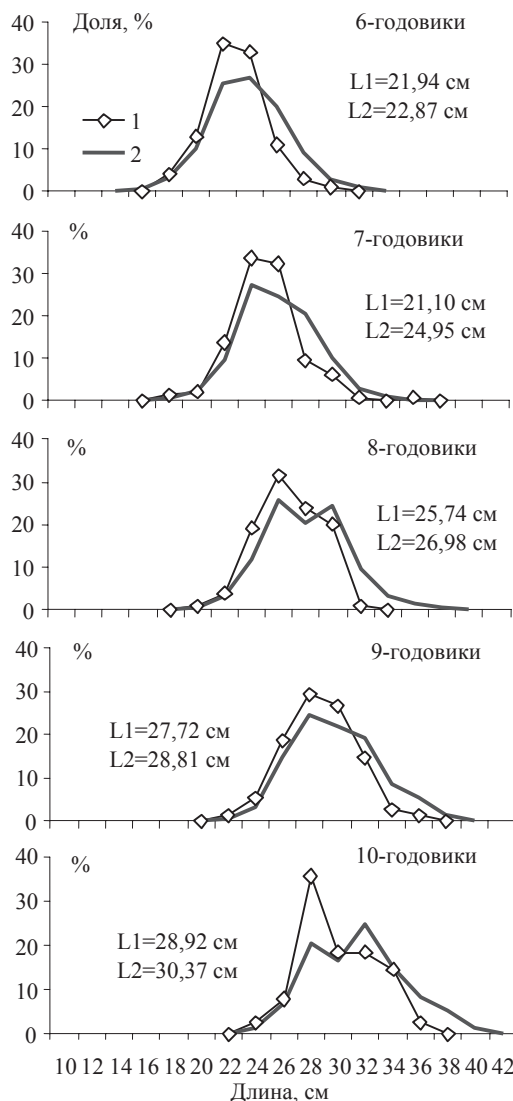


Рис. 1. Размерный состав желтоперой камбалы по возрастным группам, определенный при формировании размерно-возрастных ключей (табл. 1, 2): 1 — по результатам прямых определений возраста; 2 — с использованием метода обратных расчислений длины тела рыб

Fig. 1. Size composition of yellowfin sole in Tables 1, 2, by age groups: 1 — on results of direct determination of age; 2 — on results of inverse calculations of body length

Если попытаться сопоставить форму распределения суммарной доли наблюдаемых значений парных оценок «длина–возраст» по возрастным группам для обоих ключей (рис. 2), то их различие окажется очевидным. При использовании для его формирования метода обратных расчислений распределение доли наблюдаемых значений, с небольшими оговорками, можно сопоставить с кривой экспоненциальной убыли численности рыб с течением времени [Рикер, 1979]. Тогда как при формировании размерно-возрастного ключа на базе прямых оценок возраста желтоперой камбалы общая форма распределения количества оценок по возрастным группам скорее обусловлена селективностью орудий ее лова, т.е. снюрреводов, которые преимущественно изымают особей длиной от 20 см и более.

