

Научная статья

УДК 597–155.3(265.5)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-295-308

EDN: LXEDBS



## ИХТИОЦЕН ВЕРХНЕЙ ЭПИПЕЛАГИАЛИ ТИХООКЕАНСКИХ ВОД РОССИИ В ПЕРИОД «РЕНЕССАНСА» ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ САРДИНЫ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

О.А. Иванов, В.И. Радченко, В.П. Шунтов, А.Н. Старовойтов\*

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

**Аннотация.** В контексте новой вспышки численности дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus* обсуждается межгодовая динамика интегральных показателей видовой структуры ихтиоценоза верхней эпипелагиали тихоокеанских вод Курильских островов в 2019–2023 гг. Методом многомерного шкалирования показана обособленность траловых съёмок 2004–2013 гг. — до периода массовой экспансии сюда субтропических мигрантов — дальневосточной сардины и японской скумбрии *Scomber japonicus*. В этот период по биомассе доминировали мезопелагические виды рыб сем. Mустophidae и Microstomatidae и горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*. Начиная с 2014 г. и по настоящее время доминирующие позиции в исследуемом ихтиоценозе «контролируют» 2 вида — дальневосточная сардина и японская скумбрия — с уменьшением роли скумбрии. За последние 5 лет мониторинга (2019–2023 гг.) видовая структура пелагического ихтиоценоза тихоокеанских вод России не претерпела кардинальных изменений, но при этом усилилась тенденция неравномерности распределения общей ихтиомассы среди всех видов сообщества в пользу дальневосточной сардины. Достоверно ( $P < 0,05$ , t-критерий — 4,33) снизилось значение индекса полидоминантности (с  $4,85 \pm 0,44$  в период 2004–2013 гг. до  $2,37 \pm 0,21$  в 2019–2022 гг.) и выравненности ( $P < 0,05$ , t-критерий — 5,25) видовой структуры (с  $0,41 \pm 0,04$  до  $0,15 \pm 0,02$ ). Рост отечественного и зарубежного вылова дальневосточной сардины за последние 8 лет свидетельствует в пользу наступления периода ее «ренессанса» в начале XXI века.

**Ключевые слова:** верхняя эпипелагиаль, ихтиоцен, динамика, видовое богатство и разнообразие, сезонные миграции, дальневосточная сардина, японская скумбрия

**Для цитирования:** Иванов О.А., Радченко В.И., Шунтов В.П., Старовойтов А.Н. Ихтиоцен верхней эпипелагиали тихоокеанских вод России в период «ренессанса» дальневосточной сардины в начале XXI века // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 2. — С. 295–308. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-295-308. EDN: LXEDBS.

\* Иванов Олег Альбертович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, oliv60@yandex.ru, ORCID 0000-0003-3868-6952; Радченко Владимир Иванович, кандидат биологических наук, помощник руководителя, vladimir.radchenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-4048-077X; Шунтов Вячеслав Петрович, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, shuntov.vp@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8542-8484; Старовойтов Александр Николаевич, кандидат биологических наук, начальник экспедиции, sansea@inbox.ru, ORCID 0000-0001-5617-776X.

## Ichthyocenosis of the upper epipelagic layer in the Pacific waters of Russia during Japanese sardine «renaissance» in the beginning of the 21<sup>st</sup> century

Oleg A. Ivanov\*, Vladimir I. Radchenko\*\*, Vyacheslav P. Shuntov\*\*\*, Alexander N. Starovoitov\*\*\*\*

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

\* D.Biol., principal researcher, oliv60@yandex.ru, ORCID 0000-0003-3868-6952

\*\* Ph.D., assistant head, vladimir.radchenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-4048-077X

\*\*\* D.Biol., professor, principal researcher, shuntov.vp@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8542-8484

\*\*\*\* Ph.D., expedition leader, sansea@inbox.ru, ORCID 0000-0001-5617-776X

**Abstract.** Dynamics of integral parameters for the species structure in ichthyocenosis of the upper epipelagic layer in the Pacific waters off the Kuril Islands in 2019–2023 is discussed in compare with previously published data since 2004 in context of a new bloom of Japanese sardine *Sardinops melanostictus*. Results of trawl surveys are clustered using the method of multi-dimensional scaling. Species composition in the trawl catches in 2004–2013, before the time of mass expansion of subtropical migrants, as Japanese sardine and chub mackerel *Scomber japonicus*, was distinguished by domination of mesopelagic fishes of families Myctophidae and Microstomatidae and pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*. From 2014 to the present, the dominant positions in the ichthyocenosis were held by Japanese sardine and chub mackerel, with a decreasing role of the latter. In the last pentade (2019–2023), the species structure of pelagic ichthyocenosis in the Pacific waters of Russia has not undergone fundamental changes. At the same time, the tendency has increased for uneven distribution of biomass between the species of fish community in favor of Japanese sardine. The polydominance index decreased significantly ( $P < 0.05$ ,  $t$ -test 4.33) from  $4.85 \pm 0.44$  in 2004–2013 to  $2.37 \pm 0.21$  in 2019–2022, and the index of evenness of species structure decreased from  $0.41 \pm 0.04$  to  $0.15 \pm 0.02$  ( $P < 0.05$ ,  $t$ -criterion 5.25). Growth of domestic and foreign catches of Japanese sardine in the second decade of the 21<sup>st</sup> century is a sign of this species bloom beginning.

**Keywords:** upper epipelagic layer, ichthyocenosis, catch dynamics, species richness, species diversity, seasonal migration, Japanese sardine, chub mackerel

**For citation:** Ivanov O.A., Radchenko V.I., Shuntov V.P., Starovoitov A.N. Ichthyocenosis of the upper epipelagic layer in the Pacific waters of Russia during Japanese sardine «renaissance» in the beginning of the 21<sup>st</sup> century, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 2, pp. 295–308. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-295-308. EDN: LXEDBS.

### Введение

В XXI веке значительные структурные изменения ихтиоценоза верхней эпипелагиали тихоокеанских вод России были зафиксированы в 2014 г. во время траловых учетных съемок «лососевой» направленности, проводимых здесь в начале лета во время преднерестовых миграций тихоокеанских лососей. На основе анализа динамики интегральных показателей его видовой структуры за период 2004–2018 гг. было установлено, что «переломный» отрезок времени кардинальных структурных изменений сообщества пришелся на 2013–2014 гг. [Ivanov, Khoruzhiy, 2019]. В основе этих изменений стало массовое появление в уловах субтропических мигрантов — дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus*, японской *Scomber japonicus* и южноазиатской *S. australasicus* скумбрий, что было вызвано расширением в умеренные воды их нагульных ареалов, масштабы которых определяются общей численностью каждого из вышеперечисленных видов [Шунтов, Иванов, 2021]. Начиная с 2016 г. и по настоящее время (2023 г.) в экономической зоне тихоокеанских вод России стал возможным эффективный промысел японской скумбрии и дальневосточной сардины. Вылов этих видов российскими рыбодобывающими предприятиями за эти годы (8 лет) не прекращался и суммарно превысил 2 млн т (сардина — свыше 1,6 млн т, скумбрия — 462 тыс. т)\*.

\* Рекомендуемый вылов (РВ) на 2024 г. дальневосточной сардины — 500 тыс. т, японской скумбрии — 250 тыс. т.

