



ISSN 1606-9919

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ ТИНРО

2022. Том 202, вып. 4

Год основания 1928



IZVESTIYA TINRO

Год основания: 1928, под настоящим названием с 1937 г.

Импакт-фактор РИНЦ: 0,692

Периодичность: 4 раза в год

Журнал включен в Перечень ВАК как издание, имеющее переводную версию, которая входит в междуна-
родные базы данных и системы цитирования (CA(pt), Scopus, Springer, WoS)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-73773 от 21 сентября 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ	741
Марченко С.Л. Горбуша <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Salmoni- formes, Salmonidae) материкового побережья Охотского мо- ря. Сообщение 1. Производители	741
Марченко С.Л. Кета <i>Oncorhynchus keta</i> (Walbaum) мате- рикового побережья Охотского моря. Сообщение 2. Мо- лодь	774
Поляничко В.И., Кузнецов М.Ю. Распределение и обилие минтая <i>Theragra chalcogramma</i> в северо-западной части Бе- рингова моря в летне-осенний период 2020 г. и их междуго- довая изменчивость	793
Островский В.И. Факторы, определяющие численность по- колений кеты <i>Oncorhynchus keta</i> в Охотском районе	810
Маркевич А.И., Зимин П.С., Суботэ А.Е., Фищенко В.К. Новые данные о видовом составе рыб бухты Алексева (за- лив Петра Великого, Японское море)	828
Бадаев О.З., Черниенко И.С. О валидности видов рода Cle- isthenes (Pleuronectiformes: Pleuronectidae)	836
Черниенко Э.П., Черниенко И.С. Стандартизация уловов на усилие тихоокеанской скумбрии <i>Scomber japonicus</i> в при- курильских водах	850
УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ	861
Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. Метод оценки химического загрязнения донных осадков с использованием биоиндикации	861
Тевс К.О., Шевченко О.Г. Динамика фитопланктона в при- брежных водах города Владивостока в 2019–2021 гг.	880
Полтев Ю.Н., Коренева Т.Г., Марыжihin В.Е., Сырбу И.В. Распределение микроэлементов в тканях и органах дальне- восточной наваги <i>Eleginus gracilis</i> (Tilesius, 1810) из при- брежных вод о. Сахалин	894
Бусарова О.Ю., Паренский В.А. О выживаемости личинок морской паразитической нематоды <i>Anisakis simplex</i> sensu lato (Rudolphi, 1809) в пресных водах	906
Курносова А.С., Зуенко Ю.И., Швецова М.Г. Локализация продукционно-деструкционных процессов по распределению фосфатов в эстуариях рек Уда и Усалин (Охотское море)	917
АКВАКУЛЬТУРА	933
Баштовой А.Н., Павел К.Г., Слуцкая Т.Н., Тимчишина Г.Н., Якуш Е.В. Сравнительные исследования влияния ком- бикормов на рыбоводные и биохимические показатели мо- лоды кеты	933
ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ГИДРОБИОНТОВ	946
Чепкасова А.И., Слуцкая Т.Н., Караулова Е.П. Характе- ристика сульфатированных гликозаминогликанов хрящевой ткани скатов и осетров	946
Шульгина Л.В., Павел К.Г., Солодова Е.А., Якуш Е.В. Пищевая и биологическая ценность паштетных консервов из дальневосточной сардины <i>Sardinops melanostictus</i>	957
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	970
Волненко И.В. Эколого-экономические оценки биоресурсов северной Пацифики и стратегии их использования	970
Волненко И.В. Полувековая динамика российского вылова, импорта, экспорта и потребления рыбопродукции	992
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	1002
Кулик В.В., Горюнов М.И. Применение метода машинного обучения для оценки биомассы трески в Северо-Курильской зоне	1002
Свиридов В.В., Подорожнюк Е.В., Никитин В.Д., Скорик А.В. Модификации беспилотного учета производителей ти- хоокеанских лососей в реках Сахалинской области и Хаба- ровского края	1015

CONTENTS

BIOLOGICAL RESOURCES	741
Marchenko S.L. Pink salmon <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Sal- moniformes, Salmonidae) on the continental coast of the Okho- tsk Sea. Communication 1. The spawners	741
Marchenko S.L. Chum salmon <i>Oncorhynchus keta</i> (Walbaum) on the continental coast of the Okhotsk Sea. Communication 2. The juveniles	774
Polyanichko V.I., Kuznetsov M.Yu. Distribution and abundan- ce of walleye pollock <i>Theragra chalcogramma</i> in the northwest- ern Bering Sea in the summer-fall period of 2020 and their in- terannual variability	793
Ostrovsky V.I. Factors controlling the year-classes strength for chum salmon <i>Oncorhynchus keta</i> in the Okhotsk district	810
Markevich A.I., Zimin P.S., Subote A.E., Fishchenko V.K. New data on species composition of fish in the Alekseev Bay (Peter the Great Bay, Japan Sea)	828
Badaev O.Z., Chernienko I.S. On validity of species of the ge- nus <i>Cleisthenes</i> (Pleuronectiformes: Pleuronectidae)	836
Chernienko E.P., Chernienko I.S. Standardization of catch per unite effort for chub mackerel <i>Scomber japonicus</i> in the waters at Kuril Islands	850
ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES	861
Moshchenko A.V., Belan T.A., Borisov B.M. A method for as- sessing chemical contamination of bottom sediments using bio- assay approach	861
Tevs K.O., Shevchenko O.G. Dynamics of phytoplankton com- munity in the coastal waters at Vladivostok in 2019–2021	880
Poltev Yu.N., Koreneva T.G., Maryzhihin V.E., Sirbu I.V. Distribution of microelements in the tissues and organs of saffron cod <i>Eleginus gracilis</i> (Tilesius, 1810) from the coastal waters of Sakhalin Island	894
Busarova O.Yu., Pareniskij V.A. On survival of the larvae of marine parasitic nematode <i>Anisakis simplex</i> sensu lato (Ru- dolphi, 1809) in the fresh waters	906
Kurnosova A.S., Zuenko Yu.I., Shvetsova M.G. Localization of production-destruction processes by distribution of phosphate in the estuaries of Uda and Usalgin Rivers (Okhotsk Sea)	917
AQUACULTURE	933
Bashtovoy A.N., Pavel K.G., Slutskaya T.N., Timchishina G.N., Yakush E.V. Comparative studies on influence of compo- und feeds on fish-breeding and biochemical properties of juve- nile chum salmon	933
TECHNOLOGY OF HYDROBIONTS PROCESSING	946
Chepkasova A.I., Slutskaya T.N., Karaulova E.P. Character- istics of sulfated glycosaminoglycans in the cartilage tissue of skate and sturgeon	946
Shulgina L.V., Pavel K.G., Solodova T.A., Yakush E.V. Nutri- tional and biological value of canned pate from japanese sardine <i>Sardinops melanostictus</i>	957
ECONOMIC STUDIES	970
Volnenko I.V. Ecological and economic assessments of biologi- cal resources in the North Pacific and strategies for their use	970
Volnenko I.V. Semi-century dynamics of the Russian catch, im- port, export, and consumption of fish products	992
METHODS OF INVESTIGATIONS	1002
Kulik V.V., Goryunov M.I. Application of the machine learn- ing method to estimate the biomass of pacific cod in the North Kuril zone	1002
Sviridov V.V., Podorozhnyuk E.V., Nikitin V.D., Skorik A.V. Modifications of unmanned aerial survey on spawners of pa- cific salmon in the rivers of Sakhalin and Khabarovsk Re- gions	1015

Учредитель:

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО»)

Издатель:

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»)

Главный редактор — В.П. Шунтов, доктор биологических наук, профессор

Editor-in-chief — Shuntov Vyacheslav Petrovich, Dr. Biol. Sci., chief researcher of Pacific branch of VNIRO (TINRO), Honored Scientist of the RF, Honored Worker of Fisheries of the RF

Редакционная коллегия:

А.А. Байталоук, канд. биол. наук, заместитель директора — руководитель ТИНРО; В.Н. Акулин, канд. биол. наук, главный специалист, ТИНРО; Р.Дж. Бимши, д-р биол. наук, почетный научный сотрудник Департамента рыболовства и океанов, Канада; О.Р. Вальенте Моранте, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, старший преподаватель Южного университета Перу; И.В. Волвенко, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, ТИНРО; А.Ф. Волков, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, ТИНРО; Дэлинь Дуан, д-р биол. наук, проф. Океанологического института экспериментальной морской биологии, Китайская академия наук; Е.П. Дулепова, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, ТИНРО; В.Н. Иванков, д-р биол. наук, проф. ДВФУ; О.А. Иванов, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, ТИНРО (заместитель главного редактора); Дж. Ирвайн, д-р биол. наук, научный сотрудник Министерства рыболовства и океанов Канады; Сукёнг Канг, д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник Национального института рыбохозяйственных наук (NIFS) Республики Корея; Н.В. Колпаков, д-р биол. наук, руководитель СахНИРО (заместитель главного редактора); Ли Вэй, д-р биол. наук, руководитель докторантуры Северо-Восточного лесотехнического университета; Колледж продовольственных исследований и инженерии, Университет океана, Далянь, Китай; В.А. Лучин, д-р геогр. наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «ТОИ ДВО РАН»; О.Я. Мезенова, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ФГБОУ ВПО «КТУ»; Д. Морисита, д-р биол. наук, проф. Токийского университета морских наук и технологии, Япония; Сейя Нагао, д-р биол. наук, проф., директор Института технологии природы и окружающей среды, Университет Каназава, Япония; А.М. Орлов, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН; главный ихтиолог Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН; Е.А. Пахомов, канд. биол. наук, профессор университета Британской Колумбии, директор и профессор Института океанов и рыболовства, Ванкувер, Канада; Р. Рикашевски, д-р геогр. наук, эколог Национальное управление океанических и атмосферных исследований, Национальная служба морского рыболовства, США; Г. Руггерон, д-р биол. наук, научный сотрудник «Natural Resources Consultants Inc.», Канада; Т.Н. Слуцкая, д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник, ТИНРО; профессор, Дальрыбвтуз; Н.К. Христофорова, д-р биол. наук, проф., зав. кафедрой ДВФУ; Н.С. Самойлова, начальник отдела издательство, ТИНРО (ответственный секретарь)

Editorial board:

Baitalyuk Aleksei A., deputy head of VNIRO — head of Pacific branch of VNIRO (TINRO), Vladivostok, Russia; Akulin Valery N., chief specialist (TINRO); Beamish Richard J., Emeritus Scientist at Fisheries and Oceans Canada; Valiente Morante Oscar R., senior lecturer, senior researcher at Universidad Científica del Sur, Department of Marine Biology, Peru; Volvenko Igor V., chief researcher (TINRO); Volkov Anatoly F., chief researcher (TINRO); Dulepova Elena P., chief researcher (TINRO); Delin Duan, Professor at Experimental Marine Biology Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences; Ivankov Vyacheslav N., Professor at Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia; Ivanov Oleg A., chief researcher (TINRO) (Deputy Chief Editor); Irvine James P., research scientist at Government of Canada, Fisheries and Oceans Science Branch, Ecosystem Science Division; Kang Sukyung, senior scientist at National Institute of Fisheries Science, Korea; Kolpakov Nikolai V., head of Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO), Russia (Deputy Chief Editor); Li Wei, Head of Doctoral Study Department at Northeast Forestry University; College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Dalian, China; Luchin Vladimir A., leading researcher at Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia; Mezenova Olga Y., Professor, head of chair at Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia; Morishita Joji, Professor at Tokyo University of Marine Science and Technology, Japan; Nagao Seiya, Director, Professor at Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, Japan; Orlov Aleksei M., chief researcher, head of laboratory at P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS; chief ichthyologist, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS; Chair Professor at Dagestan State University; leading researcher at Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Center RAS; Chair Professor at Tomsk State University; Pakhomov Evgeny A., Professor at University of British Columbia, Professor and Director of Institute for the Oceans and Fisheries, Canada; Rykaczewski Ryan, ecologist, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, USA; Ruggerone Gregory T., research scientist at Natural Resources Consultants, Inc., U.S.A.; Slutskaya Tatyana N., Professor, chief researcher (TINRO), Professor at Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia; Khristoforova Nadezhda K., chief researcher at Far Eastern Federal University (FEFU), Vladivostok, Russia; Samoylova Nina S., Head of Publishing Department (TINRO) (Executive Secretary)

Адрес учредителя:

105187, г. Москва, проезд Окружной, дом 19

Адрес издателя:

690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Адрес редакции:

690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Телефон: (423) 2400-509

Факс: (423) 2300751

e-mail: izvestiya@tinro-center.ru

Сайт: http://izvestiya.tinro-center.ru

Том к печати подготовили:

начальник издательства Н.С. Самойлова

редакторы С.О. Шумкова, А.А. Ваккер

корректор Л.Н. Иванова

переводчики Ю.И. Зуенко, Е.П. Швецов

компьютерная верстка О.В. Степановой

Подписано в печать 21.01.2022 г. Формат 70х108/16.

Печ. л. 18,2. Уч.-изд. л. 17,3. Тираж 70 экз.

Заказ № 16. Цена 600 р.

Выход тома в свет 16.12.2022 г.

Отпечатано в издательстве ТИНРО

690091, Владивосток, ул. Западная, 10

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
BIOLOGICAL RESOURCES**

Научная статья

УДК 597.552.511(265.53)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-741-773

EDN: MEIOUH

**ГОРБУША *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA*
(SALMONIFORMES, SALMONIDAE) МАТЕРИКОВОГО
ПОБЕРЕЖЬЯ ОХОТСКОГО МОРЯ.
СООБЩЕНИЕ 1. ПРОИЗВОДИТЕЛИ****С.Л. Марченко***

Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,
105187, г. Москва, Окружной проезд, 19

Аннотация. Приведены сведения о состоянии запасов, сроках и динамике нерестовой миграции, а также биологическая характеристика горбуши материкового побережья Охотского моря за 1945–2020 гг. Рассмотрены факторы, оказывающие влияние на динамику ее запасов, а также линейно-весовых показателей и плодовитости. Представлены уточненная географическая и темпоральная структуры вида в регионе.

Ключевые слова: горбуша, биологическая характеристика, нерестовая миграция, внутривидовая структура, локальные стада, темпоральные группировки, промысел

Для цитирования: Марченко С.Л. Горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmoniformes, Salmonidae) материкового побережья Охотского моря. Сообщение 1. Производители // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 741–773. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-741-773. EDN: MEIOUH.

Original article

**Pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmoniformes, Salmonidae)
on the continental coast of the Okhotsk Sea. Communication 1. The spawners****Sergey L. Marchenko**

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
19, Okružnoy proezd, Moscow, 105187, Russia
Ph.D., adviser, slm@vniro.ru, ORCID 0000-0002-0927-9939

Abstract. Information on the stocks state, timing and dynamics of spawning migration, and biological parameters of pink salmon on the continental coast of the Okhotsk Sea is presented for entire period of observations. Factors influencing the stocks, body size, and fecundity are considered. Geographical and temporal structure of the species in the region is revised.

Keywords: pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha*, biological characteristics, spawning migration, intraspecific structure, temporal groups, commercial fishery

For citation: Marchenko S.L. Pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmoniformes, Salmonidae) on the continental coast of the Okhotsk Sea. Communication 1. The spawners, *Izv.*

* Марченко Сергей Леонидович, кандидат биологических наук, советник, slm@vniro.ru, ORCID 0000-0002-0927-9939.

© Марченко С.Л., 2022

Введение

Горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1972) — самый многочисленный и наиболее распространенный вид тихоокеанских лососей на материковом побережье Охотского моря. Она формирует основу лососевого промысла в регионе. Тем не менее в отдельные годы (например, в 2003 г.) по численности подходов и объему вылова она уступала кете *O. keta* (Walbaum, 1972).

Цель настоящей статьи — обобщить данные о состоянии запасов, сроках и динамике нерестовой миграции, качественном составе и внутривидовой дифференциации (локальных стадах и темпоральных группировках) горбуши материкового побережья Охотского моря за весь период наблюдений.

Материалы и методы

Материал для настоящей статьи собран в 1945–2020 гг. в реках материкового побережья Охотского моря, которое протянулось от р. Пенжина (Пенжинская губа) до мыса Меньшикова (зал. Сахалинский) (рис. 1).

Производителей горбуши отлавливали активными (закидные невода, спиннинги, удочки) и пассивными (ставные и плавные сети, ставные невода) орудиями лова в низовьях нерестовых рек и в морском побережье. В случаях сбора материала в пределах рыболовных участков (на базе рыбодобывающих бригад) пробы горбуши отбирали из промышленных уловов.

Биологический анализ проводили в течение всего периода анадромной миграции горбуши с интервалом 5 дней, реже — 3 дня согласно общепринятой методике [Правдин, 1966; Методическое пособие..., 1974; Инструкция..., 1987*; Глубоковский и др., 2017]. Объем стандартной пробы — 100 рыб. В случае разреженного хода (например, в начале и конце миграции, а также в паводки) пробы объединяли в пределах пятидневки и допускали уменьшение объема стандартной пробы. Для расчета индивидуальной абсолютной плодовитости (ИАП) просчитывали икринки из фрагмента средней части ястыка массой 20 г. Вычисляли относительную плодовитость. Всего на биологический анализ собрано 153287 рыб, плодовитость определена у 63220 самок.

Морфометрические измерения рыб проводили один раз в 3–5 дней по модифицированной схеме И.Ф. Правдина [1966]. Объем выборки составлял 25–30 рыб без выраженных нерестовых изменений. В 2000–2003 гг. было промерено 1906 рыб. Для нивелирования аллометрической изменчивости и полового диморфизма пластические признаки трансформировали в индексы Хаксли [Huxley, 1932].

Жизненные стратегии описаны по М.К. Глубоковскому и С.Л. Марченко [Glubokovsky, Marchenko, 2019].

Численность производителей горбуши, прошедших в реки, с 1961 г. оценивали в ходе аэровизуальных исследований в соответствии с рекомендациями В.В. Кондюрина [1965] и А.В. Евзерова [1973, 1975].

Сведения о вылове горбуши до 2009 г. предоставлены Охотским филиалом Главрыбвода, с 2009 г. — Охотским и Амурским территориальными управлениями Росрыболовства. Общую численность подхода производителей горбуши оценивали как сумму рыб, пропущенных на нерест и изъятых промыслом.

Обобщение рек по сходству динамики численности подходов горбуши и исследование изменчивости темпоральной структуры ее хода выполнено непарно-групповым методом (UPGMA) кластерного анализа. В качестве меры расстояния в первом случае использовали 1–коэффициент корреляции Пирсона (1-Pearson r), во втором — Евклидово

* Инструкция о порядке проведения обязательных наблюдений за дальневосточными лососевыми на КНС и КНП бассейновых управлений рыбоохраны и станциях ТИНРО. Владивосток: ТИНРО, 1987. 24 с.

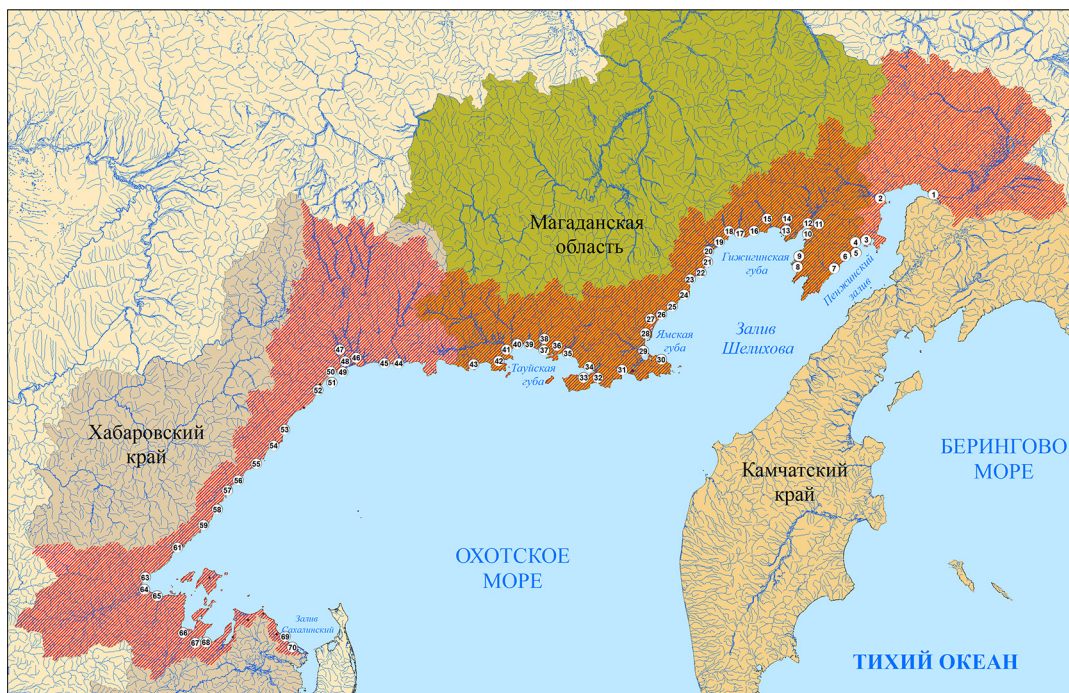


Рис. 1. Карта-схема материкового побережья Охотского моря: 1 — Пенжина, 2 — Парень, 3 — Иттитян, 4 — Айчан, 5 — Кыггаваям, 6 — Вавачун, 7 — Кенгевеем, 8 — Имповеем, 9 — Тополовка, 10 — Большая Чайбуха, 11 — Авекова, 12 — Гижига, 13 — Вархалам, 14 — Большая Гарманда, 15 — Наяхан, 16 — Уйкане, 17 — Таватум, 18 — Широкая, 19 — Пропащая, 20 — Вилига, 21 — Калалага, 22 — Кананыга, 23 — Туманы, 24 — Булун, 25 — Угулан, 26 — Тактояма, 27 — Иретъ, 28 — Малкачан, 29 — Яма, 30 — Иткилан, 31 — Средняя, 32 — Сиглан, 33 — Кулькуты, 34 — Нюрчан, 35 — Ола, 36 — Дукча, 37 — Окса, 38 — Армань, 39 — Ойра, 40 — Яна, 41 — Тауй, 42 — Мотыклейка, 43 — Шельтинга (Быструха), 44 — Иня, 45 — Ульбея, 46 — Кухтуй, 47 — Охота, 48 — Урак, 49 — Чильчикан, 50 — Толмот, 51 — Американ, 52 — Улья, 53 — Унче, 54 — Кекра, 55 — Тукчи, 56 — Эйкан, 57 — Алдома, 58 — Уйка, 59 — Лантарь, 60 — Мутэ, 61 — Немуй, 62 — Киран, 63 — Огне, 64 — Уда, 65 — Тором, 66 — Тугур, 67 — Ульбан, 68 — Иткан, 69 — Коль, 70 — Иска

Fig. 1. Scheme of the continental coast of the Okhotsk Sea with the spawning grounds (mainly the spawning rivers): 1 — Penzhina, 2 — Paren', 3 — Ittitan, 4 — Ajchan, 5 — Kyggavayam, 6 — Vavachun, 7 — Kengeveem, 8 — Impoveem, 9 — Topolovka, 10 — Bolshaya Chajbukha, 11 — Avekova, 12 — Gizhiga, 13 — Varkhalam, 14 — Bolshaya Garmanda, 15 — Nayakhan, 16 — Ujkane, 17 — Tavatum, 18 — Shirokaya, 19 — Propashchaya, 20 — Viliga, 21 — Kalalaga, 22 — Kananyga, 23 — Tumany, 24 — Bulun, 25 — Ugulan, 26 — Takhtoyama, 27 — Iret', 28 — Malkachan, 29 — Yama, 30 — Itkilan, 31 — Srednyaya, 32 — Siglan, 33 — Kul'kuty, 34 — Nyurchan, 35 — Ola, 36 — Dukcha, 37 — Oksa, 38 — Arman', 39 — Ojra, 40 — Yana, 41 — Tauj, 42 — Motykleyka, 43 — Shel'tinga (Bystruha), 44 — Inya, 45 — Ul'beya, 46 — Kukhtuj, 47 — Okhota, 48 — Urak, 49 — Chil'chikan, 50 — Tolmot, 51 — Amerikan, 52 — Ul'ya, 53 — Unche, 54 — Kekra, 55 — Tukchi, 56 — Ejkan, 57 — Aldoma, 58 — Ujka, 59 — Lantar', 60 — Mute, 61 — Nemuj, 62 — Kiran, 63 — Ognyo, 64 — Uda, 65 — Torom, 66 — Tugur, 67 — Ul'ban, 68 — Itkan, 69 — Kol', 70 — Iska

расстояние (Euclidean distance). Разделение дендрограмм на отдельные дендриты (кластеры) выполняли по точкам перелома, представленным на соответствующих графиках объединения (Graph of amalgamation schedule). Степень различий между темпоральными группами оценивали при помощи квадрата расстояния Махаланобиса (D_M^2), отражающего удаленность центроидов выборок друг от друга в многомерном пространстве.

Данные по температуре атмосферы и почвы, а также по скорости ветра, высоте снежного покрова и уровню осадков были получены с сайта ВНИИГМИ-МЦД [Бу-

лыгина и др., 2014]. Суровость погоды оценена при помощи параметра Бодмана (S), выражаемого в баллах: $S = (1 - 0,04T) \cdot (1 + 0,272V)$, где T — температура воздуха, °C; V — скорость ветра, м/с: 1 балл — несуровая, мягкая; 1–2 балла — малосуровая; 2–3 балла — умеренно суровая; 3–4 балла — суровая; 4–5 баллов — очень суровая; 5–6 баллов — жестко суровая; > 6 баллов — крайне суровая [Акимов, 2012].

Накопление и стандартизация данных, построение графиков и проверка достоверности корреляционных зависимостей проведены в электронных таблицах MS Excel; кластерный анализ — в Statistica. Вся обработка материалов, включавшая формирование электронных массивов данных, подготовку макросов в Visual Basic for Application для накопления и обобщения массивов в MS Excel, проведена автором. Статистическая обработка материалов выполнена автором в соответствии с рекомендациями И.Ф. Правдина [1966] и Г.Ф. Лакина [1980]. Визуализация данных на топооснове проведена автором в ArcGIS, графики построены в MS Excel, дендрограммы — в Statistica.

При подготовке настоящей статьи автор систематизировал и обобщил в электронные таблицы MS Excel материалы Магаданского и Хабаровского филиалов ВНИРО, Охотского филиала Главрыбвода, Охотского и Амурского территориальных управлений Росрыболовства, которые отражают сроки и динамику миграции производителей горбуши, их биологические характеристики, результаты аэровизуального учета и промысловой статистики.

Автор был инициатором расширения сети сезонных наблюдательных пунктов на реках Магаданской области, на которых осуществляли сбор материалов по качественному составу горбуши — с трех до двенадцати, а также настроил периодичность сбора материала. Автор организовал масштабные морфометрические исследования горбуши. Сбор полевого материала в реках северного побережья Охотского моря (Гижига, Ола, Тауй) с 1995 по 2014 г. и последующая камеральная обработка выполнены как автором, так при его непосредственном участии.

Результаты и их обсуждение

Жизненные стратегии. В границах нативного ареала горбуша в онтогенезе реализует только проходную жизненную стратегию. В подавляющем большинстве районов воспроизводства, в том числе на материковом побережье Охотского моря, она представлена только типичным анадромным фенотипом. Карликовый анадромный фенотип (каюрки) известен из локальных районов на юге ареала: в Азии — юго-восток о. Сахалин, а также о-ва Итуруп, Кунашир, Ребун, Хоккайдо, в Северной Америке — Пьюджет Саунд [Glubokovsky, Marchenko, 2019]. Самки среди каюрок известны у горбуши о-вов Хоккайдо и Ребун [Hikita, 1984].

Состояние запасов и промысел. На материковом побережье Охотского моря горбуша размножается во всех реках, которые свободно разгружаются в море и в которых в холодный период года сохраняется сток. За редким исключением [Anas, 1959; Turner, Bilton, 1968; Иванков и др., 1975, 1987; Ефанов, Кочнева, 1980; Foster et al., 1981; Иванов, 1996; Каев, 2002; Точилина, Смирнов, 2015; Christensen et al., 2021] горбуша созревает в возрасте 1+ лет. Эта особенность приводит к формированию у нее двух практически не перекрывающихся поколений четных и нечетных лет, резко различающихся динамикой численности. Наибольшими запасами и, соответственно, объемами вылова в регионе характеризуется горбуша линии нечетных лет. В 1957 г. она сформировала исторический максимум вылова — 25,6 тыс. т. За без малого 100-летний период наблюдений у горбуши ряда нечетных лет были по одному периоду снижения (1959–1965 гг.) и депрессии (1967–1969 гг.) запаса, по два периода роста (1927–1933, 1971–2001 гг.) и высокого уровня (1935–1957, 2003–2021 гг.) запасов (рис. 2, А).

Динамика запасов горбуши ряда четных лет на материковом побережье Охотского моря имеет более сложный характер. У нее был один период снижения запасов

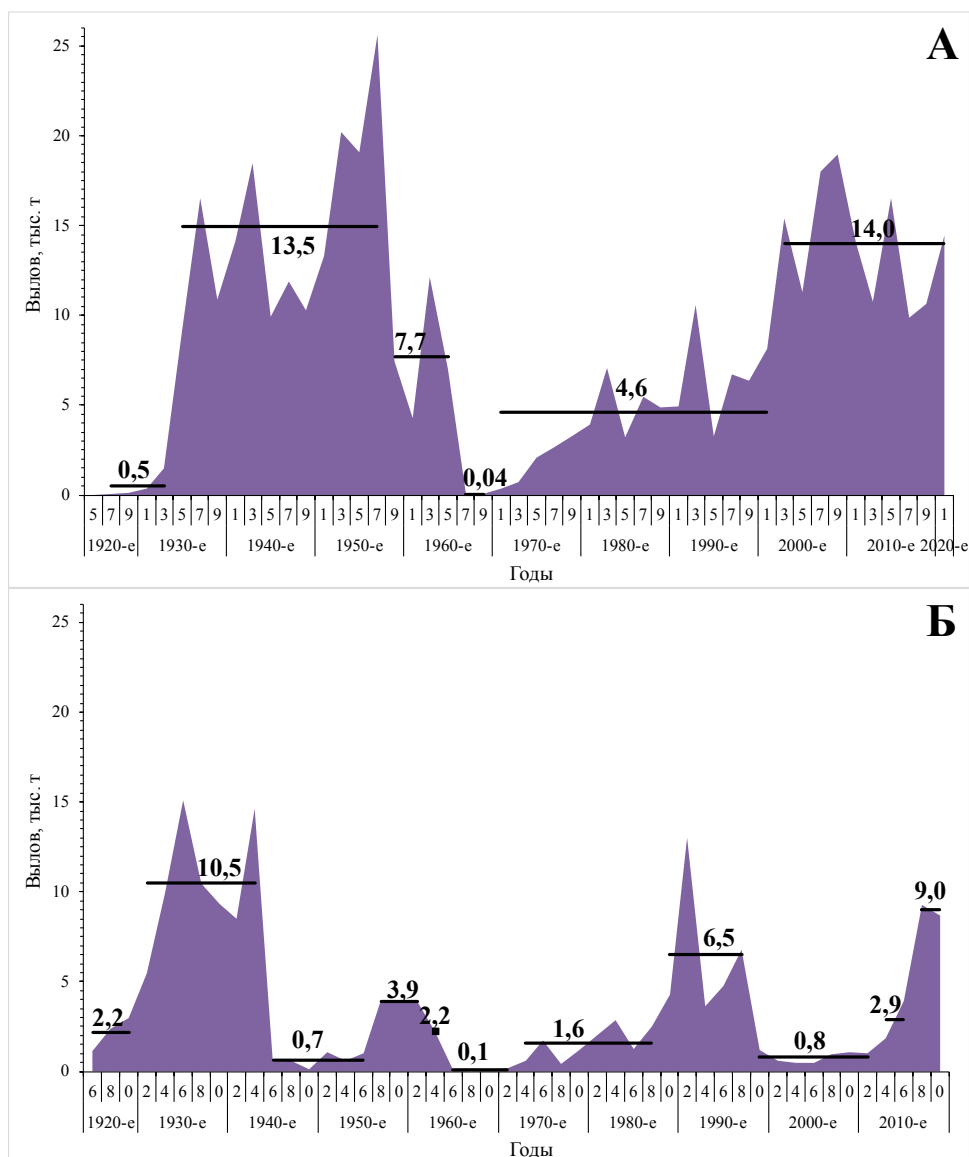


Рис. 2. Динамика вылова горбуши на материковом побережье Охотского моря в 1926–2021 гг.

Fig. 2. Dynamics of the pink salmon commercial catch on the continental coast of the Okhotsk Sea in 1926–2021

(1964 г.), три периода депрессии запасов (1946–1956, 1966–1970, 2000–2012 гг.), по четыре периода роста (1926–1930, 1958, 1972–1988, 2012–2014 гг.) и высокого уровня (1932–1944, 1990–1998, 2018–2020 гг.) запасов (рис. 2, Б). Несмотря на то что линия четных лет в регионе является рецессивной, за время наблюдений она по уровню запасов трижды доминировала — в 1926–1934, 1966–1970 и 1992–1994 гг. В этом ряду лет был получен исторический минимум вылова горбуши в регионе — 11,5 т (1968 г.).

Факторы, влияющие на изменение численности. На материковом побережье Охотского моря наиболее глубокая депрессия численности горбуши, охватившая обе линии поколений, была во второй половине 1960-х — начале 1970-х гг. Снижению и депрессии численности вида предшествовало похолодание климата (рис. 3), а также соответствовало малое количество осадков в июле-августе и в ноябре-декабре и их увеличение в мае (рис. 4) [Булыгина и др., 2014].

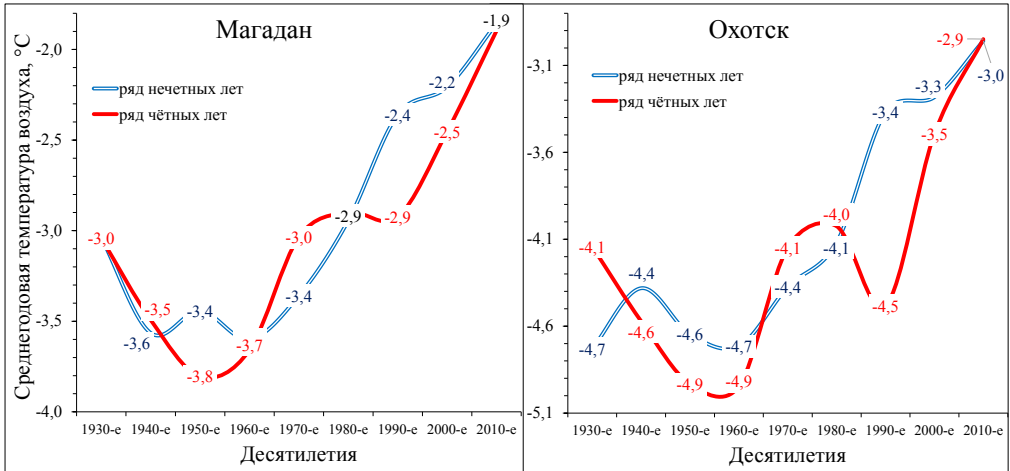


Рис. 3. Динамика среднегодовой температуры воздуха на метеостанциях материкового побережья Охотского моря

Fig. 3. Dynamics of mean annual air temperature at meteorological stations on the continental coast of the Okhotsk Sea

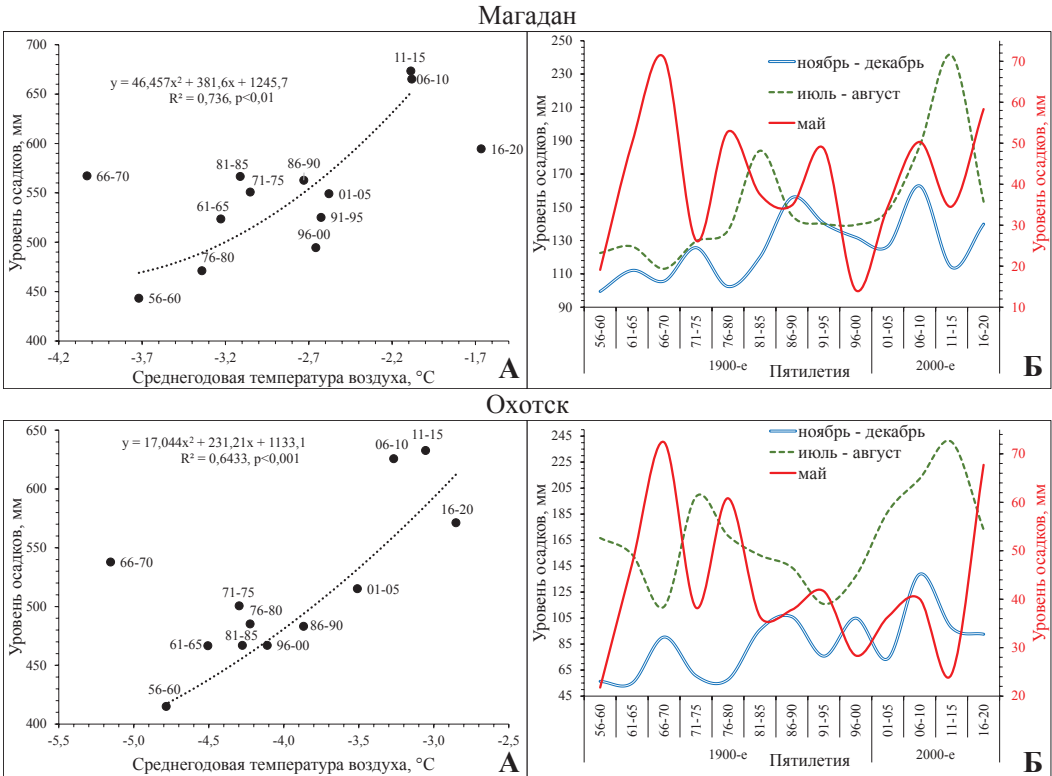


Рис. 4. Зависимость среднегодового количества осадков от температуры воздуха (А) и динамика количества осадков в отдельные периоды года (Б). Данные осреднены по пятилетиям

Fig. 4. Correlation between mean annual precipitation and air temperature (А) and dynamics of precipitation in certain seasons, by 5-years (Б)

Дефицит дождевых осадков в июле-августе (рис. 4, Б) был причиной уменьшения водности рек, что препятствовало проходу производителей горбуши на отдельные нерестилища (июль), а в период размножения (август) снижало площадь нерестовых акваторий, что негативно сказывалось на репродуктивном потенциале вида. Из-за

слабых осадков в ноябре-декабре (рис. 4, Б) формировался тонкий снежный покров, который не обеспечивал теплоизоляцию поверхности водных объектов от выхолаженной атмосферы. В результате резко возрастала доля вод, отвлеченных на формирование покровных льдов [Ресурсы..., 1969; Глотов, Глотова, 2013]. Кроме того, слабый снегозапас был причиной глубокого промерзания сезонно-талого слоя почвы (рис. 5), что сопровождалось увеличением объема вод, связанных в грунтовых льдах.