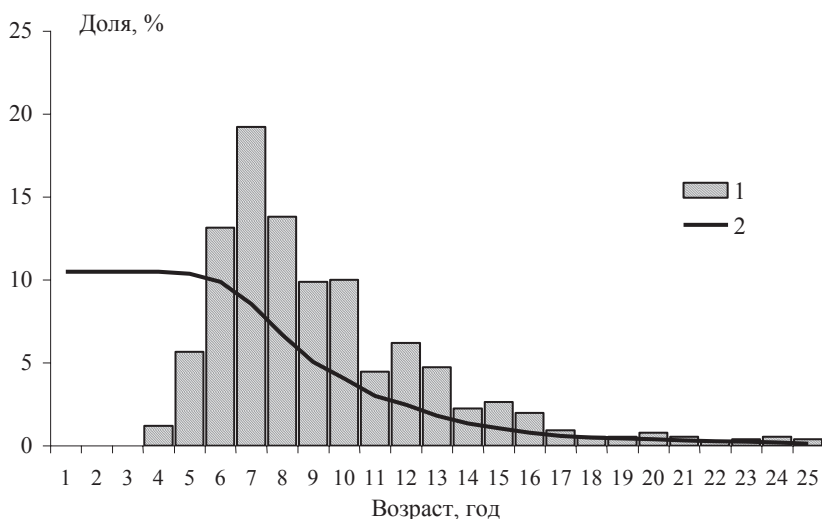


Рис. 2. Распределение суммарной доли числа наблюдений (%) по возрастным группам, использованным для формирования размерно-возрастных ключей желтоперой камбалы зал. Терпения: 1 — по данным прямых оценок возраста рыб ($n = 760$ экз.); 2 — по данным метода обратных расчислений ($n = 7266$ экз.)

Fig. 2. Age composition of yellowfin sole in Tables 1, 2 (%): 1 — on results of direct determination of age ($n = 760$); 2 — on results of inverse calculations of body length ($n = 7266$)

Учитывая, что сами размерно-возрастные ключи рассматриваются лишь как инструмент для расчета возрастного состава уловов, важно выяснить, является ли наличие выявленных выше расхождений в структуре, представленных выше в двух вспомогательных таблицах, значимым при решении практических задач. Для эксперимента из имеющегося набора размерных составов промысловых уловов желтоперой камбалы зал. Терпения были выбраны наиболее характерные: с высокой долей крупноразмерных рыб (2024 г.), с повышенным вкладом мелкоразмерных особей (2016 г.) и подходящий для ситуации, близкой к среднемуголетней. Результаты представлены на рис. 3.

Как можно видеть, во всех случаях при одинаковых входных размерных данных на выходе доля старшевозрастных особей, оцененная с использованием ключа, составленного по результатам прямого определения возраста рыб, выше, а доля возрастных групп, представляющих пополнение промыслового запаса (4–6-годовики) — ниже. Возрастные группы, для которых различия в оценках оказались достоверными, на выбранном уровне значимости выделены цветовым маркером ($t_{st} > 1,96$, $p = 0,05$).

Указанное перераспределение отразилось и в более высоких оценках среднего возраста. Так, при обилии мелкоразмерных рыб в уловах они составили 5,7 и 6,5 года, при доминировании крупных особей — 9,8 и 10,6 года, а для размерного состава, близкого к среднемуголетнему, — 8,5 и 9,3 года (рис. 3). В более общем примере применение размерно-возрастного ключа, основанного на прямых определениях возраста желтоперой камбалы, приводит к систематическому завышению оценок среднего возраста рыб в уловах (рис. 4).

Можно предположить, что такой полученный результат, с одной стороны, обусловлен малым числом младшевозрастных мелкоразмерных рыб, которые из-за селективности снюрреводов в размерно-возрастном ключе, основанном на прямых оценках рыб в уловах, представлены в ограниченном количестве. С другой стороны, для этого ключа «вес» отдельной терминальной оценки в старших возрастах существенно выше, чем для такового, составленного на основе методики обратных расчислений.

Так, например, для наших двух выборок вклад одной оценки возраста будет оцениваться как $1/760 \approx 0,132\%$ в первом случае и $1/7266 \approx 0,014\%$ — во втором. При этом при использовании расчисленных длин за оценкой размеров тела в терминальном