По мере возможности тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО) после 2018 г. продолжил отслеживать ситуацию по статусу рыб в ихтиоцене верхней эпипелагиали прикурильских вод Тихого океана. За последующие пять лет (2019–2023 гг.) было выполнено восемь специализированных пелагических траловых съемок. Из них пять было «лососевых», а три имели «сардино-скумбриевую» направленность, т.е. выполнялись во второй половине лета по учету численности и биомассы компонентов ихтиоцена в период нагульных миграций дальневосточной сардины и японской скумбрии.

Цель настоящего сообщения — приобщить новые материалы (июнь–август 2019–2023 гг.) по видовой структуре пелагического ихтиоцена тихоокеанских вод России к материалам 2004–2018 гг., дать оценку и выявить тенденции изменений, происходящих в данном сообществе.

### Материалы и методы

В настоящей работе используемые термины, все процедуры с материалом и методы исследований соответствуют, принятым в публикации О.А. Иванова и А.А. Хоружего [Ivanov, Khoruzhiy, 2019]. По существу, к материалам из этой публикации были добавлены данные о видовом составе и обилии компонентов ихтиоцена прикурильских вод Тихого океана, полученные в 2019–2023 гг. при выполнении эпипелагических траловых съемок. Количественные данные о тралениях и их локализации по акватории района исследований отражены в табл. 1 и на рис. 1. Приведенные здесь данные по тралениям

Таблица 1

Распределение траловых станций по биостатистическим районам (рис. 1) в верхней эпипелагиали (0–50 м) прикурильских вод Тихого океана летом 2004–2023 гг.

Table 1

Distribution of trawl hauls in the upper epipelagic layer (0–50 m) in the Pacific waters off the Kuril Islands in summer of 2004–2023, by biostatistical areas (see Fig. 1)

Год	Биостатистические районы							Итого	Ночные траления	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>
	5	6	7	8	9	10	13			
2004	6	8	12	14	2	6	28	76	20	1013,0
2006	6	6	13	22	2	12	16	77	26	917,1
2007	8	13	20	14	3	12	18	88	32	883,0
2008	2	4	14	14	3	12	27	76	24	920,5
2009	14	22	14	19	2	13	24	108	36	1042,7
2010	6	12	13	17	2	13	42	105	34	1226,2
2011	3	9	15	17	2	13	25	84	28	945,7
2012	5	12	14	18	2	12	31	94	34	1077,4
2013	6	13	14	19	3	16	45	116	41	1332,0
2014	6	13	14	18	3	16	33	103	34	1229,0
2015	10	14	12	16	3	9	29	93	30	1086,7
2016	3	9	13	16	3	13	31	88	31	1097,0
2017	3	10	13	16	3	12	17	74	30	955,0
2018	5	12	13	16	4	12	26	88	30	1152,1
2019	5	12	10	18	4	12	23	84	33	1093,9
2020	5	12	10	18	3	12	33	93	31	1180,0
2021	5	11	10	15	3	7	66	117	41	1700,0
2022	4	12	10	17	3	9	36	91	34	1091,0
2023	4	13	12	20	3	11	32	95	38	1157,0
2015*	–	–	7	20	7	19	30	83	31	592,0
2016*	–	–	9	29	5	25	21	89	33	494,9
2017*	–	–	6	19	4	19	16	64	25	529,8
2020*	–	–	3	17	6	22	–	48	18	302,5
2021*	–	–	16	32	5	29	–	82	32	498,0
2022*	–	–	4	12	4	12	33	65	32	494,0

\* «Сардино-скумбриевые» съемки.

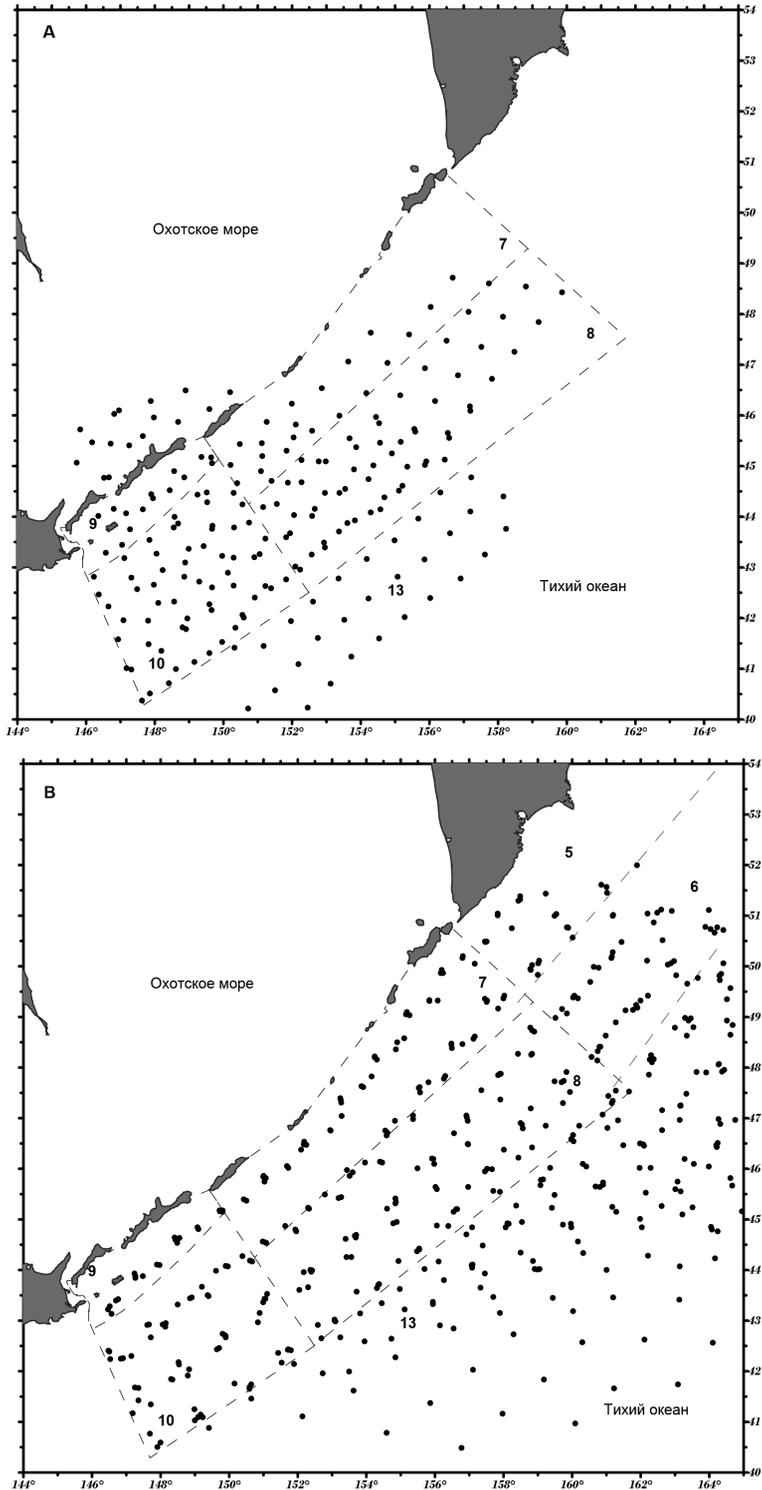


Рис. 1. Схема района исследований с точками тралений: **А** — съемки «сардино-скумбриевой» направленности (август 2020–2022 гг., 211 тралений); **В** — съемки «лососевой» направленности (июль 2019–2023 гг., 480 тралений). Цифрами (5–10 и 13) обозначены биостатистические районы

Fig. 1. Scheme of the study area with position of trawl hauls: **A** — surveys focused on sardine and mackerel research in August 2020–2022, 211 trawl hauls; **B** — surveys focused on pacific salmon research in June-July of 2019–2023, 480 trawl hauls. Biostatistical areas are numbered as 5–10 and 13

соотнесены с биостатистическими районами, которые приняты и используются в практике рыбохозяйственных исследований ТИНРО с середины 1980-х гг. [Волвенко, 2003].