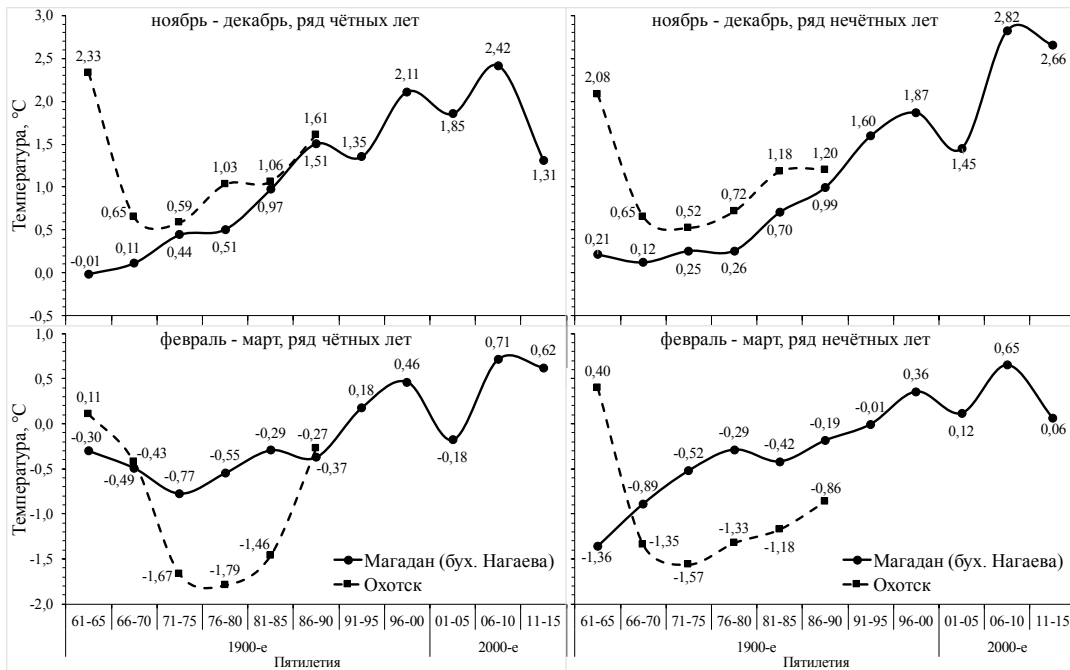


Рис. 5. Температура почвы на глубине 320 см на метеостанциях Магадан и Охотск в 1961–2015 гг. Данные осреднены по пятилетиям

Fig. 5. Soil temperature at 320 cm depth at Magadan and Okhotsk meteorological stations in 1961–2015, by 5-years

Следствием маломощных осадков и роста доли вод, отвлеченных из активного зимнего водообмена рек за счет формирования поверхностных и почвенных льдов, стало снижение речного стока в зимнюю межень. Например, в конце зимней межени (февраль-март) в 1960–1970-е гг. сток воды в р. Тауй (гидропост Талон) был минимальным за последние 60 лет (рис. 6).

Обобщение многолетних метеорологических материалов [Булыгина и др., 2014] подтвердило предположение В.Л. Костарева [1973] о том, что снижение численности горбуши Охотского района в конце 1960-х — начале 1970-х гг. было обусловлено неблагоприятными гидрологическими условиями из-за ухудшения водоснабжения нерестилищ. Вместе с тем уменьшение речного стока в зимнюю межень сопровождалось не только обсыханием и последующим промерзанием нерестовых гнезд горбуши, но и снижением проточности грунтов на нерестилищах. В частности, уменьшение скорости потока с 2,67 до 1,07 см/с сопровождается снижением выживаемости развивающихся эмбрионов и личинок в гнездах горбуши в 2,3 раза [Wickett, 1958].

Дополнительным фактором, оказавшим негативное влияние на численность горбуши в конце 1960-х — начале 1970-х гг., был высокий расход воды в реках фенологической весной (рис. 7) — речной поток вымывал в морское побережье молодь (по морфологическим признакам соответствующую личинкам), физиологически не подготовленную к смене среды обитания, что значительно увеличивало смертность горбуши. В частности, экспериментальными работами показано, что 50 %-ная смертность такой молоди в морской воде (31,8 %) наблюдается в течение 69–85 ч [Weisbart, 1968].

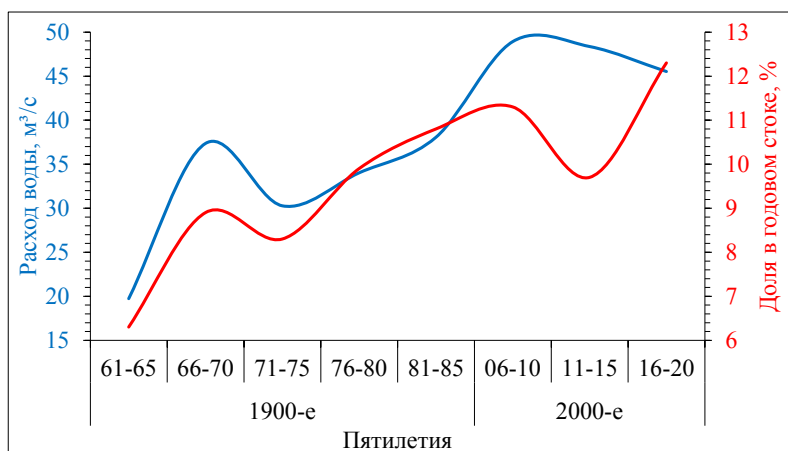


Рис. 6. Динамика расхода воды в р. Тауй (гидропост Талон) в конце зимней межени. Данные осреднены по пятилетиям

Fig. 6. Dynamics of water discharge in the Tauj River at Talon gauging station in the end of winter low-water season, by 5-years

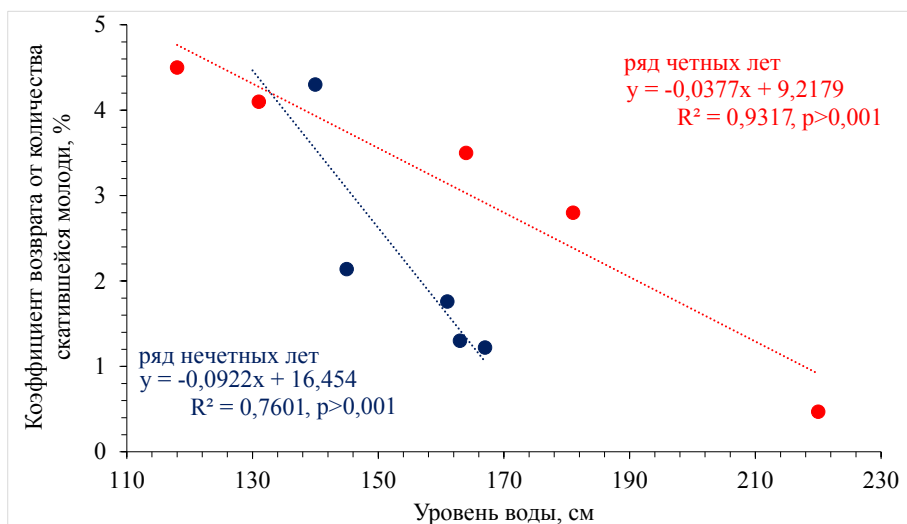


Рис. 7. Зависимость коэффициента возврата горбуши от уровня воды в р. Ола во второй половине 1960–1970 гг.

Fig. 7. Coefficient of the pink salmon return in dependence on water level in July-December of 1960–1970

Увеличение речного стока фенологической весной было обусловлено ростом количества дождей в мае (см. рис. 4, Б). При этом наиболее мощными они были в 1966–1970-е гг., что прослеживается по отклонению от общего тренда точки, отражающей для этого периода зависимость «среднегодовое количество осадков — среднегодовая температура воздуха» (рис. 4, А). Кроме того, увеличению расхода воды фенологической весной способствовали наледи. Частота их формирования возрастала в малоснежные холодные зимы в условиях существенного снижения расхода воды в зимнюю межень [Аржакова, 2001]. Фенологической весной наледи выступали в качестве естественных запруд, которые накапливали талые и дождевые воды, и их разрушение сопровождалось залповым увеличением речного стока, что, например, прослеживалось по изменению уровня воды.

Малоснежные суровые зимы на материковом побережье Охотского моря были причиной снижения численности горбуши не только в конце 1960-х — начале 1970-х гг., но

и в 2000–2012 гг. Сопоставление метеорологических данных [Булыгина и др., 2014] показало, что в эти периоды (в начальный период ледостава) значения среднесуточной температуры воздуха были близкими, тогда как высота снежного покрова в 2000–2012 гг. была немногим меньше, чем в конце 1960-х — начале 1970-х гг. В зимнюю межень 2000–2012 гг. и высота снежного покрова, и среднесуточная температура воздуха были ниже, чем в конце 1960-х — начале 1970-х гг. (табл. 1). Исходя из этого, следовало ожидать, что в 2000–2012 гг. численность горбуши должна была деградировать значительно сильнее, чем в конце 1960-х — начале 1970-х гг. Однако этого не произошло (см. рис. 2).

Таблица 1

Высота снежного покрова и температура воздуха на материковом побережье
Охотского моря

Table 1

Snow cower depth and air temperature on the continental coast of the Okhotsk Sea

Период	Средняя высота снежного покрова, см	Среднесуточная температура воздуха, °С
<i>Период ледостава (ноябрь-декабрь)</i>		
Конец 1960-х — начало 1970-х гг.	7,1–15,2	От –17,8 до –13,7
2000–2012 гг.	6,9–10,8	От –17,1 до –13,4
<i>Период межени (февраль-март)</i>		
Конец 1960-х — начало 1970-х гг.	7,3–10,7	От –15,7 до –13,8
2000–2012 гг.	1,8–7,8	От –16,5 до –14,4

Несоответствие фактических данных ожидаемому сценарию в рассматриваемые периоды времени связано с различиями в суровости погодных условий, которые зависят от скорости ветра. Так, согласно параметру Бодмана погодные условия в конце 1960-х — начале 1970-х гг. были более суровыми, чем в 2000–2012 гг. — соответственно 5,7 (погода жестко суровая) и 3,9 (погода суровая) баллов. В результате в конце 1960-х — начале 1970-х гг. как во время ледостава, так и во время зимней межени сезонно-талый слой почвы промерзал на большую глубину, чем в 2000–2012 гг. (рис. 5).

Особенностью 2000–2012 гг. было снижение до преддепрессивного уровня численности горбуши только в ряду четных лет. В то же время в ряду нечетных лет ее численность выросла до очередного исторического максимума (см. рис. 2). Причиной разнонаправленной динамики численности горбуши смежных рядов лет, по-видимому, была квазидвухлетняя изменчивость атмосферных процессов [Хайруллина, Астафьева, 2011], которая в ряду четных лет прослеживалась по более глубокому промерзанию сезонно-талого слоя почв (рис. 5) из-за разновременности установления снежного покрова и его мощности. Так, на метеостанции Ола фенологической зимой 2000/01 г. устойчивый снежный покров установился во второй половине октября. Его суммарная высота в октябре-декабре составила 240 мм, в январе-марте — 29 мм. Фенологической зимой 2002/03 г. снежный покров установился только в начале января. Суммарная высота снежного покрова в октябре-декабре была равна 20 мм, в январе-марте — 490 мм снега, из них в январе, феврале и марте — 95, 80 и 410 мм. В результате в апреле 2001 и 2003 гг. температура почвы на глубине 320 см опустилась соответственно до минус 1,2 и минус 1,4 °С. Для сравнения, фенологической зимой 2001/02 г. снежный покров установился в конце октября. Общая высота снега в октябре-декабре и в январе-марте была равна соответственно 755 и 653 мм. Фенологической зимой 2003/04 г. устойчивый снежный покров сформировался в начале ноября, а общая высота снежного покрова в октябре-декабре и в январе-марте составила соответственно 395 и 200 мм. На глубине 320 см температура почвы в апреле 2002 и 2004 гг. была 0 и минус 0,53 °С [Булыгина и др., 2014].

Деградация запасов горбуши материкового побережья Охотского моря в периоды похолодания была связана не только с изменением гидрологического режима не-

рестовых рек. Негативное влияние на становление численности поколений горбуши оказывало длительное сохранение в морском побережье остаточных льдов, которое сдерживает прогрев его акватории фенологической весной (рис. 8). Показательным примером в этом отношении являются результаты исследований, проведенных в 1995 г. в зал. Мотыклейском. В тот год молодь горбуши мигрировала из нерестовых рек в акваторию залива в обычные сроки — с конца мая по конец июня. Вместе с тем до середины июня бóльшая часть залива была занята остаточными ледовыми полями, а температура воды в прибрежье не превышала 1 °С. Во время отливов вблизи ледовых полей автором была отмечена погибшая молодь горбуши, плотность которой достигала 8 рыб/м². По-видимому, количество погибших мальков было еще выше, так как ими активно кормились многочисленные кулики (*Charadrii*) и чайки (*Lari*).

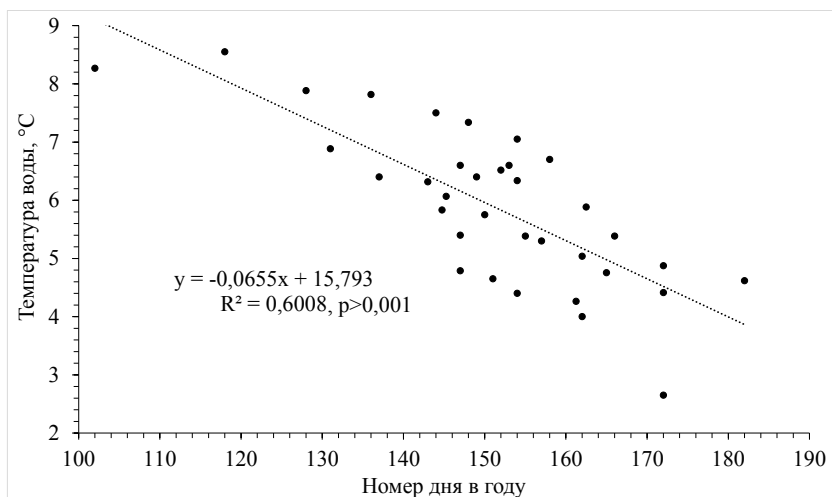


Рис. 8. Зависимость средней температуры воды в июне-июле в Тауйской губе от сроков выноса льда

Fig. 8. Dependence of mean water temperature in the Tauiskaya Guba Bay in June-July on the timing of sea ice removal

Следствием неблагоприятного термического режима морского побережья стал низкий коэффициент возврата горбуши к рекам зал. Мотыклейского в 1996 г. — 0,5 %. Аналогично в 1999 г. в приустьевой зоне р. Ола (Тауйская губа) остаточные льды сохранялись до первых чисел июля. Задержка прогрева морского побережья стала причиной обвального снижения запаса горбуши р. Ола — численность дочернего поколения в 2000 г. (240 тыс. рыб) была более чем на порядок ниже численности родительского поколения в 1998 г. (2600 тыс. рыб). Отмечу, что повышенная смертность горбуши из-за выхолаживания морского побережья остаточными льдами описана для камчатской и сахалинской горбуши [Гриценко и др., 1987; Карпенко, 1998].

В целом коэффициент возврата поколений горбуши в реки Тауйской губы превышал 1 % в тех случаях, когда молодь выходила в морское побережье, прогретое до 2,25 °С и выше (рис. 9). Это значение, близкое к нижней границе термопреферендума тихоокеанских лососей — 2,5 °С [Смирнов, 1975; Bell, 1990] — и в том числе к нижней границе температуры воды, при которой молодь начинает интенсивно питаться, — 2,5–3,0 °С [Смирнов, 1975]. Последнее важно в том отношении, что морское побережье является стартовой нагульной акваторией молоди горбуши [Леванидов, Леванидова, 1957; Леванидова, 1964; Енютина, 1972; Кинас, 1988; Карпенко, 1998].

В нормальных климатических условиях сроки массового выхода молоди горбуши из рек совпадают с началом обильного цветения микроводорослей в морском побережье, которое прослеживается по изменению концентрации хлорофилла-*a* (рис. 10) и предшествует массовому развитию кормового зоопланктона [Лапшина, 1996; Cooney

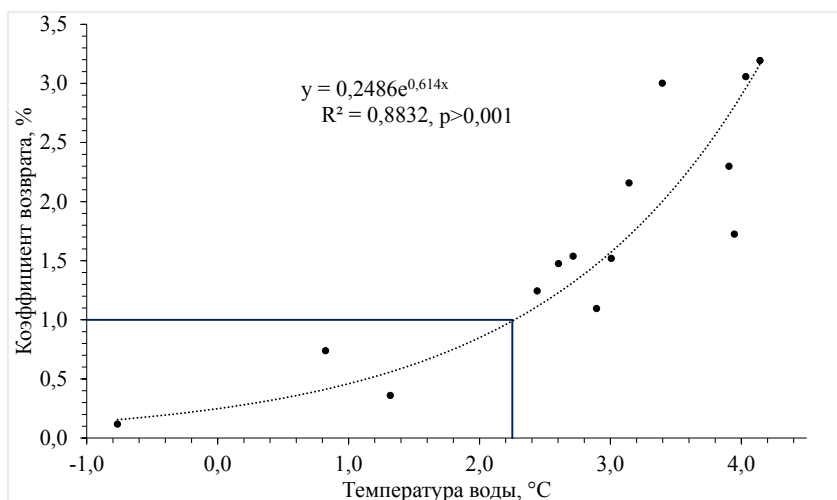


Рис. 9. Зависимость коэффициента возврата горбуши от температуры воды в Тауйской губе
Fig. 9. Coefficient of the pink salmon return in dependence on water temperature in the Taiskaya Guba Bay

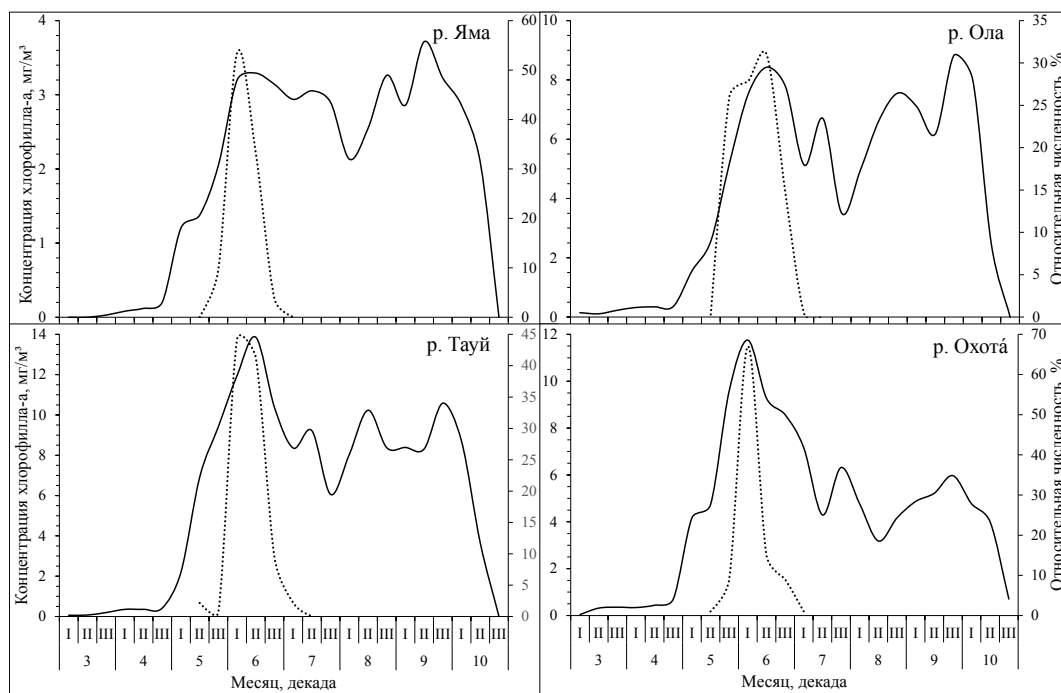


Рис. 10. Осредненные динамики концентрации хлорофилла-а (пунктирная линия) в морском побережье вблизи устьев рек и покатной миграции (сплошная линия) молоди горбуши из рек материкового побережья Охотского моря в 2002–2014 гг.

Fig. 10. Averaged dynamics of chlorophyll-a concentration (dashed line) in the areas adjacent to the river mouths and intensity of the pink salmon seaward migration from the rivers of the continental coast of the Okhotsk Sea (solid line) in 2002–2014

et al., 2001; Eslinger et al., 2001]. С плотностью последнего на нагульных акваториях напрямую связана выживаемость молоди всех тихоокеанских лососей [Cooney et al., 2001; Willette et al., 2001; Moss et al., 2005].

Начало развития планктонных сообществ в морском побережье, тесно связанное с термическим режимом вод [Hop et al., 2006; Hunt et al., 2011; Мордасова, 2014; Eisner

et al., 2014; Лепская, 2015; Волков, 2018], ежегодно носит квазистационарный характер [Цхай, 2007]: выхолаживание вод морского побережья из-за длительного сохранения остаточных ледовых массивов приводит к задержке развития кормового зоопланктона. Низкая плотность и небольшие размеры зоопланктонных организмов — кормовых объектов молоди горбуши, израсходовавшей внутренние энергетические запасы (остаток желточного мешка) во время миграции с нерестилищ, — негативно отражаются на ее выживаемости [Ивлев, 1955].

Длительность нахождения остаточных льдов в морском побережье фенологической весной связана не только с динамикой атмосферных процессов, но и с морскими течениями, которые имеют циклоническое направление движения вдоль материкового побережья Охотского моря [Чернявский, 1981; Файман, 2015] и в весенний период переносят остаточные льды из северных районов в южные. Так, в 2012 г. в Тауйской губе фенологическая весна началась в среднемноголетние сроки — во второй половине мая. Однако из-за остаточных льдов, принесенных течениями из зал. Шелихова и сохранявшихся на акватории губы до 18 июня, прогрев морского побережья начался со значительной задержкой. Наиболее плотными остаточные ледовые поля были в восточной части Тауйской губы. Следствием выхолаживания морского побережья стало снижение численности горбуши в 2013 г. (см. рис. 2, А). Например, ее возврат в р. Ола был в 3,7 раза ниже численности родительского поколения — 0,82 против 3,00 млн рыб.

Роль переноса льдов морскими течениями в становлении численности горбуши наиболее показательна в южной части материкового побережья Охотского моря. Ежегодно фенологической весной течения доставляют остаточные ледовые поля из северных районов на акваторию, прилежащую к Шантарским островам, где они сохраняются значительно дольше, чем на севере. Например, в 2011 г. в районе Шантарских островов последние остаточные ледовые поля разрушились 30 июня, тогда как акватории севернее расположенных Гижигинской и Ямской губ, а также зал. Одян (Тауйская губа) очистились ото льда соответственно 29 мая, 18 июня и 03 июня.

Похолодание климата в начале второй половины XX века сопровождалось снижением вылова горбуши в Аяно-Майском районе Хабаровского края с 0,245–0,498 тыс. т в 1920–1930 гг. до 0,001–0,005 тыс. т в 1960–1970 гг. В отличие от севернее расположенных районов материкового побережья Охотского моря, в которых уже в начале 1980 гг. суммарный вылов горбуши вышел на уровень 3,265–6,013 тыс. т, общий объем добычи горбуши Аяно-Майского района и зал. Сахалинского (в границах Хабаровского края) превысил 2,000 тыс. т только во второй половине 2000-х гг., а длительное восстановление запасов было напрямую связано с задержкой остаточных ледовых полей в морском побережье до середины — конца июня, в отдельные годы — до первой половины июля. Потепление климата, при котором сроки освобождения морского побережья ото льда сдвинулись на конец мая, сопровождалось увеличением численности и, соответственно, вылова горбуши южных стад. В частности, в зал. Сахалинском вылов горбуши был минимальным до тех пор, пока во второй половине мая — первой половине июня средняя температура воды в морском побережье не превышала 1,4–1,8 °C. Прогрев морского побережья во второй половине мая — первой половине июня в среднем до 3,5–3,6 °C в ряду нечетных лет сопровождался ростом вылова горбуши с 2007 г., в ряду четных лет — с 2014 г. При этом увеличение уловов было связано не только с ростом численности горбуши, но и с расширением периода массовой миграции за счет смещения ее начала с первых чисел августа в начале 1980 — первой половине 2010-х гг. на середину июля в середине 2010-х гг. и далее на начало июля в конце 2010 — начале 2020-х гг. Проведенный анализ влияния гидрометеорологических условий позволяет утверждать, что рост вылова горбуши в зал. Сахалинском не был связан с ее перераспределением из южных регионов воспроизводства, что допускают А.Н. Канзепарова и С.Ф. Золотухин [2015], а стал следствием расширения периода благоприятных температур для раннего морского нагула молоди аборигенной

горбуши, что обеспечило ее высокую выживаемость и поступательный рост численности возвратов производителей.

Локальные стада (группы рек). Динамика численности подходов горбуши материкового побережья Охотского моря имеет выраженную пространственную компоненту — на дендрограмме нерестовые реки объединены по географическому принципу в гижигинскую, ямскую, ольскую, тауйскую и охотскую группы (рис. 11), что в целом подтверждает ранее разработанную схему географической подразделенной горбуши [Марченко, Голованов, 2001; Марченко, 2004], в которой локальные стада по своим границам совпадают с гидрологическими формациями морского побережья. Последние различаются гидрологическим режимом, а также качественным и количественным составом планктонных сообществ [Чернявский, 1981; Афанасьев и др., 1991, 1994а, б].

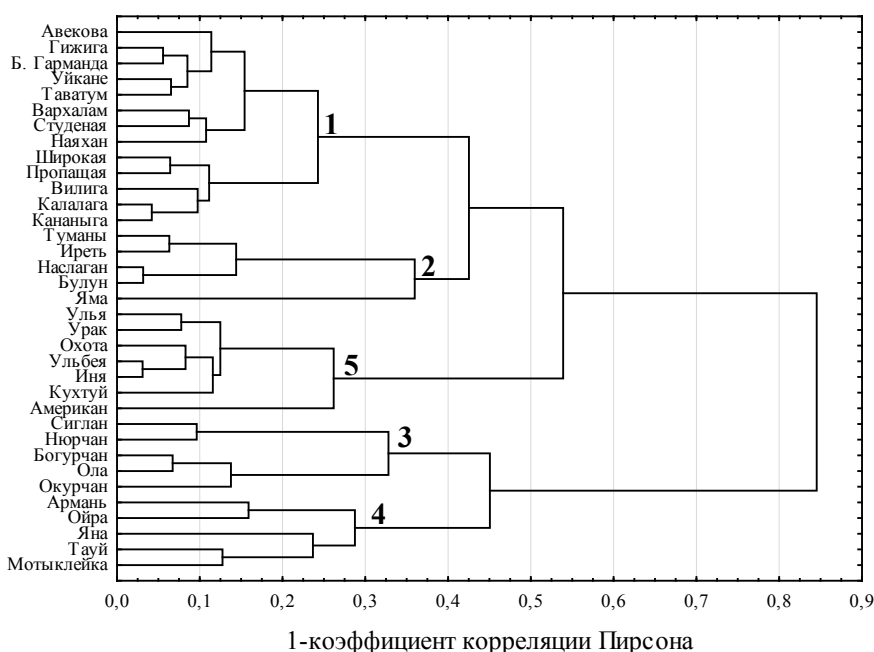


Рис. 11. Дендрограмма объединения рек материкового побережья Охотского моря по динамике численности подходов горбуши в 1966–2020 гг. Локальные стада (группы рек): 1 — гижигинское, 2 — ямское, 3 — ольское, 4 — тауйское, 5 — охотское

Fig. 11. Tree diagram of the rivers similarity by dynamics of the pink salmon runs in 1966–2020 for the continental coast of the Okhotsk Sea. Local stocks of pink salmon (corresponding to the groups of rivers): 1 — Gizhiga, 2 — Yama, 3 — Ola, 4 — Tauj, 5 — Okhota

Границы гижигинского, ямского и охотского локальных стад горбуши совпадают с границами локальных стад кеты [Марченко, 2022]. В то же время кета рек Тауйской губы формирует единое тауйское локальное стадо, однако у горбуши данного района выделяются два локальных стада: ольское (восточная часть Тауйской губы) и тауйское (западная часть Тауйской губы) (рис. 11, 12). Эта особенность связана с тем, что в восточной части Тауйской губы промысловые запасы кеты есть только в р. Ола и при кластеризации данных, отражающих динамику численности поколений кеты, р. Ола была включена в общий кластер рек тауйской группы. В отличие от кеты, горбуша размножается во всех реках Тауйской губы, и для большей их части есть продолжительные ряды наблюдений за динамикой ее численности, что позволило более детально оценить пространственную структуру горбуши.

Для рек Пенжинской губы и рек, расположенных южнее границы распространения охотского стада, нет длительных рядов данных по динамике численности подходов горбуши, что не позволяет использовать методы многомерного статистического

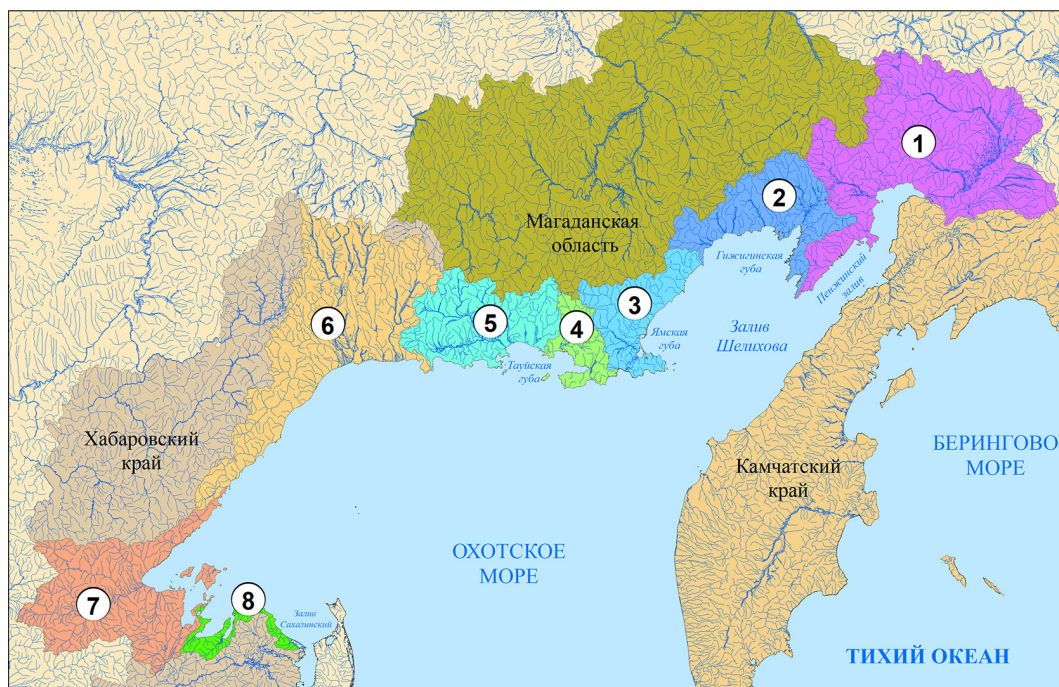


Рис. 12. Карта-схема локальных стад горбуши материкового побережья Охотского моря. Локальное стадо (группы рек): 1 — пенжинское, 2 — гижигинское, 3 — ямское, 4 — ольское, 5 — тауйское, 6 — охотское, 7 — удское (аяно-тугурское), 8 — улыбано-искинское

Fig. 12. Scheme of local stocks for pink salmon on the continental coast of the Okhotsk Sea. Local stocks, by groups of rivers: 1 — Penzhina, 2 — Gizhiga, 3 — Yama, 4 — Ola, 5 — Tauy, 6 — Okhota, 7 — Uda (Ayan-Tugur area), 8 — Ulban and Iska

анализа для определения границ ее локальных стад. Вместе с тем, исходя из того, что большая часть локальных стад горбуши и кеты совпадают по границам, допустимо для районов, имеющих слабую информационную обеспеченность, использовать структуру локальных стад, разработанных для кеты [Марченко, 2022] (рис. 12).

Сроки и динамика нерестовой миграции. На материковом побережье Охотского моря наиболее рано проходят в реки производители горбуши гижигинского и тауйского локальных стад. Так, в р. Гижига в 2000 г. гонцы горбуши были отловлены автором в 20 км от устья (метеостанция Липино) 4 июня, а по устному сообщению А.А. Зюлькина, первые производители горбуши подходят в приустьевую часть р. Хаинджа (приток 1-го порядка р. Кава, около 170–175 км от устья р. Тауй) в середине июня.

Несмотря на раннее появление гонцов горбуши в реках, ее массовая миграция начинается значительно позже: в реки гижигинской группы — во II декаде июля, в реки тауйской группы — в конце июня — начале июля. Завершается массовый ход горбуши в реки обеих групп в начале августа (табл. 2).

Завершается ход производителей горбуши в реки гижигинской группы в первых числах сентября, а в реки тауйской группы — в начале октября. Так, согласно результатам работы контрольного невода (ответственный за лов В.В. Волобуев) в р. Тауй в 1973 г. последняя особь горбуши была поймана 2 октября.

Сроки нерестового хода горбуши в реки ямской группы в целом сходны со сроками ее миграции в реки гижигинской группы, а в реки ольской группы — со сроками хода в тауйскую группу рек (табл. 2). При этом массовый ход горбуши ольского локального стада начинается и завершается раньше, чем горбуши тауйского локального стада. Отдельные особи горбуши в реки ольской группы проходят до конца сентября [Ионов, 1987], а в реки ямской группы — до начала ноября. Так, в 1979 г. рыбаки пере-

Таблица 2

Динамика анадромной миграции горбуши в реки материкового побережья Охотского моря, %

Table 2

Dynamics of the pink salmon anadromous migration to the rivers of the continental coast of the Okhotsk Sea, %

Водный объект	Месяц, пятидневка																	
	Июнь						Июль						Август					
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
<i>Пенжинская группа рек</i>																		
Пенжина	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Парень	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Гижиинская группа рек</i>																		
Гижига	0,1	Ед.	1,2	0,5	Ед.	0,4	0,4	3,5	6,1	33,4	31,8	19,8	2,7	0,1	Ед.	Ед.	Ед.	–
Большая Гарманда	–	–	–	–	0,1	1,4	2,7	7,6	13,0	19,0	19,1	16,8	7,5	5,6	4,9	2,1	0,2	–
Наяхан	–	–	–	–	–	–	1,5	9,1	14,4	23,9	22,6	17,6	9,6	0,8	0,2	0,1	0,2	–
<i>Ямская группа рек</i>																		
Туманы	–	–	–	–	–	–	3,4	10,7	14,9	33,5	21,7	12,3	3,5	Ед.	Ед.	–	–	–
Тахтояма	–	–	–	–	–	–	0,7	4,1	8,3	10,3	15,7	26,6	16,9	12,5	4,9	–	–	–
Ирець	–	–	–	–	–	–	1,7	4,1	7,2	23,1	17,2	27,5	8,9	3,0	7,2	–	–	–
Яма	–	–	–	–	–	–	–	17,9	21,7	26,6	19,6	9,1	4,9	0,2	Ед.	–	–	–
<i>Ольская группа рек</i>																		
Кулькuty	–	–	–	–	–	18,9	14,0	18,5	22,5	20,1	5,8	0,1	0,1	Ед.	Ед.	Ед.	–	–
Ола	–	–	–	0,2	8,0	11,6	13,5	13,2	0,7	13,8	12,6	12,7	4,6	3,2	2,6	2,3	0,9	0,1
<i>Тауйская группа рек</i>																		
Армaнь	–	–	–	–	–	Ед.	1,3	7,6	22,4	2,8	3,8	27,5	19,2	8,8	1,0	0,9	1,1	1,6
Яна	–	–	–	–	–	5,1	11,5	12,9	16,5	12,8	12,5	11,2	8,0	5,8	1,8	1,1	0,8	Ед.
Тауй	Ед.	Ед.	Ед.	0,1	0,4	3,6	8,9	13,7	19,1	21,1	16,8	10,2	3,3	2,0	0,4	0,2	0,2	Ед.
<i>Охотская группа рек</i>																		
Иня	–	–	–	–	–	–	–	2,9	8,1	23,2	16,0	23,6	14,6	3,9	4,1	1,4	1,2	1,0
Кухтуй	–	–	–	–	–	–	0,3	0,5	7,0	14,5	17,7	24,6	9,3	6,7	5,7	2,0	3,8	6,4
Охота	–	–	–	–	–	–	–	0,2	9,6	14,3	9,6	33,9	15,1	7,4	2,6	1,8	2,5	1,1
Урак	–	–	–	–	–	–	–	–	5,2	6,8	20,5	25,1	21,4	9,4	9,8	1,0	0,3	0,5
Улья	–	–	–	–	–	–	3,3	1,2	13,8	13,1	10,0	20,5	35,5	2,6	–	–	–	–
Ульбея	–	–	–	–	–	–	–	–	1,0	27,8	17,0	22,1	9,3	1,4	9,6	1,1	9,1	1,3
Аллома	–	–	–	–	–	–	–	2,1	1,9	19,5	15,3	8,1	7,6	9,1	8,2	6,2	17,3	4,3

Окончание табл. 2
Table 2 finished

Водный объект	Месяц, пятидневка																	
	Июнь						Июль						Август					
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
<i>Удская группа рек</i>																		
Уда	-	-	-	-	-	-	0,8	8,8	9,0	22,4	15,0	16,4	11,5	5,0	3,1	3,4	0,3	1,7
Тугур	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4	6,6	12,2	19,5	13,9	35,6	4,8	-	-
<i>Ульбано-искинская группа рек</i>																		
Зал. Ульбанский	-	-	-	-	-	-	1,4	7,7	12,1	14,5	15,0	15,4	17,6	8,9	6,9	0,5	-	-
Коль	-	-	-	-	-	-	0,5	0,7	11,5	10,9	28,5	13,9	23,9	4,9	0,7	3,9	0,4	0,1
Зал. Сахалинский	-	-	-	-	-	-	0,6	2,3	7,7	12,8	22,0	18,4	12,5	10,1	3,6	5,0	5,0	Ед.

Примечание. Ед. — единичные уловы.

дали в МагаданНИРО пять самок горбуши без брачных изменений, выловленных из-под льда в р. Тахтояма 7 ноября. При этом не исключено, что горбуша может проходить в реки и в более поздние сроки. Например, во время контрольного лова нагульной сельди в горле Тауйской губы 15 ноября 2001 г. в улове был отмечен половозрелый самец горбуши (длина по Смитту — 54,5 см, масса тела — 2,15 кг).

В сравнении с северными группами рек нерестовая миграция горбуши в реки охотской, удской и ульбано-искинской групп сдвинута в среднем на более поздние сроки. Так, производители горбуши в реках охотской и ульбано-искинской групп появляются в конце июня — начале июля, а их массовый ход начинается в середине июля. Заканчивается массовый ход горбуши в охотской группе в середине августа, в ульбано-искинской группе — в конце августа (табл. 2).

Наиболее поздний нерестовый ход горбуши в регионе в реках удской группы. В р. Уда ее массовый ход охватывает период с середины июля по середину августа, а в р. Тугур — с конца июля по конец августа (табл. 2). Различия в сроках массовой миграции горбуши в данные реки, по-видимому, связаны с гидрологическими особенностями морского побережья, которое в приустьевой части р. Уда очищается ото льда и прогревается до оптимальной температуры примерно на декаду раньше, чем в приустьевой зоне р. Тугур. Завершается ход горбуши на нерест в реки охотской, удской и ульбано-искинской групп, как правило, в начале сентября, а отдельные производители проходят в реки до середины — конца сентября (табл. 2).

Рассмотрим биологические показатели горбуши.

Длина и масса тела. Плодовитость. Соотношение полов. Индивидуальные показатели длины и массы тела горбуши материкового побережья Охотского моря варьируют соответственно от 25,4 до 76,0 см и от 0,290 до 3,975 кг при изменчивости средних значений этих показателей в пределах 44,9–49,1 см и 1,116–1,478 кг. Средняя плодовитость горбуши изменяется от 1326 до 1933 икр. Соотношение полов в подходах в целом близко 1 : 1. Преобладание в биологических анализах самцов или самок, как правило, наблюдается в случаях, когда сбор биологического материала не охватывал весь период нерестовой миграции горбуши (табл. 3).