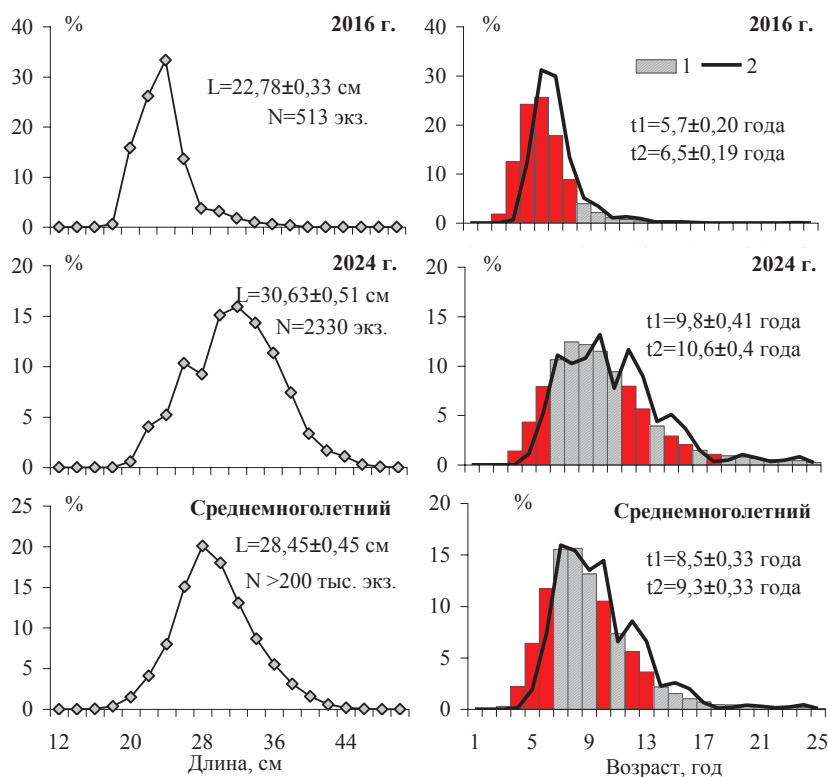


Рис. 3. Оценка возрастного состава желтоперой камбалы по данным о размерном составе ее уловов: с использованием размерно-возрастного ключа, составленного по методу обратных расчислений (1) и на основе прямых оценок возраста (2). Указаны средняя длина и возраст рыб в уловах. Цветом выделены возрастные группы, для которых выявлены достоверные различия в оценках долей

Fig. 3. Age composition of yellowfin sole determined on the data of size composition: 1 — age determined from the size-and-age key constructed using the method of inverse calculations; 2 — age determined from the size-and-age key constructed using direct age estimates. Mean length and age in catches are indicated. The age groups with significant differences in their portion are highlighted by color

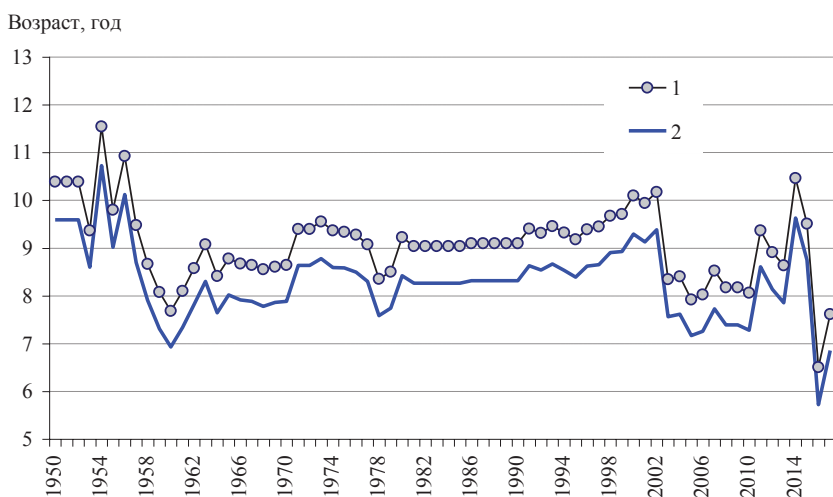


Рис. 4. Многолетняя динамика среднего возраста желтоперой камбалы, оцененная с помощью двух размерно-возрастных ключей: 1 — по данным метода обратных расчислений; 2 — по данным прямых оценок возраста

Fig. 4. Long-term dynamics of mean age for yellowfin sole: 1 — age determined from the size-and-age key constructed using the method of inverse calculations; 2 — direct age estimates

возрасте будет следовать целый ряд аналогичных значений в предыдущих возрастах, тогда как при использовании вспомогательных таблиц, составленных на основе прямой оценки возраста, такая «линейка» отсутствует.