Траления выполнялись на однотипных судах НИС «ТИНРО» и «Профессор Кагановский» в верхнем слое эпипелагиали (0–50 м) разноглубинным тралом 80/396 м с мелкоячейной вставкой в кутце [Нектон..., 2005]. Его раскрытие определялось датчиком прибора SIMRAD FS 20/25, а в качестве распорных средств использовались крыловидно-конические доски площадью 6 м<sup>2</sup> и массой 1300 кг.

Видовые названия приняты по Эшмайеру [Eschmeyer, 1998], высшие таксоны рыб и рыбообразных — по Нельсону [Nelson, 2006]. Видовые обилия оценивались площадным способом по биостатистическим районам с учетом коэффициентов уловистости, дифференцированных по размерным группам [Нектон..., 2005]. В качестве основного показателя обилия использовалась биомасса (удельная или абсолютная). Видовая структура по каждой съемке оценивалась интегрально (суммарно по всем биостатистическим районам).

Вся первичная обработка материала (определения, биоанализ) и оценка обилия гидробионтов проводились на судне по принятому в наших исследованиях стандарту [Нектон..., 2005]. Последующую обработку данных осуществляли на компьютере в среде пакетов MS Access, MS Excel, NCSS 12 (статистические расчеты) и Surfer 10 (картография).

Задействованные в работе синэкологические понятия, определяющие интегральные свойства сообществ — биомасса и численность, видовое богатство и разнообразие, выравненность (равномерность распределения видов по обилию в сообществе) видовой структуры, — были приняты в трактовках А.П. Левича [1980] и Ю.А. Песенко [1982]. Оценка видového разнообразия ихтиоцена осуществлялась по индексам Симпсона, Маргалёфа, Шеннона и Пайлоу [Песенко, 1982; Одум, 1986; Мэгарран, 1992]. При сравнении видовой структуры ихтиоцена за меру сходства (различия) был принят коэффициент Сёрнсена-Чекановского для количественных признаков, а графическая реализация этих результатов осуществлялась методом многомерного шкалирования.

### Результаты и их обсуждение

В период исследований 2019–2023 гг. в уловах из верхнего слоя пелагиали тихоокеанских вод России было зарегистрировано 65 видов рыб и рыбообразных. Ранее, во время аналогичных исследований 2004–2018 гг., видовой список был больше и включал 88 наименований. В итоге объединенный список рыб и рыбообразных за эти два периода исследований расширился до 102 видов, из которых 14 стали дополнением к опубликованному ранее списку [Ivanov, Khoruzhiy, 2019]. В это добавление к общему списку включены один вид из класса хрящевых рыб (Chondrichthyes) — *Pteroplatytrygon violacea* (Bonaparte, 1832) и 13 видовых таксонов из класса костных рыб (Actinopterygii) — *Oncorhynchus masou* (Brevoort, 1856); *Nanobranchium regale* (Gibert, 1892); *Velifer hypselopterus* Bleeker, 1879; *Poromitra crassiceps* (Günther, 1878); *Blepsias bilobus* Cuvier et Valenciennes, 1830; *Bothrocarina nigrocaudata* Suvorov, 1935; *Anarhichas orientalis* Pallas, 1814; *Takifugu porphyreus* (Temminck et Schlegel, 1850); *Sternoptyx diaphana* Hermann, 1781; *Cheilopogon heterurus* (Rafinesque, 1810); *Nealotus tripes* Johnson, 1865; *Thunnus alalunga* (Bonnaterre, 1788); *Cubiceps whiteleggii* (Waite, 1894). Все эти «новые» виды в районе исследований немногочисленны и были редки в уловах. Тем не менее эти материалы были добавлены в базу данных, что обусловило перерасчет оценки сходства (различий) межгодовых изменений видовой структуры ихтиоцена верхней эпипелагиали прикурильских вод Тихого океана за весь период исследований (2004–2023 гг.). Результаты этого перерасчета проиллюстрированы графиком многомерного шкалирования (рис. 2). По этой иллюстрации хорошо заметна обособленность (справа внизу) траловых съемок «лососевой» направленности 2004–2013 гг., т.е. до периода значительного подъема численности дальневосточной

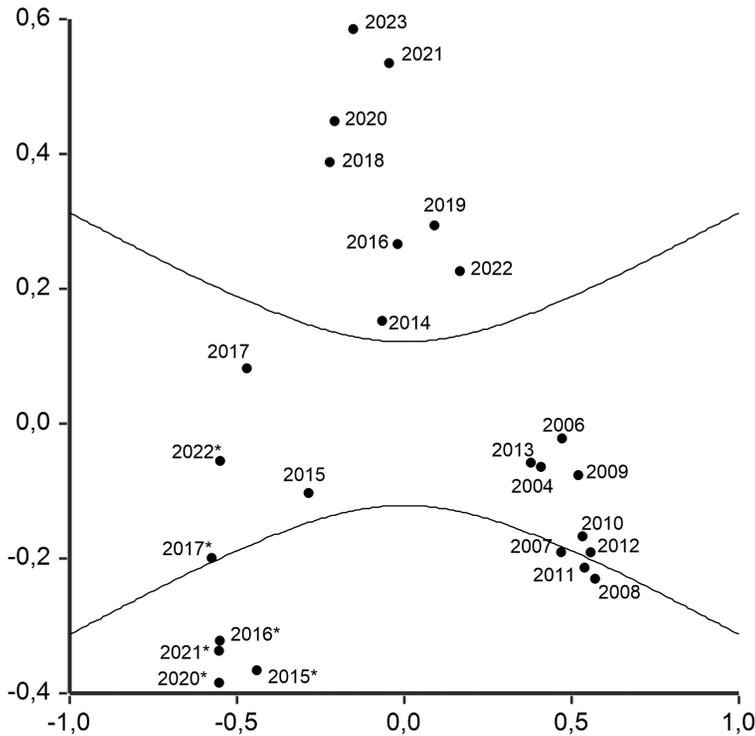


Рис. 2. Классификация траловых съемок по видовой структуре ихтиоценоза в 2004–2023 гг. методом многомерного шкалирования. Звездочкой помечены съемки «сардино-скумбриевой» направленности, линии — доверительный интервал

Fig. 2. Clustering of trawl surveys by species structure of ichthyocenosis in 2004–2023 using multi-dimensional scaling procedure. The surveys focused on sardine and mackerel research are marked by asterisk; lines show confidence area

сардины и японской скумбрии. По видовой структуре уловов на графике не наблюдается и смешения лососевых съемок 2014–2023 гг. со съемками «сардино-скумбриевой» направленности. Таким образом, по набору видов в уловах с характеристиками их обилия (видовая структура) исследуемый ихтиоценоз за последние пять лет наблюдений не претерпел заметных качественных изменений.