Биологическая характеристика горбуши материкового побережья Охотского моря

Table 3

Biological characteristics for pink salmon on the continental coast of the Okhotsk Sea

Река	Длина тела по Смитту, см			Масса тела, кг			ИАП, икр.	Доля самок, %	N, экз.
	Самцы	Самки	Оба пола	Самцы	Самки	Оба пола			
Гижигинская группа рек									
Авекова	47,0 ± 0,2	45,5 ± 0,1	46,2 ± 0,1	1,205 ± 0,017	1,061 ± 0,007	1,132 ± 0,009	1601 ± 21	51,1	851
	37,5–63,5	38,9–51,0	37,5–63,5	0,520–3,125	0,630–1,570	0,520–3,125	723–3328		
Гижига	46,7 ± 0,1	45,4 ± 0,1	46,0 ± 0,1	1,262 ± 0,005	1,119 ± 0,002	1,180 ± 0,002	1531 ± 4	57,1	14272
	32,0–63,0	30,0–60,0	30,0–63,0	0,400–2,850	0,480–2,650	0,400–2,850	94–3669		
Вар-халам	50,2 ± 0,2	47,3 ± 0,1	49,1 ± 0,1	1,598 ± 0,016	1,299 ± 0,011	1,478 ± 0,012	1776 ± 17	40,1	800
	32,5–61,0	38,0–53,5	32,5–61,0	0,400–2,710	0,560–1,810	0,400–2,710	792–5287		
Большая Гарманда	46,3 ± 0,1	45,0 ± 0,1	45,7 ± 0,1	1,272 ± 0,006	1,131 ± 0,003	1,207 ± 0,003	1411 ± 6	46,3	7669
	34,0–59,0	36,0–54,7	34,0–59,0	0,410–3,000	0,530–2,110	0,410–3,000	371–2992		
Наяхан	47,7 ± 0,1	45,8 ± 0,1	46,6 ± 0,1	1,328 ± 0,005	1,159 ± 0,003	1,235 ± 0,003	1509 ± 5	55,7	8326
	33,0–67,0	25,4–60,0	25,4–67,0	0,500–2,830	0,543–2,470	0,500–2,830	94–3520		
Вилига	46,0 ± 0,1	44,9 ± 0,1	45,4 ± 0,1	1,212 ± 0,009	1,101 ± 0,005	1,149 ± 0,005	1554 ± 8	56,5	2644
	35,5–57,0	37,0–53,0	35,5–57,0	0,490–2,310	0,570–1,820	0,490–2,310	268–4526		
Среднее	46,9 ± 0,1	45,4 ± 0,1	46,1 ± 0,1	1,284 ± 0,003	1,132 ± 0,002	1,203 ± 0,002	1513 ± 3	53,7	34562
	32,0–67,0	25,4–60,0	25,4–67,0	0,400–3,125	0,480–2,650	0,400–3,125	94–5287		
Ямская группа рек									
Туманы	48,5 ± 0,1	46,2 ± 0,1	47,4 ± 0,1	1,381 ± 0,011	1,182 ± 0,007	1,287 ± 0,007	1933 ± 24	47,4	2149
	33,5–64,0	38,7–54,5	33,5–64,0	0,478–2,900	0,582–2,030	0,478–2,900	776–4860		
Яма	48,9 ± 0,1	47,1 ± 0,1	48,0 ± 0,1	1,443 ± 0,007	1,244 ± 0,004	1,338 ± 0,004	1605 ± 6	53,0	5231
	34,5–64,0	36,5–66,0	34,5–66,0	0,565–3,305	0,595–2,255	0,565–3,305	631–3175		
Среднее	48,8 ± 0,1	46,9 ± 0,1	47,8 ± 0,1	1,423 ± 0,006	1,227 ± 0,003	1,323 ± 0,004	1657 ± 7	51,3	7380
	33,5–64,0	36,5–66,0	33,5–66,0	0,478–3,305	0,582–2,255	0,478–3,305	631–4860		
Ольская группа рек									
Сиглан	45,7 ± 0,1	45,3 ± 0,1	45,5 ± 0,1	1,163 ± 0,011	1,075 ± 0,006	1,116 ± 0,006	1470 ± 9	53,1	1878
	34,0–58,5	35,0–53,0	34,0–58,5	0,430–2,490	0,450–1,700	0,430–2,490	525–2796		
Куль-куты	48,5 ± 0,1	46,4 ± 0,1	47,4 ± 0,1	1,275 ± 0,005	1,094 ± 0,003	1,181 ± 0,003	1422 ± 4	51,7	9908
	34,0–63,5	31,0–60,5	31,0–63,5	0,369–2,958	0,499–2,040	0,369–2,958	191–3774		
Ола	48,7 ± 0,1	46,7 ± 0,1	47,7 ± 0,1	1,389 ± 0,004	1,191 ± 0,002	1,286 ± 0,003	1466 ± 4	52,4	18227
	34,0–66,0	34,0–65,0	34,0–66,0	0,340–3,500	0,402–2,580	0,340–3,500	55–3234		
Среднее	48,4 ± 0,1	46,5 ± 0,1	47,4 ± 0,1	1,332 ± 0,003	1,149 ± 0,002	1,237 ± 0,002	1450 ± 3	52,1	30013
	34,0–66,0	31,0–65,0	31,0–66,0	0,340–3,500	0,402–2,580	0,340–3,500	55–3774		
Тауйская группа рек									
Армань	49,4 ± 0,1	46,4 ± 0,1	48,0 ± 0,1	1,482 ± 0,007	1,192 ± 0,004	1,346 ± 0,005	1487 ± 5	46,7	5947
	32,0–65,5	36,0–58,0	32,0–65,5	0,485–3,764	0,490–2,315	0,485–3,764	360–2778		
Яна	49,5 ± 0,1	46,9 ± 0,1	48,2 ± 0,1	1,508 ± 0,006	1,249 ± 0,003	1,378 ± 0,004	1474 ± 4	49,7	12583
	32,5–65,5	33,0–76,0	32,5–76,0	0,290–3,520	0,430–2,700	0,290–3,520	279–3105		
Тауй	48,4 ± 0,1	46,6 ± 0,1	47,4 ± 0,1	1,411 ± 0,004	1,226 ± 0,002	1,313 ± 0,002	1473 ± 3	53,0	24291
	32,0–65,5	33,5–62,0	32,0–65,5	0,290–3,250	0,421–3,125	0,290–3,250	132–4590		
Моты-клейка	47,6 ± 0,1	46,7 ± 0,1	47,1 ± 0,1	1,308 ± 0,010	1,172 ± 0,005	1,234 ± 0,005	1523 ± 7	54,8	3650
	32,0–62,0	35,0–57,0	32,0–62,0	0,360–3,120	0,380–2,300	0,360–3,120	376–2865		
Улукан	49,8 ± 0,3	47,4 ± 0,2	48,9 ± 0,2	1,255 ± 0,072	1,168 ± 0,060	1,226 ± 0,052	1326 ± 41	37,0	349
	40,0–61,5	38,5–52,5	38,5–61,5	1,010–1,550	1,050–1,320	1,010–1,550	768–1712		
Быст-руха	50,7 ± 0,3	47,8 ± 0,2	49,0 ± 0,2	1,384 ± 0,023	1,205 ± 0,013	1,280 ± 0,013	1572 ± 24	57,8	606
	40,0–62,0	38,0–56,0	38,0–62,0	0,550–2,450	0,580–2,100	0,550–2,450	264–3793		
Среднее	48,9 ± 0,1	46,7 ± 0,1	47,8 ± 0,1	1,439 ± 0,003	1,221 ± 0,001	1,327 ± 0,002	1478 ± 2	51,4	47426
	32,0–65,5	33,0–76,0	32,0–76,0	0,290–3,764	0,380–3,125	0,290–3,764	132–4590		

Окончание табл. 3
Table 3 finished

Река	Длина тела по Смитту, см			Масса тела, кг			ИАП, икр.	Доля самок, %	N, экз.
	Самцы	Самки	Оба пола	Самцы	Самки	Оба пола			
Охотская группа рек									
Иня	45,8 ± 0,4	43,9 ± 0,2	44,9 ± 0,2	1,339 ± 0,043	1,096 ± 0,019	1,218 ± 0,025	1386 ± 28	50,0	200
	37,5–54,4	39,5–48,4	37,5–54,4	0,610–2,530	0,720–1,630	0,610–2,530	925–2201		
Кухтуй	47,5 ± 0,1	45,9 ± 0,1	46,6 ± 0,1	1,398 ± 0,004	1,221 ± 0,002	1,302 ± 0,002	1559 ± 3	54,1	20824
	33,5–62,8	35,2–57,4	33,5–62,8	0,430–3,400	0,428–2,560	0,428–3,400	170–3450		
Охота	48,0 ± 0,1	46,1 ± 0,1	47,0 ± 0,1	1,431 ± 0,010	1,219 ± 0,005	1,317 ± 0,006	1537 ± 8	53,1	3268
	37,0–59,3	35,0–59,0	35,0–59,3	0,560–3,000	0,600–2,790	0,560–3,000	302–2880		
Улья	48,0 ± 0,1	46,3 ± 0,1	47,1 ± 0,1	1,474 ± 0,014	1,281 ± 0,008	1,375 ± 0,008	1556 ± 9	51,1	2078
	34,7–60,5	32,4–53,4	32,4–60,5	0,540–3,100	0,630–2,200	0,540–3,100	536–3565		
Чиль-чикан	48,0 ± 0,7	44,4 ± 0,4	46,4 ± 0,4	1,601 ± 0,065	1,166 ± 0,031	1,410 ± 0,045	1623 ± 39	44,0	100
	34,0–60,0	40,0–51,0	34,0–60,0	0,590–3,030	0,850–1,740	0,590–3,030	1236–2262		
Толмот	47,3 ± 0,6	44,9 ± 0,4	46,3 ± 0,4	1,508 ± 0,063	1,256 ± 0,039	1,405 ± 0,042	1609 ± 47	41,0	100
	37,0–58,0	40,0–50,0	37,0–58,0	0,480–2,960	0,770–1,770	0,480–2,960	1035–2065		
Аме-рикан	46,8 ± 0,7	44,9 ± 0,3	45,9 ± 0,4	1,433 ± 0,068	1,202 ± 0,032	1,320 ± 0,040	1724 ± 42	49,0	100
	35,0–57,0	40,0–50,0	35,0–57,0	0,560–2,500	0,770–1,800	0,560–2,500	1085–2373		
Алдома	49,7 ± 0,2	46,2 ± 0,1	48,1 ± 0,2	1,582 ± 0,023	1,235 ± 0,012	1,420 ± 0,015	1569 ± 13	46,7	705
	33,5–66,0	39,5–62,5	33,5–66,0	0,305–3,975	0,680–1,965	0,305–3,975	550–2219		
Среднее	47,6 ± 0,1	45,9 ± 0,1	46,7 ± 0,1	1,414 ± 0,004	1,225 ± 0,002	1,313 ± 0,002	1556 ± 2	53,4	27375
	33,5–66,0	32,4–62,5	32,4–66,0	0,305–3,975	0,428–2,790	0,305–3,975	170–3565		
Удская группа рек									
Уда	48,3 ± 0,3	47,2 ± 0,2	47,8 ± 0,2	1,290 ± 0,026	1,180 ± 0,017	1,240 ± 0,017	1482 ± 17	45,1	359
	38,0–60,0	40,0–53,5	38,0–60,0	0,582–2,625	0,686–1,836	0,582–2,625	239–2063		
Тугур	48,2 ± 0,3	46,5 ± 0,2	47,4 ± 0,2	1,315 ± 0,024	1,173 ± 0,022	1,252 ± 0,017	1484 ± 22	44,4	513
	36,0–60,5	39,0–61,5	36,0–61,5	0,550–2,850	0,600–3,035	0,550–3,035	743–2406		
Иткан	45,9 ± 0,2	45,4 ± 0,1	45,6 ± 0,1	1,203 ± 0,018	1,125 ± 0,010	1,164 ± 0,011	1433 ± 12	49,4	672
	36,5–60,0	38,0–54,5	36,5–60,0	0,495–2,510	0,610–1,985	0,495–2,510	558–2530		
Среднее	47,2 ± 0,2	46,1 ± 0,1	46,7 ± 0,1	1,263 ± 0,013	1,153 ± 0,009	1,211 ± 0,008	1458 ± 9	46,8	1544
	36,0–60,5	38,0–61,5	36,0–61,5	0,495–2,850	0,600–3,035	0,495–3,035	239–2530		
Ульбано-искинская группа рыб									
Иска	45,5 ± 0,3	45,1 ± 0,2	45,3 ± 0,2	1,155 ± 0,023	1,094 ± 0,014	1,127 ± 0,014	–	46,0	792
	33,0–64,0	36,0–55,0	33,0–64,0	0,320–2,950	0,490–1,930	0,320–2,950			
Коль	47,4 ± 0,1	46,1 ± 0,1	46,8 ± 0,1	1,260 ± 0,008	1,141 ± 0,005	1,205 ± 0,005	1411 ± 6	46,6	4195
	31,0–61,3	36,6–57,3	31,0–61,3	0,450–3,140	0,540–2,245	0,450–3,140	506–2775		
Среднее	47,1 ± 0,1	45,9 ± 0,1	46,5 ± 0,1	1,243 ± 0,008	1,133 ± 0,005	1,192 ± 0,005	1411 ± 5	46,5	4987
	31,0–64,0	36,0–57,3	31,0–64,0	0,320–3,140	0,490–2,245	0,320–3,140	506–2775		
Материковое побережье Охотского моря									
Среднее	48,0 ± 0,1	46,2 ± 0,1	47,1 ± 0,1	1,369 ± 0,002	1,185 ± 0,001	1,273 ± 0,001	1504 ± 1	52,3	153287
	31,0–67,0	25,4–76,0	25,4–76,0	0,290–3,975	0,380–3,125	0,290–3,975	55–5287		

Примечание. Здесь и далее: над чертой арифметическая средняя ± ошибка арифметической средней; под чертой — пределы варьирования признака.

Как правило, горбуша ряда нечетных лет крупнее и имеет более высокую плодовитость, чем горбуша ряда четных лет. Не исключено, что больший репродукционный потенциал горбуши ряда нечетных лет является одной из причин, предопределяющих ее доминирование по численности в регионе. При этом в реках Большая Гарманда, Яма, Сиглан, Мотыклейка, Быструха и Алдома, наоборот, более крупная горбуша приходит на нерест в ряду четных лет. Хотя в р. Алдома в ряду четных лет горбуша крупнее, чем в ряду нечетных лет, но имеет более низкую среднюю плодовитость (табл. 4).

В отдельные годы у горбуши материкового побережья Охотского моря исследователи [Голованов, 1982; Волобуев и др., 1998] отмечали клинальную изменчивость

Таблица 4

Средние значения длины и массы тела горбуши материкового побережья Охотского моря рядов нечетных и четных лет

Table 4

Average body length and weight of pink salmon on the continental coast of the Okhotsk Sea

Группа рек	Река	Длина тела по Смитту, см		Масса тела, кг		ИАП, икр.	
		Нечетный	Четный	Нечетный	Четный	Нечетный	Четный
Гижигинская	Авекова	—	46,2	—	1,13	—	1601
	Гижига	46,2	45,5	1,21	1,13	1562	1472
	Вархалам	49,1	—	1,48	—	1776	—
	Большая Гарманда	46,0	45,4	1,21	1,20	1400	1421
	Наяхан	47,3	45,7	1,28	1,17	1556	1447
	Вилига	45,8	44,7	1,17	1,12	1606	1491
Ямская	Туманы	48,6	46,1	1,36	1,21	1975	1532
	Яма	47,8	48,2	1,31	1,36	1601	1608
Ольская	Сиглан	45,1	46,1	1,10	1,14	1479	1456
	Кулькуты	48,1	46,6	1,24	1,11	1482	1361
	Ола	48,2	47,0	1,33	1,24	1501	1409
Тауйская	Армань	48,7	47,2	1,39	1,30	1532	1455
	Яна	48,5	47,7	1,40	1,35	1544	1400
	Тауй	48,1	46,8	1,36	1,27	1509	1436
	Мотыклейка	46,2	47,8	1,12	1,31	1475	1576
	Улукан	48,9	—	1,23	—	1326	—
	Быструха	48,5	49,9	1,29	1,27	1692	1295
Охотская	Иня	—	44,9	—	1,22	—	1386
	Кухтуй	47,0	46,1	1,32	1,27	1590	1519
	Охота	47,5	45,4	1,35	1,22	1583	1453
	Улья	48,7	45,4	1,50	1,24	1701	1402
	Чильчикан	—	46,4	—	1,41	—	1623
	Толмот	—	46,3	—	1,40	—	1609
	Американ	—	45,9	—	1,32	—	1724
	Алдома	47,9	48,9	1,40	1,55	1578	1507
Удская	Уда	47,8	—	1,24	—	1482	—
	Тугур	49,8	46,7	1,39	1,22	1707	1393
	Иткан	—	45,6	—	1,16	—	1433
Ульбано-искинская	Иска	47,8	44,2	1,33	1,04	—	—
	Коль	48,2	45,1	1,29	1,09	1499	1304
Среднее		47,6	46,5	1,31	1,23	1546	1452

линейно-весовых показателей в направлении северо-восток — юго-запад. Вместе с тем географическая изменчивость средней массы тела горбуши связана с протяженностью ее нерестовых рек. У горбуши региона функциональная зависимость «длина реки — средняя масса тела» представлена тремя кривыми регрессии (рис. 13, А), а функциональную зависимость «длина реки — относительная плодовитость» описывают две кривые регрессии (рис. 13, Б).

В основе выявленных функциональных зависимостей лежат различия в уровне затрат энергии на преодоление расстояния от устья рек до нерестилищ в условиях выраженного течения [Kinnison et al., 2001; Crossin et al., 2004], локальные особенности условий размножения [Кирпичников, 1979; Коновалов, Шевляков, 1980] и нерестового поведения [Tautz, 1977; Чебанов, 1986; Foote, 1988; Fleming, Gross, 1994; Steen, Quinn, 1999].

Темпоральная структура нерестового хода. Подходы горбуши различных темпоральных группировок на нерест прослеживаются по изменению качественных

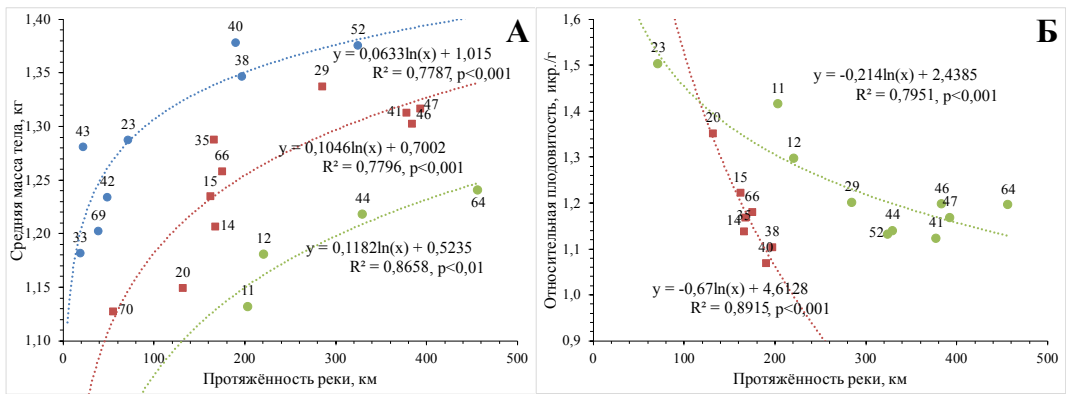


Рис. 13. Зависимость массы тела (А) и относительной плодовитости (Б) горбуши материкового побережья Охотского моря от протяженности нерестовых рек. Нумерация рек соответствует приведенной на рис. 1

Fig. 13. Correlation of body weight (А) and relative fecundity (Б) for pink salmon on the continental coast of the Okhotsk Sea with the length of spawning rivers. Numbering of the rivers corresponds to Figure 1

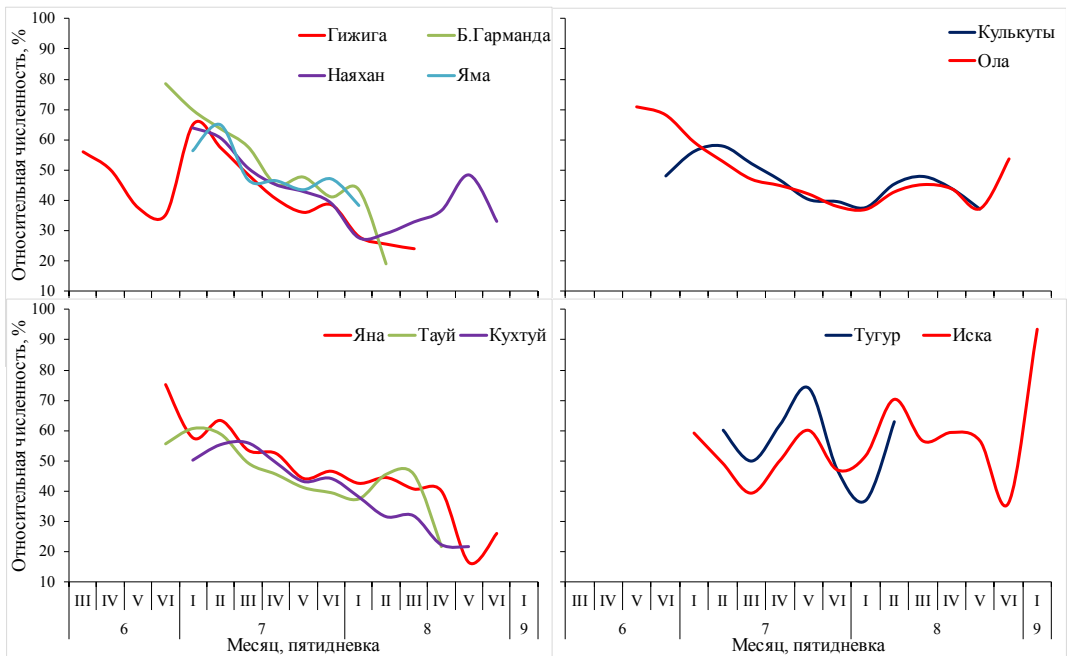


Рис. 14. Динамика доли самцов горбуши на протяжении нерестовой миграции

Fig. 14. Dynamics of the pink salmon males portion during the spawning migration

показателей, и в первую очередь по динамике соотношения полов [Иванков, 1967]. На протяжении нерестовой миграции горбуши в реки материкового побережья Охотского моря соотношение полов неоднократно меняется. При этом в разных реках региона переломы в динамике соотношения полов горбуши на протяжении ее хода либо совпадают, либо проходят в близкие сроки (рис. 14).

Темпоральную неоднородность горбуши в регионе подтверждает изменчивость ее габитуса на протяжении нерестового потока. Так, на дендрограммах морфометрического сходства в обоих поколениях горбуши формируются обособленные кластеры, которые ежегодно проявляются практически в одни и те же сроки (рис. 15, табл. 5).

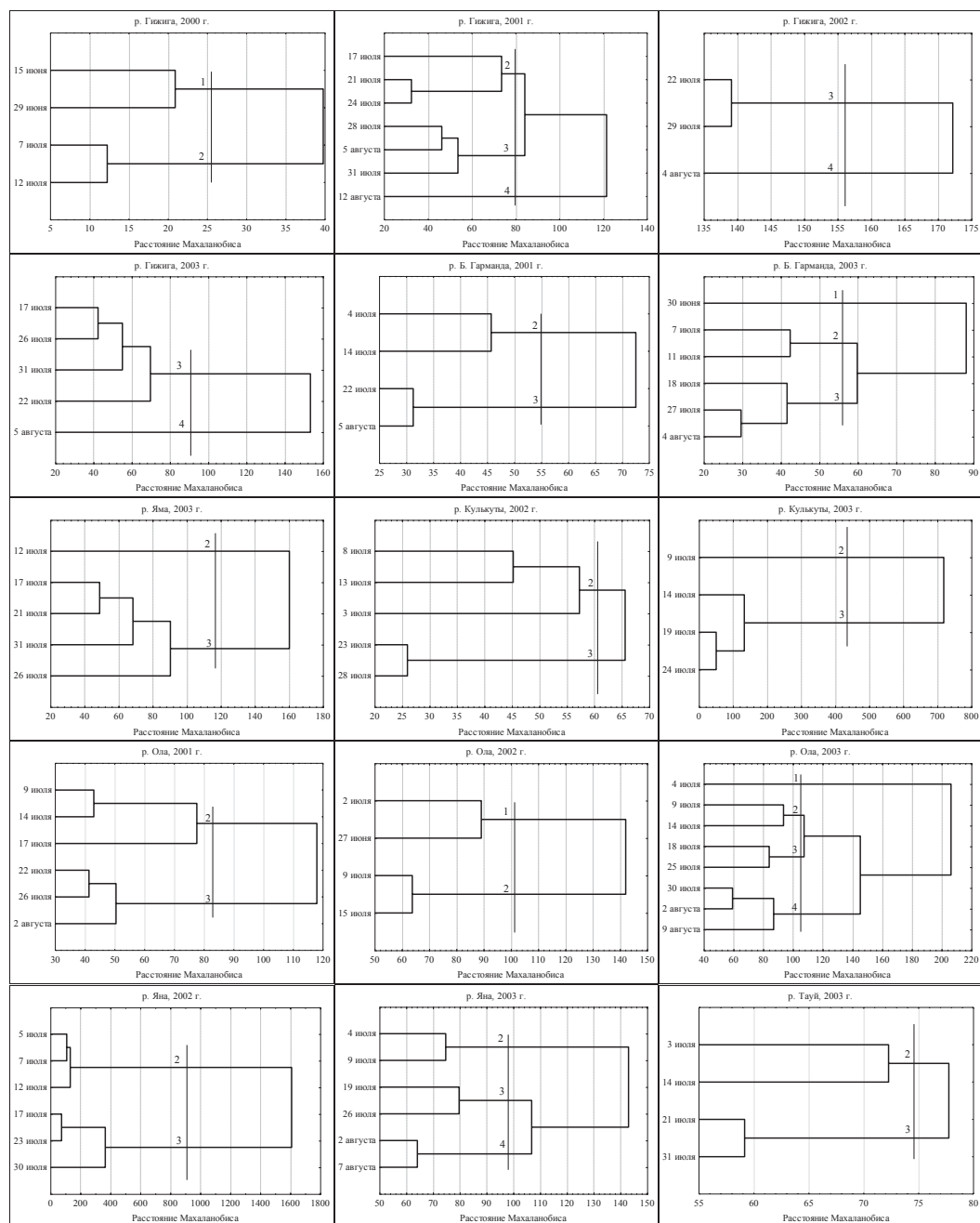


Рис. 15. Дендрограммы морфометрического сходства выборок горбуши. Темпоральные группировки: 1 — июньская, 2 — ранняя июльская, 3 — поздняя июльская, 4 — августовская
 Fig. 15. Tree diagrams of morphometric similarity for samples of pink salmon. Temporal groups of pink salmon: 1 — June, 2 — early July, 3 — late July, 4 — August

У горбуши материкового побережья Охотского моря, как правило, наименьшими средними размерами тела характеризуются рыбы июньского, а наибольшими — августовского ходов. В то же время рыбы ранней и поздней июльских темпоральных группировок слабо различаются по средним значениям линейно-весовых показателей (табл. 6).

Таблица 5

Квадраты расстояний Махаланобиса между центроидами темпоральных группировок горбуши (ниже диагонали) и F-значения удаленности центроидов друг от друга (выше диагонали)

Table 5

Squares of Mahalanobis distance between the centroids of pink salmon temporal groups (below the diagonal line) and F-values of centroids remoteness (above the diagonal line)

Темпоральная группировка	Июньская	Ранняя июльская	Поздняя июльская	Августовская
2000 г.				
<i>Р. Гижига</i>				
Июньская		9,02*	–	–
Ранняя июльская	3,64		–	–
2001 г.				
<i>Р. Гижига</i>				
Ранняя июльская	–		10,56*	11,88*
Поздняя июльская	–	4,27		4,10**
Августовская	–	15,15	5,32	
<i>Р. Большая Гарманда</i>				
Ранняя июльская	–		14,51*	–
Поздняя июльская	–	4,47		–
<i>Р. Ола</i>				
Ранняя июльская	–		24,94*	–
Поздняя июльская	–	6,88		–
2002 г.				
<i>Р. Гижига</i>				
Поздняя июльская	–		19,99*	–
Августовская	–	15,82		–
<i>Р. Большая Гарманда</i>				
Июньская		15,13*	5,67*	–
Ранняя июльская	14,17		21,44*	–
Поздняя июльская	7,03	20,08		–
<i>Р. Кулькuty</i>				
Ранняя июльская	–		10,64*	–
Поздняя июльская	–	3,44		–
<i>Р. Ола</i>				
Июньская		14,66*	–	–
Ранняя июльская	8,03		–	–
<i>Р. Яна</i>				
Ранняя июльская	–		10,20*	–
Поздняя июльская	–	4,75		–
2003 г.				
<i>Р. Гижига</i>				
Поздняя июльская	–	–		11,33*
Августовская	–	–	6,92	
<i>Р. Большая Гарманда</i>				
Июньская		–	5,41*	9,10*
Ранняя июльская	3,13		–	2,99**
Поздняя июльская	4,64	0,98		–
<i>Р. Яма</i>				
Ранняя июльская	–		6,07*	–
Поздняя июльская	–	6,30		–
<i>Р. Кулькuty</i>				
Ранняя июльская	–		12,21*	–
Поздняя июльская	–	4,26		–

Окончание табл. 5
Table 5 finished

Темпоральная группировка	Июньская	Ранняя июльская	Поздняя июльская	Августовская
<i>Р. Ола</i>				
Июньская		12,67*	24,68*	41,59*
Ранняя июльская	4,00		8,23*	19,17*
Поздняя июльская	9,93	2,43		11,21*
Августовская	14,50	4,64	3,68	
<i>Р. Яна</i>				
Ранняя июльская	—		14,59*	22,91*
Поздняя июльская	—	4,60		6,43*
Августовская	—	13,74	3,77	
<i>Р. Тайй</i>				
Ранняя июльская	—		28,01*	—
Поздняя июльская	—	1,92		—

* Различия достоверны при $p < 0,001$.** Различия достоверны при $p < 0,01$.

Для горбуши материкового побережья Охотского моря характерны более крупные размеры самцов по сравнению с самками (см. табл. 3). Однако у горбуши июньской формы, воспроизводящейся в реках Гижига и Большая Гарманда, самки характеризуются большей длиной тела в сравнении с самцами. При этом в р. Гижига самцы и самки июньской формы горбуши практически не различаются по массе тела, а в р. Большая Гарманда масса тела самцов незначительно больше, чем у самок (табл. 6).

Общей характеристикой темпоральных группировок горбуши материкового побережья Охотского моря является снижение средней плодовитости на протяжении нерестовой миграции. Исключение составляет горбуша р. Гижига, у которой средняя плодовитость последовательно проходящих на нерест темпоральных группировок возрастает (табл. 6).

Различия темпоральных группировок горбуши по качественным показателям, по-видимому, связаны с условиями воспроизводства, т.е. имеют такую же природу, как и описанные выше функциональные зависимости. Так, согласно литературным данным [Коновалов, Шевляков, 1980; Иванков, 1984, 1991, 1997] на мелководных нерестилищах успешно выживают и нерестятся небольшие по размерам и низкотельные особи, тогда как на глубоководных нерестилищах преимущество получают крупные и высокотельные рыбы, т.е. в зависимости от гидрологического режима нерестилищ присутствует дифференцированное участие особей в воспроизводстве следующего поколения. Дифференцированному воспроизводству способствует нерестовое поведение рыб, направленное на выбор крупных партнеров [Чебанов, 1986; Foote, Larkin, 1988; Fleming, Gross, 1994]. При этом особи, нерестующие на мелководных и глубоководных нерестилищах в первую очередь будут различаться габитусом, а во вторую — размерами тела, так как вероятность наследуемости длины тела не превышает 0,3, а наследуемости габитуальных особенностей выше — 0,4–0,5 [Кирпичников, 1979].

Варьирование средней плодовитости горбуши различных темпоральных группировок, вероятно, связано со скоростью течения на нерестилищах. Известно [Семко, 1939; Воловик и др., 1972], что мелководные нерестилища горбуши, расположенные в верховьях рек или в среднем течении рек горного типа, характеризуются более высокой скоростью течения, чем глубокие нерестилища, расположенные в среднем и нижнем течении рек предгорного и равнинного типов. Соответственно, с увеличением скорости течения возрастает доля икры, вымываемой речным потоком [Рухлов, 1968]. Рост плодовитости горбуши в таком случае является компенсацией повышенной смертности.

Таблица 6

Table 6

Биологическая характеристика темпоральных группировок горбуши материкового побережья Охотского моря

Biological characteristics for the pink salmon temporal groups on the continental coast of the Okhotsk Sea

Река	Темпоральная группировка	Длина тела по Смитту, см			Масса тела, кг			ИАП, икр.	N, экз.
		Самцы	Самки	Оба пола	Самцы	Самки	Оба пола		
Гижига	Июньская	42,6 ± 0,5 36,0–51,5	43,3 ± 0,4 38,5–49,0	42,8 ± 0,3 36,0–51,5	0,961 ± 0,039 0,556–1,800	0,966 ± 0,031 0,678–1,334	0,963 ± 0,026 0,556–1,800	1290 ± 38 911–1905	73
	Ранняя июльская	45,4 ± 0,2 32,1–55,5	44,1 ± 0,1 38,0–51,0	44,8 ± 0,1 32,1–55,5	1,171 ± 0,018 0,427–2,206	1,070 ± 0,010 0,626–1,828	1,121 ± 0,011 0,427–2,206	1448 ± 17 680–2352	588
	Поздняя июльская	45,6 ± 0,3 35,0–61,0	44,4 ± 0,2 32,0–56,0	44,9 ± 0,2 32,0–61,0	1,148 ± 0,023 0,557–2,630	1,067 ± 0,012 0,573–1,930	1,101 ± 0,012 0,557–2,630	1593 ± 17 626–2940	500
	Августовская	45,2 ± 0,6 40,0–63,0	45,7 ± 0,4 40,0–60,0	45,5 ± 0,3 40,0–63,0	1,084 ± 0,035 0,673–1,837	1,110 ± 0,019 0,760–1,511	1,101 ± 0,017 0,673–1,837	1660 ± 19 1128–2211	125
	Июньская	43,7 ± 0,8 38,0–51,5	44,1 ± 1,0 41,3–46,0	43,8 ± 0,7 38,0–51,5	1,132 ± 0,059 0,810–1,850	1,083 ± 0,122 0,890–1,410	1,124 ± 0,052 0,810–1,850	–	25
Большая Гарманда	Ранняя июльская	47,4 ± 0,2 36,0–57,5	44,8 ± 0,1 39,0–51,5	46,4 ± 0,1 36,0–57,5	1,424 ± 0,020 0,620–3,000	1,145 ± 0,013 0,720–1,980	1,320 ± 0,015 0,620–3,000	1579 ± 19 966–2992	549
	Поздняя июльская	45,9 ± 0,3 37,8–57,0	43,9 ± 0,2 36,5–50,5	44,7 ± 0,2 36,5–57,0	1,279 ± 0,025 0,630–2,230	1,089 ± 0,013 0,600–1,670	1,169 ± 0,014 0,600–2,230	1481 ± 16 824–2616	375
	Ранняя июльская	49,2 ± 0,6 42,0–54,5	46,0 ± 0,2 42,5–50,5	47,1 ± 0,3 42,0–54,5	1,560 ± 0,062 0,945–2,375	1,192 ± 0,020 0,830–1,710	1,319 ± 0,031 0,830–2,375	1577 ± 32 990–2208	100
Яма	Поздняя июльская	48,3 ± 0,4 37,0–62,5	46,4 ± 0,2 38,0–66,0	47,3 ± 0,2 37,0–66,0	1,448 ± 0,033 0,640–2,500	1,218 ± 0,016 0,640–1,790	1,320 ± 0,018 0,640–2,500	1566 ± 19 631–2259	320
	Ранняя июльская	50,3 ± 0,3 40,5–61,0	47,7 ± 0,2 40,0–52,0	49,1 ± 0,2 40,0–61,0	1,439 ± 0,030 0,713–2,733	1,176 ± 0,015 0,663–1,542	1,319 ± 0,019 0,663–2,733	1501 ± 29 788–2324	275
Кулькаты	Поздняя июльская	50,9 ± 0,3 39,0–63,0	48,1 ± 0,2 40,0–54,0	49,5 ± 0,2 39,0–63,0	1,423 ± 0,031 0,662–2,697	1,183 ± 0,014 0,626–1,694	1,298 ± 0,018 0,626–2,697	1497 ± 20 191–2022	385
	Июньская	47,0 ± 0,4 38,0–63,0	45,6 ± 0,3 40,0–53,0	46,5 ± 0,3 38,0–63,0	1,413 ± 0,047 0,800–3,500	1,217 ± 0,024 0,810–1,700	1,347 ± 0,033 0,800–3,500	1627 ± 32 1256–2194	173
Ола	Ранняя июльская	48,7 ± 0,2 38,5–58,0	46,0 ± 0,1 37,0–53,0	47,3 ± 0,1 37,0–58,0	1,422 ± 0,023 0,607–2,660	1,169 ± 0,012 0,640–2,110	1,292 ± 0,014 0,607–2,660	1533 ± 15 790–2172	500
	Поздняя июльская	48,5 ± 0,3 39,0–57,0	46,3 ± 0,1 39,0–54,0	47,1 ± 0,2 39,0–57,0	1,388 ± 0,032 0,652–2,500	1,198 ± 0,014 0,684–2,110	1,265 ± 0,015 0,652–2,500	1449 ± 19 244–2341	399
	Августовская	48,9 ± 0,5 39,0–59,0	47,0 ± 0,2 38,0–55,0	47,6 ± 0,2 38,0–59,0	1,465 ± 0,050 0,610–2,550	1,322 ± 0,024 0,500–2,020	1,366 ± 0,023 0,500–2,550	1377 ± 24 169–2332	227

Яна	Ранняя июльская	49,4 ± 0,2 33,0–59,5	47,0 ± 0,1 40,5–54,0	48,2 ± 0,1 33,0–59,5	1,462 ± 0,018 0,430–2,760	1,239 ± 0,010 0,740–2,632	1,355 ± 0,011 0,430–2,760	1537 ± 15 490–2362	948
	Поздняя июльская	49,6 ± 0,3 37,1–59,1	47,5 ± 0,1 42,1–59,3	48,3 ± 0,1 37,1–59,3	1,471 ± 0,027 0,544–2,988	1,229 ± 0,010 0,524–1,858	1,326 ± 0,013 0,524–2,988	1511 ± 15 693–2900	593
	Августовская	50,2 ± 0,2 36,7–65,5	46,8 ± 0,1 39,5–55,5	48,7 ± 0,2 36,7–65,5	1,543 ± 0,027 0,568–3,074	1,223 ± 0,014 0,622–2,226	1,397 ± 0,017 0,568–3,074	1442 ± 15 501–2395	791
Тауй	Ранняя июльская	50,4 ± 0,3 42,0–61,0	47,4 ± 0,2 43,0–55,0	49,1 ± 0,2 42,0–61,0	1,489 ± 0,030 0,910–2,880	1,215 ± 0,016 0,866–1,585	1,375 ± 0,021 0,866–2,880	1501 ± 22 968–2012	250
	Поздняя июльская	51,6 ± 0,4 43,0–65,5	48,4 ± 0,2 34,7–54,0	49,7 ± 0,2 34,7–65,5	1,676 ± 0,036 0,865–2,995	1,387 ± 0,017 0,885–2,165	1,504 ± 0,020 0,865–2,995	1314 ± 20 743–2237	300

Заключение

На материковом побережье Охотского моря наиболее урожайной является горбуша линии нечетных лет. Колебания численности горбуши в регионе связаны с изменениями климата. Так, деградации ее запасов были вызваны похолоданиями: смертность горбуши в эмбрионально-личиночный период возрастала из-за экстремального снижения речного стока и последующего промерзания нерестовых бугров, а в ранний морской период — из-за задержки прогрева вод морского побережья во время фенологической весны. При этом квазидвухлетняя изменчивость атмосферных процессов была причиной, по которой в 2000–2012 гг. запасы горбуши в ряду четных лет снизились до депрессионного уровня, а в ряду нечетных лет оставались на высоком уровне. Поэтому мониторинг состояния запасов горбуши и прогнозирование их изменений необходимо выполнять отдельно для поколений четных и нечетных лет.