Можно предположить, что в предельном случае, по мере накопления достаточно большого числа прямых определений возраста, оценки возрастного состава в его правой (старшевозрастной) части (рис. 3) при использовании двух ключей будут сближаться и различия постепенно нивелируются. Однако в левой части из-за влияния селективности орудий лова расхождения, видимо, труднопреодолимы.

Анализ возрастного состава уловов и его изменений в многолетнем аспекте сам по себе имеет большое значение в исследованиях, связанных с динамикой популяций промысловых рыб. Однако в рамках настоящей работы хотелось также оценить, насколько выявленные выше различия при формировании размерно-возрастных ключей могут оказаться критичными при расчетах численности и биомассы запасов морских рыб, а также при прогнозировании их состояния с некоторой заблаговременностью.

Для этого было выполнено моделирование. На основе имеющегося исторического ряда наблюдений за размерным составом промысловых уловов желтоперой камбалы зал. Терпения [Золотов и др., 2014], с использованием двух размерно-возрастных ключей, представленных выше, были рассчитаны две матрицы уловов по возрастам, которые впоследствии использовались в качестве входной информации для когортной ретроспективной оценки промысловой биомассы (рис. 5) и численности пополнения в возрасте 3 года (рис. 6).

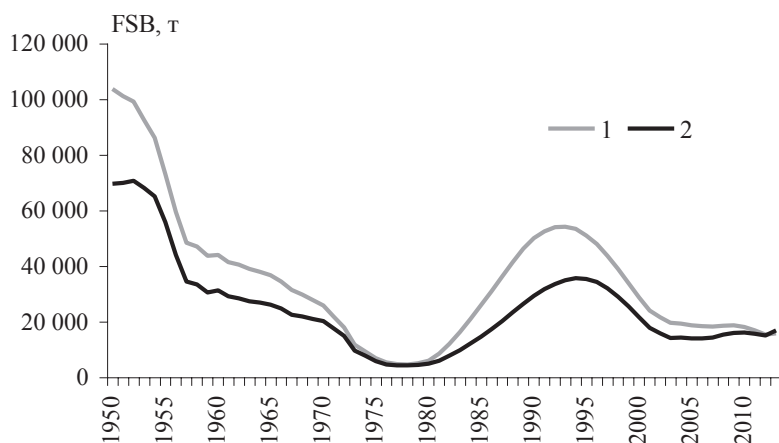


Рис. 5. Многолетняя динамика промысловой биомассы (FSB, т) желтоперой камбалы зал. Терпения по данным модельных расчетов: 1 — при формировании матрицы уловов по возрастам с использованием размерно-возрастного ключа, выполненного на базе прямых оценок возраста, 2 — то же с использованием ключа на основе метода обратных расчислений роста

Fig. 5. Long-term dynamics of the fishery stock biomass (FSB, t) for yellowfin sole on results of modeling: 1 — using the size-and-age key constructed with direct age estimates, 2 — using the size-and-age key constructed with the method of inverse calculations

Как можно видеть, при всех прочих идентичных внешних входных параметрах модели, за исключением матриц уловов по возрастам, различия в ретроспективных оценках оказались довольно значительными. Несмотря на то что в качественном отношении результаты расчетов сходным образом характеризуют ретроспективную динамику промысловой биомассы с периодами высокого уровня запасов в 1950–1965 и в середине 1990-х гг. и минимальными значениями в 1970-х гг., количественные расхождения весьма существенны. Использование при расчетах матрицы уловов размерно-возрастного ключа, основанного на прямых определениях возраста рыб, привело к значительному завышению ретроспективных оценок промысловой биомассы. Это превышение особенно выражено в периоды высокого уровня запасов, и