Во время проведения «лососевых» съемок (июнь, 2019–2023 гг.) ядро видовой структуры ихтиоценоза (условно ядром ихтиоценоза мы называем группу видов в его составе с удельной (или относительной, т/км<sup>2</sup>) биомассой выше 1 %) составляли 6–10 видов. Доля этих видов от общей биомассы сообщества — от 96,7 до 99,0 %. Из этой группы видов только 4 вида — дальневосточная сардина, японская скумбрия, японский нотоскопел *Notoscopelus japonicus* и горбуша (рис. 3) — в ранге по биомассе занимали 1-е и 2-е места (доминант и субдоминант). В период 2004–2013 гг., до появления в уловах в массовых количествах дальневосточной сардины и японской скумбрии, в ранге доминирования 1-е и 2-е места занимали рыбы сем. *Mycophidae* и *Microstomatidae* и горбуша [Ivanov, Khoruzhiy, 2019]. В съемках «сардино-скумбриевой» направленности (август, 2020–2022 гг.) ядро ихтиоценоза по биомассе составляли от 4 до 7 видов, с долей от общей биомассы сообщества от 97,9 до 99,0 %. Первые две ранговые позиции по биомассе в структуре сообщества во всех случаях занимали только 2 вида — дальневосточная сардина и японская скумбрия, причем в последние три года наблюдений с явным трендом уменьшения значимости второго вида в ядре ихтиоценоза (рис. 4). Статистика вылова японской скумбрии российскими рыбаками также свидетельствует об этом (рис. 5). Доминирующие ранее (2004–2013 гг.) виды переместились на следующие ранговые позиции.

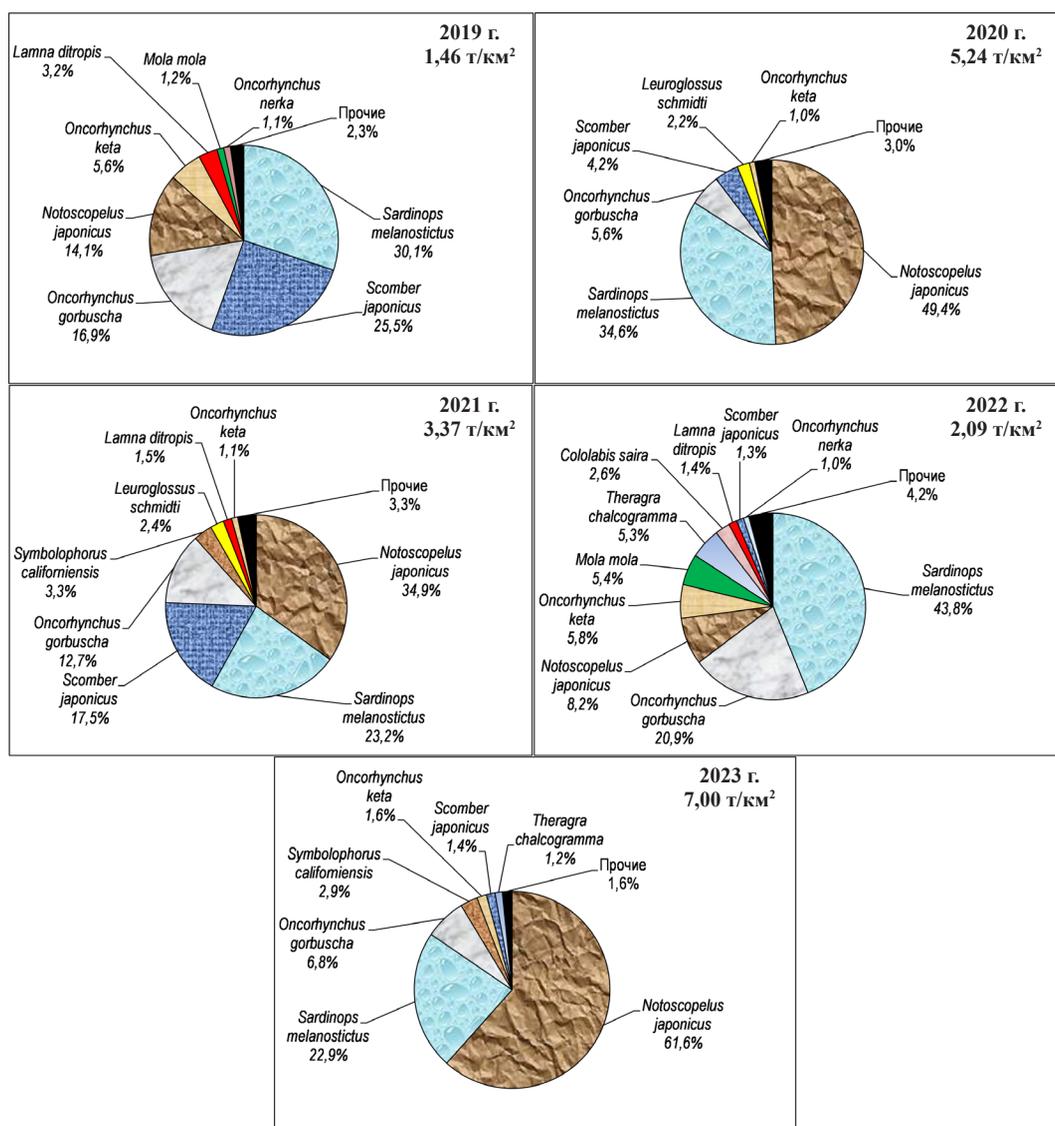


Рис. 3. Видовая структура ихтиоцена в период «лососевых» съемок 2019–2023 гг.

Fig. 3. Species structure of ichthyocenosis in the surveys focused on pacific salmon research in 2019–2023

По изменениям показателей видового разнообразия ихтиофауны верхней пелагиали тихоокеанских вод России в этих съемках (табл. 2) можно заключить, что наметившаяся после 2013 г. тенденция перестройки ихтиоцена от олигодоминантного к бидоминантному типу сообщества сохранилась. Это особенно заметно по августовским съемкам, когда анадромные миграции тихоокеанских лососей через тихоокеанские воды Курильских островов практически заканчиваются, а нагульные миграции массовых пелагических субтропических мигрантов — дальневосточной сардины и японской скумбрии — пребывают в самом разгаре.