На основании динамики численности подходов на материковом побережье Охотского моря выделены восемь локальных стад горбуши: пенжинское, гижигинское, ямское, ольское, тауйское, охотское, удское (аяно-тугурское) и улыбано-искинское.

В регионе наблюдается клинальная изменчивость сроков массового хода горбуши на нерест. Наиболее рано она проходит в реки гижигинского, ямского, ольского и тауйского стад — с конца июня — начала июля по конец июля — начало августа. Позже — с середины июля по август включительно — в реки охотского, удского (аяно-тугурского) и улыбано-искинского стад.

Индивидуальные показатели длины и массы тела горбуши материкового побережья Охотского моря и ее плодовитость варьируют соответственно от 25,4 до 76,0 см, от 0,290 до 3,975 кг и от 1326 до 1933 икр. Географическая изменчивость средней массы тела горбуши связана с протяженностью ее нерестовых рек. Соотношение полов в подходах в целом близко 1 : 1. Как правило, горбуша ряда нечетных лет крупнее и имеет более высокую плодовитость, чем горбуша ряда четных лет.

Нерестовый ход горбуши имеет выраженную темпоральную структуру. Подходы различных темпоральных группировок в первую очередь прослеживаются по динамике соотношения полов производителей, а также изменению их габитуса. На этом основании выделены четыре темпоральные группировки: июньская, ранняя июльская, поздняя июльская, августовская. Горбуша июньского хода, как правило, характеризуется наименьшими, а августовского — наибольшими размерами тела. Рыбы ранней и поздней июльских темпоральных группировок слабо различаются по средним показателям длины и массы тела. Различия

темпоральных группировок по качественным показателям, по-видимому, связаны с условиями размножения.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор выражает свою искреннюю благодарность сотрудникам Магаданского и Хабаровского филиалов ВНИРО, Охотского филиала Главрыбвода, Охотского и Амурского территориальных управлений Росрыболовства, Института биологических проблем Севера ДВО РАН, участвовавшим в сборе материалов по горбуше материкового побережья Охотского моря, а также предоставившим данные для настоящей работы, а также глубокую признательность С.Е. Кульбачному (ХабаровскНИРО) и Е.А. Кирилловой (КамчатНИРО) за ценные советы и замечания, учтенные в процессе работы над статьей.

The author is sincerely thankful to the staff of Magadan and Khabarovsk branches of VNIRO, Okhotsk branch of Glavrybvod, and Okhotsk and Amur regional departments of the Federal Agency of Fishery for collection of the data on chum salmon spawning on the continental coast of the Okhotsk Sea and the data submission for this study. The author appreciates valuable advices and remarks for the article from S.E. Kulbachny (KhabarovskNIRO) and E.A. Kirillova (KamchatNIRO, IPEE RAS).

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена по личной инициативе, без дополнительного финансирования.
The study was initiated personally, without additional funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented.

Список литературы

Акимов Л.М. Анализ жесткости климатических условий Белгородской области в зимний период // Вестн. ВГУ. Сер.: География. Геоэкология. — 2012. — № 2. — С. 76–80.

Аржакова С.К. Зимний сток рек криолитозоны России : моногр. — СПб. : РГГМУ, 2001. — 209 с.

Афанасьев Н.Н., Михайлов В.И., Кузнецов С.А., Ракитина М.В. Распределение, размерно-весовая характеристика и питание молоди лососевых рыб в прибрежной зоне Тауйской губы Охотского моря // Биологические основы развития лососеводства в Магаданском регионе : сб. науч. тр. ГосНИОРХ. — 1994а. — Вып. 308. — С. 42–54.

Афанасьев Н.Н., Михайлов В.И., Чевризов Б.П., Карасев А.Н. Условия формирования, структура распределения кормовой базы молоди лососевых рыб в Тауйской губе Охотского моря // Биологические основы развития лососеводства в Магаданском регионе : сб. науч. тр. ГосНИОРХ. — 1994б. — Вып. 308. — С. 25–41.

Афанасьев Н.Н., Чернявский В.И., Михайлов В.И., Карасев А.Н. Экологический потенциал воспроизводства лососей Тауйской губы Охотского моря // Рациональное использование биоресурсов Тихого океана : тез. докл. Всесоюз. конф. — Владивосток : ТИНРО-центр, 1991. — С. 78–80.

Булгыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н. Специализированные массивы данных для климатических исследований // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. — 2014. — Вып. 177. — С. 136–148.

Волков А.Ф. Современное состояние весеннего планктонного сообщества северной части Охотского моря (1997–2017 гг.) // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 192. — С. 121–135. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-192-121-135.

Волобуев В.В., Голованов И.С., Марченко С.Л. Оценка многолетних изменений основных характеристик биологической структуры горбуши континентального побережья Охотского моря // Биологическое разнообразие животных Сибири : тез. докл. конф. — Томск : Томск. ун-т, 1998. — С. 187–188.

- Воловик С.П., Ландышевская А.Е., Смирнов А.И.** Материалы по эффективности размножения горбуши на южном Сахалине // Изв. ТИНРО. — 1972. — Т. 81. — С. 69–87.
- Глотов В.Е., Глотова Л.П.** Влияние основания Охотско-Чукотского вулcano-плутонического пояса на водные ресурсы зоны активного водообмена // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. — 2013. — № 4. — С. 69–76.
- Глубоковский М.К., Марченко С.Л., Темных О.С., Шевляков Е.А.** Методические рекомендации по исследованию тихоокеанских лососей. — М. : ВНИРО, 2017. — 79 с.
- Голованов И.С.** О естественном воспроизводстве горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) (Salmonidae) на северном побережье Охотского моря // Вопр. ихтиол. — 1982. — Т. 22, вып. 4. — С. 568–575.
- Гриценко О.Ф., Ковтун А.А., Косткин В.К.** Экология и воспроизводство кеты и горбуши : моногр. — М. : Агропромиздат, 1987. — 166 с.
- Евзеров А.В.** Оценка достоверности результатов разовых аэровизуальных учетов лососей // Изв. ТИНРО. — 1973. — Т. 86. — С. 113–118.
- Евзеров А.В.** Оценка погрешностей аэровизуального метода учета лососей // Тр. ВНИРО. — 1975. — Т. 106. — С. 82–84.
- Енютина Р.И.** Амурская горбуша (промыслово-биологический очерк) // Изв. ТИНРО. — 1972. — Т. 77. — С. 3–126.
- Ефанов В.Н., Кочнева З.П.** О вторичной поимке половозрелого самца горбуши в возрасте менее одного года // Биол. моря. — 1980. — Т. 6, № 2. — С. 88.
- Иванков В.Н.** Изменчивость и микроэволюция рыб : моногр. — Владивосток : ДВГУ, 1997. — 124 с.
- Иванков В.Н.** О сезонных расах горбуши // Изв. ТИНРО. — 1967. — Т. 61. — С. 143–151.
- Иванков В.Н.** Популяционная организация у проходных рыб (на примере тихоокеанских лососей) // Биология рыб и беспозвоночных северной части Тихого океана. — Владивосток : ДВГУ, 1991. — С. 5–21.
- Иванков В.Н.** Причины периодических и ежегодных флюктуаций численности и изменений биологических признаков горбуши Южных Курильских островов // Вопр. ихтиол. — 1984. — Т. 24, № 6. — С. 895–906.
- Иванков В.Н., Митрофанов Ю.А., Бушуев В.П.** Случай созревания горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) в возрасте менее одного года // Вопр. ихтиол. — 1975. — Т. 15, вып. 3. — С. 556–557.
- Иванков В.Н., Митрофанов Ю.А., Омельченко В.Т.** Половозрелость горбуши на первом году жизни // Биол. моря. — 1987. — Т. 13, № 1. — С. 28–31.
- Иванов О.А.** Случай поимки двухгодовиков горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в море зимой 1994–1995 гг. // Вопр. ихтиол. — 1996. — Т. 36, № 5. — С. 716–720.
- Ивлев В.С.** Экспериментальная экология питания рыб : моногр. — М. : Пищепромиздат, 1955. — 252 с.
- Ионов А.В.** Биологическая неоднородность горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) материкового побережья Охотского моря // Биология пресноводных рыб Дальнего Востока. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1987. — С. 35–48.
- Каев А.М.** О поимке горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *Oncorhynchus keta* редкого возраста // Биол. моря. — 2002. — Т. 28, № 6. — С. 457–458.
- Канзепарова А.Н., Золотухин С.Ф.** Горбушова путина в северо-западной части Охотского моря в 2015 г. // Бюл. № 10 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2015. — С. 47–49.
- Карпенко В.И.** Ранний морской период жизни тихоокеанских лососей : моногр. — М. : ВНИРО, 1998. — 165 с.
- Кинас Н.М.** Качественная характеристика покатной молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* реки Утка (юго-западное побережье Камчатки) // Вопр. ихтиол. — 1988. — Т. 28, вып. 3. — С. 404–409.
- Кирпичников В.С.** Генетические основы селекции рыб : моногр. — Л. : Наука, 1979. — 391 с.
- Кондюрин В.В.** Некоторые данные по аэровизуальному учету тихоокеанских лососей и обследованию нерестовых рек материкового побережья Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1965. — Т. 59. — С. 156–159.
- Коновалов С.М., Шевляков А.Г.** Наследование размеров, формы и массы тела у тихоокеанских лососей // Популяционная биология и систематика лососевых. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1980. — С. 30–50.

- Костарев В.Л.** Колебания выживаемости охотской горбуши // Изв. ТИНРО. — 1973. — Т. 86. — С. 101–105.
- Лакин Г.Ф.** Биометрия : учеб. пособие. — М. : Высш. шк., 1980. — 292 с.
- Лапшина В.И.** Внутрисезонная и межгодовая динамика в количественном распределении сетного фитопланктона в Охотском море и прикурильских водах океана // Изв. ТИНРО. — 1996. — Т. 119. — С. 120–148.
- Леванидов В.Я., Леванидова И.М.** Питание покатной молоди летней кеты и горбуши в притоках Амура // Изв. ТИНРО. — 1957. — Т. 45. — С. 3–16.
- Леванидова И.М.** Кормовая база молоди лососей в бассейне Амура и перспективы ее изучения // Лососевое хозяйство Дальнего Востока. — М. : Наука, 1964. — С. 153–174.
- Лепская Е.В.** Фитопланктон северной части западно-камчатского шельфа в летний период 2008 г. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2015. — Вып. 36. — С. 87–98. DOI: 10.15853/2072-8212.2015.36.87-98.
- Марченко С.Л., Голованов И.С.** Локальные стада горбуши северного побережья Охотского моря // Состояние и перспективы рыбохозяйственных исследований в бассейне северной части Охотского моря : сб. науч. тр. МагаданНИРО. — 2001. — Вып. 1. — С. 144–151.
- Марченко С.Л.** Кета *Oncorhynchus keta* (Walbaum) материкового побережья Охотского моря. Сообщение 1. Производители // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 3. — С. 499–520. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-499-520.
- Марченко С.Л.** Особенности биологии и популяционная структура горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) северного побережья Охотского моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2004. — 24 с.
- Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях** / отв. ред. Е.В. Боруцкий. — М. : Наука, 1974. — 254 с.
- Мордасова Н.В.** Косвенная оценка продуктивности вод по содержанию хлорофилла // Тр. ВНИРО. — 2014. — Т. 152. — С. 41–56.
- Правдин И.Ф.** Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) : моногр. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Пищепромиздат, 1966. — 375 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19 : Северо-Восток** / под ред. Т.С. Шмидта. — Л. : Гидрометеиздат, 1969. — 284 с.
- Рухлов Ф.Н.** Речной период жизни сахалинской горбуши // Рыб. хоз-во. — 1968. — № 12. — С. 15–17.
- Семко Р.С.** Камчатская горбуша : Изв. ТИНРО. — 1939. — Т. 16. — 111 с.
- Смирнов А.И.** Биология, размножение и развитие тихоокеанских лососей : моногр. — М. : Московск. ун-та, 1975. — 336 с.
- Точилина Т.Г., Смирнов Б.П.** Половозрелые сеголетки горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) в прибрежных водах о. Итуруп (южные Курильские острова) // Тр. ВНИРО. — 2015. — Т. 158. — С. 136–142.
- Файман П.А.** Сезонная изменчивость циркуляции вод Охотского моря, рассчитанная на основе стационарной модели океана // Вестн. ДВО РАН. — 2015. — № 6(184). — С. 21–28.
- Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М.** Квазидвухлетние колебания в атмосфере Земли. Обзор: наблюдение и механизмы формирования. — М. : ИКИ РАН, 2011. — 60 с.
- Цхай Ж.Р.** Анализ сезонных вариаций концентрации хлорофилла-*a* методом естественных ортогональных функций в Охотском море по спутниковым данным // Исслед. Земли из космоса. — 2007. — № 6. — С. 37–45.
- Чебанов Н.А.** Успех в нересте и определяющие его факторы у горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) (Salmonidae) // Вопр. ихтиол. — 1986. — Т. 26, вып. 2. — С. 270–278.
- Чернявский В.И.** Циркуляционные системы Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1981. — Т. 105. — С. 13–19.
- Anas R.E.** Three-year-old pink salmon // J. Fish. Res. Board Can. — 1959. — Vol. 16, № 1. — P. 91–94. DOI: 10.1139/f59-010.
- Bell M.C.** Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria. — U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division, Portland, Oregon, 1990. — 290 p.
- Christensen K.A., Rondeau E.B., Sakhrani D. et al.** The pink salmon genome: Uncovering the genomic consequences of a two-year life cycle // PLoS One. — 2021. — Vol. 16, № 12: e0255752. DOI: 10.1371/journal.pone.0255752.
- Cooney R.T., Allen J.R., Bishop M.A. et al.** Ecosystem controls of juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) and Pacific herring (*Clupea pallasii*) populations in Prince William Sound, Alaska // Fish. Oceanogr. — 2001. — Vol. 10, Iss. 1. — P. 1–13. DOI: 10.1046/j.1054-6006.2001.00039.x.

Crossin G.T., Hinch S.G., Farrell A.P. et al. Energetics and morphology of sockeye salmon: effects of upriver migratory distance and elevation. // J. Fish Biol. — 2004. — Vol. 6, Iss. 3. — P. 788–810. DOI: 10.1111/j.0022-1112.2004.00486.x.

Eisner L.B., Napp J.M., Mier K.L. et al. Climate-mediated changes in zooplankton community structure for the eastern Bering Sea // Deep-Sea Res. II. — 2014. — Vol. 109. — P. 157–171. DOI: 10.1016/j.dsr2.2014.03.004.

Eslinger D.L., Cooney R.T., McRoy C.P. et al. Plankton dynamics: observed and modelled responses to physical conditions in Prince William Sound, Alaska // Fish. Oceanogr. — 2001. — Vol. 10, Iss. 1. — P. 81–96. DOI: 10.1046/j.1054-6006.2001.00036.x.

Fleming I.A., Gross M.R. Breeding competition in a Pacific Salmon (coho: *Oncorhynchus kisutch*): measures of natural and sexual selection // Evolution. — 1994. — Vol. 48, № 3. — P. 637–657. DOI: 10.1111/j.1558-5646.1994.tb01350.x.

Foote C.J. Male Mate Choice Dependent on Male Size in Salmon // Behaviour. — 1988. — Vol. 106, № 1–2. — P. 63–65. DOI: 10.1163/156853988X00098.

Foote C.J., Larkin P.A. The role of male choice in the assortative mating of anadromous and non-anadromous sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) // Behaviour. — 1988. — Vol. 106, Iss. 1–2. — P. 43–61. DOI: 10.1163/156853988X00089.

Foster R.W., Bagatell C., Fuss H.J. Return of One-year-old Pink Salmon to a Stream in Puget Sound // Prog. Fish-Cult. — 1981. — Vol. 43, Iss. 1. — P. 31. DOI: 10.1577/1548-8659(1981)43(1:RO OPST)2.0.CO;2.

Glubokovsky M.K., Marchenko S.L. On the issue of life strategy formation in Pacific Salmon of the genus *Oncorhynchus* (Salmonidae) // J. Ichthyol. — 2019. — Vol. 59, № 4. — P. 516–526. DOI: 10.1134/S0032945219040040.

Hikita T. Further records on the small pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) caught in Hokkaido, Japan // Sci. Rep. Hokkaido Fish Hatchery. — 1984. — Vol. 38. — P. 83–88.

Hop H., Falk-Petersen S., Svendsen H. et al. Physical and biological characteristics of the pelagic system across Fram Strait to Kongsfjorden // Prog. Oceanogr. — 2006. — Vol. 71, Iss. 2–4. — P. 182–231. DOI: 10.1016/j.pocean.2006.09.007.

Hunt G.L., Coyle K.O., Eisner L.B. et al. Climate impacts on eastern Bering Sea foodwebs: a synthesis of new data and an assessment of the Oscillating Control Hypothesis // ICES J. Mar. Sci. — 2011. — Vol. 68, Iss. 6. — P. 1230–1243. DOI: 10.1093/icesjms/fsr036.

Huxley J.S. Problem of relative growth. — N.Y. : Dail Press, 1932. — 276 p.

Kinnison M.T., Unwin M.J., Hendry A.P., Quinn T.P. Migratory costs and the evolution of egg size and number in introduced and indigenous salmon populations // Evolution. — 2001. — Vol. 55, Iss. 8. — P. 1656–1667. DOI: 10.1111/j.0014-3820.2001.tb00685.x.

Moss J.H., Beauchamp D.A., Cross A.D. et al. Higher marine survival associated with faster growth for pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) // Trans. Am. Fish. Soc. — 2005. — Vol. 134, Iss. 5. — P. 1313–1322. DOI: 10.1577/T05-054.1.

Steen R.P., Quinn T.P. Egg burial depth by sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*): implications for survival of embryos and natural selection on female body size // Can. J. Zool. — 1999. — Vol. 77. — P. 836–841. DOI: 10.1139/z99-020.

Tautz A.F. Effects of variability in space and time on the production dynamics of salmonid fishes : Ph.D. Diss. — Vancouver : Univ. of British Columbia, 1977. — 118 p.

Turner C.E., Bilton H. T. Another pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in its third year // Can. J. Fish Aquat. Sci. — 1968. — Vol. 25, № 9. — P. 1993–1996. DOI: 10.1139/f68-176.

Weisbart M. Osmotic and ionic regulation in embryo, alevins and fry of the five species of Pacific salmon // Can. J. Zool. — 1968. — Vol. 46. — P. 385–397. DOI: 10.1139/z68-056.

Wickett W.P. Review of certain environmental factors affecting the production of pink and chum salmon // J. Fish. Res. Board Can. — 1958. — Vol. 15, № 5. — P. 1103–1126. DOI: 10.1139/f58-058.

Willette T.M., Cooney R.T., Patrick et al. Ecological processes influencing mortality of juvenile salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in Prince William Sound, Alaska // Fish. Oceanogr. — 2001. — Vol. 10, Iss. S1. — P. 14–41. DOI: 10.1046/j.1054-6006.2001.00043.x.

References

Akimov, L.M., Analysis of rigorous climatic conditions of the Belgorod region in winter, *Vestnik Voronezh. Gos. Univ. Ser.: Geografiya. Geoekologiya*, 2012, no. 2, pp. 76–80.

Arzhakova, S.K., Zimniy stok rek kriolitozony Rossii (Winter runoff of rivers in the permafrost zone of Russia), St. Petersburg: RSHU Publishers, 2001.

Afanasyev, N.N., Mikhailov, V.I., Kuznetsov, S.A., and Rakitina, M.V., Distribution, size-weight characteristics and nutrition of juvenile salmonids in the coastal zone of the Taiu Bay of the Sea of Okhotsk, *Sb. Nauchn. Tr. «Biologicheskkiye osnovy razvitiya lososovodstva v Magadanskom regione»* (Biological basis for the development of salmon breeding in the Magadan region), St. Petersburg: GosNIORKh, 1994, vol. 308, pp. 42–54.

Afanasyev, N.N., Mikhailov, V.I., Chevrizov, B.P., and Karasev, A.N., Conditions of formation, distribution structure of the food base of juvenile salmonids in the Taiu Bay of the Sea of Okhotsk, *Sb. Nauchn. Tr. «Biologicheskkiye osnovy razvitiya lososovodstva v Magadanskom regione»* (Biological basis for the development of salmon breeding in the Magadan region), St. Petersburg: GosNIORKh, 1994, vol. 308, pp. 25–41.

Afanasyev, N.N., Chernyavskiy, V.I., Mikhaylov, V.I., and Karasev, A.N., Ecological potential of salmon reproduction in the Taiu Bay of the Sea of Okhotsk, in *Tezisy dokl. Vsesoyuz. konf. «Ratsional'noye ispol'zovaniye bioresursov Tikhogo okeana»* (Rational use of biological resources of the Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO-Tsent, 1991, pp. 78–80.

Bulygina, O.N., Korshunova, N.N., and Razuvaev, V.N., Specialized datasets for climate research, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.-MCD*, 2014, vol. 177, pp. 136–148.

Volkov, A.F., Present state of the spring plankton community in the northern Okhotsk Sea (1997–2017), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 192, pp. 121–135. doi 10.26428/1606-9919-2018-192-121-135

Volobuev, V.V., Golovanov, I.S., and Marchenko, S.L., Assessment of long-term changes in the main characteristics of the biological structure of pink salmon on the continental coast of the Sea of Okhotsk, in *Tezisy dokl. konf. «Biologicheskoye raznoobraziye zhivotnykh Sibiri»* (Biological diversity of Siberian animals), Tomsk: Tomsk. Univ., 1998, pp. 187–188.

Volovik, S.P., Landyshevskaya, A.E., and Smirnov, A.I., Materials on the breeding efficiency of pink salmon in southern Sakhalin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1972, vol. 81, pp. 69–87.

Glotov, V.E. and Glotova, L.P., The influence of the base of the Okhotsk-Chukotka volcano-plutonic belt on the water resources of the zone of active water exchange, *Vestn. Sev.-Vost. Nauch. Tsentra, Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2013, no. 4, pp. 69–76.

Glubokovsky, M.K., Marchenko, S.L., Temnykh, O.S., and Shevlyakov, E.A., *Metodicheskkiye rekomendatsii po issledovaniyu tikhookeanskikh lososey* (Guidelines for the study of Pacific salmon), Moscow: VNIRO, 2017.

Golovanov, I.S., On the natural reproduction of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) (Salmonidae) on the northern coast of the Sea of Okhotsk, *Vopr. Ikhtiol.*, 1982, vol. 22, no. 4, pp. 568–575.

Gritsenko, O.F., Kovtun, A.A., and Kostkin, V.K., *Ekologiya i vosproizvodstvo kety i gorbushi* (Ecology and Reproduction of Chum and Pink Salmon), Moscow: Agropromizdat, 1987.

Evzerov, A.V., The reliable estimation of the results of single aerovisual salmon registrations, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1973, vol. 86, pp. 113–118.

Evzerov, A.V., Estimate of errors occurring in the aerea visual method of counting salmon, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1975, vol. 106, pp. 82–84.

Yeniutina, R.I., The Amur humpback salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1972, vol. 77, pp. 3–126.

Efanov, V.N. and Kochneva, Z.P., On the secondary capture of a sexually mature male pink salmon at the age of less than one year, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1980, vol. 6, no. 2, pp. 88.

Ivankov V.N., *Izmenchivost' i mikroevolyutsiya ryb* (Variability and microevolution of fish), Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 1997.

Ivankov, V.N., On seasonal races of pink salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1967, vol. 61, pp. 143–151.

Ivankov, V.N., Population organization in anadromous fish (on the example of Pacific salmon), in *Biologiya ryb i bespozvonochnykh severnoy chasti Tikhogo okeana* (Biology of fish and invertebrates of the northern part of the Pacific Ocean), Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ, 1991, pp. 5–21.

Ivankov, V.N., Causes of periodic and annual fluctuations in abundance and changes in biological characteristics of pink salmon in the South Kuril Islands, *Vopr. Ikhtiol.*, 1984, vol. 24, no. 6, pp. 895–906.

Ivankov, V.N., Mitrofanov, Yu.A., and Bushuev, V.P., Case of maturation of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) at the age of less than one year, *Vopr. Ikhtiol.*, 1975, vol. 15, no. 3, pp. 556–557.

Ivankov, V.N., Mitrofanov, Yu.A., and Omelchenko, V.T., Maturity of pink salmon in the first year of life, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1987, vol. 13, no. 1, pp. 28–31.

Ivanov, O.A., Case of capture of two-year-old pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in the sea in winter 1994–1995, *Vopr. Ikhtiol.*, 1996, vol. 36, no. 5, pp. 716–720.

Ivlev, V.S., *Eksperimental'naya ekologiya pitaniya ryb* (Experimental ecology of fish nutrition), Moscow: Pishchepromizdat, 1955.

Ionov, A.V., Biological heterogeneity of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) from the mainland coast of the Sea of Okhotsk, in *Biologiya presnovodnykh ryb Dal'nego Vostoka* (Biology of freshwater fish of the Far East), Vladivostok: Dal'nevost. Otd., Akad. Nauk. SSSR, 1987, pp. 35–48.

Kaev, A.M., About the capture of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* and chum salmon *Oncorhynchus keta* of rare age, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2002, vol. 28, no. 6, pp. 457–458.

Kanzeparova, A.N. and Zolotukhin, S.F., Pink salmon fishing season in the northwestern part of the Sea of Okhotsk in 2015, in *Byull. N 10 izuch. tikhookean. lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 10 Study Pac. Salmon Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2015, pp. 47–49.

Karpenko, V.I., *Ranniy morskoy period zhizni tikhookeanskikh lososey* (Early marine life of Pacific salmon), Moscow: VNIRO, 1998.

Kinas, N.M., Qualitative characteristics of downstream juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* of the Utkha River (southwestern coast of Kamchatka), *Vopr. Ikhtiol.*, 1988, vol. 28, no. 3, pp. 404–409.

Kirpichnikov, V.S., *Geneticheskiye osnovy selektsii ryb* (Genetic bases of fish breeding), Leningrad: Nauka, 1979.

Kondyurin, V.V., Some data on airborne surveys of Pacific salmon and survey of spawning rivers on the continental coast of the Sea of Okhotsk, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1965, vol. 59, pp. 156–159.

Kononov, S.M. and Shevlyakov, A.G., Inheritance of size, shape and body weight in Pacific salmon, in *Populyatsionnaya biologiya i sistematika lososevykh* (Population Biology and Taxonomy of Salmon), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1980, pp. 30–50.

Kostarev, V.L., The fluctuations of survival of the Okhotsk pink salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1973, vol. 86, pp. 101–105.

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

Lapshina, V.I., Intraseasonal and interannual dynamics of phytoplankton distribution in Okhotsk Sea and adjacent pacific waters, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1996, vol. 119, pp. 120–148.

Levanidov, V.Ya. and Levanidova, I.M., Feeding of downstream juveniles of summer chum salmon and pink salmon in the tributaries of the Amur, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1957, vol. 45, pp. 3–16.

Levanidova, I.M., Food base of juvenile salmon in the Amur basin and prospects for its study, in *Lososevoye khozyaystvo Dal'nego Vostoka* (Salmon farming of the Far East), Moscow: Nauka, 1964, pp. 153–174.

Lepskaya, E.V., Phytoplankton of the northern part of the West Kamchatka shelf in summer 2008, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2015, vol. 36, pp. 87–98. doi 10.15853/2072-8212.2015.36.87-98

Marchenko, S.L. and Golovanov, I.S., Local herds of pink salmon on the northern coast of the Sea of Okhotsk, in *Sb. nauchn. tr. "Sostoyaniye i perspektivy rybnokhozyaystvennykh issledovaniy v basseine severnoi chasti Okhotskogo morya"* (Collect. Sci. Works "The Status and the Prospects of Fishery Research in the Northern Sea of Okhotsk Basin"), Magadan: Magadan. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr., 2001, vol. 1, pp. 144–151.

Marchenko, S.L., Chum salmon *Oncorhynchus keta* (Walbaum) on the continental coast of the Okhotsk Sea. Communication 1. The spawners, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 3, pp. 499–520. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-499-520

Marchenko, S.L., Features of biology and population structure of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) from the northern coast of the Sea of Okhotsk, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2004.

Metodicheskoye posobiye po izucheniyu pitaniya i pishchevykh otnosheniy ryb v yestestvennykh usloviyakh (Toolkit for the study of nutrition and nutritional relationships of fish in vivo), Borutsky, E.V., ed., Moscow: Nauka, 1974.

Mordasova, N.V., Indirect assessment of water productivity by chlorophyll content, *Tr. Vseros. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 152, pp. 41–56.

- Pravdin, I.F.**, *Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh)* (Guide to the Study of Fish (Mainly Freshwater)), 4th ed., Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1966.
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 19: Severo-Vostok* (Resources of surface waters of the USSR. Vol. 19: Northeast), Schmidt, T.S., ed., Leningrad: Gidrometeoizdat, 1969.
- Rukhlov, F.N.**, The river period of life of the Sakhalin pink salmon, *Rybn. Khoz.*, 1968, no. 12, pp. 15–17.
- Semko, R.S.**, The Kamchatka pink salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1939, vol. 16.
- Smirnov, A.I.**, *Biologiya, razmnozheniye i razvitiye tikhookeanskikh lososei* (Biology, Reproduction, and Development of Pacific Salmon), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1975.
- Tochilina, T.G. and Smirnov, B.P.**, Sexually mature underyearlings of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) in the coastal waters of the island. Iturup (southern Kuril Islands), *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 158, pp. 136–142.
- Fayman, P.A.**, Seasonal variability of water circulation in the Sea of Okhotsk calculated using a stationary ocean model, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk.*, 2015, no. 6(184), pp. 21–28.
- Khairullina, G.R. and Astafieva, N.M.**, *Kvazidvukhletniye kolebaniya v atmosfere Zemli. Obzor: nablyudeniye i mekhanizmy formirovaniya* (Quasi-biennial oscillations in the Earth's atmosphere. Review: observation and formation mechanisms), Moscow: Inst. Kosm. Issledovaniy, 2011.
- Tshay, Zh.R.**, Description of Seasonal Variability of Chlorophyll *a* Concentration by an Empirical Orthogonal Function Method in the Okhotsk Sea from SeaWiFS Satellite Data, *Earth Observation and Remote Sensing*, 2007, no. 6, pp. 37–45.
- Chebanov, N.A.**, Spawning success and factors determining it in pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) (Salmonidae), *Vopr. Ikhtiol.*, 1986, vol. 26, no. 2, pp. 270–278.
- Chernyavsky, V.I.**, Circulation systems of the Sea of Okhotsk, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1981, vol. 105, pp. 13–19.
- Anas, R.E.**, Three-year-old pink salmon, *J. Fish. Res. Board Can.*, 1959, vol. 16, no. 1, pp. 91–94. doi 10.1139/f59-010
- Bell, M.C.**, *Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria*, U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division, Portland, Oregon, 1990.
- Christensen, K.A., Rondeau, E.B., Sakhrani, D., Biagi, C.A., Johnson, H., Joshi, J., Flores, A.M., Leelakumari, S., Moore, R., Pandoh, P.K., Withler, R.E., Beacham, T.D., Leggatt, R.A., Tarpey, C.M., Seeb, L.W., Seeb, J.E., Jones, S.J.M., Devlin, R.H., and Koop, B.F.**, The pink salmon genome: Uncovering the genomic consequences of a two-year life cycle, *PLoS One*, 2021, vol. 16, no. 12, art. ID e0255752. doi 10.1371/journal.pone.0255752
- Cooney, R.T., Allen, J.R., Bishop, M.A., Eslinger, D.L., Kline, T., Norcross B.L., Mcroy, C.P., Milton, J., Olsen, J., Patrick, V., Paul, A.J., Salmon, D., Scheel, D., Thomas, G.L., Vaughan, S.L., and Willette, T.M.**, Ecosystem controls of juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) and Pacific herring (*Clupea pallasii*) populations in Prince William Sound, Alaska, *Fish. Oceanogr.*, 2001, vol. 10, no. 1, pp. 1–13. doi 10.1046/j.1054-6006.2001.00039.x
- Crossin, G.T., Hinch, S.G., Farrell, A.P., Higgs, D.A., Lotto, A.G., Oakes, J.D., and Healey, M.C.**, Energetics and morphology of sockeye salmon: effects of upriver migratory distance and elevation, *J. Fish Biol.*, 2004, vol. 6, no. 3, pp. 788–810. doi 10.1111/j.0022-1112.2004.00486.x
- Eisner, L.B., Napp, J.M., Mier, K.L., Pinchuk, A.I., and Andrews, A.G.**, Climate-mediated changes in zooplankton community structure for the eastern Bering Sea, *Deep Sea Res., Part II*, 2014, vol. 109, pp. 157–171. doi 10.1016/j.dsr2.2014.03.004
- Eslinger, D.L., Cooney, R.T., McRoy, C.P., Wardn, A., Kline T.C., Simpson, E.P., Wang, J., and Allen, J.R.**, Plankton dynamics: observed and modelled responses to physical conditions in Prince William Sound, Alaska, *Fish. Oceanogr.*, 2001, vol. 10, no. 1, pp. 81–96. doi 10.1046/j.1054-6006.2001.00036.x
- Fleming, I.A. and Gross, M.R.**, Breeding competition in a Pacific Salmon (coho: *Oncorhynchus kisutch*): measures of natural and sexual selection, *Evolution*, 1994, vol. 48, no. 3, pp. 637–657. doi 10.1111/j.1558-5646.1994.tb01350.x
- Foote, C.J.**, Male Mate Choice Dependent on Male Size in Salmon, *Behaviour*, 1988, vol. 106, no. 1–2, pp. 63–65. doi 10.1163/156853988X00098
- Foote, C.J. and Larkin, P.A.**, The role of male choice in the assortative mating of anadromous and non-anadromous sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*), *Behaviour*, 1988, vol. 106, no. 1–2, pp. 43–61. doi 10.1163/156853988X00089
- Foster, R.W., Bagatell, C., and Fuss, H.J.**, Return of One-year-old Pink Salmon to a Stream in Puget Sound, *Prog. Fish-Cult.*, 1981, vol. 43, no. 1, pp. 31. doi 10.1577/1548-8659(1981)43(1:RO OPST)2.0.CO;2

Glubokovsky, M.K. and Marchenko, S.L., On the issue of life strategy formation in Pacific Salmon of the genus *Oncorhynchus* (Salmonidae), *J. Ichthyol.*, 2019, vol. 59, no. 4, pp. 516–526. doi 10.1134/S0032945219040040

Hikita, T., Further records on the small pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) caught in Hokkaido, Japa, *Sci. Rep. Hokkaido Fish Hatchery*, 1984, vol. 38, pp. 83–88.

Hop, H., Falk-Petersen, S., Svendsen, H., Kwasniewski, S., Pavlov, V., Pavlova, O., and Søreide, J.E., Physical and biological characteristics of the pelagic system across Fram Strait to Kongsfjorden, *Prog. Oceanogr.*, 2006, vol. 71, no. 2–4, pp. 182–231. doi 10.1016/j.pocean.2006.09.007

Hunt, G.L., Coyle, K.O., Eisner, L.B., Farley, E.V., Heintz, R.A., Mueter, F., Napp, J.M., Overland, J.E., Ressler, P.H., Salo, S., and Stabeno, P.J., Climate impacts on eastern Bering Sea foodwebs: a synthesis of new data and an assessment of the Oscillating Control Hypothesis, *ICES J. Mar. Sci.*, 2011, vol. 68, no. 6, pp. 1230–1243. doi 10.1093/icesjms/fsr036

Huxley, J.S., Problem of relative growth, New York: Dail Press, 1932.

Kinnison, M.T., Unwin, M.J., Hendry, A.P., and Quinn, T.P., Migratory costs and the evolution of egg size and number in introduced and indigenous salmon populations, *Evolution*, 2001, vol. 55, no. 8, pp. 1656–1667. doi 10.1111/j.0014-3820.2001.tb00685.x

Moss, J.H., Beauchamp, D.A., Cross, A.D., Myers, K.W., Farley Jr., E.V., Murphy, J.M., and Helle, J.H., Higher marine survival associated with faster growth for pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*), *Trans. Am. Fish. Soc.*, 2005, vol. 134, no. 5, pp. 1313–1322. doi 10.1577/T05-054.1

Steen, R.P. and Quinn, T.P., Egg burial depth by sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*): implications for survival of embryos and natural selection on female body size, *Can. J. Zool.*, 1999, vol. 77, pp. 836–841. doi 10.1139/z99-020

Tautz, A.F., Effects of variability in space and time on the production dynamics of salmonid fishes, *Ph.D. Thesis*, Vancouver: Univ. of British Columbia, 1977.

Turner, C.E. and Bilton, H.T., Another pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in its third year, *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 1968, vol. 25, no. 9, pp. 1993–1996. doi 10.1139/f68-176

Weisbart, M., Osmotic and ionic regulation in embryo, alevins and fry of the five species of Pacific salmo, *Can. J. Zool.*, 1968, vol. 46, pp. 385–397. doi 10.1139/z68-056

Wickett, W.P., Review of certain environmental factors affecting the production of pink and chum salmon, *J. Fish. Res. Board Can.*, 1958, vol. 15, no. 5, pp. 1103–1126. doi 10.1139/f58-058

Willette, T.M., Cooney, R.T., Patrick, V., Mason, D.M., Thomas, G.L., and Scheel, D., Ecological processes influencing mortality of juvenile salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in Prince William Sound, Alaska, *Fish. Oceanogr.*, 2001, vol. 10, no. S1, pp. 14–41. doi 10.1046/j.1054-6006.2001.00043.x

Instruktsiya o poryadke provedeniya obyazatel'nykh nablyudeniy za dal'nevostochnymi lososyymi na KNS i KNP basseynovykh upravleniy rybookhrany i stantsiyakh TINRO (Instructions on the procedure for conducting mandatory observations of Far Eastern salmonids at the CNS and CNP of basin fisheries protection departments and TINRO stations), Vladivostok: TINRO, 1987.

Поступила в редакцию 8.11.2022 г.

После доработки 16.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

*The article was submitted 8.11.2022; approved after reviewing 16.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022*

Научная статья

УДК 597.552.511(265.53)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-774-792

EDN: GQWLLG



**КЕТА *ONCORHYNCHUS KETA* (WALBAUM)
МАТЕРИКОВОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОХОТСКОГО МОРЯ.
СООБЩЕНИЕ 2. МОЛОДЬ**

С.Л. Марченко*Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,
105187, г. Москва, Окружной проезд, 19

Аннотация. Обобщены многолетние материалы по покатной миграции, качественным и количественным показателям, а также питанию молоди кеты материкового побережья Охотского моря. Показано, что начало покатной миграции связано с прогревом речных вод, а одним из факторов, определяющих ее динамику, является водность рек. Из рек региона в морское побережье молодь кеты скатывается круглосуточно. Изменчивость ее качественных показателей в период покатной миграции связана с выходом с нерестилищ молоди летней и осенней рас. В морском побережье молодь кеты задерживается до сентября. Спектр ее питания зависит от биотопа обитания.