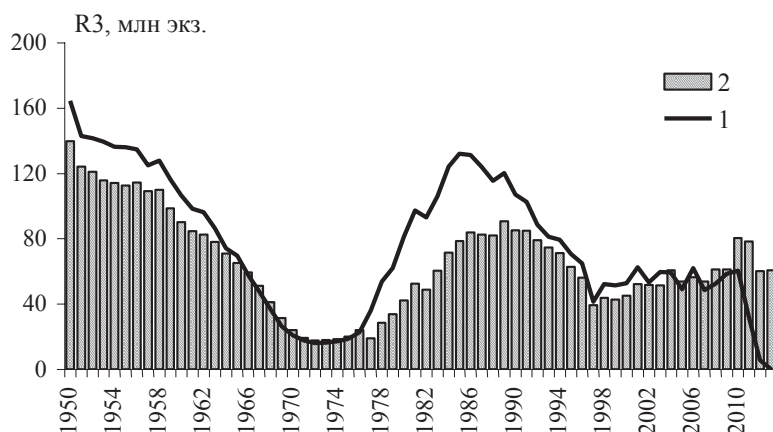


Рис. 6. Многолетняя динамика численности пополнения желтоперой камбалы зал. Терпения в возрасте 3 года (R_3 , млн экз.) по данным модельных расчетов: 1 — при формировании матрицы уловов по возрастам с использованием размерно-возрастного ключа, выполненного на основе прямых оценок возраста, 2 — то же с использованием ключа на базе метода обратных расчислений роста рыб

Fig. 6. Long-term dynamics of the number of yellowfin sole recruits at the age of 3 years (R_3 , 10^6 ind.), by model calculations: 1 — using the size-and-age key constructed with direct age estimates, 2 — using the size-and-age key constructed with the method of inverse calculations

в среднем на всем анализируемом ряду наблюдений эта величина оценивается на уровне 40,8 %.

Сходный эффект проявлялся и при анализе результатов расчетов численности пополнения R . Использование ключа на основе прямого определения возраста приводит к завышению оценок пополнения, хорошо проявляющемуся в периоды повышенного уровня запаса.

Объяснение данного феномена довольно простое. Отмеченный ранее повышенный вклад старшевозрастных особей в размерно-возрастном ключе, сформированном по результатам прямого определения возраста (табл. 1, 2, см. рис. 2), при пересчете размерного состава отражается в повышенной доле таких рыб в возрастном составе уловов (рис. 3), которая, в свою очередь, при формировании матрицы уловов трансформируется в более высокую расчетную величину особей желтоперой камбалы данных возрастов в единицах численности.

В итоге при реализации ретроспективного когортного моделирования, с учетом экспоненциального выражения смертности, большие стартовые значения численности вылова в старших возрастах приводят к более высоким оценкам поколений во всех младших возрастах, вплоть до рекрутов R_3 . Конечным результатом являются более высокие расчетные величины промысловой биомассы и пополнения.

Учитывая то обстоятельство, что для большинства когортных моделей [Бабаян и др., 2018] результаты ретроспективных расчетов являются основой для определения целевых и граничных ориентиров управления промыслом, а также прогноза состояния запаса и оценки допустимых объемов изъятия, можно предполагать, что вопрос качества исходной информации имеет особое значение. Таким образом, использование предлагаемого в настоящей работе метода составления ключей может способствовать совершенствованию методики оценки запасов морских рыб.

Резюмируя, подчеркнем, что рассматриваемый в настоящей работе способ формирования размерно-возрастных ключей не предлагается в качестве альтернативы традиционному методу, основанному на базе прямых оценок возраста. Однако в тех случаях, когда по тем или иным причинам объем имеющейся коллекции регистрирующих возраст структур ограничен, использование метода обратных расчислений роста рыб позволяет сформировать корректный размерно-возрастной ключ, достаточный

для решения задачи оценки возрастного состава уловов и при этом позволяющий нивелировать влияние селективности орудий лова при сборе первичного материала.