Наиболее понятный для трактовки (в отличие от информационного индекса Шеннона) и имеющий биологический смысл индекс видового разнообразия [Песенко, 1982] — индекс полидоминантности Симпсона — достоверно ( $P < 0,05$ , t-критерий Стьюдента — 2,75, все тесты на нормальность выборки, включая Шапиро-Уилка, не отвергли нормальность) снизился в сравнении с «лососевыми» съемками периодов 2004–2013 и 2014–2023 гг. с  $4,85 \pm 0,44$  до  $3,41 \pm 0,44$ . Очевидно, это снижение

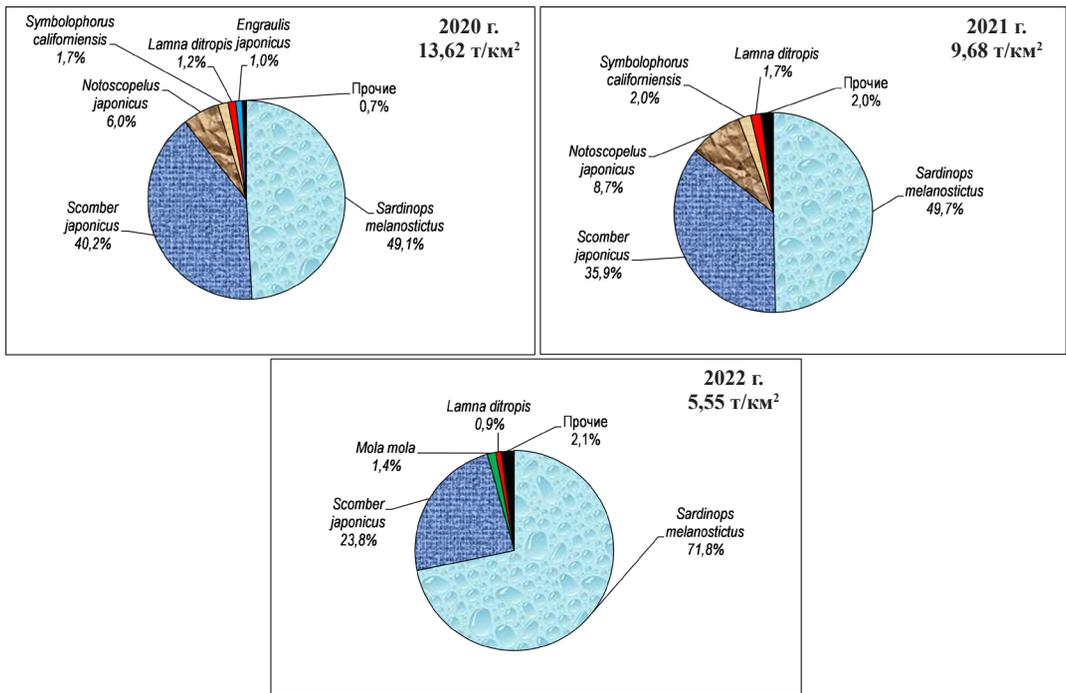


Рис. 4. Видовая структура икhtiоценоза в период «сардино-скумбриевых» съемок 2020–2022 гг.

Fig. 4. Species structure of ichthyocenosis in the surveys focused on sardine and mackerel research in 2020–2022

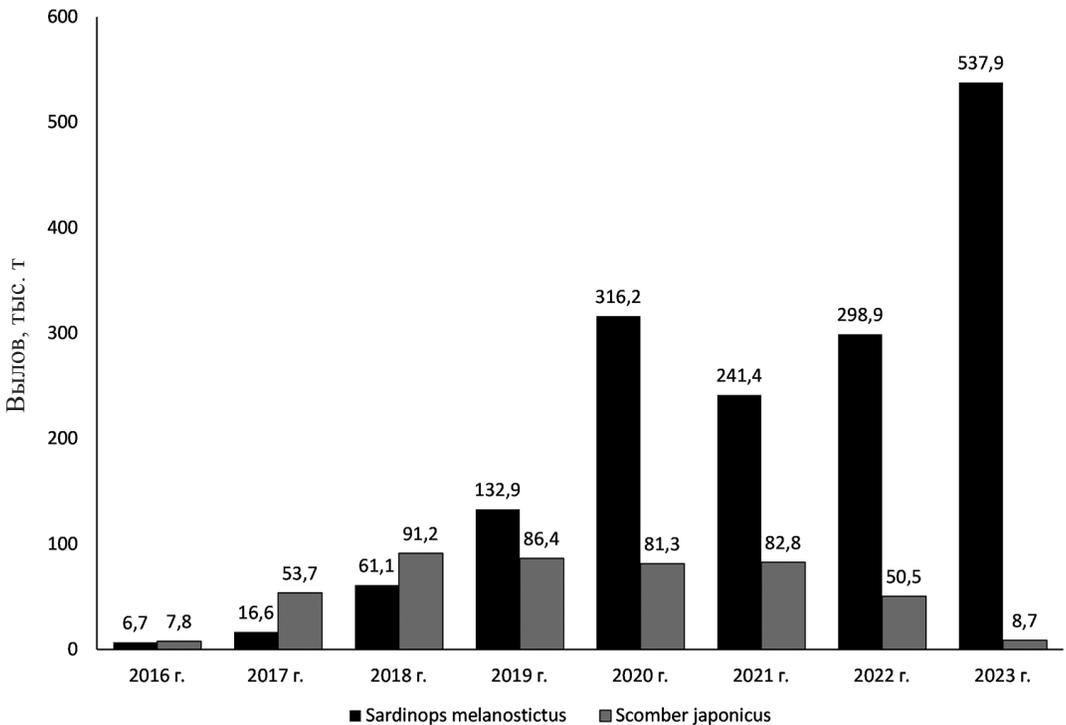


Рис. 5. Межгодовая динамика российского вылова дальневосточной сардины и японской скумбрии

Fig. 5. Interannual dynamics of the Russian annual catch of Japanese sardine and chub mackerel ( $10^3$  t)

Таблица 2

Некоторые показатели видового разнообразия ихтиофауны верхней эпипелагиали российских вод Тихого океана по траловым съемкам 2004–2023 гг.

Table 2

Some indices of species diversity for fish fauna of the upper pelagic layer in the Pacific waters of Russia, on the data of trawl surveys in 2004–2023

Год	S	B	D	1/D	D <sub>Mg</sub>	H'	E
2004	39	3,67	0,16	6,51	3,04	3,02	0,53
2006	40	1,81	0,19	5,77	3,16	2,89	0,45
2007	45	3,73	0,22	3,31	3,26	2,83	0,38
2008	43	1,71	0,15	6,50	3,41	3,08	0,51
2009	48	1,83	0,17	5,76	4,12	3,24	0,53
2010	39	0,97	0,21	4,61	3,54	2,89	0,46
2011	36	1,98	0,25	3,92	2,92	2,40	0,31
2012	37	1,29	0,24	4,18	3,31	2,44	0,31
2013	50	2,74	0,30	3,08	4,10	2,48	0,24
2014	40	2,34	0,30	3,36	3,75	2,41	0,28
2015	42	3,84	0,48	2,08	3,76	1,80	0,14
2016	37	2,38	0,23	4,36	3,35	2,58	0,36
2017	34	10,34	0,29	3,50	2,69	2,11	0,24
2018	35	7,74	0,36	2,72	2,75	2,03	0,22
2019	29	1,46	0,21	4,80	2,68	2,98	0,68
2020	34	5,24	0,37	2,71	2,77	1,89	0,19
2021	38	3,37	0,22	4,45	3,21	2,57	0,34
2022	34	2,09	0,26	3,82	3,33	2,57	0,37
2023	35	7,00	0,44	2,28	2,74	1,74	0,16
2015*	56	9,82	0,53	1,89	4,73	1,52	0,08
2016*	46	10,27	0,30	3,29	3,62	2,20	0,20
2017*	31	5,87	0,39	2,59	2,63	1,78	0,19
2020*	26	13,62	0,45	2,23	1,91	1,59	0,20
2021*	38	9,68	0,53	1,88	3,58	1,16	0,08
2022*	36	5,55	0,43	2,34	3,21	1,72	0,14
Lim	26–56	0,97–13,62	0,15–0,53	1,88–6,51	1,91–4,73	1,16–3,24	0,08–0,68
Means	38,72±1,33	4,77±0,70	0,310±0,002	3,68±0,28	3,26±0,12	2,32±0,11	0,30±0,03
St. dev.	6,67	3,48	0,12	1,40	0,59	0,56	0,16

*Примечание.* S — видовое богатство; B — удельная биомасса, т/км<sup>2</sup>; D — индекс видового разнообразия Симпсона; 1/D — индекс полидоминантности Симпсона; D<sub>Mg</sub> — индекс видового богатства Маргалефа (использовалась удельная численность, экз./км<sup>2</sup>); H' — информационно-статистический индекс Шеннона; E — выравненность видовой структуры по Пайлоу.