Ключевые слова: кета *Oncorhynchus keta*, покатная миграция, биологическая характеристика, внутривидовая структура, Охотское море

Для цитирования: Марченко С.Л. Кета *Oncorhynchus keta* (Walbaum) материкового побережья Охотского моря. Сообщение 2. Молодь // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 774–792. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-774-792. EDN: GQWLLG.

Original article

**Chum salmon *Oncorhynchus keta* (Walbaum) on the continental coast
of the Okhotsk Sea. Communication 2. The juveniles**

Sergey L. MarchenkoRussian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
19, Okružnoy proezd, Moscow, 105187, Russia
Ph.D., adviser, slm@vniro.ru, ORCID 0000-0002-0927-9939

Abstract. Long-term data on downstream migration, qualitative and quantitative characteristics and feeding of juvenile chum salmon are generalized for the continental coast of the Okhotsk Sea. The downstream migration begins in conditions of certain heating of river waters; its dynamics depends on the rate of water flow and other environmental factors. The juveniles migrate from rivers to the coastal waters both in the daytime and at night. Their qualitative characteristics change in correspondence with escapement of either summer or autumn races

* Марченко Сергей Леонидович, кандидат биологических наук, советник, slm@vniro.ru, ORCID 0000-0002-0927-9939.

© Марченко С.Л., 2022

of chum salmon progeny from the spawning grounds. The juveniles stay in the coastal waters until September. Their food spectrum is determined by the inhabited biotope.

Keywords: chum salmon, *Oncorhynchus keta*, downstream migration, biological characteristics, intraspecific structure, Okhotsk Sea

For citation: Marchenko S.L. Chum salmon *Oncorhynchus keta* (Walbaum) on the continental coast of the Okhotsk Sea. Communication 2. The juveniles, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 774–792. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-774-792. EDN: GQWLLG.

Введение

Одним из важнейших этапов государственного мониторинга, направленного на получение материалов, используемых при оценке перспектив состояния запасов кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1972) в краткосрочной перспективе, является исследование ее молоди. На материковом побережье Охотского моря к исследованию покатной молоди кеты приступили в 1960-е гг. Наибольшее развитие эти работы получили в конце 1990-х — первой половине 2010-х гг., когда сеть сезонных наблюдательных пунктов была расширена до 8–10 ед. и включала большую часть крупнейших по запасам кеты рек региона. В середине 2000-х — первой половине 2010-х гг. были организованы исследования раннего морского периода жизни молоди в морском прибрежье, но их проводили только на модельных полигонах в Тауйской губе.

Цель настоящего сообщения — обобщить многолетние данные по молоди кеты материкового побережья Охотского моря.

Материалы и методы

Материалы, составившие основу настоящей статьи, были собраны в реках материкового побережья Охотского моря, а также в морском прибрежье Тауйской губы (рис. 1).

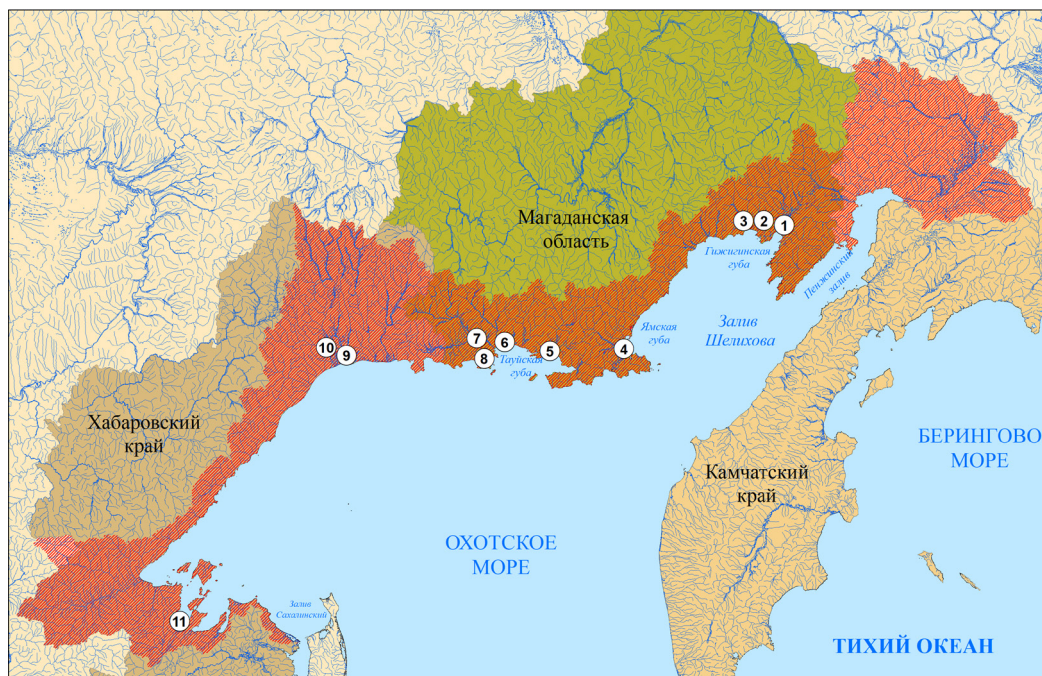


Рис. 1. Карта-схема района исследований покатной миграции молоди кеты на материковом побережье Охотского моря: 1 — Гижига, 2 — Большая Гарманда, 3 — Найахан, 4 — Яма, 5 — Ола, 6 — Яна, 7 — Тауй, 8 — Мотыклейка, 9 — Кухтуй, 10 — Охота, 11 — Тугур

Fig. 1. Scheme of the survey area on the continental coast of the Okhotsk Sea. The water bodies: 1 — Gizhiga, 2 — Bolshaya Garmanda, 3 — Nayakhan, 4 — Yama, 5 — Ola, 6 — Yana, 7 — Tauy, 8 — Motyklejka, 9 — Kukhtuy, 10 — Okhota, 11 — Tugur

Работы по учету покатной молоди кеты проводили со второй половины мая по начало сентября. В 1960-е гг. специалисты Северо-восточной центральной ихтиологической лаборатории Охотскрыбвода (сейчас — Охотский филиал Главрыбвода) выполняли их на рыбоучетном заграждении, которое возводили после ледохода на р. Танон (правобережный приток р. Ола). С 1970-х гг. учет покатной молоди кеты, как правило, проводили на гидрологических створах методом, предложенным А.Я. Таранцом [1939]. Для облова покатной молоди использовали мягкую ловушку длиной 2 м с площадью входного отверстия $0,25 \text{ м}^2$, изготовленную из мельничного газа № 7 или безузелковой дели с ячейей $3 \times 3 \text{ мм}$. Обловы проводили как каждую ночь, так и в режиме сутки через сутки. При постановке на лов длину отяжек регулировали таким образом, чтобы ловушка находилась в приповерхностном слое речного потока. Стандартная экспозиция ловушки — 10 мин. В период массовой покатной миграции и высокой концентрации влекомых частиц и мусора в потоке допускалось сокращение экспозиции. Напротив, в периоды разреженной миграции молоди кеты застой ловушки увеличивали.

В период учета покатной молоди кеты уровень воды измеряли по гидрологической линейке, температуру воды — при помощи термометра. Замеры проводили трижды в сутки: в 08:00, 16:00 и 24:00. Дополнительно на гидрологических створах, имевших две и более станций, температуру воды измеряли на каждой станции во время выставления ловушки на лов.

Исследования раннего морского периода жизни кеты проводили с конца мая — начала июня по июль на литоральных и сублиторальных участках Тауйской губы на удалении до 100 м от берега. Обловы выполняли с мотолодок, оборудованных подвесными моторами, и с берега. В качестве орудий лова использовали стандартный закидной равнокрылый безмотенный невод (длина — 12 м, ячей — 3 мм), закидной равнокрылый невод с мотней (длина — 70 м, ячей на крыльях — 10 мм и в мотне — 3 мм) и малый кошельковый невод (длина 55 м, ячей на крылья — 10 и 5 мм, в сливной части — 3 мм).

Отловленную молодь фиксировали 4 %-ным раствором формалина. Собранный материал обрабатывали в камеральных условиях. Пробы группировали по пятидневкам. Перед анализом молодь отмачивали в холодной проточной воде в течение 12 ч. Биологический анализ включал измерение длины тела по Смитту, массы тела остаточного желточного мешка и пищевого кома. Состав пищевого кома определяли под бинокулярными микроскопами МБС-1 и МБС-10 [Руководство..., 1961; Методическое пособие..., 1974]. Индивидуальные общие индексы наполнения желудков (ИНЖ, ‰) вычисляли как отношение массы пищевого комка к массе рыбы, умноженное на 10000. Среднее значение ИНЖ определяли с учетом пустых желудков.

Данные по концентрации хлорофилла-*a* в Мировом океане получены с сайта Национального Управления по авиации и космосу США (англ. National Aeronautics and Space Administration — NASA) [oceancolor.gsfc.nasa.gov]. Для приустьевых районов морского побережья данные по хлорофиллу-*a* были отобраны по полигонам шириной 12 морских миль от береговой линии в сторону моря при помощи скрипта, подготовленного автором в Model Builder ArcGIS.

Автор систематизировал и обобщил в электронные таблицы MS Excel материалы, накопленные Магаданским и Хабаровским филиалами ВНИРО, а также Охотским филиалом Главрыбвода, которые отражают фоновые условия обитания молоди кеты, сроки и динамику ее покатной миграции, качественные и количественные показатели, а также питание. Автор принимал непосредственное участие в планировании и организации работ, а также в сборе и обработке материалов.

Статистическая обработка материалов биологических анализов выполнена автором в электронных таблицах MS Excel в соответствии с рекомендациями И.Ф. Правдина [1966] и Г.Ф. Лакина [1980]. Визуализация данных на топооснове проведена в ArcGIS, графики построены в MS Excel.

Результаты и их обсуждение

Сроки и динамика покатной миграции. Согласно исследованиям, которые выполняли на гидрологических створах, молодь кеты из рек материкового побережья Охотского моря скатывалась со второй половины мая до начала июля (рис. 2). Вместе с тем исследования, проведенные на рыбоучетном заграждении, показали, что из рек региона молодь кеты мигрировала до начала августа (рис. 3), а согласно визуальным наблюдениям и обловам малькового закидного невода — до конца августа — начала сентября.

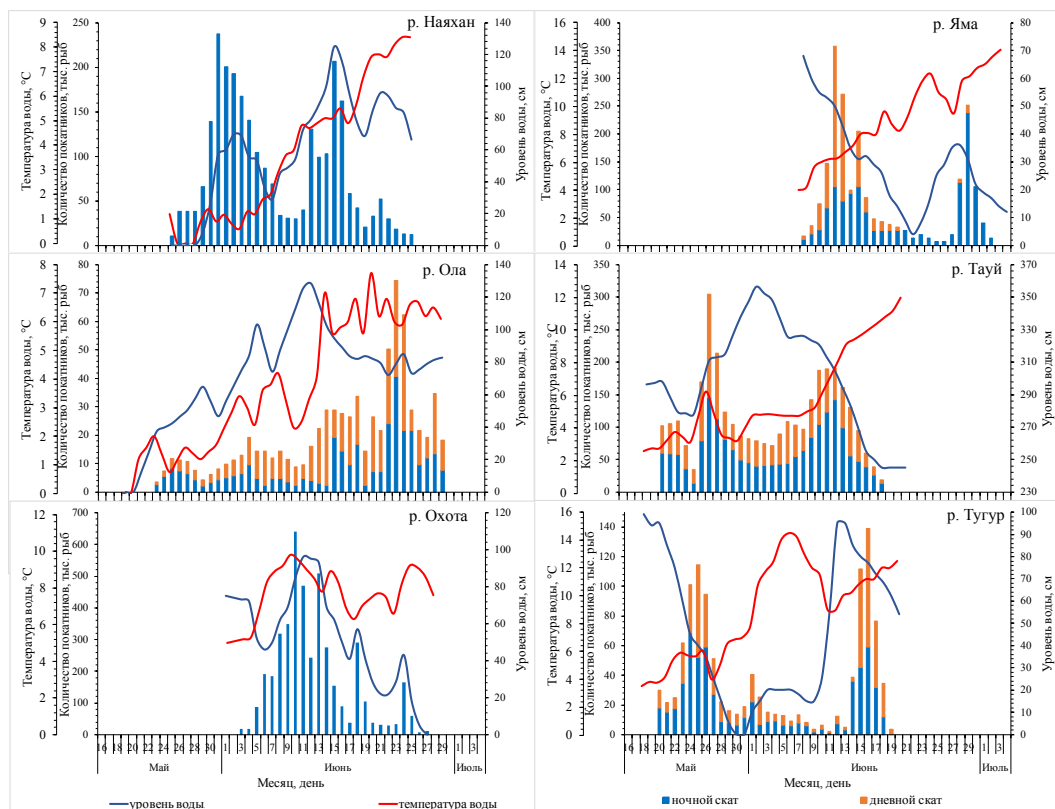


Рис. 2. Динамика покатной миграции молоди кеты, а также уровня и температуры воды в реках материкового побережья Охотского моря (в реках Наяхан и Охота учетные работы проводили только в ночное время)

Fig. 2. Dynamics of the chum juveniles downstream migration and water level and temperature for the rivers of the continental coast of the Okhotsk Sea (the data for the Nayakhan and Okhota Rivers are collected at night only)

Покатная миграция молоди кеты начиналась при прогреве речных вод до 0,4–0,5 °C. Устойчивый характер она приобретала при 2,7–3,3 °C, а массовый выход молоди из рек происходил при 3,9–9,2 °C. Максимальная температура воды, при которой в реках региона была отловлена покатная молодь кеты, равна 16,5 °C.

Массовая покатная миграция молоди кеты из рек материкового побережья Охотского моря совпадала с половодьем. В этот период в море скатывалось до 94 % общего числа покатников. Зачастую пики в динамике миграции были сопряжены с увеличением уровня воды и, соответственно, с возрастанием скорости течения и расхода (рис. 2–4).

Из рек региона молодь кеты скатывалась круглосуточно (см. рис. 2, 3). При этом в одни годы большая часть покатников мигрировала днем, в другие — ночью. В целом за 70-летний период наблюдений доля молоди, скатывавшейся днем, составила 55 %.

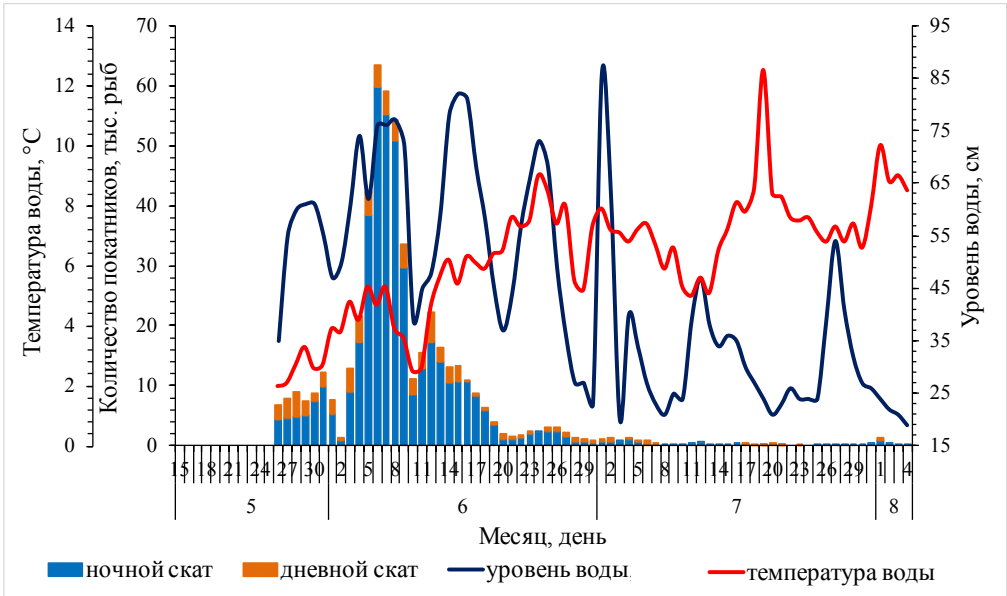


Рис. 3. Динамика покатной миграции молоди кеты, а также уровня и температуры воды в р. Ола в 1963 г.

Fig. 3. Dynamics of the chum juveniles downstream migration and water level and temperature for the Ola River in 1963

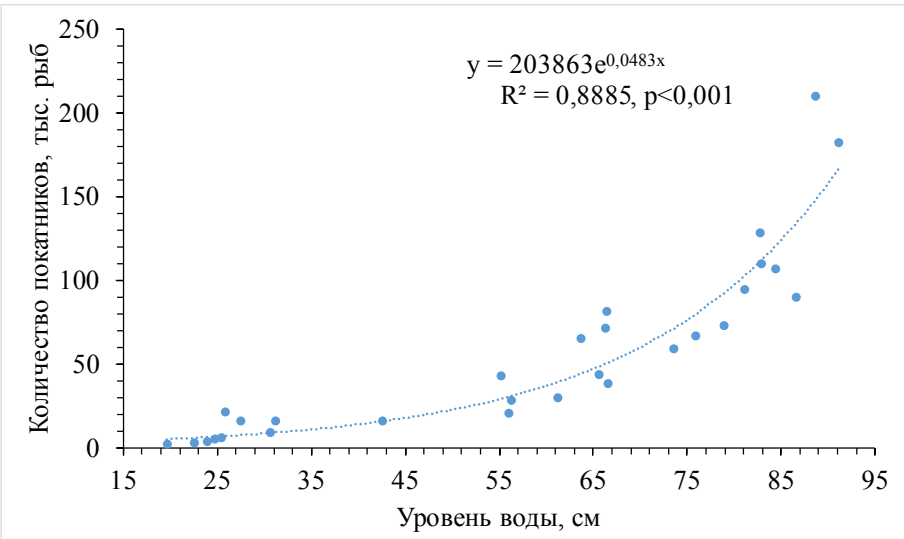


Рис. 4. Зависимость количества покатников кеты, скатившихся за сутки, от уровня воды в реках материкового побережья Охотского моря. Объединенные данные за 1999–2020 гг.

Fig. 4. Daily number of the chum juveniles migrated downstream in dependence on the water level in the rivers of the continental coast of the Okhotsk Sea, by integrated data for 1999–2020

Биологические показатели. Длина и масса тела молоди кеты, мигрировавшей из рек материкового побережья Охотского моря, варьировали в очень широких пределах — от 21 до 72 мм и от 87 до 4857 мг. Средние значения длины тела изменялись от 36,1 до 44,5 мм, а массы — от 348,2 до 753,1 мг. Доля рыб с желточным мешком среди покатников кеты колебалась от 8,2 до 98,0 %, средняя масса желточного мешка — от 2,8 до 22,7 мг, доля рыб, перешедших на внешнее питание, — от 13,0 до 92,0 %. ИНЖ был в пределах 18,72–230,14 ‰ (табл. 1).

Таблица 1

Биологические показатели покатников кеты, мигрировавших из рек материкового побережья Охотского моря (обобщенные данные за 1996–2020 гг.)

Table 1

Biological characteristics of the chum juveniles migrated downstream the rivers on the continental coast of the Okhotsk Sea, by integrated data for 1996–2020

Водоем	Длина по Смиуту, мм	Масса тела, мг	Масса желточного мешка, мг	НЖК, ‰	Доля рыб, %		N, рыб
					С желточным мешком	Питавшихся	
Гижига	$36,12 \pm 0,24$ 32,00–44,00	$405,9 \pm 10,2$ 224,0–830,0	$19,58 \pm 2,56$ 1,00–78,00	–	51,6	74,2	93
Большая Гарманда	$36,74 \pm 0,15$ 21,00–42,70	$384,0 \pm 5,2$ 87,0–767,0	$13,86 \pm 2,98$ 1,80–42,00	60,17	8,2	44,7	208
Наяхан	$36,74 \pm 0,15$ 24,00–50,00	$364,6 \pm 1,5$ 88,0–950,0	$22,71 \pm 0,46$ 0,01–116,00	18,72	58,9	13,7	2860
Яма	$38,67 \pm 0,04$ 28,80–58,00	$427,5 \pm 1,9$ 129,0–4857,0	$9,33 \pm 0,27$ 0,10–96,00	67,26	28,8	19,5	7202
Ола	$37,76 \pm 0,13$ 30,00–58,00	$447,8 \pm 7,9$ 160,0–2010,0	$10,55 \pm 0,87$ 0,10–73,00	43,00	21,2	30,1	906
Яна	$42,92 \pm 0,63$ 36,00–72,00	$738,0 \pm 35,7$ 317,0–2753,0	$2,83 \pm 0,46$ 0,01–15,70	–	38,4	–	138
Тауй	$38,64 \pm 0,05$ 29,00–69,00	$480,9 \pm 2,7$ 119,7–3382,8	$9,03 \pm 0,23$ 0,01–95,00	115,99	26,4	51,8	7288
Моты-клейка	$36,99 \pm 0,07$ 30,00–44,00	$348,2 \pm 3,2$ 165,0–600,0	$5,75 \pm 0,47$ 1,00–70,00	30,13	34,9	32,3	800
Кухтуй	$38,61 \pm 0,20$ 34,00–45,00	$464,7 \pm 9,6$ 310,0–777,0	$10,04 \pm 0,66$ 1,00–30,00	–	98,0	13,0	99
Охота	$44,52 \pm 0,40$ 35,00–59,00	$753,1 \pm 26,0$ 288,0–2056,0	$11,50 \pm 2,88$ 1,00–72,00	115,85	15,0	92,0	187
Тугур	$37,06 \pm 0,10$ 29,00–50,90	$417,3 \pm 4,8$ 139,0–1353,0	–	230,14	–	32,1	1202
Общее	$38,27 \pm 0,03$ 21,00–72,00	$439,4 \pm 1,4$ 87,0–4857,0	$12,41 \pm 0,18$ 0,01–116,00	75,43	30,5	32,2	20983

Примечание. Над чертой — арифметическая средняя и ее ошибка; под чертой — пределы варьирования признака.

На протяжении покатной миграции размеры молоди кеты увеличивались и достигали максимальных значений в июле (рис. 5). Неоднородность размерного состава покатников отражала последовательную миграцию молоди кеты летней и осенней рас. Сроки нереста этих темпоральных группировок разобщены во времени, а температурные условия на нерестилищах кардинально различаются, что приводит к разновременности подъема молоди на плав.

Термический режим нерестилищ кеты летней расы зависит от тепла, поступающего от атмосферы и солнечной радиации. Основное тепло, необходимое для развития, икра и личинки кеты получают в предзимний период, оставшееся — фенологической весной непосредственно перед покатной миграцией. В зимний период на этих акваториях температура воды снижается до положительных значений, близких к 0 °С, что приводит к максимальному замедлению развития икры и личинок. Молодь летней расы кеты поднимается на плав непосредственно перед половодьем и в период его прохождения. Большая часть молоди скатывается в море с мая по начало — середину июня. Эта молодь в речной период жизни практически не питается, характеризуется небольшими размерами тела, а у части покатников сохраняется остаток желточного мешка (рис. 5).

На нерестилищах кеты осенней расы благодаря теплу, поступающему от разгружающихся ключей, температура воды не опускается до положительных значений,

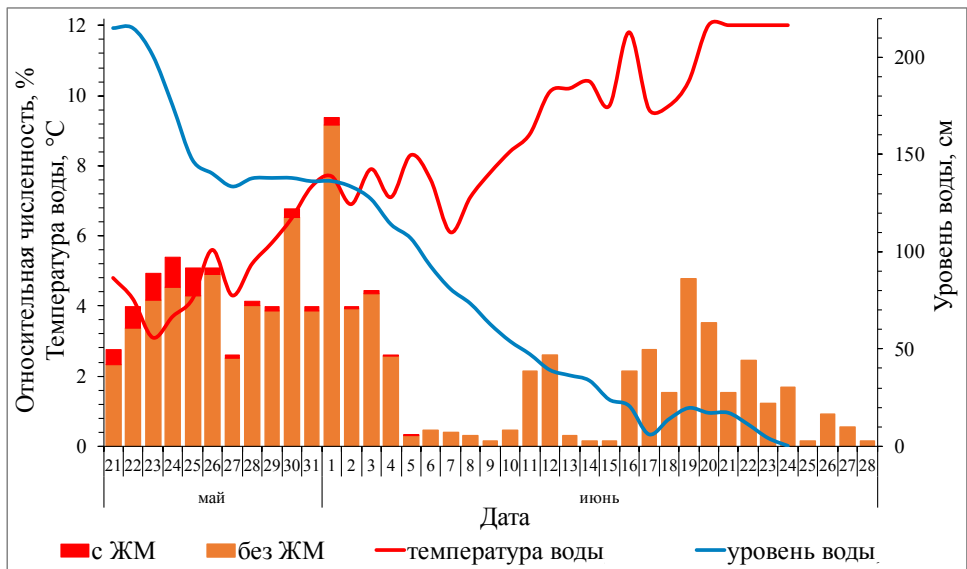


Рис. 5. Динамика покатной миграции кеты, а также уровня и температуры воды р. Тауй в 2002 г. ЖМ — желточный мешок

Fig. 5. Dynamics of the chum juveniles downstream migration and water level and temperature for the Tauy River in 2002. ЖМ — yolk sac

близких к 0 °С. В результате икра и личинки развиваются непрерывно, а молодь поднимается на плав за 1,0–1,5 мес. до половодья. В пресноводный период жизни она активно питается — ее ИНЖ варьирует от 223 до 356 ‰ [Волобуев, Марченко, 2011]. Эта молодь скатывается с нерестилищ главным образом с середины июня (рис. 6), имея значительный прирост длины тела, а у покатников длиной тела более 50 мм еще до выхода в море закладывается чешуя, которая состоит из 1–4 склеритов.

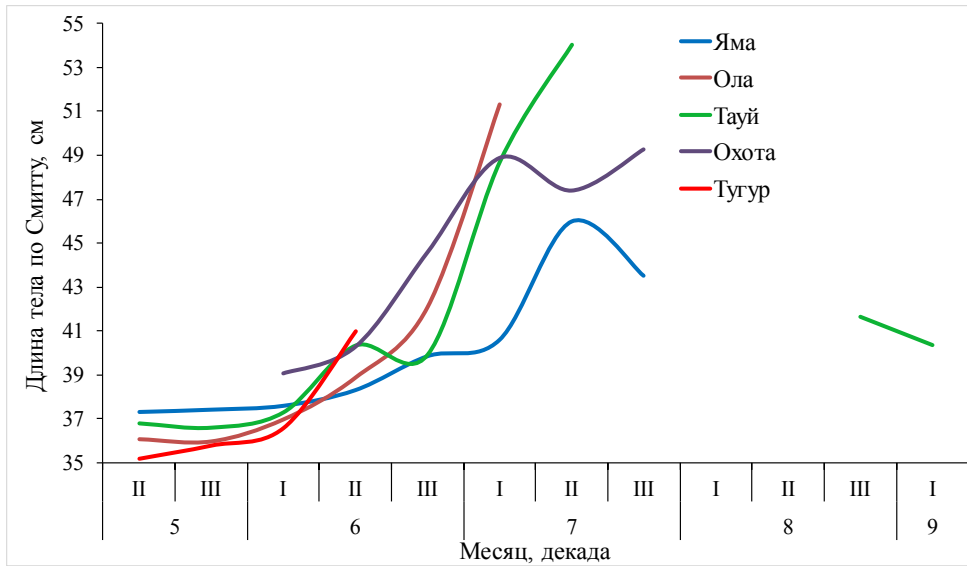


Рис. 6. Динамика средней длины тела покатной молоди кеты материкового побережья Охотского моря. Данные по динамике длины тела молоди кеты р. Тугур приведены по С.Е. Кульбачному [2010]

Fig. 6. Dynamics of mean body length for the chum juveniles migrated downstream the rivers on the continental coast of the Okhotsk Sea (the data for the Tugur River from Kulbachny [2010])

Разновременность покатной миграции мелкой и крупной молоди кеты прослеживалась по динамике вариационных рядов длины тела. Так, например, до начала июня включительно из р. Тауй скатывалась молодь длиной тела до 42 мм. В дальнейшем среди покатников появлялась крупная молодь, и по мере развития покатной миграции вариационные ряды длины тела покатников смещались в область бóльших значений (табл. 2). Аналогичная изменчивость известна для молоди кеты, мигрирующей как из других рек материкового побережья Охотского моря, например, Яма и Охотá (табл. 3, 4), так и из рек Камчатки и Сахалина, а также из р. Амур [Гриценко и др., 1987; Рослый, 2002; Павлов и др., 2010; Шевляков и др., 2014].

Таблица 2

Изменчивость вариационных рядов длины тела молоди кеты р. Тауй
на протяжении покатной миграции, %

Table 2

Variability of body length for chum juveniles along their migration downstream the Tauj River, %

Длина молоди, мм	Год, месяц, пятидневка																
	1997									2002							
	V	VI					VII			V		VI					VIII IX
	6	1	2	3	5	6	1	2	3	5	6	1	2	3	5	6	1
29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,7	—	—	—	—	1,4	—	—
30	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	3,3	—	—	—	—	—	—	—
31	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	3,3	—	—	—	—	—	—	—
32	—	6,3	—	—	—	—	—	—	—	—	3,6	—	—	—	—	0,8	1,8
33	3,0	—	—	—	—	—	—	—	—	11,7	7,3	2,1	—	—	1,4	—	—
34	3,0	—	2,8	—	—	—	—	—	—	13,3	5,5	6,4	—	0,9	—	1,5	3,6
35	6,1	12,5	4,2	—	—	—	—	—	—	16,7	20,0	27,7	—	1,8	—	1,5	3,6
36	10,6	12,5	12,5	—	—	—	—	—	—	31,7	21,9	14,9	40,0	1,8	1,4	—	—
37	24,2	18,6	19,4	—	—	—	—	—	—	15,0	14,5	17,0	—	2,7	1,4	6,1	7,1
38	27,4	12,5	8,3	5,6	—	—	—	—	—	—	9,1	10,6	20,0	1,8	—	6,1	10,7
39	9,1	12,5	15,3	11,1	—	—	—	—	—	3,3	12,7	17,0	—	3,6	—	8,3	5,4
40	7,6	6,3	13,9	—	4,0	—	—	—	—	—	3,6	4,3	20,0	10,8	2,9	26,5	26,7
41	4,5	6,3	8,3	11,1	6,0	—	—	—	—	—	1,8	—	—	9,0	2,9	18,9	12,5
42	1,5	12,5	5,6	22,0	8,0	—	—	—	—	—	—	—	20,0	9,9	—	9,1	7,1
43	—	—	6,9	5,6	12,0	—	—	2,0	—	—	—	—	—	10,8	—	5,3	8,9
44	—	—	1,4	11,1	10,0	4,0	—	4,0	—	—	—	—	—	7,2	8,6	0,8	1,8
45	—	—	1,4	5,6	10,0	6,0	—	2,0	—	—	—	—	—	8,1	8,6	3,0	—
46	—	—	—	11,1	4,0	4,0	—	2,0	—	—	—	—	—	14,5	—	5,3	5,4
47	—	—	—	—	6,0	2,0	2,0	4,0	11,1	—	—	—	—	5,4	11,2	—	—
48	—	—	—	5,6	8,0	6,0	4,0	2,0	11,1	—	—	—	—	3,6	8,6	2,3	1,8
49	—	—	—	5,6	16,0	6,0	8,0	4,0	11,1	—	—	—	—	2,7	8,6	1,5	3,6
50	—	—	—	—	8,0	26,0	6,0	10,0	—	—	—	—	—	3,6	8,6	—	—
51	—	—	—	—	—	12,0	8,0	8,0	—	—	—	—	—	0,9	5,7	1,5	—
52	—	—	—	5,6	4,0	14,0	20,0	14,0	11,1	—	—	—	—	—	8,6	—	—
53	—	—	—	—	2,0	10,0	12,0	14,0	—	—	—	—	—	—	5,7	—	—
54	—	—	—	—	—	6,0	10,0	8,0	—	—	—	—	—	—	5,7	1,5	—
55	—	—	—	—	—	2,0	4,0	6,0	22,3	—	—	—	—	—	2,9	—	—
56	—	—	—	—	2,0	—	6,0	2,0	—	—	—	—	—	—	0,9	—	—
57	—	—	—	—	—	2,0	8,0	2,0	11,1	—	—	—	—	—	—	—	—
58	—	—	—	—	—	—	2,0	6,0	—	—	—	—	—	—	2,9	—	—
59	—	—	—	—	—	—	8,0	4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	—	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
61	—	—	—	—	—	—	—	—	11,1	—	—	—	—	—	2,9	—	—
62	—	—	—	—	—	—	2,0	—	11,1	—	—	—	—	—	—	—	—
63	—	—	—	—	—	—	—	4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Изменчивость вариационных рядов длины тела молоди кеты р. Яма на протяжении покатной миграции, %
Variability of body length for chum juveniles along their migration downstream the Yama River, %

Таблица 3

Table 3

Длина молоди, мм	Год, месяц, пятидневка														2004													
	2003							VII							VI							VII						
	VI							VI							VI							VII						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	
29	1,6	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—
30	7,0	0,7	—	—	—	—		—	—	—	0,8	0,8	—		—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—
31	5,9	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—
32	4,9	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		0,6	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—
33	2,7	1,3	—	—	—	0,8		—	—	—	—	—	—		1,9	2,0	0,8	2,3	0,8	1,5		0,8	—	—	—	—	—	—
34	1,6	4,0	2,0	1,9	2,1	0,8		0,9	—	—	—	—	—		3,8	1,0	1,5	1,5	1,5	0,8		2,3	1,3	—	—	—	—	—
35	13,0	12,7	12,0	3,2	4,2	0,8		4,7	—	—	—	—	—		5,5	8,8	3,0	3,8	6,2	4,6		4,7	4,5	—	—	—	—	20,0
36	13,5	20,0	12,0	15,8	4,2	3,3		5,7	—	—	—	—	—		9,6	18,1	14,0	12,3	14,6	7,7		12,0	11,7	—	—	—	—	—
37	19,0	26,0	23,3	20,2	6,3	6,5		1,9	—	—	—	—	—		17,8	20,0	25,0	17,7	14,6	11,5		9,8	11,4	—	—	—	—	—
38	16,8	19,3	21,3	19,0	14,6	8,9		5,7	—	—	—	—	—		23,3	23,6	22,0	20,8	16,9	16,9		19,4	8,9	—	—	—	—	—
39	10,8	11,3	20,0	15,2	15,3	14,6		4,7	—	—	—	—	—		32,8	16,3	22,0	26,9	19,2	18,6		11,3	10,1	—	—	—	—	—
40	2,7	4,7	8,7	16,5	18,5	9,8		5,7	—	—	—	—	—		6,8	4,4	4,0	6,2	9,2	13,8		10,5	6,2	—	—	—	—	—
41	0,5	—	—	1,9	14,6	19,6		9,4	—	—	—	—	—		1,4	1,9	2,0	4,6	8,5	12,3		8,3	9,3	—	—	—	—	—
42	—	—	—	3,8	13,2	14,6		15,2	—	—	—	—	—		1,4	0,6	2,0	1,5	0,8	6,2		7,5	8,5	—	—	—	—	—
43	—	—	0,7	1,3	4,2	8,1		12,3	—	—	—	—	—		—	—	1,0	1,5	2,3	3,8		6,0	6,2	—	—	—	—	—
44	—	—	—	—	0,7	6,5		9,4	—	—	—	—	—		—	—	—	0,8	1,5	0,8		3,0	7,0	—	—	—	—	—
45	—	—	—	0,6	0,7	3,3		9,4	25,0	1,4	—	—	—		1,4	—	—	0,8	0,8	1,5		2,3	6,2	—	—	—	—	—
46	—	—	—	—	0,7	2,4		6,6	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	3,1	—	—	—	—	—
47	—	—	—	—	0,7	—		4,7	25,0	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	1,6	—	—	—	—	—
48	—	—	—	—	—	—		1,9	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		0,8	2,5	—	—	—	—	—
49	—	—	—	—	—	—		0,9	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		0,8	7,0	—	—	—	—	—
50	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	0,6	—	—	—	—	—
51	—	—	—	—	—	—		0,9	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	2,5	—	—	—	—	—
52	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	0,6	—	—	—	—	—
53	—	—	—	—	—	—		—	25,0	—	—	—	—		—	—	—	—	—	0,8		0,8	0,6	—	—	—	—	—
54	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	0,6	—	—	—	—	—
55	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	0,6	—	—	—	—	—
56	—	—	—	—	—	—		—	25,0	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—

Таблица 4

Изменчивость вариационных рядов длины тела молоди кеты р. Охотá
на протяжении покатной миграции в 1999 г., %

Table 4

Variability of body length for chum juveniles along their migration downstream
the Okhotá River in 1999, %

Длина молоди, мм	Год, месяц, пятидневка				
	VI		VII		
	2	4	2	4	6
35	–	3,6	–	–	–
36	8,0	3,6	–	–	–
37	12,0	7,1	–	–	–
38	20,0	7,1	–	–	–
39	18,0	10,7	–	2,0	–
40	26,0	14,3	4,0	–	–
41	6,0	32,1	–	–	–
42	4,0	10,7	4,0	6,0	–
43	4,0	3,6	4,0	4,0	–
44	2,0	3,6	2,0	8,0	–
45	–	–	6,0	10,0	–
46	–	–	6,0	10,0	37,5
47	–	–	16,0	14,0	–
48	–	3,6	10,0	16,0	–
49	–	–	6,0	2,0	–
50	–	–	8,0	8,0	37,5
51	–	–	12,0	4,0	–
52	–	–	4,0	10,0	12,5
54	–	–	2,0	4,0	12,5
55	–	–	8,0	2,0	–
56	–	–	2,0	–	–
57	–	–	4,0	–	–
59	–	–	2,0	–	–

Мелкие и крупные сеголетки кеты различались миграционным поведением. Первые для достижения нагульных акваторий, расположенных в морском побережье, мигрировали пассивно, используя транспортную силу потока. Они держались в приповерхностном слое в стрежневой части потока, а скорость их миграции была равна скорости течения. По сути эта миграция является универсальным механизмом расселения ранней молоди с нерестилищ к местам ее нагула [Павлов, 1979; Павлов и др., 2007, 2010, 2015].

Крупные сеголетки кеты из рек в морское побережье мигрировали активно. Как правило, они держались в толще воды на периферии потока, и скорость их миграции была существенно ниже скорости речного потока. В случае, если крупная молодь выходила в стрежневой поток, то она мигрировала со скоростью, превышающей скорость течения [Гриценко, 2002; Рослый, 2002; Павлов и др., 2011; Шевляков и др., 2014].