Как уже было отмечено выше, на практике данная методика уже была использована при решении задач оценки численности тихоокеанской трески южных Курильских островов и Японского моря [Золотов и др., 2020; Золотов, 2024], желтоперой камбалы присахалинских вод [Золотов и др., 2014], двухлинейных камбал рода *Lepidopsetta* у Курильских островов и в западной части Берингова моря [Золотов, Дубинина, 2013, 2017; Золотов и др., 2023] и тихоокеанской сельди южных Курильских островов [Золотов и др., 2022].

Из видимых недостатков метода можно отметить его значительно большую трудоемкость при камеральной обработке. Кроме того, результаты обратных расчислений имеют жесткую временную привязку, связанную с периодом закладки годового кольца на регистрирующих возраст структурах, что необходимо учитывать при интерпретации полученных результатов. И наконец, в приведенном примере для исследований использовались отолиды желтоперой камбалы, форма которых проста, а годовые кольца явно выражены и практически не имеют дополнительных меток.

Следует, однако, учитывать, что формирование отолитов видоспецифично. В некоторых случаях, как для черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae*, они могут иметь слишком сложную форму, а для ряда долгоживущих рыб годовые кольца могут быть расположены слишком близко и иметь значительное количество вторичных марок, что может затруднить использование предлагаемой методики или сделать ее вовсе неприменимой [Munk, 2001].

Заключение

На основании данных многолетних наблюдений за размерным составом промысловых уловов желтоперой камбалы зал. Терпения и результатов определения возраста на основе метода обратных расчислений роста рыб предложена методика формирования размерно-возрастных ключей для оценки возрастного состава уловов.

Показано, что в тех случаях, когда объем имеющейся коллекции регистрирующих возраст структур ограничен, использование данного метода позволяет сформировать размерно-возрастной ключ, достаточный для решения задачи оценки возрастного состава уловов и при этом позволяющий нивелировать влияние селективности орудий лова при сборе первичного материала.

Метод может оказаться полезен при решении практических задач, связанных с расчетами возрастного состава уловов и последующей оценкой численности популяций морских рыб, а также объемов их допустимого изъятия.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор выражает благодарность специалистам отраслевых научно-исследовательских институтов, принимавшим участие в сборе биологических материалов для исследований в 2010–2014 гг.

The author is grateful to colleagues from the fisheries research institutes who collected in 2010–2014 the biological materials used in the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not sponsored.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented. The author declares that he has no conflict of interest.