\* Съемки «сардино-скумбрияевой» направленности.

произошло за счет массовой экспансии в тихоокеанские воды Курильских островов высокообильных субтропических мигрантов (сардина, скумбрия). По сути, значение этого индекса указывает на число доминирующих видов в сообществе. В монодоминантном сообществе его величина приближается к единице (но не меньше), а при равновыравненном обилии всех видов в сообществе — принимает значение, равное видовому богатству (S).

В августовских съемках (2015–2017 и 2020–2022 гг.) значение индекса полидоминантности снизилось в еще большей степени — до  $2,37 \pm 0,21$  — и достигло более чем двукратного уменьшения ( $P < 0,05$ , t-критерий — 4,33) в сравнении с периодом исследований 2004–2013 гг. Разумеется, достоверно ( $P < 0,05$ , t-критерий — 5,25) снизилась и выравненность (E) видовой структуры ихтиоценоза в эти два выделенных периода (с  $0,41 \pm 0,04$  до  $0,15 \pm 0,02$ ), что указывает на тенденцию уменьшения равномерности распределения биомассы по видам в сообществе. Количественная мера концентрации

видового богатства (индекс Маргалефа) ихтиоцены за весь период исследований имела пределы изменений от 1,91 до 4,73 ( $3,26 \pm 0,12$ ), но достоверных различий между средними величинами этого индекса по принятым в работе временным интервалам исследований не установлено. Этот факт вполне очевиден, поскольку за 20-летний период исследований практически на одной и той же акватории ожидать резкого увеличения видового богатства не приходится.

Таким образом, за последние 5 лет мониторинга доля сардины в биомассе ихтиоцены тихоокеанских вод России увеличилась и тенденций к снижению ее обилия пока не замечено, что и подкрепляется данными российского промысла (рис. 5).

Восьмилетний период промысла дальневосточной сардины в тихоокеанских водах Курильских островов (2016–2023 гг.) очевидно свел на нет полемику о наступлении ее очередной вспышки численности [Кляшторин, Любушин, 2005; Хоружий и др., 2015; Булатов и др., 2016; Котенев и др., 2017; Ivanov, Khoruzhiy, 2019; Шунтов, Иванов, 2021]. По показателям промысла она наступила (рис. 5). Это подтверждается и иностранным промыслом. Так, японская статистика вылова дальневосточной сардины, представляемая в Комиссию по рыболовству в северной части Тихого океана (СТО), демонстрирует его поступательный рост традиционным кошельковым промыслом начиная с 2009 г. В 2011 г. он превысил 100 тыс. т и достиг максимума в 614,7 тыс. т в 2020 г. Вылов сардины судами КНР в районе действия Конвенции СТО вырос с 26 тыс. т в 2018 г. до 233 тыс. т в 2023 г. (рис. 6).

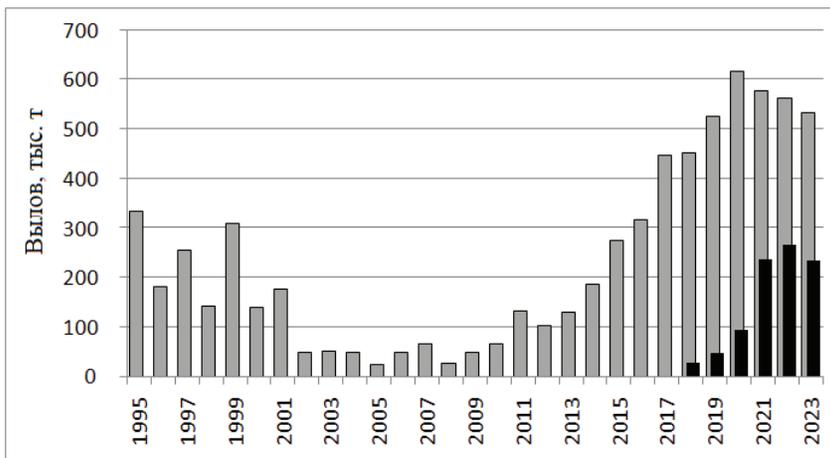


Рис. 6. Вылов дальневосточной сардины в северо-западной части Тихого океана Японией (*серые столбцы*) и КНР (*темные столбцы*) по данным Комиссии по рыболовству в северной части Тихого океана ([www.npfc.int](http://www.npfc.int))

Fig. 6. Annual catch of Japanese sardine in the North-West Pacific by Japan (*gray columns*) and the People's Republic of China (*dark columns*), on the data of North Pacific Fisheries Commission ([www.npfc.int](http://www.npfc.int))

На фоне столь значительного роста вылова высказывалось мнение о необходимости ввести мораторий на количество флота, выставляемого на промысел сардины, которое не нашло общей поддержки в СТО. Некоторые специалисты считают, что подобные меры преждевременны, так как промысловый запас находится в хорошем состоянии и проявляет тенденцию к росту. Наиболее оптимистическая оценка, полученная в результате моделирования, свидетельствует о возможности устойчивой эксплуатации запасов дальневосточной сардины на среднесрочную перспективу (5–10 лет) с общим выловом всеми странами на уровне 1 224–1 700 тыс. т [Yang et al., 2023].

Вылов японской скумбрии в водах Тихого океана рыбаками Японии и КНР в последние три года сократился с 400 до 260 тыс. т. Ее промысел в северо-западной части Тихого океана, включая окраинные моря, в текущем столетии велся с ежегодным выловом, в основном не превышающим максимально устойчивый уровень в 1 300 тыс. т [Hong et al., 2023]. Частично это снижение связывают с перераспределением скумбрии

в нагульный период в более удаленные от побережья районы как под влиянием изменения положения оси течения Куроисио, так и в связи с возможной пищевой конкуренцией с растущими запасами дальневосточной сардины [Wang et al., 2021; Han et al., 2023]. Российский крупнотоннажный флот в открытых водах океана в основном занят на промысле сардины, который в настоящее время экономически более эффективен.