Остается открытым вопрос о том, к какой темпоральной группировке принадлежит молодь кеты, которая скатывается из р. Тауй в конце августа — начале сентября. Так, в 2002 г. закидным неводом была отловлена молодь кеты, которая была крупнее покати́ков кеты летней расы, но мельче молоди осенней расы. Кроме того, среди этих рыб присутствовали особи, имевшие остаточный желточный мешок (табл. 5). Повторно в бассейне р. Тауй молодь, имевшая сходные биологические показатели, была отловлена в конце августа 2003 г. в р. Челомджа на участке, расположенном примерно на 1 км выше слияния с р. Кава. Проба состояла из мальков с длиной тела от 36 до 68 мм и массой

Таблица 5
Table 5

Биологические показатели покатников кеты р. Тауй в 2002 г.
Biological characteristics of the chum salmon juveniles migrated downstream the Tauj River in 2002

Показатель	Месяц, декада					
	Май		Июнь		V	Сентябрь I
	V	VI	I	II		
Длина тела по Смитту, мм	34,98 ± 0,26	36,27 ± 0,20	36,60 ± 0,18	38,40 ± 0,78	48,30 ± 0,69	40,38 ± 0,46
	29,00–39,00	32,00–41,00	33,00–40,00	36,00–42,00	29,00–61,00	32,00–49,00
Масса тела, мг	300,3 ± 8,4	331,8 ± 7,1	356,7 ± 6,5	441,0 ± 27,5	1042,3 ± 47,4	527,6 ± 22,8
	151,0–441,0	174,0–477,0	256,0–516,0	364,0–597,0	151,0–2212,0	269,0–1060,0
Масса желточного мешка, % от массы тела	5,7 ± 1,7	3,2 ± 1,6	2,9 ± 1,9	0,0	0,0	7,3 ± 4,2
Доля рыб с желточным мешком, %	43,3	12,6	10,6	0,0	0,0	7,1
Средний общий индекс наполнения желудков, ‰	157,82	224,18	220,51	380,95	174,97	99,85
Доля питавшихся рыб, %	68,3	82,9	85,1	100,0	90,0	50,0
N, экз.	60	111	94	10	70	56

Примечание. Над чертой — арифметическая средняя и ее ошибка; под чертой — пределы варьирования признака.

от 289 до 2258 мг (соответственно в среднем 44,8 и 691,9 мг). Около четверти покатников имели остаточный желточный мешок, но 97 % из них уже перешли на внешнее питание.

Питание покатной молоди.
Спектр питания покатной молоди кеты в реках был довольно широким (табл. 6). В его состав входили организмы автохтонного и аллохтонного происхождения. Однако доля последних в пищевом коме значительно ниже. Основу питания составляли представители двух отрядов амфибиотических насекомых: Diptera (сем. Chironomidae, Simuliidae) и Ephemeroptera. Кроме того, молодь тауйской кеты активно потребляла представителей отр. Plecoptera, а молодь ямской кеты — представителей отр. Plecoptera. Примечательно, что у покатной молоди кеты в р. Тауй в питании присутствовала молодь голяна *Phoxinus* sp. (табл. 6). По данным С.Е. Кульбачного [2010], у покатной молоди кеты в р. Тугур 27,5 % в питании занимала икра азиатской корюшки (*Osmerus dentex* Steindachner & Kner, 1870).

У покатников кеты значительную долю пищевого кома формировали неидентифицированные остатки. Например, в реках Яма и Тауй доля мальков с неопределенными пищевыми компонентами превышала 90 %, а в реках Наяхан и Ола была на уровне соответственно 30 и 70 %. Кроме того, для молоди кеты рек Наяхан, Яма и Ола было характерно наличие в желудках некормовых объектов — водорослей и песчинок (табл. 6).

В спектр питания молоди кеты входили представители сем. Мерметиды (класс Nematoda, тип Nematelminthes) (табл. 6). На первых этапах развития они паразитируют на насекомых, и при поедании последних молодью мерметиды выступают как дополнительный пищевой объект.

Таблица 6

Спектр питания молоди кеты в реках материкового побережья Охотского моря

Table 6

Food spectrum for chum salmon juveniles in the rivers on the continental coast of the Okhotsk Sea

Компонент питания	Река											
	Наяхан			Яма			Ола			Тауй		
	ЧВ	ЗП	СЧ	ЧВ	ЗП	СЧ	ЧВ	ЗП	СЧ	ЧВ	ЗП	СЧ
<i>Tun Nemathelminthes — Круглые черви</i>												
Класс Nematoda												
Сем. Mermetidae — Мерметиды	0,6	0,54	0,006	1,3	0,4	0,013	2,2	1,0	0,022	—	—	—
<i>Tun Annelida — Кольчатые черви</i>												
Класс Oligochaeta — Малоцетинковые	—	—	—	3,4	1,1	0,034	1,3	0,6	0,013	1,4	0,5	0,007
<i>Tun Mollusca — Моллюски</i>												
Класс Bivalvia — Двустворчатые	—	—	—	0,4	0,1	0,004	—	—	—	—	—	—
<i>Tun Arthropoda — Членистоногие</i>												
Класс Crustacea — Ракообразные	0,4	0,36	0,004	6,0	2,0	0,060	—	—	—	—	—	—
Класс Arachnida — Паукообразные	—	—	—	1,7	0,6	0,017	—	—	—	1,4	0,5	0,007
Класс Insecta — Насекомые												
Отр. Collembola — Ногохвостки	0,6	0,5	0,006	1,3	0,4	0,013	1,7	0,8	0,017	—	—	—
Отр. Ephemeroptera — Поленки	Larvae	17,4	15,9	0,174	83,0	27,4	0,830	37,4	17,9	0,374	50,0	16,1
	Imago	—	—	—	—	—	0,4	0,2	0,004	—	—	—
Отр. Plecoptera — Веснянки	Larvae	3,8	3,4	0,038	22,1	7,4	0,221	10,9	5,2	0,109	31,3	10,1
	Imago	0,4	0,4	0,004	11,5	3,9	0,115	1,7	0,8	0,017	0,7	0,2
Отр. Homoptera — Равнокрылые	0,6	0,5	0,006	0,4	0,1	0,004	0,9	0,4	0,009	1,1	0,3	0,005
Отр. Heteroptera — Клопы	—	—	—	0,4	0,1	0,004	0,9	0,4	0,009	—	—	—
Отр. Coleoptera — Жесткокрылые	0,2	0,2	0,002	0,4	0,1	0,004	0,4	0,2	0,004	0,4	0,1	0,002
Отр. Trichoptera — Ручейники	Pupae	0,2	0,2	0,002	—	—	—	—	—	—	—	—
	Larvae	—	—	—	2,1	0,7	0,021	1,3	0,6	0,013	0,4	0,1
	Imago	0,2	0,2	0,002	—	—	—	0,4	0,2	0,004	1,1	0,3
Отр. Diptera — Двукрылые												
Сем. Chironomidae — Хирономиды	Larvae	22,3	20,4	0,223	36,6	12,2	0,366	36,1	17,3	0,361	51,1	16,5
	Pupae	4,3	4,0	0,043	15,7	5,2	0,157	13,5	6,4	0,135	5,3	1,7
	Imago	—	—	—	1,3	0,4	0,013	1,7	0,8	0,017	1,4	0,5
Сем. Simuliidae — Мошки	Larvae	0,6	0,5	0,006	4,7	1,5	0,047	3,0	1,4	0,030	46,1	14,9
	Pupae	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,4	0,1
	Imago	—	—	—	1,7	0,6	0,017	0,4	0,2	0,004	5,6	1,8
Сем. Ceratopogonidae — Мокрецы	Larvae	—	—	—	1,3	0,4	0,013	—	—	—	3,2	1,0
Сем. Blepharoceridae — Блефароцериды	Larvae	—	—	—	0,9	0,3	—	—	—	—	—	—
Прочие	Larvae	1,8	1,6	0,018	6,8	2,2	0,068	2,6	1,2	0,026	5,3	1,7
	Pupae	0,4	0,4	0,004	0,9	0,3	0,009	0,9	0,4	0,009	6,3	2,0
	Imago	0,2	0,2	0,002	1,3	0,4	0,013	0,9	0,4	0,009	0,7	0,2
<i>Tun Chordata — Хордовые</i>												
Молодь рыб	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	0,2	0,003
<i>Прочие</i>												
Alga — Водоросли	24,1	22,1	0,241	3,8	1,3	0,038	20,0	9,5	0,200	0,4	0,1	0,002
Песчинки	2,0	1,8	0,020	1,7	0,6	0,017	2,6	1,2	0,026	—	—	—
Неидентифицированные остатки	29,4	26,8	0,292	91,9	30,3	0,038	67,8	32,9	0,678	96,5	31,1	0,460

Примечание. ЧВ — частота встречаемости, %; ЗП — значение в пище, % от всего количества; СЧ — среднее количество для одной особи.

Ранний морской период. Массовая миграция молоди кеты фенологической весной из рек в морское побережье совпадала с началом интенсивного цветения микроводорослей, что прослеживалось по динамике концентрации хлорофилла-*a* (рис. 7).

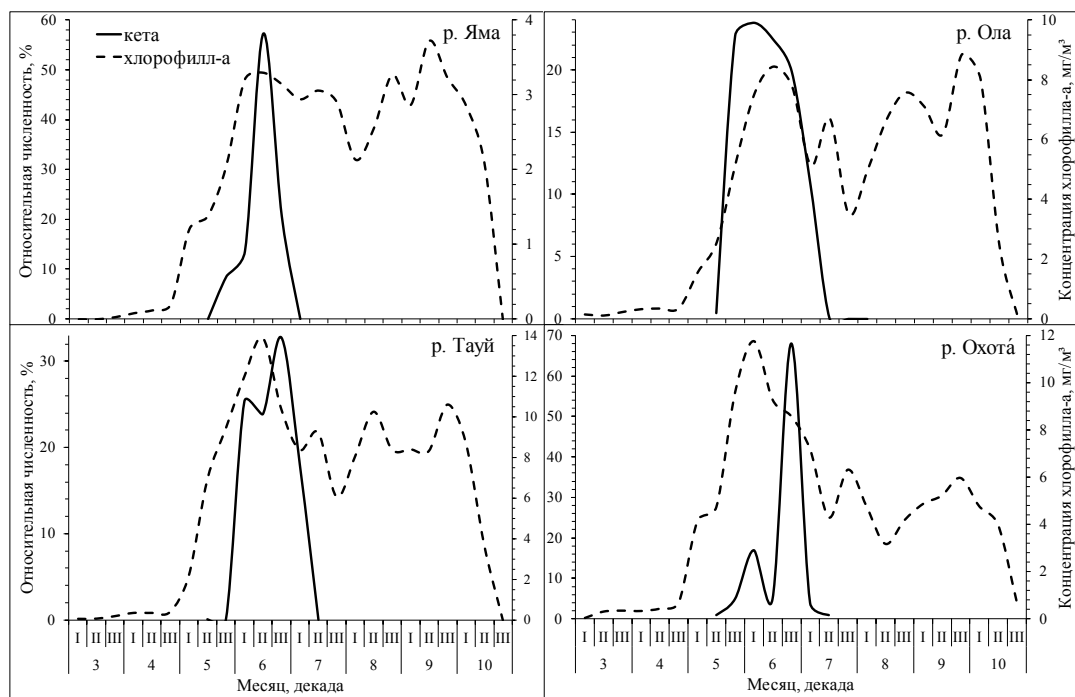


Рис. 7. Осредненные динамики покатной миграции молоди кеты и концентрации хлорофилла-а в приустьевых зонах рек в 2002–2014 гг.

Fig. 7. Averaged dynamics of the chum juveniles downstream migration and concentration of chlorophyll a at the river mouths in 2002–2014

Обильное развитие фитопланктона, как известно, предшествует вспышке развития кормового зоопланктона [Eslinger et al., 2001], от плотности которого напрямую зависит выживаемость молоди всех тихоокеанских лососей в ранний морской период жизни [Willette et al., 2001; Beamish et al., 2004; Moss et al., 2005; Farley et al., 2007].

На выживаемость молоди тихоокеанских лососей влияет не только обилие, но и доступность кормовых объектов, которая, в том числе, определяется размерным составом последних. Это обстоятельство, по-видимому, является одной из причин разновременности миграции в море мелких и крупных сеголеток кеты: для первых — крупные кормовые объекты недоступны, а потребление вторыми мелкоразмерных жертв не компенсирует энергетических затрат на их добычу. Длительное голодание, сопровождающееся потерей 25–30 % массы тела, приводит к гибели молоди [Ивлев, 1955; Федоров, Богданова, 1978].

Молодь кеты обладает высокой толерантностью к водам с морской соленостью [Weisbart, 1968]. В частности, уже через три дня после выхода из рек она отмечена в морском прибрежье, на удалении более 10 км от устья родной реки [Горяинов, Крупянко, 2007].

В охотоморском прибрежье молодь кеты нагуливается до 3 мес. [Афанасьев и др., 1994]. Однако, если принимать во внимание, что из рек материкового побережья Охотского моря она выходит с мая по сентябрь, то длительность нагула в морском прибрежье может достигать 5 мес.

В морском прибрежье Таййской губы молодь кеты отмечена при температуре воды от 1,8 до 18,8 °C, но основные скопления она формировала на акваториях, прогретых до 4–12 °C (рис. 8).

Динамика линейно-весовых показателей молоди кеты в морском прибрежье в приустьевых зонах рек соответствовала изменению ее качественного состава в период покатной миграции (см. табл. 2–4), с учетом роста молоди (табл. 7). В начале июля длина и масса ее тела достигали соответственно 87–110 (средняя — 98,6) мм и 5,5–11,0 (средняя — 7,9) г.

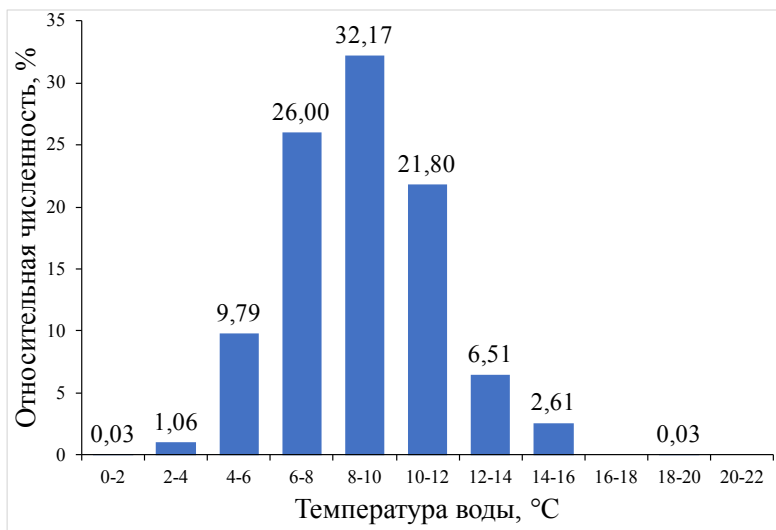


Рис. 8. Распределение нагульной молоди кеты в соответствии с температурным режимом вод морского побережья

Fig. 8. Distribution of feeding chum juveniles relative to temperature regime of the coastal waters

Таблица 7

Изменчивость вариационных рядов длины тела молоди кеты в морском побережье в Тайгской губе, %

Table 7

Variability of body length for chum juveniles in the coastal waters of the Taujskaya Guba Bay, %

Длина молоди, мм	Месяц, пятидневка											
	Май	Июнь						Июль				
	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V
30	—	—	—	—	2,0	—	—	—	—	—	—	—
31	11,1	—	—	—	2,0	—	—	—	—	—	—	—
32	—	—	—	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—
33	—	4,3	—	0,8	—	0,5	—	—	—	—	—	—
34	—	—	0,8	1,6	2,0	0,5	—	—	—	—	—	—
35	22,2	13,0	2,5	1,6	2,0	2,1	—	—	—	—	—	—
36	55,6	8,7	6,3	3,3	—	5,3	—	—	—	—	—	—
37	—	13,0	3,8	6,6	2,0	7,0	0,9	—	—	—	—	—
38	—	8,7	10,0	10,7	8,0	4,3	0,9	—	—	—	—	—
39	—	22,0	7,5	12,3	6,0	6,4	—	—	0,9	—	—	100,0
40	11,1	17,4	11,3	4,9	4,0	5,9	—	—	—	—	—	—
41	—	4,3	7,5	14,0	10,0	5,3	2,6	—	—	—	—	—
42	—	—	11,3	6,6	8,0	8,6	1,7	1,1	0,9	—	—	—
43	—	4,3	10,0	6,6	12,0	8,6	4,3	—	1,8	—	—	—
44	—	4,3	6,3	10,7	14,0	7,5	3,4	—	—	—	—	—
45	—	—	8,8	4,9	10,0	9,1	10,0	—	1,8	2,6	—	—
46	—	—	5,0	1,6	2,0	4,8	9,4	2,2	2,7	—	—	—
47	—	—	1,3	4,9	2,0	6,4	5,1	3,3	3,6	7,9	—	—
48	—	—	2,5	1,6	6,0	4,3	5,1	3,3	2,7	2,6	—	—
49	—	—	2,5	2,5	2,0	3,2	4,3	1,1	2,7	—	—	—
50	—	—	1,3	0,8	2,0	1,6	7,7	3,3	1,8	—	—	—
51	—	—	1,3	0,8	—	2,1	6,8	4,4	6,4	2,6	—	—
52	—	—	—	—	2,0	2,7	0,9	1,1	2,7	—	—	—
53	—	—	—	—	—	1,1	2,6	6,5	9,1	5,3	—	—
54	—	—	—	0,8	—	1,1	1,7	5,5	7,3	5,3	—	—

Окончание табл. 7
Table 7 finished

Длина молоди, мм	Месяц, пятидневка											
	Май	Июнь						Июль				
	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V
55	–	–	–	–	2,0	–	7,7	5,5	2,7	2,6	–	–
56	–	–	–	0,8	–	1,1	3,4	3,3	10,5	–	33,4	–
57	–	–	–	–	–	–	2,6	4,4	4,5	2,6	33,3	–
58	–	–	–	–	–	–	3,4	1,1	0,9	2,6	–	–
59	–	–	–	–	–	–	3,4	2,2	6,4	2,6	–	–
60	–	–	–	0,8	–	–	–	4,4	3,6	7,9	–	–
61	–	–	–	–	–	–	0,9	1,1	0,9	7,9	–	–
62	–	–	–	–	–	0,5	3,4	8,8	3,6	2,6	33,3	–
63	–	–	–	–	–	–	2,6	5,5	2,7	5,3	–	–
64	–	–	–	–	–	–	0,9	5,5	1,8	–	–	–
65	–	–	–	–	–	–	–	4,4	1,8	5,3	–	–
66	–	–	–	–	–	–	1,7	2,2	0,9	–	–	–
67	–	–	–	–	–	–	1,7	3,3	–	2,6	–	–
68	–	–	–	–	–	–	–	3,3	–	2,6	–	–
69	–	–	–	–	–	–	0,9	2,2	–	2,6	–	–
70	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5,5	–	–
71	–	–	–	–	–	–	–	2,2	–	5,3	–	–
72	–	–	–	–	–	–	–	2,2	–	–	–	–
73	–	–	–	–	–	–	–	1,1	–	–	–	–
74	–	–	–	–	–	–	–	2,2	–	–	–	–
75	–	–	–	–	–	–	–	1,1	–	7,9	–	–
76	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,6	–	–
77	–	–	–	–	–	–	–	1,1	–	–	–	–
78	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,6	–	–
79	–	–	–	–	–	–	–	1,1	–	–	–	–
83	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,6	–	–
87	–	–	–	–	–	–	–	–	0,9	–	–	–
93	–	–	–	–	–	–	–	–	0,9	–	–	–
95	–	–	–	–	–	–	–	–	1,8	–	–	–
96	–	–	–	–	–	–	–	–	0,9	–	–	–
97	–	–	–	–	–	–	–	–	1,8	–	–	–
98	–	–	–	–	–	–	–	–	0,9	–	–	–
99	–	–	–	–	–	–	–	–	1,8	–	–	–
100	–	–	–	–	–	–	–	–	2,7	–	–	–
101	–	–	–	–	–	–	–	–	0,9	–	–	–
105	–	–	–	–	–	–	–	–	1,8	–	–	–
110	–	–	–	–	–	–	–	–	0,9	–	–	–

Спектр питания молоди кеты в морском побережье зависел от биотопа, в котором она нагуливалась. В приустьевых зонах рек основу питания молоди кеты составляли личинки, куколки и имаго амфибиотических насекомых (представители отрядов Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera). Небольшую роль в питании играли пауки (Arachnida), клещи (Acarina), коллемболы (Collembola) и наземные насекомые, попавшие в воду и выносимые речным потоком. По мере откочевки в морские воды в питании возрастала доля морских ракообразных. Как правило, основу пищевого кома формировали представители Harpacticoida, Gammaridae, Decapoda, а также личинки рыб (например, мойвы *Mallotus villosus*) [Жарникова, Хаменкова, 2009].

Хищные рыбы, обитающие в морском побережье, не оказывали значительного влияния на выживаемость молоди кеты: из обследованных 1875 желудков рыб молодь кеты обнаружена только у двух особей азиатской корюшки и у одного экземпляра мальмы *Salvelinus malma*.

Выводы

Молодь кеты из рек материкового побережья Охотского моря в морское побережье мигрирует с мая по начало сентября. Массовый скат приурочен к половодью. Молодь выходит из рек и в темное, и в светлое время суток.

Средние значения длины и массы тела покатной молоди кеты изменяются соответственно от 36,1 до 44,5 мм и от 348,2 до 753,1 мг. Доля рыб с желточным мешком среди покатников варьирует от 8,2 до 98,0 %. На внешнее питание в реках переходит от 13,0 до 92,0 % молоди, ее средний ИНЖ варьирует от 18,72 до 115,99 ‰. Основу питания покатной молоди кеты составляют представители отрядов Diptera (сем. Chironomidae) и Ephemeroptera. Второстепенными кормовыми объектами являются представители сем. Simuliidae (отр. Diptera) и отр. Plecoptera. Кроме того, в р. Тауй покатная молодь кеты питается молодью гольяна, а в р. Тугур — икрой азиатской корюшки.

С мая по начало июня из рек региона мигрирует молодь кеты летней расы. Она характеризуется небольшими размерами и наличием у значительной доли особей остаточного желточного мешка. С начала июня среди покатников появляется крупная молодь кеты осенней расы. Мелкие и крупные покатники кеты различаются миграционным поведением: первые мигрируют пассивно, используя транспортную силу речного потока, вторые — активно, перемещаясь между побережьем и стрежневым потоком. В реках крупная молодь кеты интенсивно питается. В настоящее время не установлена принадлежность к определенной темпоральной группировке молоди кеты, мигрирующей из р. Тауй в конце августа — начале сентября.

Разновременный выход мелкой и крупной молоди кеты из рек, по-видимому, связан с доступностью кормовых объектов в морском побережье по размерам.

Динамика линейно-весовых показателей молоди кеты в морском побережье в приустьевой зоне рек соответствует изменчивости качественного состава покатников в реках с учетом их роста. Спектр питания нагульной молоди зависит от биотопа: в приустьевой части рек основу ее питания формируют амфибиотические насекомые, а по мере откочевки в морские воды в питании возрастает доля морских ракообразных. В морском побережье Тауйской губы молодь кеты присутствует до сентября включительно.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор выражает свою искреннюю благодарность сотрудникам Магаданского и Хабаровского филиалов ВНИРО, Охотского филиала Главрыбвода и Охотского территориального управления Росрыболовства, Института биологических проблем Севера ДВО РАН, участвовавшим в сборе материалов по молоди кеты материкового побережья Охотского моря, а также предоставившим данные для настоящей работы.

Автор выражает глубокую признательность С.Е. Кульбачному (ХабаровскНИРО) и Е.А. Кирилловой (КамчатНИРО, ИПЭЭ РАН) за ценные советы и замечания в процессе работы над статьей.

The author is sincerely thankful to the staff of Magadan and Khabarovsk branches of VNIRO, Okhotsk branch of Glavrybvod, Okhotsk Territorial Administration of the Federal Fishery Agency, Institute of Biological Problems of the North, and Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences for collection of the data on chum salmon juveniles on the continental coast of the Okhotsk Sea and the data submission for this study.

The author appreciates valuable advices and remarks for the article from S.E. Kulbachny (KhabarovskNIRO) and E.A. Kirillova (KamchatNIRO, IPEE RAS).

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented.

Список литературы

Афанасьев Н.Н., Михайлов В.И., Кузнецов С.А., Ракитина М.В. Распределение, размерно-весовая характеристика и питание молоди лососевых рыб в прибрежной зоне Тауйской губы Охотского моря // Биологические основы развития лососеводства в Магаданском регионе : сб. науч. тр. — СПб. : ГосНИОРХ, 1994. — Вып. 308. — С. 42–54.

Волобуев В.В., Марченко С.Л. Тихоокеанские лососи континентального побережья Охотского моря (биология, популяционная структура, динамика численности, промысел) : моногр. — Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2011. — 303 с.

Горяинов А.А., Крупянкин Н.Н. Заводское воспроизводство тихоокеанских лососей в Приморском крае (итоги 20-летней деятельности) // Бюл. № 2 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2007. — С. 47–69.

Гриценко О.Ф. Проходные рыбы острова Сахалин (систематика, экология, промысел) : моногр. — М. : ВНИРО, 2002. — 248 с.

Гриценко О.Ф., Ковтун А.А., Косткин В.К. Экология и воспроизводство кеты и горбуши : моногр. — М. : Агропромиздат, 1987. — 166 с.

Жарникова В.Д., Хаменкова Е.В. Питание молоди кеты в Ольском лимане Тауйской губы в весенне-летний период // Состояние рыбохозяйственных исследований в бассейне северной части Охотского моря : сб. науч. тр. — Магадан : МагаданНИРО, 2009. — Вып. 3. — С. 102–115.

Ивлев В.С. Экспериментальная экология питания рыб : моногр. — М. : Пищепромиздат, 1955. — 252 с.

Кульбачный С.Е. Экология и структура популяций кеты северо-западной части континентального побережья Охотского моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ИБМ ДВО РАН, 2010. — 24 с.

Лакин Г.Ф. Биометрия : учеб. пособие. — М. : Высш. шк., 1980. — 292 с.

Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях / отв. ред. Е.В. Боруцкий. — М. : Наука, 1974. — 254 с.

Павлов Д.С. Биологические основы управления поведением рыб в потоке воды : моногр. — М. : Наука, 1979. — 319 с.

Павлов Д.С., Кириллов П.И., Кириллова Е.А., Черешкевич Ф.Г. Покатная миграция молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) в реке Малая Хузи (северо-восток острова Сахалин) // Биология внутренних вод. — 2015. — № 4. — С. 64–75. DOI: 10.7868/S0320965215040129.

Павлов Д.С., Кириллова Е.А., Кириллов П.И. Покатная миграция молоди лососевых рыб в р. Утхолок и ее притоках (северо-западная Камчатка). Сообщение 1. Покатная миграция молоди первого года жизни // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 163. — С. 3–44.

Павлов Д.С., Кириллова Е.А., Кириллов П.И. Покатная миграция молоди лососевых рыб в р. Утхолок и ее притоках (северо-западная Камчатка). Сообщение 2. Покатная миграция молоди второго и последующих лет жизни // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 164. — С. 27–73.

Павлов Д.С., Лупандин А.И., Костин В.В. Механизмы покатной миграции молоди речных рыб : моногр. — М. : Наука, 2007. — 213 с.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. — М. : Пищ. пром-сть, 1966. — 376 с.

Рослый Ю.С. Динамика популяций и воспроизводство тихоокеанских лососей в бассейне Амура : моногр. — Хабаровск : Хабаровск. кн. изд-во, 2002. — 210 с.

Руководство по изучению питания рыб в естественных условиях / отв. ред. Е.Н. Павловский. — М. : АН СССР, 1961. — 263 с.

Таранец А.Я. Исследование нерестилищ кеты и горбуши в р. Иски // Рыб. хоз-во. — 1939. — № 12. — С. 14–18.

Федоров К.Е., Богданова Л.С. Рост и развитие личинок горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) в условиях разных температур и режимов кормления // Вопр. ихтиол. — 1978. — Т. 18, вып. 4. — С. 650–659.

Шевляков Е.А., Хивренко Д.Ю., Базаркин Г.В. Некоторые результаты исследований поклатной молоди тихоокеанских лососей р. Камчатки в современный период (2000–2010 гг.) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2014. — Вып. 32. — С. 35–47.

Beamish R.J., Mahnken C., Neville C.M. Evidence That Reduced Early Marine Growth is Associated with Lower Marine Survival of Coho Salmon // Trans. Am. Fish. Soc. — 2004. — Vol. 133, Iss. 1. — P. 26–33. DOI: 10.1577/T03-028.

Eslinger D.L., Cooney R.T., McRoy C.P. et al. Plankton dynamics: observed and modelled responses to physical conditions in Prince William Sound, Alaska // Fish. Oceanogr. — 2001. — Vol. 10, Iss. s1. — P. 81–96. DOI: 10.1046/j.1054-6006.2001.00036.x.

Farley Jr.E.V., Murphy J.M., Adkison M.D. et al. Early marine growth in relation to marine-stage survival rates for Alaska sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) // Fish. Bull. — 2007. — Vol. 105, Iss. 1. — P. 121–130.

Moss J.H., Beauchamp D.A., Cross A.D. et al. Evidence for Size-Selective Mortality after the First Summer of Ocean Growth by Pink Salmon // Trans. Am. Fish. Soc. — 2005. — Vol. 134, Iss. 5. — P. 1313–1322. DOI: 10.1577/T05-054.1.

Weisbart M. Osmotic and ionic regulation in embryo, alevins and fry of the five species of Pacific salmon // Can. J. Zool. — 1968. — Vol. 46, № 3. — P. 385–397. DOI: 10.1139/z68-056.

Willette T.M., Cooney R.T., Patrick V. et al. Ecological processes influencing mortality of juvenile salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in Prince William Sound, Alaska // Fish. Oceanogr. — 2001. — Vol. 10, Iss. s1. — P. 14–41. DOI: 10.1046/j.1054-6006.2001.00043.x.

References

Afanasiev, N.N., Mikhailov, V.I., Kuznetsov, S.A., and Rakitina, M.V., Distribution, size-weight characteristics and young nutrition of salmon fish, engaged in the protection of the Tauiskaya Bay of the Sea of Okhotsk, in *Biologicheskkiye osnovy razvitiya lososovodstva v Magadanskom regione* (Biological basis for the development of salmon breeding in the Magadan region), St. Petersburg: GosNIORKh, 1994, no. 308, pp. 42–54.

Volobuev, V.V. and Marchenko, S.L., Tikhookeanskiye lososi kontinental'nogo poberezh'ya Okhotskogo morya (biologiya, populyatsionnaya struktura, dinamika chislennosti, promysel) (Pacific Salmon of the Continental Coast of the Okhotsk Sea (Biology, Population Structure, Abundance Dynamics, Fishery)), Magadan: Sev.-Vost. Nauchn. Tsentr Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2011.

Goryainov, A.A. and Krupyanko, N.N., Hatchery reproduction of Pacific salmon in Primorsky Krai (results of 20 years of activity), in *Byull. no. 2 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovoi programmy izucheniya tikhookeanskikh lososei"* (Bull. No. 2 Implementation "Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2007, pp. 47–69.

Gritsenko, O.F., *Prokhodnye ryby ostrova Sakhalin (sistematika, ekologiya, promysel)* (Diadromous Fishes of Sakhalin (Systematics, Ecology, Fisheries)), Moscow: VNIRO, 2002.

Gritsenko, O.F., Kovtun, A.A., and Kostkin, V.K., *Ekologiya i vosпроизводство kety i gorbushi* (Ecology and Reproduction of Chum and Pink Salmon), Moscow: Agropromizdat, 1987.

Zharnikova, V.D. and Khamenkova, E.V., Feeding of juvenile chum salmon in the Ol'sky estuary of the Tauskaya Bay in spring and summer, in *Sostoyaniye rybokhozyaystvennykh issledovaniy v basseine severnoi chasti Okhotskogo morya* (The Status of Fisheries Research in the Northern Sea of Okhotsk), Magadan: MagadanNIRO, 2009, no. 3, pp. 102–115.

Ivlev, V.S., *Eksperimental'naya ekologiya pitaniya ryb* (Experimental ecology of fish nutrition), Moscow: Pishchepromizdat, 1955.

Kulbachny, S.E., Ecology and structure of chum salmon populations in the northwestern part of the continental coast of the Sea of Okhotsk, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Inst. Biol. Morya, Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2010.

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

Metodicheskoye posobiye po izucheniyu pitaniya i pishchevykh otnosheniy ryb v yestestvennykh usloviyakh (Toolkit for the study of nutrition and nutritional relationships of fish in vivo), Borutsky, E.V., ed., Moscow: Nauka, 1974.

Pavlov, D.S., *Biologicheskiye osnovy upravleniya povedeniyem ryb v potoke vody* (Biological bases of fish behavior control in water flow), Moscow: Nauka, 1979.

Pavlov, D.S., Kirillov P.I., Kirillova, E.A., and Chereshevich, F.G., Downstream migration of fry of pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* (Walbaum) in the Malaya Huzi River (northeastern Sakhalin), *Inland Water Biology*, 2015, vol. 8, no. 4, pp. 384–394. doi 10.1134/S1995082915040124

Pavlov, D.S., Kirillova, E.A., and Kirillov, P.I., Downstream migration in the juveniles of salmonids in the Utkholok River and in its tributaries (north-west Kamchatka). Paper 1. Downstream migration in the young of the year, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 163, pp. 3–14.

Pavlov, D.S., Kirillova, E.A., and Kirillov, P.I., Downstream migration in the juveniles of salmonids in the Utkholok River and in its tributaries (north-west Kamchatka). Part 2. Downstream migration in juveniles of the second and subsequent years of life, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 164, pp. 27–73.

Pavlov, D.S., Lupandin, A.I., and Kostin, V.V., *Mekhanizmy pokatnoy migratsii molodi rechnykh ryb* (Mechanisms of downstream migration of juvenile river fish), Moscow: Nauka, 2007.

Pravdin, I.F., *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* (Guide to the Study of Fish), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1966.

Roslyi, Yu.S., *Dinamika populyatsii i vosпроизводство tikhookeanskikh lososei v basseine Amura* (Dynamics of Populations and Reproduction of Pacific Salmon in the Amur River Basin), Khabarovsk: Khabarovskoye Knizhnoye Izd., 2002.

Rukovodstvo po izucheniyu pitaniya ryb v yestestvennykh usloviyakh (Guide to the study of fish nutrition in natural conditions), Pavlovskiy, Ye.N., ed., Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1961.

Taranets, A.Ya., A study of spawning grounds of chum and pink salmon in the Iski River, *Rybn. Khoz.*, 1939, no. 12, pp. 14–18.

Fedorov, K.E. and Bogdanova, L.S., Growth and development of larvae of pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* (Walbaum) under conditions of different temperatures and feeding regimes, *Vopr. Ikhtiol.*, 1978, vol. 18, no. 4, pp. 650–659.

Shevlyakov, E.A., Khivrenko, D.Yu., and Bazarkin, G.V., Some results of studies of downstream juveniles of the Pacific salmon of the river Kamchatka in the modern period (2000–2010), *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2014, vol. 32, pp. 35–47.

Beamish, R.J., Mahnken, C., and Neville, C.M., Evidence That Reduced Early Marine Growth is Associated with Lower Marine Survival of Coho Salmon, *Trans. Am. Fish. Soc.*, 2004, vol. 133, no. 1, pp. 26–33. doi10.1577/T03-028

Eslinger, D.L., Cooney, R.T., McRoy, C.P., Ward, A., Kline Jr., Th.C., Simpson, E.P., Wang, J., and Allen, J.R., Plankton dynamics: observed and modelled responses to physical conditions in Prince William Sound, Alaska, *Fish. Oceanogr.*, 2001, vol. 10, no. s1, pp. 81–96. doi 10.1046/j.1054-6006.2001.00036.x

Farley Jr., E.V., Murphy, J.M., Adkison, M.D., Eisner, L.B., Helle, J.H., Moss, J.H., and Nielsen, J., Early marine growth in relation to marine-stage survival rates for Alaska sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*), *Fish. Bull.*, 2007, vol. 105, no. 1, pp. 121–130.

Moss, J.H., Beauchamp, D.A., Cross, A.D., Myers, K., Farley Jr., E.V., Murphy, J.M., and Helle, J.H., Evidence for Size-Selective Mortality after the First Summer of Ocean Growth by Pink Salmon, *Trans. Am. Fish. Soc.*, 2005, vol. 134, no. 5, pp. 1313–1322. doi 10.1577/T05-054.1

Weisbart, M., Osmotic and ionic regulation in embryo, alevins and fry of the five species of Pacific salmon, *Can. J. Zool.*, 1968, vol. 46, no. 3, pp. 385–397. doi 10.1139/z68-056

Willette, T.M., Cooney, R.T., Patrick, V., Mason, D.M., Thomas, G.L., and Scheel, D., Ecological processes influencing mortality of juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbusha*) in Prince William Sound, Alaska, *Fish. Oceanogr.*, 2001, vol. 10, no. s1, pp. 14–41. doi 10.1046/j.1054-6006.2001.00043.x

Поступила в редакцию 18.07.2022 г.

После доработки 10.08.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 18.07.2022; approved after reviewing 10.08.2022;
accepted for publication 21.11.2022

Научная статья

УДК [639.2.081.7:597.555.5]/(265.51)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-793-809

EDN: IIAZEX



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ОБИЛИЕ МИНТАЯ *THERAGRA CHALCOGRAMMA*
В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ
ПЕРИОД 2020 Г. И ИХ МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

В.И. Поляничко, М.Ю. Кузнецов*

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

Аннотация. На основе данных эхоинтеграционной тралово-акустической съемки рассматриваются особенности пространственного распределения и обилия минтая в северо-западной части Берингова моря в летне-осенний период 2020 г. Карты горизонтального и вертикального распределения скоплений иллюстрируют предпочтительность обитания минтая в районах шельфа с положительной или близкой к нулю температурой вод и усиление концентрации рыб в градиентных зонах. Наиболее плотные агрегации минтая (более 300 тыс. экз./миля²) были сосредоточены в восточной части Анадырского залива и вблизи разделительной линии России и США. Представлены характерные акустические изображения и суточное распределение минтая на галсах съемки. Выявлены особенности пространственной и батиметрической дифференциации различных размерных групп минтая на обследованной акватории. Более 83 % численности минтая было учтено в диапазоне глубин дна 50–150 м. В наиболее заселенном интервале глубин дна 75–125 м в скоплениях преобладал неполовозрелый минтай 21–37 см. Приводится динамика размерного состава и обилия минтая в северо-западной части Берингова моря по данным тралово-акустических съемок в 2013–2020 гг. Межгодовые колебания численности и распространения минтая на северо-западный шельф Берингова моря сопоставляются с термическими условиями. Подтверждена связь между обилием минтая и аномалиями придонной температуры (коэффициент корреляции 0,69). В благоприятные по термическому режиму вод годы биомасса и площадь распространения рыб из юго-восточной части моря заметно выше, чем в холодные периоды.

Ключевые слова: тралово-акустическая съемка, Берингово море, анадырско-наваринский район, минтай, распределение, миграции, плотность скопления, обилие, термические условия, аномалии

Для цитирования: Поляничко В.И., Кузнецов М.Ю. Распределение и обилие минтая *Theragra chalcogramma* в северо-западной части Берингова моря в летне-осенний период 2020 г. и их межгодовая изменчивость // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 793–809. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-793-809. EDN: IIAZEX.

* Поляничко Владимир Ильич, заведующий сектором, vladimir.polyanichko@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-8813-3494; Кузнецов Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, mikhael.kuznetsov@tinro-center.ru, ORCID 0000-0001-6917-9959.