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.
- Буслов А.В.** Рост минтая и размерно-возрастная структура его популяций : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2005. — 226 с.
- Золотов А.О.** Использование оценок возрастного состава желтоперой камбалы (*Limanda aspera*) западной части Берингова моря по чешуе и отолитам в виртуально-популяционном анализе // Изв. ТИНРО. — 2006а. — Т. 147. — С. 36–46.
- Золотов А.О.** Сравнение оценок возраста желтоперой (*Limanda aspera* Pallas) и северной двухлинейной (*Lepidopsetta polyxystra* Orr et Matareze) камбал западной части Берингова моря и восточного побережья Камчатки по чешуе и отолитам // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2006б. — Вып. 8. — С. 198–206.
- 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.** Распределение тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* (Gadidae) и функциональная структура ее ареала в северной части Японского моря и некоторые вопросы регулирования ее промысла // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 1. — С. 86–111. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-86-111. EDN: BQFVZK.
- Золотов А.О., Антонов Н.П., Мазникова О.А.** Ресурсы трески Курильских островов: запасы и современный промысел // Рыб. хоз-во. — 2020. — № 4. — С. 44–51. DOI: 10.37663/0131-6184-2020-4-44-51.
- Золотов А.О., Буслов А.В., Пономарев С.С.** Особенности биологии и перспективы современного промысла тихоокеанской сельди *Clupea pallasii* на шельфе южных Курильских островов // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 2. — С. 283–304. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-283-304. EDN: APXTUS.
- Золотов А.О., Глубоков А.И., Варкентин А.И.** Разработка подходов к регулированию промысла камбал Западно-Берингоморской зоны // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2023. — Вып. 68. — С. 70–89. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.68.70-89.
- Золотов А.О., Дубинина А.Ю.** Многолетняя динамика запасов и современный промысел камбал Южных Курильских островов // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление : сб. мат-лов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 85-летию Камчат. науч.-исслед. ин-та рыб. хоз-ва и океаногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2017. — С. 62–73.
- Золотов А.О., Дубинина А.Ю.** О сезонности формирования opaque зоны на отолитах северной двухлинейной камбалы *Lepidopsetta polyxystra* тихоокеанского шельфа камчатки и Северных Курил // Вopr. ихтиол. — 2012. — Т. 52, № 6. — С. 731–733.
- Золотов А.О., Дубинина А.Ю.** Современное состояние запасов камбал тихоокеанского шельфа Камчатки и Северных Курил и проблемы регулирования их промысла // Тр. СахНИРО. — 2013. — Т. 14. — С. 17–35.
- Золотов А.О., Смирнов А.В., Баранчук-Червоный Л.Н., Дубинина А.Ю.** Многолетняя динамика и современное состояние запасов желтоперой камбалы *Limanda aspera* в водах о. Сахалин // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 178. — С. 25–57. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-178-25-57.
- Лакин Б.Ф.** Биометрия : учеб. пособие. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. шк., 1980. — 293 с.
- Рикер У.Е.** Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1979. — 408 с. (Пер. с англ.)
- Чугунова Н.И.** Руководство по изучению возраста и роста рыб (методическое пособие по ихтиологии). — М. : АН СССР, 1959. — 164 с.
- Beckman D.W., Wilson C.A.** Seasonal timing of opaque zone formation in fish otoliths // Recent developments in fish otolith research. — Columbia: University of South Carolina Press, 1995. — P. 27–44.

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.

Darby C.D. and Flatman S. Virtual Population Analysis: Version 3.1 (Windows/Dos) : User Guide. — 1994. — 85 p.

Kitano Y. The Age and Growth on the Yellowfin sole (*Limanda aspera*) in Hecate Strait, British Columbia : Technical Report № 109. — Canada : Fisheries research board of Canada, 1969. — 36 p.

Munk K.M. Maximum ages of groundfishes in waters off Alaska and British Columbia and consideration of age determination // Alaska Fish. Res. Bull. — 2001. — Vol. 8, № 1. — P. 12–21.

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 prioritetnykh vidov vodnykh biologicheskikh resursov* (Guidelines for assessing stocks of priority types of aquatic biological resources), Moscow: VNIRO, 2018.

Buslov, A.V., *Rost mintaya i razmerno-voznrastnaya struktura yego populyatsiy* (Pollock growth and size-age structure of its populations), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2005.

Zolotov, A.O., Using the estimations of yellowfin sole (*Limanda aspera*) age structure in the western Bering Sea by its scales and otoliths for virtual populations analysis, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 147, pp. 36–46.

Zolotov A.O., A comparison of age assessment from scales and otoliths for yellowfin sole (*Limanda aspera* Pallas) and northern rock sole (*Lepidopsetta polyxystra* Orr et Matareze) in the western bering sea and east Kamchatka, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2006, vol. 8, pp. 198–206.

Zolotov, A.O., On the limiting age of flounders (Pleuronectidae) of the Okhotsk and Bering seas and the Pacific coast of Kamchatka, in *Mater. 8-y mezhdunar. nauchn. konf., posvyashch. 275-letiyu s nachala Vtoroy Kamchatskoy Ekspeditsii (1732–1733 gg.) “Sokhraneniye bioraznobraziya Kamchatki i prilegayushchikh morey”* (Proc. 8th Intern. Sci. Conf. Commem., 275th anniversary of the beginning of the Second Kamchatka Expedition (1732–1733) “Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters”), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2007, pp. 251–253.