В соответствии со схемой влияния зимней климатической ситуации на динамику продуктивности нижних трофических уровней разработана схема изменчивости четырех индексов, характеризующих структуру рыбных сообществ в водах, прилегающих к Японии [Tian et al., 2023]. Авторы предложенной схемы считают, что чередование положительных и отрицательных значений выделенных индексов имеет циклическую природу с периодичностью около 50 лет (рис. 7). Снижение индекса MTL (средний трофический уровень) является следствием роста биомассы сардины ( $TL = 3,0$ ) по

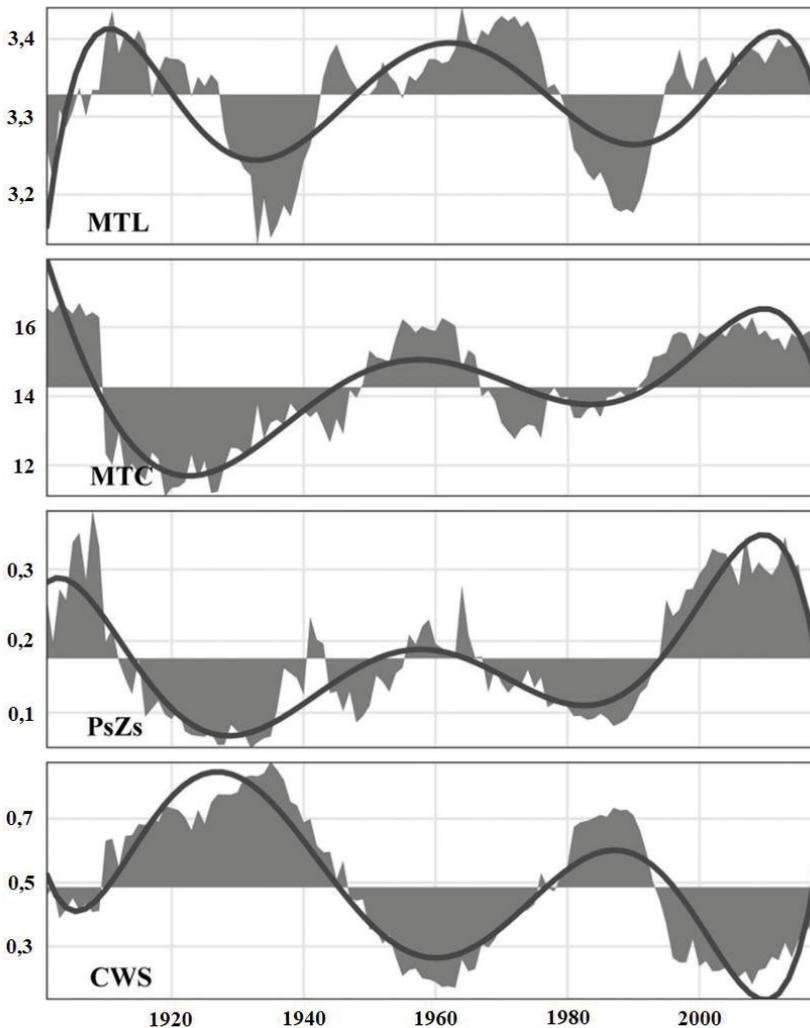


Рис. 7. Динамика индексов рыбных сообществ в водах вокруг Японии в результате смены климато-океанологического режима, 1901–2018 гг.: *MTL* — средний трофический уровень; *MTC* — средняя температура воды в местах вылова рыб; *PsZs* — соотношение биомассы хищных рыб и зоопланктофагов; *CWS* — доля холодноводных видов в общей ихтиомассе пелагического сообщества [по: Tian et al., 2023]

Fig. 7. Dynamics of fish community indices for the Pacific waters off Japan under changes of climate-oceanographic regime in 1901–2018: *MTL*, mean trophic level of the catch; *MTC*, mean sea surface temperature on the fishing grounds; *PsZs*, ratio of piscivorous to zooplanktivorous fish; and *CWS*, ratio of coldwater species to the total biomass in pelagic fish community [by Tian et al., 2023]

сравнению с биомассой скумбрии (TL = 3,4) и сайры (TL = 3,3). Об этом же свидетельствует уменьшение значения индекса PsZs, характеризующего соотношение биомассы хищных рыб и зоопланктофагов.

Понижение температуры воды в местах вылова (индекс МТС) также отражает, с одной стороны, смещение нагульных скоплений сардины и скумбрии на север и северо-восток, а с другой — более благоприятную температуру для формирования пополнения сардины [Oozeki, 2000]. Этот индекс коррелирует с индексом CWS (обратная связь), отражающим долю холодноводных видов в общей ихтиомассе пелагического сообщества. Согласно предполагаемой динамике структуры рыбных сообществ, в распоряжении рыбаков для освоения ресурсов сардины имеется еще около 25 лет (с 2018 г.) второй половины цикла, после которой структура сообщества вновь изменится под влиянием климатических и океанологических факторов [Tian et al., 2023].

### **Заключение**

Видовая структура пелагического ихтиоцена тихоокеанских вод России в период нагульных миграций массовых субтропических рыб за последние годы наблюдений (2019–2023) не претерпела кардинальных изменений. На основе показателей обилия его компонентов, как и в период 2014–2018 гг., по биомассе преобладают 2 вида — дальневосточная сардина и японская скумбрия — с уменьшением роли последнего. Интегральные показатели видового разнообразия исследуемого сообщества показывают тенденцию его трансформации от олигодоминантного к бидоминантному типу с усилением неравномерности при распределении общей ихтиомассы среди всех видов. Рост отечественного и зарубежного вылова дальневосточной сардины за последние 8 лет свидетельствует в пользу наступления периода ее «ренессанса» в начале XXI века.

### **Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)**

Авторы искренне благодарят всех участников научно-исследовательских рейсов в тихоокеанских водах России с 2004 по 2023 г. и выражают свою признательность сотрудникам лабораторий ТИНРО, усилиями которых были выполнены и продолжают выполняться комплексные работы по изучению биоты пелагиали дальневосточных морей.

The authors are thankful sincerely to all participants of research cruises in the Pacific waters of Russia conducted from 2004 to 2023 and to the colleagues in laboratories of TINRO laboratories, with whose efforts the complex studies of pelagic biota in the Far Eastern Seas and Pacific Ocean are continued.

### **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 использования животных были соблюдены. Библиографические ссылки на все использованные в работе данные других авторов оформлены в соответствии с правилами данного издания.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for the use of animals were followed. Bibliographical references to all data from other authors used in the work are formatted in accordance with the rules of this publication.

### **Список литературы**

**Булатов О.А., Котенев Б.Н., Кровнин А.С.** О перспективах новой «сардиновой эпохи» в северо-западной части Тихого океана // *Вопр. рыб-ва.* — 2016. — Т. 17, № 4. — С. 385–405.

**Волвенко И.В.** Морфометрические характеристики стандартных биостатистических районов для биоценологических исследований рыболовной зоны России на Дальнем Востоке // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 132. — С. 27–42.

**Кляшторин Л.Б., Любушин А.А.** Циклические изменения климата и рыбопродуктивности : моногр. — М. : ВНИРО, 2005. — 235 с.

**Котенев Б.Н., Кровнин В.В., Масленников В.В. и др.** Перспективы развития мирового рыболовства в связи с изменениями климата // Учен. зап. РГГУ. — 2017. — № 48. — С. 167–185.

**Левич А.П.** Структура экологических сообществ : моногр. — М. : МГУ, 1980. — 182 с.

**Мэгарран Э.** Экологическое разнообразие и его измерение : пер. с англ. : моногр. — М. : Мир, 1992. — 181 с.

**Нектон северо-западной части Тихого океана. Таблицы численности, биомассы и соотношения видов** / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2005. — 544 с.

**Одум Ю.** Экология : моногр. — М. : Мир, 1986. — Т. 1. — 328 с.; Т. 2. — 376 с.

**Песенко Ю.А.** Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях : моногр. — М. : Наука, 1982. — 287 с.

**Хоружий А.А., Сомов А.А., Емелин П.О. и др.** Появление высокоурожайных поколений японской скумбрии и дальневосточной сардины в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана // Рыб. хоз-во. — 2015. — № 6. — С. 74–77. EDN: TKKVET.