© Поляничко В.И., Кузнецов М.Ю., 2022

Distribution and abundance of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the northwestern Bering Sea in the summer-fall period of 2020 and their interannual variability

Vladimir I. Polyanychko*, Mikhail Yu. Kuznetsov**

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

* head of sector, vladimir.polyanychko@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-8813-3494

** Ph.D., head of laboratory, mikhail.kuznetsov@tinro-center.ru, ORCID 0000-0001-6917-9959

Abstract. Spatial distribution and abundance of walleye pollock are considered for the northwestern Bering Sea in the summer-fall of 2020 on the data of echo-integration trawl-acoustic survey. The pollock aggregated mostly in the shelf areas with positive or close to zero water temperature, with the higher concentration in the high-gradient zones. The densest aggregations ($> 300 \cdot 10^3$ pcs./nmi²) were found in the eastern part of the Gulf of Anadyr and at the line between the economic zones of Russia and USA. Characteristic acoustic images and daily distribution of walleye pollock on the survey transects are presented. Spatial and bathymetric differentiation of certain size groups of pollock are revealed. More than 83 % of the fish were counted in the areas with bottom depth of 50–150 m. Immature walleye pollock with the size of 21–37 cm accumulated mainly in the areas with bottom depth of 75–125 m. Interannual dynamics of the size composition and abundance of walleye pollock in the northwestern Bering Sea is considered on the data of trawl-acoustic surveys in 2013–2020. The fluctuations of abundance and distribution are compared with changes of thermal conditions. Significant dependence of the pollock abundance on the mean anomaly of bottom temperature is confirmed (correlation coefficient +0.69): the species biomass was noticeably higher and its distribution was wider in the years with favorable (relatively warm) thermal regime than in cold periods.

Keywords: trawl-acoustic survey, Bering Sea, Cape Navarin area, walleye pollock, fish distribution, migration, aggregation density, fish abundance, thermal conditions, water temperature anomaly

For citation: Polyanychko V.I., Kuznetsov M.Yu. Distribution and abundance of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the northwestern Bering Sea in the summer-fall period of 2020 and their interannual variability, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 793–809. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-793-809. EDN: IIAZEX.

Введение

В Беринговом море существуют две крупные пространственно изолированные популяционные группировки минтая — западно- и восточноберингоморская. Причем биомасса последней обычно на порядок выше первой [Шунтов и др., 1993]. В летне-осенний период часть минтая восточноберингоморской популяции мигрирует на шельф северо-западной части Берингова моря. На наваринском шельфе и прилегающей акватории Анадырского залива, богатых в этот период кормовыми ресурсами, формируются смешанные нагульные скопления минтая, состоящие из особей местного происхождения и мигрантов из зоны США. Направленность миграционных потоков и масштаб распространения минтая из восточной части Берингова моря ежегодно меняются в зависимости от океанологических и гидробиологических условий в разных районах моря, а также соотношения численности поколений и общей численности популяции [Степаненко, 1997, 2001; Борец и др., 2002; Кузнецов и др., 2006].

Наваринский район Берингова моря является вторым по значимости районом специализированного отечественного промысла минтая, вылов в котором составляет около 65 % всего минтая, добываемого в Беринговом море [Грицай, 2006]. Неоднократно была отмечена прямая зависимость между масштабом распространения минтая на наваринский шельф и в Анадырский залив в летне-осенний период и изменением океанологических условий, в первую очередь температуры вод [Степаненко, 1997; Глубоков, 2003; Кузнецов и др., 2004а, 2006, 2013; Степаненко, Николаев, 2004]. В

периоды похолоданий наблюдается падение биомассы минтая в северо-западной части Берингова моря, а ее рост — в теплые годы [Глубоков, Норвилло, 2002]. Вероятно, температура служит одним из основных факторов, влияющих на темп роста минтая, и можно утверждать о прямой зависимости длины рыб от температуры [Кузнецов и др., 2004б; Грицай, 2006].

Начиная с 1996 г. ТИНРО проводит тралово-акустические съемки (ТАС) водных биоресурсов в северо-западной части Берингова моря с использованием прецизионных научных эхолотов SIMRAD EK-60(500). Помимо этого, в ходе комплексных экспедиций в Берингово море все другие траловые съемки (донные и пелагические) также сопровождаются непрерывной регистрацией акустических данных с использованием той же аппаратуры и программных средств. Целью таких работ является исследование характеристик пространственного распределения (горизонтального, вертикального, батиметрического) численности и биомассы нагульного минтая и других массовых промысловых объектов в анадырско-наваринском районе Берингова моря, их сезонной и межгодовой динамики гидроакустическим эхоинтеграционным методом [Кузнецов, 2013].

В статье представлены материалы, полученные в ходе ТАС в северо-западной части Берингова моря в 2020 г. Помимо оценок 2020 г., приводятся данные о межгодовой изменчивости распространения и обилия минтая за ряд предшествующих лет, начиная с 2013 г. Анализ этих данных является продолжением серии более ранних статей [Кузнецов и др., 2002, 2006, 2013].

Материалы и методы

В качестве гидроакустической измерительной системы применялся научный эхолот SIMRAD EK-60 с прецизионными характеристиками, использующий метод расщепленного луча для оценки сил целей и эхоинтегратор для оценки плотности скоплений. Эхолот содержит вертикально направленные антенны-вибраторы частотой 38 и 120 кГц, размещенные под килем судна, и GPT приемопередатчики, которые генерируют и принимают отраженный сигнал, а также осуществляют оцифровку сигнала [Кузнецов, 2013]. Работой GPT управляет процессорный блок с размещенными на нем программами накопления гидроакустических данных и связи с внешними вычислительными устройствами. Навигационное сопровождение акустического комплекса осуществлялось с использованием системы спутникового позиционирования GPS.

Перед выходом судов в рейс в зал. Петра Великого выполнялась калибровка акустического комплекса по технологии стандартной сферы*. Сбор и накопление гидроакустических данных производились в формате «сырых» данных (RAW-формат) с пространственным разрешением 18 см на частотах 38 и 120 кГц с использованием программы SIMRAD ER-60.

Для визуализации эхограмм и многовидовой обработки накопленных акустических данных использовался программный комплекс «SALTSE» [Кузнецов и др., 2021]. Типовая структура выходных данных «SALTSE» представляет результаты обработки фрагментов акустических изображений по элементам сетки с задаваемым размером отдельного элемента сетки 0,5 мили по дистанции и 1 м по глубине в пределах, выделенных для обработки слоев. Полученные данные (плотности агрегаций, численности, биомассы, распределения биомассы и численности по размерным рядам и по глубине и др.) совместно с навигационным сопровождением сохранялись в виде файлов со структурой данных, доступной для последующей обработки в программах для работы с электронными таблицами (Microsoft Excel и т.п.) и геоинформационными системами (Q-Gis и т.п.).

* Operator manual for Simrad ER60 Scientific Echo Sounder application. Horten, Norway, 2004. 172 p.

Для количественной оценки численности и биомассы минтая использовалась частота 38 кГц. В расчетах численности использовалась зависимость силы цели (TS) от длины рыб (L) на частоте 38 кГц: $TS = 20\log(L) - 66$ [Трайнор, 1996].

Эхоинтеграционная ТАС проводилась на НИС «ТИНРО» в период с 19 по 23 августа и с 7 по 15 сентября 2020 г., при этом время на акустических галсах составило 9 сут. Во время ТАС был исследован район в северо-западной части Берингова моря в ИЭЗ России за пределами 12-мильной территориальной зоны восточнее 174° в.д. до $173^\circ 20'$ з.д., включая Анадырский залив до $64^\circ 15'$ с.ш. (рис. 1). Сетка галсов съемки, как и в предыдущие годы, была параллельной и совмещена с аналогичной сеткой галсов, используемой Аляскинским центром рыбохозяйственных исследований (NOAA) при проведении эхоинтеграционных съемок в юго-восточной части моря. Площадь района съемки, где были зарегистрированы эхозаписи рыб и на которой производилась эхоинтеграционная обработка акустических данных, составила 23831 миль².

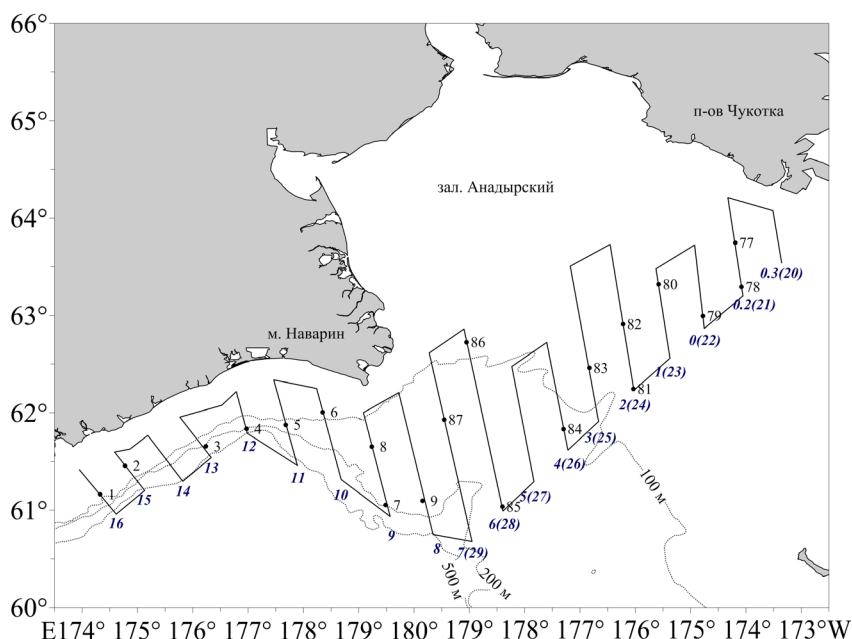


Рис. 1. Схема акустических галсов и местоположение контрольных тралений в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г. (в скобках указаны номера галсов в зоне США)

Fig. 1. Scheme of acoustic transects and trawl stations in the northwestern Bering Sea in August-September, 2020 (numbers of transects in the US economic zone are in brackets)

Идентификация объектов, регистрируемых на галсах съемки, производилась в ходе контрольных пелагических тралений. Местоположение тралений определялось необходимостью контроля видового и размерного состава объектов в местах смены характера акустических изображений скоплений. Работы выполнялись разноглубинным канатным тралом РТ/ТМ 80/396 м. Контроль параметров трала осуществлялся с помощью прибора SIMRAD FS70. Продолжительность «стандартного» траления в слое эхозаписи — 30 мин. По результатам промеров формировались размерно-частотные ряды, характеризующие размерный состав гидробионтов в уловах. Эти данные использовались при последующей стратификации района съемки и в расчетах оценок численности и биомассы рыб [Кузнецов, 2013].

Карты пространственного и вертикального распределения минтая строились с помощью геоинформационной системы «Golden Software Surfer 14». При построении карт вертикально-батиметрического распределения температуры вод в районе съемки привлекались данные гидрологических CTD-станций. Для анализа межгодовой изменчивости аномалий температуры воды в северо-западной части моря использовались данные

летних и осенних рейсов за период 1994–2020 гг. с приведением среднесезонных значений к дате измерений. Расчеты аномалий проводились послойно на стандартных горизонтах с осреднением значений по выбранному полигону [Кузнецов и др., 2013].

Для анализа межгодовой изменчивости распределения и обилия минтая использовались материалы гидроакустических эхоинтеграционных измерений и результатов ТАС в северо-западной части Берингова моря с 1997 по 2012 г. [Кузнецов и др., 2013] и в 2013–2020 гг.

Результаты и их обсуждение

Пространственное распределение и обилие минтая в северо-западной части Берингова моря (ИЭЗ России) в 2020 г.

Скопления минтая различной структуры и плотности располагались как в верхней, так и в нижней частях зондируемой водной толщи. Характерные акустические изображения минтая представлены на рис. 2. В восточной части обследованной акватории минтай образовывал протяженные скопления высокой плотности в приповерхностном слое 15–30 м и в придонных горизонтах (рис. 2, А). В центральной части Анадырского залива (галсы 1–4), где водная масса имела двухслойную структуру, на эхограммах одновременно фиксировались плотные скопления в теплом приповерхностном слое 20–40 м (сеголетки и молодь минтая) и ниже термоклина (преимущественно половозрелый минтай) (рис. 2, Б). В наваринском районе и на коряжском шельфе, где наблюдались минимальные градиенты температур, минтай был распределен преимущественно в нижней части пелагиали и в придонном слое (рис. 2, В).

Активных вертикальных миграций минтая в зависимости от времени суток не наблюдалось. Изменялась лишь структура скоплений. В темное время суток скопления регистрировались в виде разреженных дисперсных слоев. В светлое — минтай фиксировался на эхограммах преимущественно в виде косяков различной структуры и плотности с вертикальным развитием до 20 м.

Вертикальное и батиметрическое распределение скоплений минтая разных размерных групп определялось, как и в прежние годы, термической структурой вод, в частности наличием термоклина на внутреннем и среднем шельфе и его сезонным размывом в водах внешнего шельфа с глубинами более 100 м. Как видно на рис. 3, абсолютное большинство рыб в северо-западной части Берингова моря в нагульный период зарегистрировано в районах с положительной или близкой к 0 °С температурой.

Скопления вблизи поверхности, образованные в основном сеголетками и молодь минтая, обитали в теплых водах 2–6 °С выше термоклина и в слое термоклина. Скопления минтая в нижней части пелагиали и в придонном слое различной структуры и вертикальной протяженности, образованные в основном среднеразмерными рыбами и половозрелыми особями, предпочитали для обитания низкие положительные температуры. При этом усиление концентрации рыб наблюдалось в градиентных зонах на периферии холодных и теплых вод, где обычно высока плотность кормового зоопланктона.

Небольшая часть минтая, преимущественно крупные особи, фиксировалась в области с отрицательной температурой (рис. 3, галс № 2). Это подтверждает эвритермность минтая и его способность перемещаться в более холодные водные массы, где может продолжаться питание [Шунтов и др., 1993].

Скопления разноразмерного минтая, обитающего в нижней части пелагиали, держались за границами вод с изотермой 0 °С. Придонные агрегации, образованные в основном половозрелыми рыбами, распространялись на северный шельф дальше пелагических скоплений, но все же избегали вод ниже –0,5 °С.

Пространственное распределение минтая на акватории съемки представлено на рис. 4. В период ТАС наиболее плотные агрегации минтая (более 300 тыс. экз./миля²) располагались в восточной части Анадырского залива на галсах 0.2(21)–2(24) (изобаты 70–80 м) и вблизи разделительной линии РФ–США, между 175°30′–177°45′ з.д.

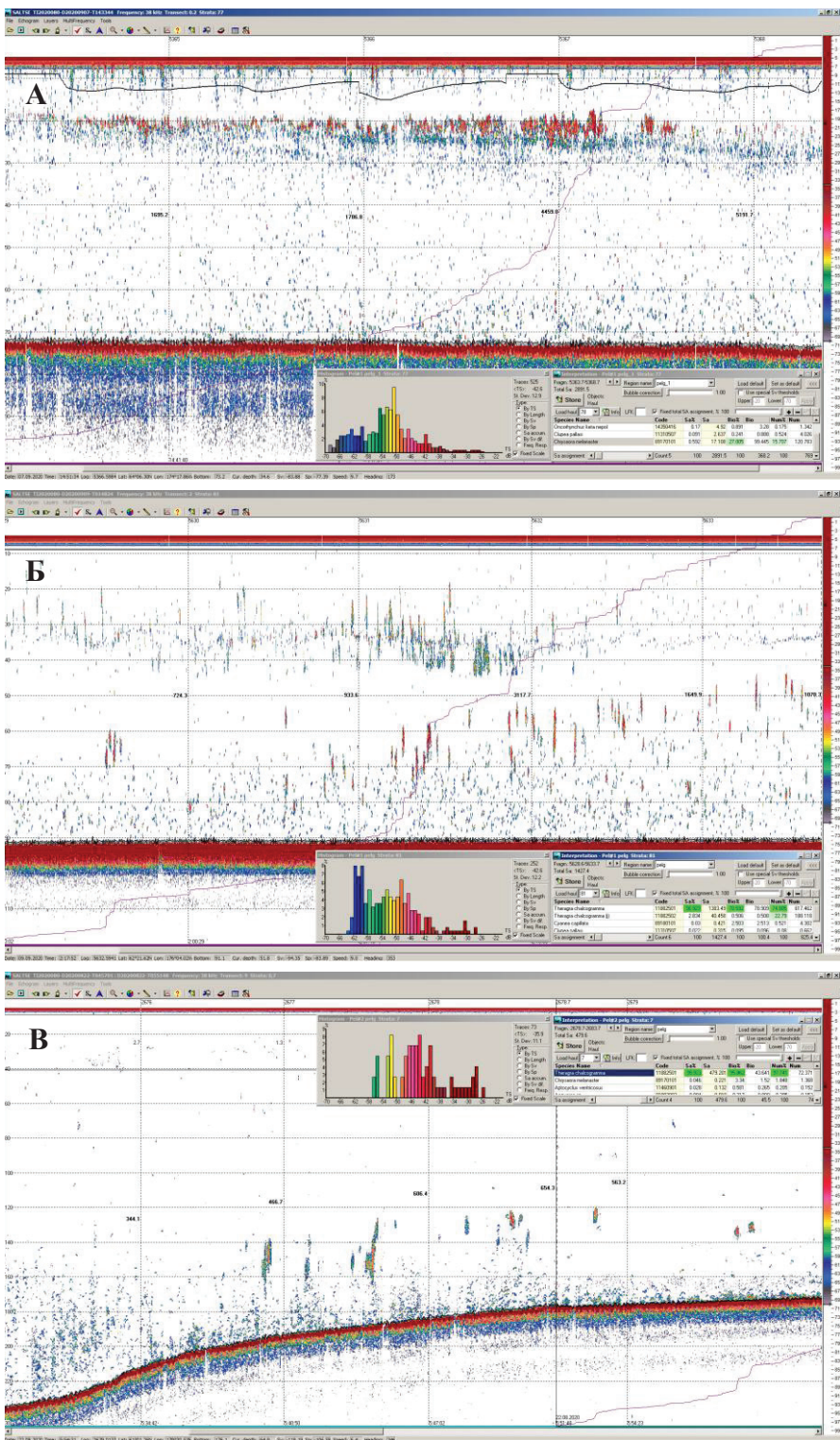


Рис. 2. Акустические изображения скоплений минтая северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г.: **А** — галс № 0.2, ночь; **Б** — галс № 2, день; **В** — галс № 8, день

Fig. 2. Acoustic images of walleye pollock aggregations in the northwestern Bering Sea in August-September, 2020: **A** — transect № 0.2, nighttime; **B** — transect № 2, daytime; **B** — transect № 8, daytime

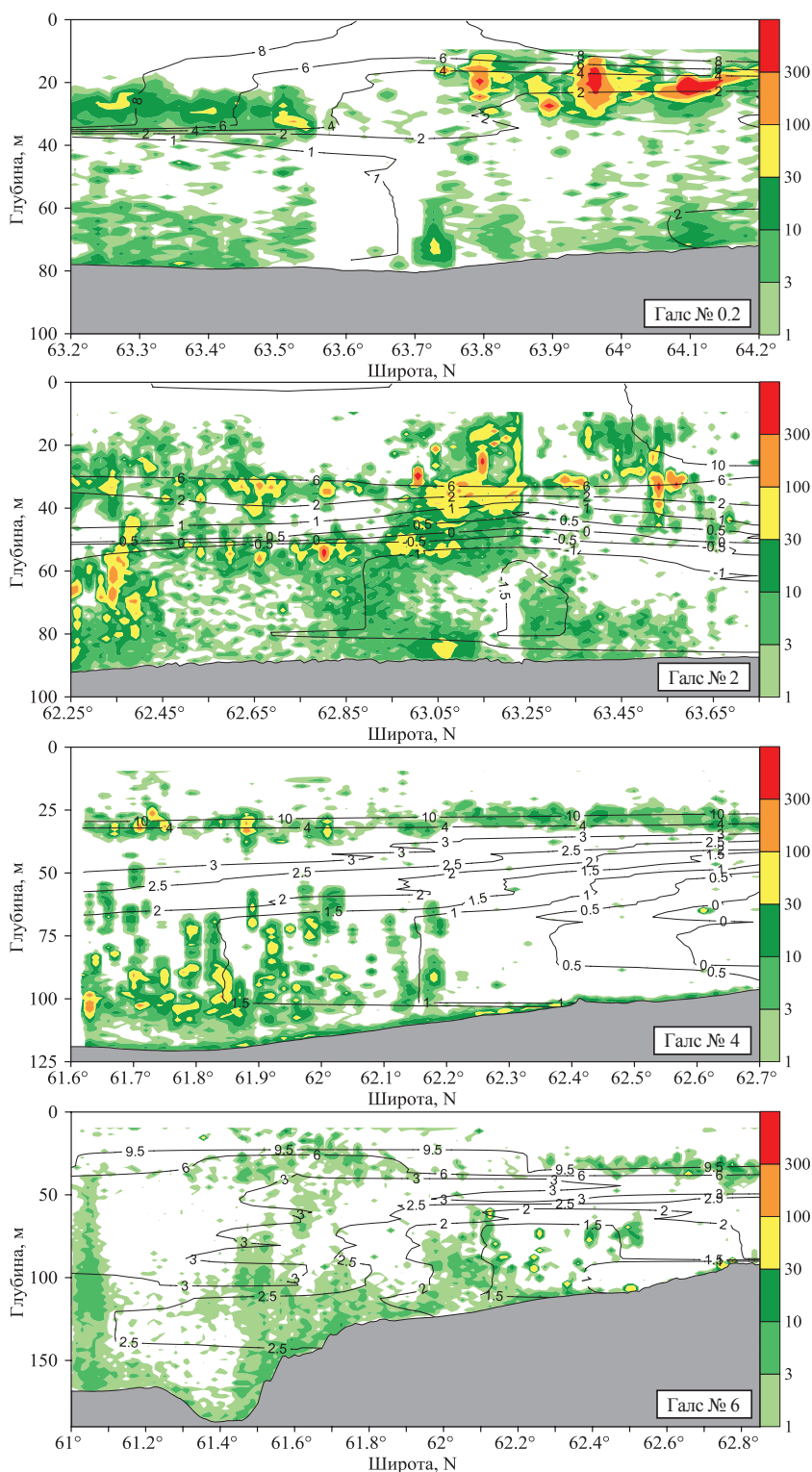


Рис. 3. Вертикальное распределение плотности скопления минтая в единицах s_A ($\text{м}^2/\text{миля}^2$) и температуры вод ($^{\circ}\text{C}$) вдоль галсов съемки в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г.

Fig. 3. Vertical distribution of walleye pollock density in the units of s_A (m^2/nmi^2) (scattering coefficient) and water temperature ($^{\circ}\text{C}$) along transects in the northwestern Bering Sea in August-September, 2020

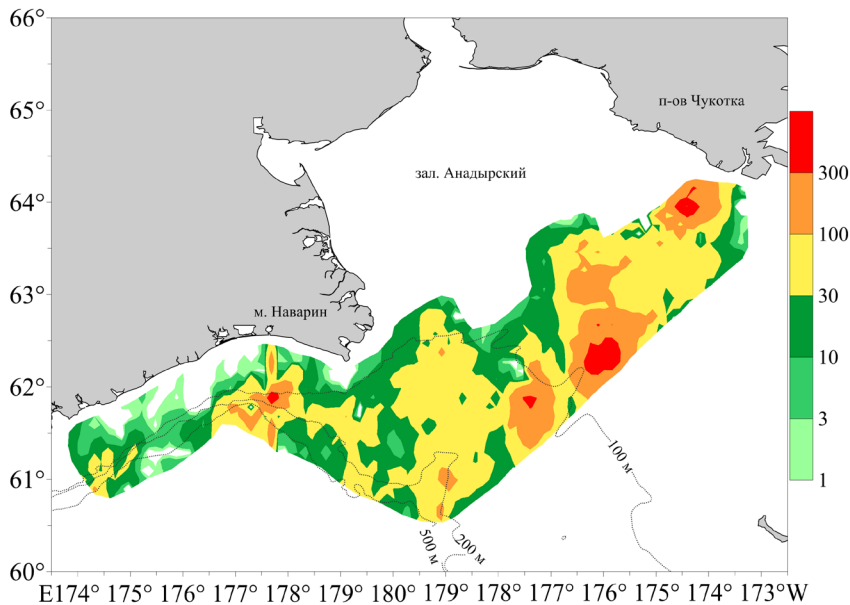


Рис. 4. Пространственное распределение минтая (тыс. экз./миля²) в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г.

Fig. 4. Spatial distribution of walleye pollock ($\times 10^3$ pcs./nmi²) in the northwestern Bering Sea in August-September, 2020

(глубина дна 85–110 м). Здесь было учтено 62 % численности и 71 % от общей биомассы. Высокие концентрации минтая также отмечались на корякском шельфе к юго-западу от мыса Наварин между 177°33'–177°50' в.д.

Гидроакустические оценки численности и биомассы минтая на обследованной акватории составили соответственно 1610 млн экз. и 426 тыс. т. Минтай был представлен экземплярами длиной от 6 до 66 см (рис. 5). В размерном ряду можно выделить пять групп: 6–12 см, 13–20, 21–37, 38–52, > 52 см (табл. 1). Самую многочисленную размерную группу составлял минтай длиной 21–37 см — 50,3 % общей оценки численности. На долю размерной группы 38–52 см приходилось 28,2 % численности. Молодь минтая размером 13–20 см составляла 7,0 %, а сеголетки — 13,1 % суммарной численности.

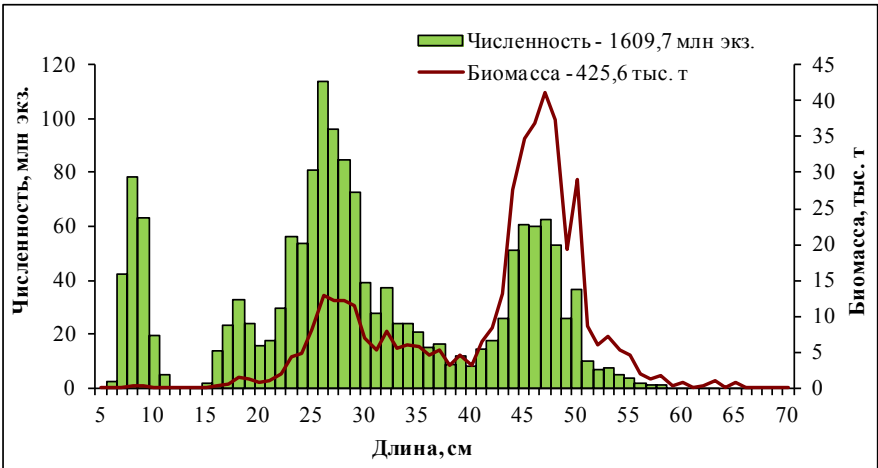


Рис. 5. Размерный состав минтая по данным ТАС в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г.

Fig. 5. Size composition of walleye pollock in the northwestern Bering Sea in August-September, 2020 (data of trawl-acoustic survey)

Таблица 1

Численность и биомасса минтая по районам исследований по данным ТАС
в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г.

Table 1

Number and biomass of walleye pollock in the northwestern Bering Sea
in August-September of 2020, by areas (data of trawl-acoustic survey)

Размер, см	Численность							
	Западно-Берингоморская зона				Чукотская зона		Сумма	
	К западу от 176° в.д.		К востоку от 176° в.д.		К востоку от 175° з.д.			
	Млн экз.	%	Млн экз.	%	Млн экз.	%	Млн экз.	%
6–12	12,9	34,1	120,0	9,2	78,0	29,4	210,9	13,1
13–20	7,8	20,5	104,9	8,0	0	0	112,6	7,0
21–37	8,0	21,2	791,4	60,6	9,5	3,6	808,9	50,3
38–52	5,1	13,6	277,1	21,2	172,0	64,8	454,2	28,2
> 52	4,0	10,6	13,0	1,0	6,0	2,2	23,0	1,4
Сумма	37,8		1306,4		265,5		1609,7	
Размер, см	Биомасса							
	Западно-Берингоморская зона				Чукотская зона		Сумма	
	К западу от 176° в.д.		К востоку от 176° в.д.		К востоку от 175° з.д.			
	Тыс. т	%	Тыс. т	%	Тыс. т	%	Тыс. т	%
6–12	0,1	0,6	0,3	0,1	0,2	0,2	0,6	0,2
13–20	0,3	2,8	3,9	1,3	0	0	4,2	1,0
21–37	1,1	10,4	113,2	38,0	2,2	1,9	116,4	27,3
38–52	3,8	37,2	166,9	56,0	108,9	92,7	279,6	65,7
> 52	5,0	49,0	13,7	4,6	6,1	5,2	24,8	5,8
Сумма	10,1		298,1		117,4		425,6	

Если рассматривать распределение размерных групп минтая по районам, то по численности в Западно-Берингоморской зоне (ЗБЗ) к западу от 176° в.д. преобладал минтай размером 6–20 см (54,6 %), к востоку от 176° в.д. наиболее многочисленной была размерная группа 21–37 см (60,6 %). В Чукотской зоне (к востоку от 175° з.д.) особи длиной 38–52 см составили 64,8 % численности минтая (табл. 1).

Основу биомассы минтая составили также особи длиной 38–52 см — 65,7 %. На долю минтая размерной группы 21–37 см приходилось 27,3 % суммарной биомассы, большая часть которой была учтена в ЗБЗ. Особи крупноразмерного минтая (> 52 см) составили 5,8 % биомассы. Доля молоди минтая — чуть больше 1 % общей биомассы.

Рассмотрим особенности пространственной дифференциации различных размерных групп минтая в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г. Карты распределения минтая по размерным группам позволяют детализировать картину пространственного распределения минтая в районе съемки (рис. 6).

Основу суммарной численности минтая составляли неполовозрелые особи длиной 21–37 см (табл. 1). Области с максимальной плотностью (более 300 тыс. экз./миля²) располагались в юго-восточной части Анадырского залива на изобатах 80–120 м вблизи разделительной линии РФ–США, на галсах 2, 4. Минтай длиной 21–37 см образовывал здесь скопления в виде косяков различной структуры и вертикальной протяженности ниже термоклина (см. рис. 2, 3). Кроме того, ядро плотности этой размерной группы зарегистрировано к юго-западу от мыса Наварин в смешанных с молодью скоплениях. Менее плотные скопления (ниже 100 тыс. экз./миля²) были распространены на наваринском шельфе с центрами концентрации южнее мыса Наварин и на северных склонах Наваринского каньона.

Основные скопления другой доминирующей по численности размерной группы минтая 38–52 см располагались в восточной части обследованной акватории Анадырского залива между 174°00'–176°45' з.д. Также крупный минтай образовывал про-

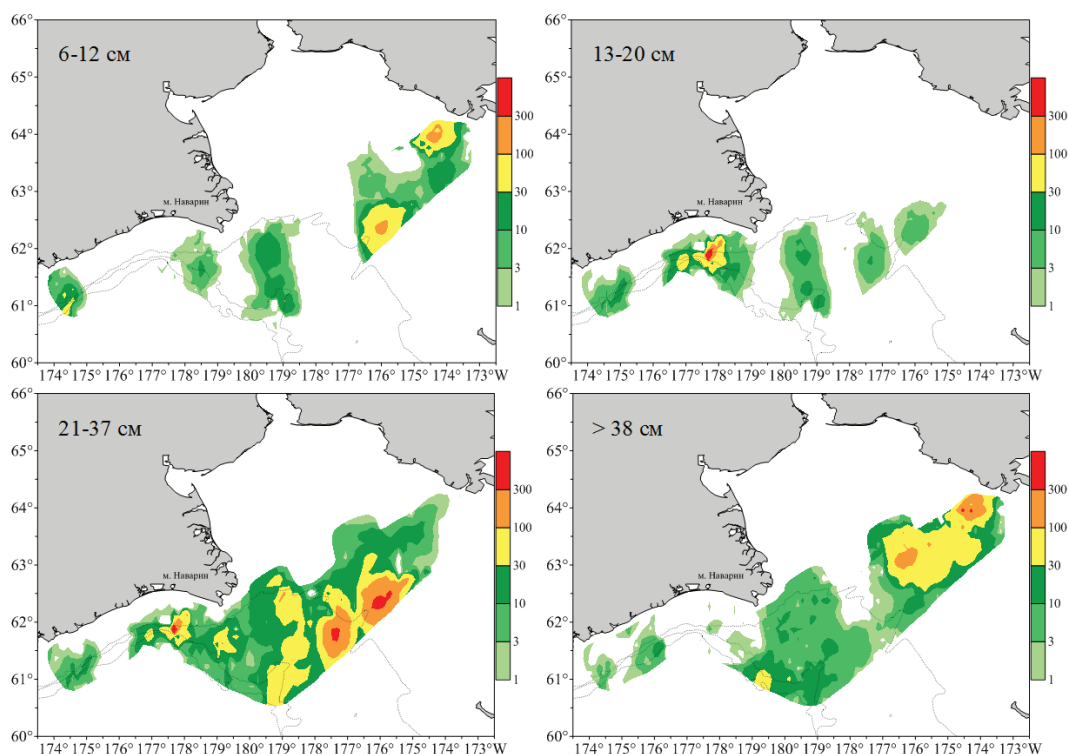


Рис. 6. Пространственное распределение минтая (тыс. экз./миля²) по размерным группам в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г.

Fig. 6. Spatial distribution of walleye pollock ($\times 10^3$ pcs./nmi²) in the northwestern Bering Sea in August-September of 2020, by size groups

тяжелые скопления средней плотности до 30 тыс. экз./миля² в водах наваринского шельфа и склона, где был распределен преимущественно в нижней части пелагиали и в придонном слое.

Молодь минтая размером 13–20 см была зарегистрирована в локальных смешанных с неполовозрелым минтаем скоплениях высокой плотности (свыше 300 тыс. экз./миля²) на юго-западе от мыса Наварин на изобатах 100–125 м и скоплениях невысокой плотности (менее 30 тыс. экз./миля²) на наваринском шельфе. Сеголетки 6–12 см были распространены преимущественно в восточной части Анадырского залива, где обитали в приповерхностном слое выше термоклина и на наваринском шельфе.

Используя современные гидроакустические технологии, можно оценить особенности батиметрического распределения рыб на охваченной съемкой акватории. В августе-сентябре 2020 г. более 83 % численности минтая было учтено в диапазоне глубин дна 50–150 м (рис. 7).

При этом над изобатами 50–75 м в скоплениях абсолютно доминировали сеголетки и крупные особи более 38 см (9 % общей численности). По мере роста глубины проявлялся минтай других размерно-возрастных групп, что сопровождалось формированием мультимодального распределения. В наиболее заселенном интервале глубин дна 75–100 м было зарегистрировано 44 % общей численности минтая. В скоплениях преобладал неполовозрелый минтай длиной 21–37 см (18 % суммарной численности, 37 % численности этой размерной группы) и минтай длиной 38–52 см (18 % суммарной численности, 62 % численности данной размерной группы). Также заметной была доля сеголеток в приповерхностном слое (7 % общей численности минтая, 52 % их суммарной численности). Над изобатами 100–125 м было учтено 23 % общей численности минтая. В этом диапазоне глубин преобладал неполовозрелый минтай длиной 21–37 см

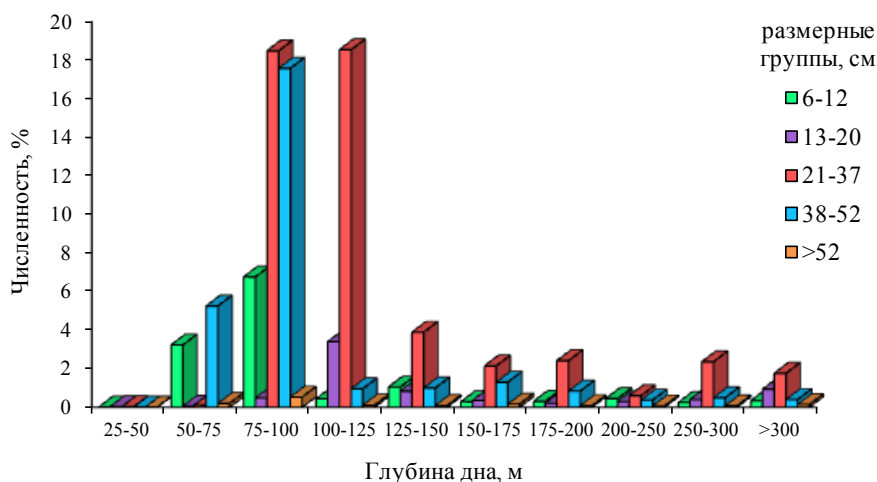


Рис. 7. Батиметрическое распределение размерных групп минтая (% от суммарной численности) в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г.

Fig. 7. Bathymetric distribution of walleye pollock (% of total abundance) in the northwestern Bering Sea in August-September of 2020, by size groups

(19 % общей численности, 37 % численности этой размерной группы) и небольшое количество молоди 13–20 см (3 % от общего обилия минтая и 49 % ее численности). В интервале глубин 125–150 м, где было учтено около 7 % всех рыб, также выделялся минтай размерной группы 21–37 см (8 % ее суммарной численности). Над изобатами свыше 150 м встречался минтай всех размерных групп с преобладанием неполовозрелых рыб и крупных особей, но в значительно меньших количествах. На глубинах более 200 м было зарегистрировано всего 9 % от суммарной численности этих рыб.

Обобщая картину пространственного распределения минтая на обследованном участке шельфа, можно сделать вывод, что он мигрировал на северо-запад двумя основными путями — по северному шельфу между изобатами 50–100 м и по присвальной части шельфа. Причем батиметрический диапазон его миграций был достаточно узок: 91 % минтая в ИЭЗ России учтен в диапазоне глубин 50–200 м.

Межгодовая динамика распределения и обилия нагульного минтая в северо-западной части Берингова моря в летне-осенний период

Ранее на основе данных тралово-акустических съемок в 1997–2012 гг. были выявлены особенности пространственного распределения и межгодовой изменчивости обилия минтая на шельфе северо-западной части Берингова моря в летне-осенний период [Кузнецов и др., 2002, 2006, 2013]. Было установлено, что нагульный минтай (в основном неполовозрелый) избегает холодных вод с отрицательной или близкой к нулю температурой. Межгодовые колебания численности и распространения минтая на северо-западный шельф Берингова моря связаны с термическими условиями и в благоприятные по термическому режиму вод годы биомасса и площадь распространения этих рыб заметно выше, чем в холодные периоды. При этом отмечалось, что поведение и распределение нагульного минтая в северо-западной части Берингова моря во второй половине года подвержено не только межгодовой, но и значительной сезонной изменчивости.

Результаты, полученные в ходе выполнения тралово-акустических съемок в 2013–2020 гг., подтверждают данные 1997–2012 гг.

В 2013 г. температурные условия в северо-западной части Берингова моря были холодными, а численность минтая — самой низкой за предыдущие 7 лет наблюдений (табл. 2). Наиболее многочисленную группу составлял минтай длиной 31–39 см (рис. 8),

Таблица 2

Площадь скоплений (S), численность (N) и биомасса (B) минтая в северо-западной части Берингова моря (исключительная экономическая зона России) в 1997–2020 гг. по данным тралово-акустических съемок и эхоинтеграционных измерений*

Table 2

Walleye pollock aggregations area (S), abundance (N), and biomass (B) in the northwestern Bering Sea (within EEZ of Russia) in 1997–2020 on the data of trawl-acoustic surveys and echo-integration measurements

Год, месяц съемки	Придонные скопления**			Пелагические скопления			Общая оценка	
	S, миль ²	N, млн шт.	B, тыс. т	S, миль ²	N, млн шт.	B, тыс. т	N, млн шт.	B, тыс. т
1997, ноябрь	24050	1004	333	27036	1323	250	2327	583
1998, октябрь	15820	962	390	13640	234	71	1196	461
1999, октябрь	32663	532	250	12688	291	70	823	320
2000, сентябрь	22400	203	64	15420	365	54	568	118
2001, ноябрь	28870	156	30	22380	218	32	374	62
2002, июль	23920	86	24	14040	662	56	748	80
2002, август	42146	959	188	23437	1501	247	2460	435
2003, август	23497	856	230	20096	1406	379	2262	609
2003, октябрь	35822	1035	289	36222	2306	643	3341	932
2005, июль	27800	390	135	28140	1248	364	1638	499
2007, июль	19160	110	33	23154	1094	71	1204	104
2007, сентябрь	26132	204	42	26236	881	53	1085	95
2008, сентябрь	16205	249	40	16702	1348	206	1597	246
2009, сентябрь	16100	18	11	17210	92	39	110	50
2010, сентябрь	23021	153	55	23002	418	89	571	144
2011, сентябрь	33440	376	81	33440	1618	325	1994	406
2012, август	41118	542	162	41118	1133	347	1675	509
2012, октябрь	20308	198	64	20308	737	199	935	263
2013, август-сентябрь	25470	156	50	25470	279	78	436	129
2014, сентябрь	26863	796	56	26863	2191	150	2987	206
2015, июль	33652	484	109	33652	1792	288	2276	397
2018, август	—	—	—	38510	1191	598	1191	598
2020, август-сентябрь	—	—	—	23831	1399	425	1399	425

* Все данные приведены без учета сеголеток. Серым цветом выделены оценки по результатам эхоинтеграционных измерений во время траловых съемок.