Zolotov, A.O., Distribution of pacific cod *Gadus macrocephalus* (Gadidae) and functional structure of the habitat in the northern Japan Sea and some issues on regulation of the fishery, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 1, pp. 86–111. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-86-111. EDN: BQFVZK.

Zolotov, A.O., Antonov, N.P., and Maznikova, O.A., Pacific cod of the Kuril Islands: stock and contemporary fishing, *Rybn. Khoz.*, 2020, no. 4, pp. 44–51. doi 10.37663/0131-6184-2020-4-44-51

Zolotov, A.O., Buslov A.V., and Ponomarev, S.S., Features of biology and prospects of modern fishery for pacific herring *Clupea pallasii* on the shelf of southern Kuril Islands, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 2, pp. 283–304. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-283-304. EDN: APXTUS.

Zolotov, A.O., Glubokov, A.I., and Varkentin, A.I., Development of approaches to regulation of flatfish fishery in the West Bering Sea zone, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2023, vol. 68, pp. 70–89. doi 10.15853/2072-8212.2023.68.70-89

Zolotov, A.O. and Dubinina, A.Yu., Long-term stock dynamics and current fishery of flatfishes of the southern Kurile Islands, in *Sb. mater. Vseross. nauchn. konf. mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 85-letiyu Kamchatskogo nauchno-issled. inst. rybn. khoz. okeanogr. “Vodnye biologicheskie resursy Rossii: sostoyanie, monitoring, upravlenie”* (Proc. All-Russ. Sci. Conf. Int. Participation, Commem. 85th Anniv. Kamchatka Res. Inst. Fish. Oceanogr. “Aquatic Biological Resources of Russia: State, Monitoring, and Management”), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2017, pp. 62–73.

Zolotov, A.O. and Dubinina, A.Yu., On the seasonal pattern of formation of opaque zone on otoliths of the northern rock sole *Lepidopsetta polyxystra* of the Pacific shelf of Kamchatka and the Northern Kurils, *J. Ichthyol.*, 2012, vol. 52, no. 9, pp. 668–670. doi 10.1134/S0032945212060112

Zolotov, A.O. and Dubinina, A.Yu., Current status of stocks of flounders on the Pacific shelf of Kamchatka and the northern Kuril Islands and problems of regulation of their harvesting, *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 14, pp. 17–35.

Zolotov, A.O., Smirnov, A.V., Baranchuk-Chervonny, L.N., and Dubinina, A.Yu., Long-term dynamics and current state of yellowfin sole *Limanda aspera* stocks in the waters of Sakhalin Island, *Izv.*

Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr., 2014, vol. 178, pp. 25–57. doi 10.26428/1606-9919-2014-178-25-57

Lakin, G.F., *Biometriya* (Biometrics), Moscow: Vysshaya Shkola, 1980, 3rd ed.

Ricker, W.E., *Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations*, Ottawa: Dep. Environ. Fish. Mar. Serv., 1975.

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.

Beckman, D.W. and Wilson, C.A., Seasonal timing of opaque zone formation in fish otoliths, *Recent developments in fish otolith research*, Columbia: University of South Carolina Press, 1995, pp. 27–44.

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.

Darby, C.D. and Flatman, S., *Virtual Population Analysis: Version 3.1 (Windows/Dos): User Guide*, 1994.

Kitano, Y., The Age and Growth on the Yellowfin sole (*Limanda aspera*) in Hecate Strait, British Columbia, *Technical Report № 109*, Canada: Fisheries research board of Canada, 1969.

Munk, K.M., Maximum ages of groundfishes in waters off Alaska and British Columbia and consideration of age determination, *Alaska Fish. Res. Bull.*, 2001, vol. 8, no. 1, pp. 12–21.

Поступила в редакцию 31.10.2024 г.

После доработки 3.12.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

*The article was submitted 31.10.2024; approved after reviewing 3.12.2024;
accepted for publication 10.12.2024*