**Шунтов В.П., Иванов О.А.** «Неверная рыба» или неверные гипотезы: что происходит с нектоном прикурильских океанических вод? // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 1. — С. 3–23. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-3-23.

**Eschmeyer W.N.** Catalog of fishes : 3 vols. — San Francisco, 1998. — 2905 p.

**Han H., Yang C., Jiang B. et al.** Construction of chub mackerel (*Scomber japonicus*) fishing ground prediction model in the northwestern Pacific Ocean based on deep learning and marine environmental variables // Mar. Pol. Bull. — 2023. — Vol. 193. 115158. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2023.115158.

**Hong J.-B., Kim D.-Y., Kim D.-H.** Stock assessment of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Northwest Pacific Ocean based on catch and resilience data // Sustainability. — 2023. — Vol. 15, Iss. 1. 358. DOI: 10.3390/su15010358.

**Ivanov O.A., Khoruzhiy A.A.** Interannual Dynamics of the Fish Community's Integral Characteristics in the Upper Epipelagic Layer of the Pacific Ocean's Russian Part in June–September 2004–2018 // J. Ichthyol. — 2019. — Vol. 59, № 5. — P. 727–742. DOI: 10.1134/S0032945219050047. EDN: MRYELO.

**Nelson J.** Fishes of the world. Hoboken. — New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2006. — 601 p.

**Oozeki Y.** Mechanism causing the variability of the Japanese sardine population: Achievements of the Bio-Cosmos Project in Japan // PICES Press. — 2000. — Vol. 8, № 1. — P. 20–23.

**Tian Y., Fu C., Yatsu A. et al.** Long-term variability in the fish assemblage around Japan over the last century and early warning signals of regime shifts // Fish and Fisheries. — 2023. — Vol. 24. — P. 675–694. DOI: 10.1111/faf.12754.

**Wang L., Ma S., Liu Y. et al.** Fluctuations in the abundance of chub mackerel in relation to climatic/oceanic regime shifts in the northwest Pacific Ocean since the 1970s // J. Mar. Syst. — 2021. — Vol. 218. 103541. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2021.103541.

**Yang C., Han H., Zhang H. et al.** Assessment and management recommendations for the status of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* population in the Northwest Pacific // Ecological Indicators. — 2023. — Vol. 148. 110111. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.110111.

## References

**Bulatov, O.A., Kotenev, B.N., and Krovnin, A.S.,** On the prospects for a new “Sardine era” in the northwestern Pacific, *Vopr. Rybolov.*, 2016, vol. 17, no. 4, pp. 385–405.

**Volvenko, I.V.,** Morphometric characteristic of standard biostatistical regions for biocenological researches of Russian fishing zone on Far East, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 132, pp. 27–42.

**Klyashtorin, L.B. and Lyubushin, A.A.,** *Tsiklicheskiye izmeneniya klimata i ryboproduktivnosti* (Cyclic Changes in Climate and Fish Capacity), Moscow: VNIRO, 2005.

**Kotenev, B.N., Krovnin, A.S., Maslennikov, V.V., Mordasova, N.V., and Moury, G.P.,** Development prospects of world fisheries in relation to climate change, *Uchen. zap. Ross. Gos. Gidrometeorol. Un-ta*, 2017, no. 48, pp. 167–185.

**Levich, A.P.**, *Struktura ekologicheskikh soobshchestv* (Structure of ecological communities), M.: Mosk. Gos. Univ., 1980.

**Magurran, A.E.**, *Ecological Diversity and Its Measurement*, London: Croom Helm, 1988.  
*Nekton of the Northwestern Pacific. Abundance, Biomass and Species Ratio*, Shuntov, V.P. and Bocharov, L.N., Eds., Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2005.

**Odum, E.P.**, *Ecology*, New York: Holt, Rinehart and Winston, 1963.

**Pesenko, Yu.A.**, *Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh* (Principles and methods of quantitative analysis in faunal studies), Moscow: Nauka, 1982.

**Khoruzhiy, A.A., Somov, A.A., Emelin, P.O., Starovoytov, A.N., and Vanin, N.S.**, Appearance of chub mackerel and japanese sardine high-yielding generations in the Kuril waters of western North Pacific, *Rybn. Khoz.*, 2015, no. 6, pp. 74–77.

**Shuntov, V.P. and Ivanov, O.A.**, “Unreliable Fish” or Unreliable Hypotheses: What Happens to Nekton in Ocean Waters off the Kuril Islands?, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2021, vol. 47, no. 7, pp. 519–533. doi 10.1134/S1063074021070075

**Eschmeyer, W.N.**, *Catalog of fishes*, 3 vols, San Francisco, 1998.

**Han, H., Yang, C., Jiang, B., Shang, C., Sun, Y., Zhao, X., Xiang, D., Zhang, H., and Shi, Y.**, Construction of chub mackerel (*Scomber japonicus*) fishing ground prediction model in the north-western Pacific Ocean based on deep learning and marine environmental variables, *Mar. Pol. Bull.*, 2023, vol. 193, 115158. doi 10.1016/j.marpolbul.2023.115158

**Hong, J.-B., Kim, D.-Y., and Kim, D.-H.**, Stock assessment of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Northwest Pacific Ocean based on catch and resilience data, *Sustainability*, 2023, vol. 15, no. 1, 358. doi 10.3390/su15010358

**Ivanov, O.A. and Khoruzhiy, A.A.**, Interannual Dynamics of the Fish Community’s Integral Characteristics in the Upper Epipelagic Layer of the Pacific Ocean’s Russian Part in June–September 2004–2018, *J. Ichthyol.*, 2019, vol. 59, no 5, pp. 727–742. doi 10.1134/S0032945219050047

**Nelson, J.**, *Fishes of the world*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006.

**Oozeki, Y.**, Mechanism causing the variability of the Japanese sardine population: Achievements of the Bio-Cosmos Project in Japan, *PICES Press.*, 2000, vol. 8, no. 1, pp. 20–23.

**Tian, Y., Fu, C., Yatsu, A., Watanabe, Y., Liu, Y., Li, J., Liu, D., Pang, Y., Cheng, J., Ho, C.-H., and Ma, S.**, Long-term variability in the fish assemblage around Japan over the last century and early warning signals of regime shifts, *Fish and Fisheries*, 2023, vol. 24, pp. 675–694. doi 10.1111/faf.12754

**Wang, L., Ma, S., Liu, Y., Li, J., Liu, S., Lin, L., and Tian, Y.**, Fluctuations in the abundance of chub mackerel in relation to climatic/oceanic regime shifts in the northwest Pacific Ocean since the 1970s, *J. Mar. Syst.*, 2021, vol. 218, 103541. doi 10.1016/j.jmarsys.2021.103541

**Yang, C., Han, H., Zhang, H., Shi, Y., Su, B., Jiang, P., Xiang, D., Sun, Y., and Li, Y.**, Assessment and management recommendations for the status of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* population in the Northwest Pacific, *Ecological Indicators*, 2023, vol. 148, 110111. doi 10.1016/j.ecolind.2023.110111

Поступила в редакцию 27.05.2024 г.

После доработки 4.06.2024 г.

Принята к публикации 5.06.2024 г.

*The article was submitted 27.05.2024; approved after reviewing 4.06.2024; accepted for publication 5.06.2024*