** Ширина придонного слоя 10 м.

который превосходил другие размерные группы по площади распространения и плотности скоплений.

В 2014 г. в этой части Берингова моря намечилось потепление. На большей части акватории съемки к западу от 176° з.д. равномерное понижение температуры шло от поверхностного 20-метрового слоя до дна. Минтай обитал во всем слое, образуя плотные скопления как в верхней, так и в нижней частях пелагиали с обеих сторон конвенционной линии. По сравнению с 2013 г. увеличился масштаб распространения нагульных скоплений рыб в ИЭЗ России и существенно выросли численность и биомасса минтая в анадырско-наваринском районе. Наиболее многочисленную размерную группу в 2014 г. составляли годовики минтая длиной 16–21 см, а доля более крупных особей, формирующих основу биомассы промысловых скоплений, была незначительна.

В 2015 г. при небольшом снижении численности в анадырско-наваринском районе произошло почти двукратное увеличение биомассы, в основном за счет подросшего неполовозрелого минтая длиной 22–27 см поколения 2013 г. и более старших возрастных групп (рис. 8).

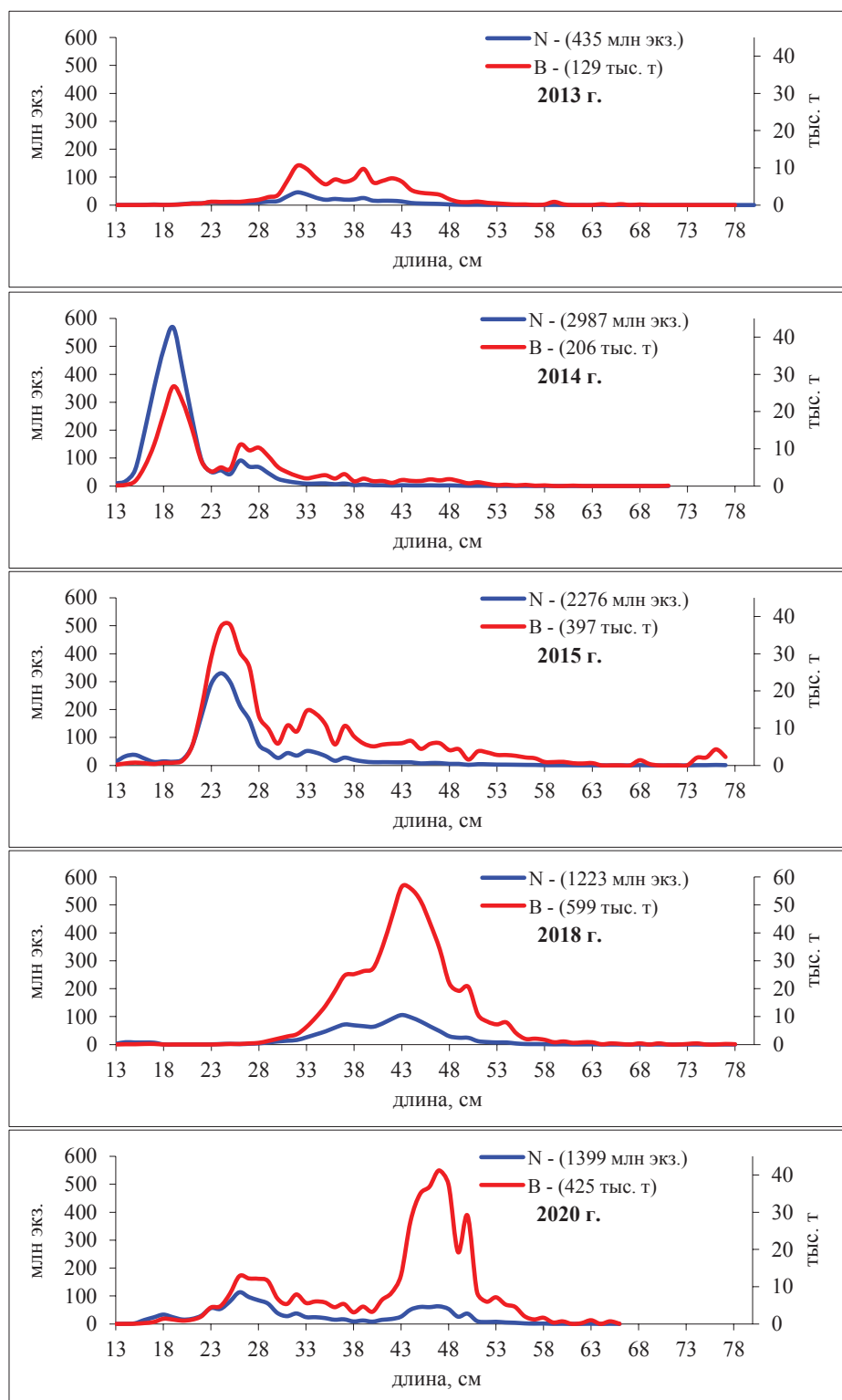


Рис. 8. Динамика размерного состава минтая в северо-западной части Берингова моря (ИЭЗ России) по данным тралово-акустических съемок в 2013–2020 гг.: *N* — численность; *B* — биомасса

Fig. 8. Dynamics of walleye pollock size composition in the northwestern Bering Sea (within EEZ of Russia) on the data of trawl-acoustic surveys in 2013–2020: *N* — abundance; *B* — biomass

В августе 2018 г. Лаврентьевское холодное пятно (ЛХП) в северо-западной части Берингова моря (по крайней мере, в ИЭЗ России) в значительной степени было размыто водами Наваринского течения, а распространение и обилие минтая в этом районе были близки к состоянию аномально теплых лет.

В августе-сентябре 2020 г. температурные условия в северо-западной части Берингова моря были уже менее теплыми, чем в 2018–2019 гг., но при этом большая часть обследованного района еще характеризовалась положительными аномалиями температуры. Площадь ЛХП была небольшой и не выходила за пределы верхнего шельфа, так же, как и в 2014–2015 гг.* По сравнению с 2018 г. численность минтая была больше за счет особой размерной группы 21–37 см. Биомасса минтая в ИЭЗ России тоже находилась на относительно высоком уровне, преимущественно за счет крупных особей размером 42–52 см, и, видимо, была бы выше средней, если бы съемкой был охвачен весь Анадырский залив.

Рассмотрим межгодовую изменчивость оценок обилия минтая и температуры вод на различных горизонтах в этой части моря в периоды съемок (рис. 9). Соблюдается общая тенденция увеличения обилия минтая в годы высокой температуры поверхности моря (ТПМ) и наоборот, однако в целом эти два показателя слабо связаны между собой (коэффициент корреляции $r = 0,46$).

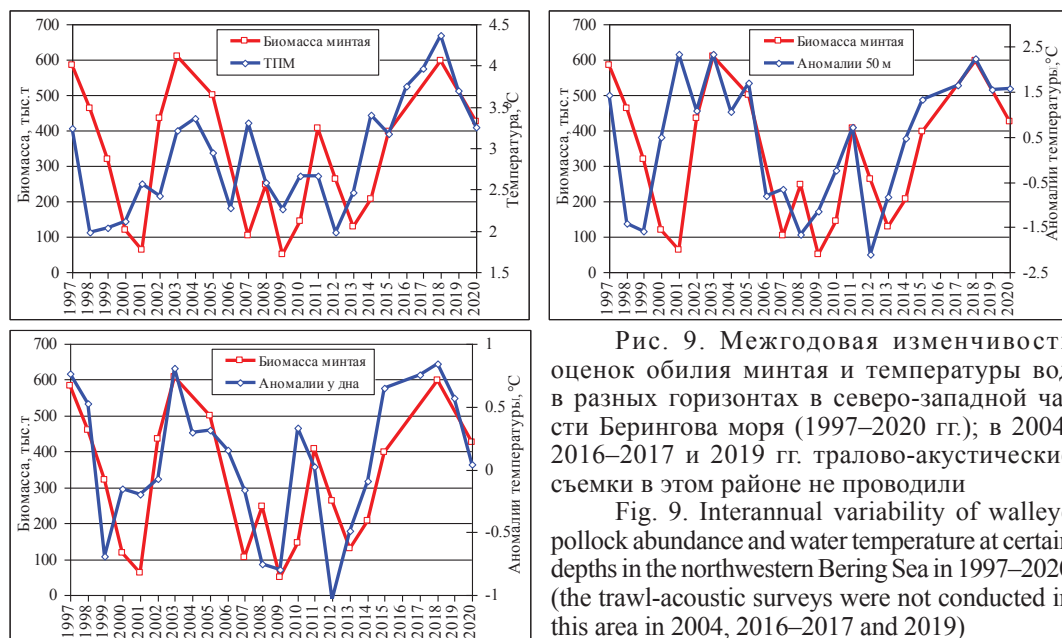


Рис. 9. Межгодовая изменчивость оценок обилия минтая и температуры вод в разных горизонтах в северо-западной части Берингова моря (1997–2020 гг.); в 2004, 2016–2017 и 2019 гг. тралово-акустические съемки в этом районе не проводили

Fig. 9. Interannual variability of walleye pollock abundance and water temperature at certain depths in the northwestern Bering Sea in 1997–2020 (the trawl-acoustic surveys were not conducted in this area in 2004, 2016–2017 and 2019)

Та же самая тенденция касается соотношения между оценками биомассы минтая и аномалиями температуры на горизонте 50 м ($r = 0,48$). Связь между обилием минтая и аномалиями придонной температуры более тесная ($r = 0,69$), и это вполне логично, если учесть, что большая часть рыб (не считая сеголеток) в анадырско-наваринском районе находится в нижней части пелагиали и в придонных горизонтах. Полученные данные показывают, что аномалии температуры в придонном слое являются более точным индикатором благоприятных для нагула минтая условий в этой части моря, чем в приповерхностном и подповерхностном слоях.

Отмечается наличие периодов резкого снижения оценок биомассы минтая в этом районе: 1999–2001, 2007–2009 и 2012–2013 гг. Общим для этих периодов является

* Шейбак А.Ю., Грицай Е.В., Бомко С.П. и др. О результатах научно-исследовательских работ по оценке биологических ресурсов в Беринговом и Чукотском морях на НИС «ТИНРО» с 7 августа по 31 октября 2020 г.: рейсовый отчет. Владивосток: ТИНРО, 2020. № 28402. 349 с.

переход от положительных к отрицательным значениям средних аномалий придонной температуры на беринговоморском шельфе (рис. 9). И наоборот, в 1997 г., 2002–2005, 2010–2011 и 2015–2018 гг. наблюдается заметный рост температур в придонных шельфовых водах, а в 1997, 2003, 2011 и 2018 гг. придонная температура достигала аномально высоких значений (аномально теплые годы). Масштабы распространения и обилия минтая в северо-западной части моря в эти годы были самыми высокими за весь период наблюдений. Со снижением температурного фона в 2019–2020 гг. наметилась тенденция снижения оценок обилия этого вида.

Выводы

Выявлены особенности пространственной дифференциации и обилия минтая на шельфе и склоне северо-западной части Берингова моря в летне-осенний период 2020 г. Абсолютное большинство минтая зарегистрировано в районах шельфа с положительной или близкой к нулю температурой вод с усилением концентрации вблизи фронтальных зон.

Результаты наблюдений за ряд лет подтвердили, что термические условия являются важным фактором, определяющим масштаб распространения и межгодовые колебания численности минтая в северо-западной части Берингова моря. Подтверждена статистически значимая связь между обилием минтая и аномалиями температуры в слоях его обитания.

По мере сезонного размыва холодных вод ЛХП и общего потепления в анадырско-наваринском районе масштабы миграции рыб из юго-восточной части моря, как правило, увеличиваются. Однако даже при равных гидрологических и гидробиологических условиях в смежных водах России и США масштабы распространения минтая на наваринском шельфе могут быть разными. Ключевым же является фактор плотности, который в годы высокой численности минтая на восточном шельфе Берингова моря инициирует его более активное расселение в северо-западном направлении.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность всем коллегам, участвовавшим в экспедициях ТИНРО в Берингово море, и лично Е.О. Басюку за предоставленные биологические и океанологические данные, которые были использованы при подготовке настоящей статьи.

The authors are thankful to colleagues, members of scientific crews in research cruises to the Bering Sea conducted by TINRO, and personally to Eugeny Basyuk for kindly delivered biological and oceanographic data useful for the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Результаты настоящего исследования были получены в рамках выполнения государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» (Работа 2 «Регулярные наблюдения за распределением, численностью, качеством и воспроизводством водных биоресурсов, являющихся объектами рыболовства, а также средой их обитания») Минобрнауки России (номер для публикаций: 5.9510.2017/8.9).

The study was conducted within implementation of the state task to TINRO № 2 (Regular monitoring on distribution, abundance, quality and reproduction of aquatic biological resources that are objects for fishery, as well as on their environments) from the Ministry of Education and Science of Russia (code 5.9510.2017/8.9).

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed. The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования — М.Ю. Кузнецов; сбор и обработка материала — В.И. Поляничко; написание текста — М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко.

Concept of the study — M.Yu. Kuznetsov; collection and processing of the material — V.I. Polyanichko; writing the text — M.Yu. Kuznetsov, V.I. Polyanichko.

Список литературы

Борец Л.А., Степаненко М.А., Николаев А.В., Грицай Е.В. Состояние запасов минтая в наваринском районе Берингова моря и причины, определяющие эффективность его промысла // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 1001–1014.

Глубоков А.И. Особенности распределения минтая северной части Берингова моря (1997–2001 гг.) // Вопр. рыб-ва. — 2003. — Т. 4, № 1(13). — С. 74–92.

Глубоков А.И., Норвилло Г.В. Воспроизводство минтая в северо-западной части Берингова моря // Вопр. рыб-ва. — 2002. — Т. 3, № 3(11). — С. 474–485.

Грицай Е.В. Изменчивость размерно-возрастного состава минтая на восточно- и северо-беринговоморском шельфе // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 147. — С. 84–102.

Кузнецов М.Ю. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Часть 1. Гидроакустические средства и технологии их использования при проведении биоресурсных исследований ТИНРО-центра // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 172. — С. 20–51.

Кузнецов М.Ю., Басюк Е.О., Чульчиков Д.Н., Сыроваткин Е.В. Распределение и гидрологические условия обитания минтая в северо-западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 174. — С. 104–124.

Кузнецов М.Ю., Ефимкин А.Я., Басюк Е.О. Распределение и условия обитания минтая в Наваринско-Анадырском районе Берингова моря летом-осенью 2002–2003 гг. // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 144. — С. 247–264.

Кузнецов М.Ю., Николаев А.В., Борец Л.А., Гаврилов Г.М. Особенности распределения минтая в северо-западной части Берингова моря осенью 2000 г. и их межгодовая изменчивость по результатам учетных съемок в 1997–2000 гг. // Вопр. рыб-ва. — 2002. — Т. 3, № 2(10). — С. 288–303.

Кузнецов М.Ю., Николаев А.В., Гаврилов Г.М. Распределение, размерно-возрастной состав, численность и биомасса минтая в северо-западной части Берингова моря летом 2002 г. // Вопр. рыб-ва. — 2004а. — Т. 5, № 2(18). — С. 226–240.

Кузнецов М.Ю., Николаев А.В., Борец Л.А. Осеннее распределение и вертикальные миграции сеголеток минтая в северо-западной части Берингова моря по результатам тралово-акустических съемок в 1997–2001 гг. // Изв. ТИНРО. — 2004б. — Т. 139. — С. 91–101.

Кузнецов М.Ю., Убарчук И.А., Поляничко В.И., Сыроваткин Е.В. Программный комплекс для визуализации, многовидовой обработки и хранения данных гидроакустических ресурсных съемок // Тр. ВНИРО. — 2021. — Т. 183. — С. 174–190. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-183-174-190.

Степаненко М.А. Возрастная изменчивость пространственной дифференциации минтая *Theragra chalcogramma* в восточной и северо-западных частях Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2001. — Т. 128. — С. 125–135.

Степаненко М.А. Межгодовая изменчивость пространственной дифференциации минтая *Theragra chalcogramma* и трески *Gadus macrocephalus* Берингова моря // Вопр. ихтиол. — 1997. — Т. 37, № 1. — С. 19–26.

Степаненко М.А., Николаев А.В. Некоторые особенности воспроизводства минтая (*Theragra chalcogramma*) Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 139. — С. 102–122.

Шунтов В.П., Волков А.Ф., Темных О.С., Дулепова Е.П. Минтай в экосистемах дальневосточных морей : моногр. — Владивосток : ТИНРО, 1993. — 426 с.

Trautnor J.J. Target-strength measurement of walley pollock (*Theragra chalcogramma*) and Pacific whiting (*Merluccius productus*) // ICES J. Mar. Sci. — 1996. — Vol. 53, Iss. 2. — P. 253–258. DOI: 10.1006/jmsc.1996.0031.

References

Borets, L.A., Stepanenko, M.A., Nikolaev A.V., and Gritsai, E.V., The state of pollock stocks in the Navarin region of the Bering Sea and the reasons that determine the effectiveness of its fishing, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 1001–1014.

Glubokov, A.I., Features of pollock distribution in the northern part of the Bering Sea (1997–2001), *Vopr. Rybolov.*, 2003, vol. 4, no. 1(13), pp. 74–92.

Glubokov, A.I. and Norvillo, G.V., Reproduction of walleye pollock in the northwestern part of the Bering Sea, *Vopr. Rybolov.*, 2002, vol. 3, no. 3(11), pp. 474–485.

Gritsay, E.V., Variance of walleye pollock length-age structure on the eastern and northern shelves of Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 147, pp. 84–102.

Kuznetsov, M.Yu., Hydroacoustic methods and tools for fish stock assessment and fishery maintenance. Part 1. Hydroacoustic tools and technologies of their use in bioresource researches of TINRO-center, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 172, pp. 20–51.

Kuznetsov, M.Yu., Basyuk, E.O., Chulchekov, D.N., and Syrovatkin, E.V., Distribution and oceanographic conditions of habitat for walleye pollock in the northwestern Bering Sea in summer-fall season, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 174, pp. 104–124.

Kuznetsov, M.Yu., Efimkin, A.Ya., and Basyuk, E.O., Distribution and habitat conditions of walleye pollock in the navarin-anadyr region of Bering Sea in summer-autumn, 2002–2003, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 144, pp. 247–264.

Kuznetsov, M.Yu., Nikolaev, A.V., Borets, L.A., and Gavrilov, G.M., Features of walleye pollock distribution in the northwestern part of the Bering Sea in autumn 2000 and their interannual variability based on the results of survey surveys in 1997–2000, *Vopr. Rybolov.*, 2002, vol. 3, no. 2(10), pp. 288–303.

Kuznetsov, M.Yu., Nikolaev, A.V., and Gavrilov, G.M., Distribution, size–age composition, abundance, and biomass of walleye pollock in the northwestern part of the Bering Sea in summer 2002, *Vopr. Rybolov.*, 2004, vol. 5, no. 2(18), pp. 226–240.

Kuznetsov, M.Yu., Nikolaev, A.V., Borets, L.A., Autumnal distribution and vertical migrations of age-0 walleye pollock in the northwestern bering sea by results of trawl-acoustic surveys in 1997–2001, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 139, pp. 91–101.

Kuznetsov, M.Yu., Ubarchuk, I.A., Polyanichko, V.I., and Syrovatkin, E.V., The software complex for visualization, multiple-view processing and data storage of hydroacoustic resource surveys, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 183, pp. 174–190. doi 10.36038/2307-3497-2021-183-174-190

Stepanenko, M.A., Relationship between age and spatial distribution of walleye pollock *Theragra Chalcogramma* in the eastern and northwestern Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2001, vol. 128, pp. 125–135.

Stepanenko, M.A., Interannual variability of spatial differentiation of pollock *Theragra chalcogramma* and cod *Gadus macrocephalus* of the Bering Sea, *Vopr. ichtyol.*, 1997, vol. 37, no. 1, pp. 19–26.

Stepanenko, M.A. and Nikolaev, A.V., Some features of Pollock reproduction in the Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 139, pp. 102–122.

Shuntov, V.P., Volkov, A.F., Temnykh, O.S., and Dulepova, E.P., *Mintay v ekosistemakh dal'nevostochnykh morey* (Walleye pollock in the ecosystems of the Far Eastern seas), Vladivostok: TINRO, 1993.

Traynor, J.J., Target-strength measurement of walley pollock (*Theragra chalcogramma*) and Pacific whiting (*Merluccius productus*), *ICES J. Mar. Sci.*, 1996, vol. 53, no. 2, pp. 253–258.

Operator manual for Simrad EK60 Scientific Echo Sounder application, Horten, Norway, 2004. doi 10.1006/jmsc.1996.0031

Sheybak, A.Yu., Gritsay, Ye.V., Bomko, S.P., Ksenofontov, M.M., Bel'dy, M.V., Borilko, O.Yu., Gostrenko, L.M., Chul'chekov, D.N., Polyanichko, V.I., and Lysenko, A.V., *O rezul'tatakh nauchno-issledovatel'skikh rabot po otsenke biologicheskikh resursov v Beringovom i Chukotskom moryakh na NIS «TINRO» s 7 avgusta po 31 oktyabrya 2020 g.* (On the results of research work on the assessment of biological resources in the Bering and Chukchi Seas on the R/V TINRO from August 7 to October 31, 2020), *Reysovyi otchet*, Vladivostok: TINRO, 2020, № 28402.

Поступила в редакцию 6.10.2022 г.

После доработки 1.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

*The article was submitted 6.10.2022; approved after reviewing 1.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022*

УДК 597.552.511–152.6

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-810-827

EDN: HXVMLB

**ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЧИСЛЕННОСТЬ ПОКОЛЕНИЙ КЕТЫ
ONCORHYNCHUS KETA В ОХОТСКОМ РАЙОНЕ****В.И. Островский***Хабаровский филиал ВНИРО (ХабаровскНИРО),
680038, г. Хабаровск, Амурский бульвар, 13а

Аннотация. В остатках регрессии «запас–пополнение» кеты Охотского района, описываемой уравнением Рикера, выявлен квазициклический тренд, связанный с временной изменчивостью условий воспроизводства. Выясняя причины его формирования, установили, что динамика численности потомков хорошо объяснима совместным влиянием численности родителей и количества осадков в разных месяцах, выпадающих в районе размножения. Разработана математическая модель, удовлетворительно имитирующая динамику численности потомков кеты, которую можно использовать для прогноза. Обсуждается роль пресноводного и морского периодов жизни кеты в формировании численности поколений.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, *Oncorhynchus keta*, динамика численности, «запас–пополнение», метеорологические факторы

Для цитирования: Островский В.И. Факторы, определяющие численность поколений кеты *Oncorhynchus keta* в Охотском районе // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 810–827. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-810-827. EDN: HXVMLB.

Original article

Factors controlling the year-classes strength for chum salmon *Oncorhynchus keta* in the Okhotsk district**Vladimir I. Ostrovsky**Khabarovsk branch of VNIRO (KhabarovskNIRO),
13a, Amursky Boulevard, Khabarovsk, 680038, Russia

head of department, Ostrovskiy@tinro.khv.ru, ORCID 0000-0003-2576-4413

Abstract. A quasi-cyclicity associated with variability of environmental conditions is detected for the regression residuals of the stock-recruitment model for chum salmon *Oncorhynchus keta* in the Okhotsk district, described by Ricker's equation. The main factors influenced on the chum progeny abundance were the number of spawners and the amount of precipitation in the spawning grounds area in certain months. A mathematical model has been developed that simulates satisfactorily the dynamics of progeny, which can be used for forecasting. Role of the freshwater and marine periods of chum salmon life in formation of the year-classes strength is discussed.

Keywords: pacific salmon, *Oncorhynchus keta*, abundance dynamics, stock–recruitment model, meteorological factor

* Островский Владимир Иванович, кандидат биологических наук, заведующий отделом, Ostrovskiy@tinro.khv.ru, ORCID 0000-0003-2576-4413.

© Островский В.И., 2022

For citation: Ostrovsky V.I. Factors controlling the year-classes strength for chum salmon *Oncorhynchus keta* in the Okhotsk district, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 810–827. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-810-827. EDN: HXVMLB.

Введение

Численность поколений лососей, как и всех животных, зависит от численности родителей и множества факторов, влияющих на рождаемость и смертность, следовательно, любая корректная модель динамики численности поколений должна включать обе составляющие динамики. Первая составляющая, описывающая соотношение «родители–потомки», более-менее универсальна в силу универсальности механизмов плотностной регуляции численности. Для ее описания обычно используют теоретические модели Рикера, Бивертон-Холта, Людвига-Уолтерса [Рикер, 1979; Максименко, Антонов, 2003] и др. Влияние внешних факторов такие модели не учитывают, поэтому ими можно удовлетворительно аппроксимировать фактические данные лишь при относительно постоянстве условий воспроизводства.

Первый опыт использования модели Рикера для описания зависимости численности потомков кеты Охотского района от численности родителей был удовлетворительным [Островский, Пономарев, 2008]. Выявленную связь «родители–потомки» использовали для прогноза подходов кеты, однако со временем качество прогнозов ухудшилось. На основе анализа отклонений фактической численности потомков от их численности, рассчитанной по уравнению Рикера, было установлено, что отклонения закономерно изменяются во времени.

Временной тренд [Дуброва, 2003] можно связать лишь с направленными изменениями условий воспроизводства [Островский, Пономарев, 2020]. Дополнение уравнения Рикера уравнением, описывающим динамику отклонений, значительно увеличивает долю объясненной дисперсии численности потомков и повышает надежность прогнозов, но открытым остается вопрос о природе факторов, формирующих временной тренд.

Цель работы — выявить причины временной изменчивости условий воспроизводства.

Материалы и методы

Ряды данных, использованных нами в 2020 г. [Островский, Пономарев, 2020], дополнены материалами предшествующих и последующих поколений, они включают сведения по количеству производителей в период с 1980 по 2015 г. и их потомков. Полный возврат потомков от нереста 2015 г. завершен в 2021 г., сравниваемые ряды «родители–потомки» состоят из 36 пар наблюдений.

Численность рыб, вернувшихся из моря в конкретном году, рассчитывали суммированием количества выловленных рыб и количества рыб, пропущенных на нерестилища. Первое слагаемое находили делением массы улова, известной из официальных источников, на среднюю массу тела одной рыбы, оцененной по результатам биологического анализа. Второе слагаемое определяли по итогам обследования нерестилищ с использованием авиации на основе маршрутных съемок или по результатам анализа улова на усилие [Пастырев, 2007; Таразанов и др., 2008; Шевляков и др., 2013].

Принадлежность рыб к поколению конкретного года устанавливали на основе анализа их возрастного состава в уловах. До 2000 г. лососей Охотского района исследовали сотрудники МагаданНИРО, позже — сотрудники ХабаровскНИРО при участии в оценке численности рыб на нерестилищах сотрудников Охотского филиала Главрыбвод.

Метеорологические данные (среднемесячные значения температуры воздуха, суммарное количество осадков, выпавших в каждом месяце, максимальное количество осадков, выпавших за одни сутки в каждом месяце) по метеорологическому пункту г. Охотск приведены на сайте «Погода и Климат» [<http://www.pogodaiklimat.ru/history/31088.htm>].

Методы множественного нелинейного регрессионного и дисперсионного анализов, применяемых в нашей работе, описаны в справочной литературе [Дрейпер, Смит, 2007]. Дополнительные факторы вводили в модель при условии статистически значимого ($p < 0,05$) увеличения доли дисперсии зависимой переменной, объясняемой введением нового фактора [Поллард, 1982]. Значения коэффициентов уравнений подбирали итерационными методами, реализованными в пакете прикладных программ SYSTAT [Wilkinson et al., 1992], данные анализировали в программе MS Excel, в этой же программе выполнены рисунки.

Результаты и их обсуждение

Попытка описать все данные, характеризующие зависимость численности потомков (R) кеты Охотского района от численности родителей (P) уравнением Рикера, как и в предыдущем исследовании [Островский, Пономарев, 2020], не дала удовлетворительных результатов. Несмотря на то что регрессия $R(P)$ статистически значима на высоком уровне ($p < 0,001$), распределение ее остатков асимметрично, отношение показателя асимметрии (As) к его ошибке (S_{As}) равно 3. Кроме того, в распределении остатков выявлен положительный эксцесс ($T_{Ex} = Ex/S_{Ex} = 5,3$), что свидетельствует о наличии выбросов. Показатели асимметрии и эксцесса не противоречат гипотезе о нормальном распределении остатков регрессии ($T_{Ex} < 3$; $T_{As} < 3$) при исключении из анализа единственной пары наблюдений «родители–потомки», относящейся к поколению 2005 г. По этой причине на начальном этапе анализа эти данные не рассматривали.

Зависимость численности потомков (R , млн рыб) от численности родителей (P , млн рыб) остальных 35 пар наблюдений удовлетворительно ($R^2_c = 0,310$; $F = 14,8$; $p < 0,001$, табл. 1) описывает уравнение Рикера (рис. 1):

$$R = a \cdot \exp(-P/b), \tag{1}$$

где (здесь и далее) a – g — коэффициенты; R^2_c — скорректированный коэффициент детерминации; F — критерий Фишера; p — уровень значимости.

Таблица 1
Значения коэффициентов и результаты анализа уравнений (1), (4), (5), (6)
Empirical coefficients and parameters of Equations (1), (4), (5), and (6)

Коэффициент	Уравнение (№), факторы			
	1, $R(P)$	4, $D1(O_{10})$	5, $R(P, O_{10})$	6, $D5(O_s)$
$a \pm \text{a.s.e.}$	$3,497 \pm 0,414$	$3,281 \pm 1,140$	$10,285 \pm 3,689$	$1,473 \pm 0,218$
$b \pm \text{a.s.e.}$	$3,176 \pm 0,473$	—	$3,340 \pm 0,467$	—
$c \pm \text{a.s.e.}$	—	$0,244 \pm 0,072$	$0,228 \pm 0,073$	—
$d \pm \text{a.s.e.}$	—	—	—	$0,114 \pm 0,044$
Дисперсионный анализ уравнений				
$D_c : k_c$	42,921 : 34	2,531 : 34	42,921 : 34	2,018 : 34
$D_r : k_r$	29,637 : 33	1,948 : 33	23,540 : 32	1,722 : 33
R^2_c	0,310	0,230	0,452	0,147
F	14,826	9,857	13,197	5,687
p	0,001	0,004	0,000	0,023
s.e.	0,962	0,247	0,871	0,232
Анализ остатков уравнений				
$M \pm \text{s.e.}$	$0,001 \pm 0,158$	$0,001 \pm 0,040$	$0,003 \pm 0,141$	$0,000 \pm 0,038$
As	−0,098	−0,582	−0,812	−0,907
Ex	−0,045	0,098	1,148	0,323
T_{As}	−0,246	−1,465	−2,043	−2,282
T_{Ex}	−0,058	0,126	1,483	0,416

Примечание. Здесь и далее: D_r, D_c — остаточная и общая скорректированные суммы квадратов отклонений; k — число степеней свободы; M — среднее значение; a.s.e. — асимптотическая стандартная ошибка; s.e. — стандартная ошибка коэффициента асимметрии, равна 0,397, эксцесса — 0,775.

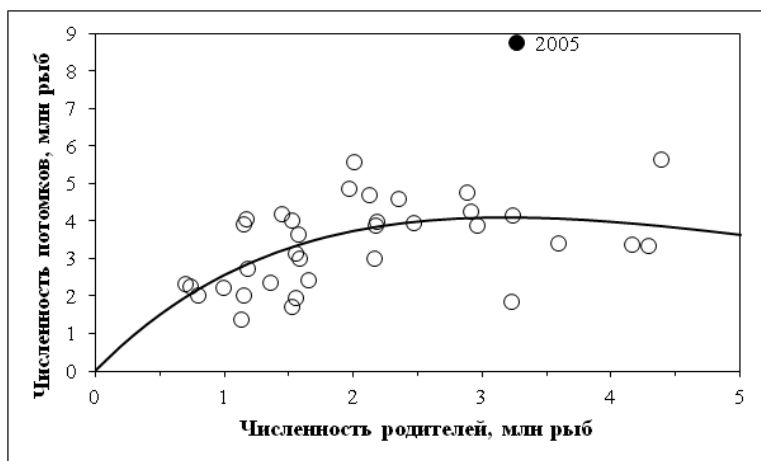


Рис. 1. Зависимость численности потомков кеты от численности родителей, сглаженная уравнением (1), данные 2005 г. не учитывали

Fig. 1. Dependence of chum recruitment on spawners abundance, smoothed with Equation (1). The data for 2005 are not accounted

Отклонения (D) фактической численности потомков (R_f) от их численности, рассчитанной по уравнению (1) (R_r), оцененные как $D = R_f/R_r$ закономерно изменялись во времени (рис. 2). Ранее В.И. Островский и А.С. Пономарев [2020] временную изменчивость отклонений описывали асимметричными параболой, но дополнение анализируемого ряда данных материалами предшествующих и последующих лет свидетельствует о ее квазициклическом характере.

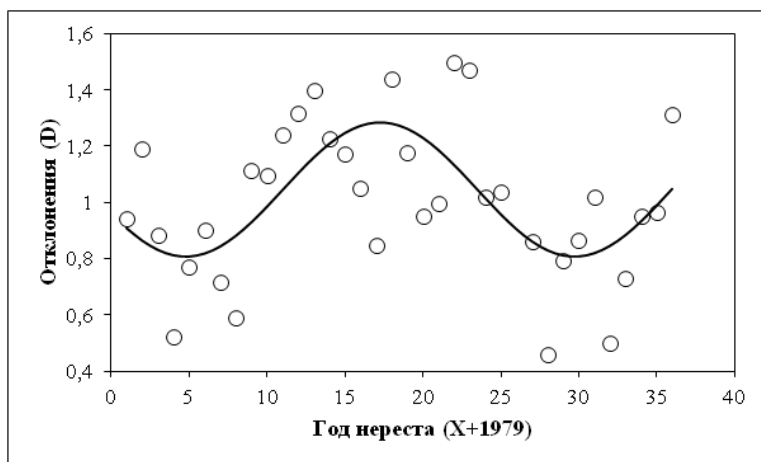


Рис. 2. Динамика отклонений численности потомков кеты, рассчитанных по уравнению (1), от фактических значений, сглаженная уравнением (2)

Fig. 2. Deviations of chum recruitment calculated with Equation (1) from its actual values, smoothed with Equation (2)

Динамику рассматриваемых отклонений (рис. 2), не объяснимую влиянием численности родителей на основе модели Рикера, можно объяснить лишь временной изменчивостью условий воспроизводства, которые, как и ответная реакция численности поколений, вероятно, имеют квазициклический характер. Зависимость отклонений уравнения Рикера от порядкового номера года нереста (X , 1980 г. – $X = 1$) удовлетворительно ($R^2_c = 0,379$; $F = 6,3$; $p < 0,002$; $T_{As} = -0,5$; $T_{Ex} = -0,8$) аппроксимирует уравнение синусоиды:

$$D = a + b \cdot \sin(c \cdot X + d) \quad (2)$$

при значениях коэффициентов $a = 1,047$; $b = 0,238$; $c = 0,252$; $d = 9,788$.

Этим уравнением объяснимо 56,5 % дисперсии зависимой переменной, оно статистически значимо ($F = 9,7$; $p < 0,000$), распределение остатков близко к распределению Гаусса ($T_{As} = 0,361$; $T_{Ex} = 0,276$). Включение в модель данных для поколения 2005 г. ухудшает показатели качества аппроксимации: уменьшает значение коэффициента детерминации, значение критерия T_{As} увеличивается до 4,5, T_{Ex} — до 9,0, т.е. экстремально большая численность потомков поколения 2005 г. не объяснима совместным влиянием рассматриваемых факторов, как и каждого из них по отдельности.

Совместное влияние двух факторов (R и X) удовлетворительно ($R^2_c = 0,565$; $p < 0,000$) объяснимо уравнением

$$R = 4,097 \cdot P \cdot \exp(-P/2,689) (1 + 0,229 \cdot \sin(0,241 \cdot X + 9,890)). \quad (3)$$

Предположим, что трендовую составляющую динамики численности поколений (рис. 2) формируют фоновые условия морского периода жизни. В таком случае фоновые условия пресноводного периода жизни, действуя независимо от условий морского периода, должны вносить дополнительный вклад в изменчивость численности потомков, т.е. должна существовать связь отклонений уравнения (3) с изменчивостью метеофакторов пресноводного периода жизни. Проверка этой гипотезы не дала положительных результатов — статистически значимых улучшений описательных свойств модели при включении дополнительных факторов не выявлено.

Этот результат противоречит гипотезе о «морской генерации» циклической составляющей динамики численности потомков, но не отвергает ее, поскольку имеющийся в нашем распоряжении набор метеорологических переменных может быть недостаточным для характеристики условий размножения в пресноводный период жизни. Для прояснения этого вопроса необходимо проверить, есть ли связь отклонений уравнения (1) с изменчивостью метеорологических условий.

Ориентировочный выбор метеофакторов основан на анализе точечных диаграмм, демонстрирующих их связь с численностью потомков без учета численности родителей. Оказалось, что численность потомков, помимо численности родителей, может зависеть от количества осадков в районе размножения. Форма и теснота связи зависят от конкретного месяца, но наиболее тесная отрицательная связь выявляется при сопоставлении численности потомков с количеством осенних осадков, выпавших в сентябре-октябре в год нереста. Эта связь становится очевидной как при суммировании количества осадков в каждом из этих месяцев, так и при суммировании максимальных значений количества осадков, выпавших за одни сутки в сентябре и октябре.

Вид функций, наиболее хорошо описывающих убыль численности потомков с ростом градаций рассмотренных факторов, неизвестен (он может быть искажен одновременным влиянием всех факторов), поэтому в качестве тестирования использовали три варианта уравнений: экспоненциальное, степенное и полином 2-й степени. Выбор наилучшего уравнения, описывающего зависимость численности потомков от численности родителей с учетом влияния количества осенних осадков в двух вариантах факторных переменных и в трех вариантах описания связи, предполагает разработку 6 вариантов модели.

По мере дополнения модели иными факторами число ее возможных вариантов многократно возрастает, описывать все варианты расчетов в рамках одной статьи невозможно, поэтому будем рассматривать лишь вариант, наилучшим образом объясняющий изменчивость численности потомков. Связь отклонений уравнения (1) (без учета данных за 2005 г.) с суммарным количеством осенних осадков, выпавших в сентябре и октябре в год нереста (O_{10} , мм), описали степенной функцией (рис. 3):

$$D1 = a \cdot O_{10}^{(-c)}. \quad (4)$$

Значения коэффициентов, результаты дисперсионного анализа и анализа остатков уравнения (4) приведены в табл. 1.

Совместное влияние двух факторов (P и O_{10}) описали уравнением

$$R = a \cdot \exp(-P/b) \cdot O_{10}^{(-c)}, \quad (5)$$

которым объяснимо 45,2 % дисперсии численности потомков (табл. 1).

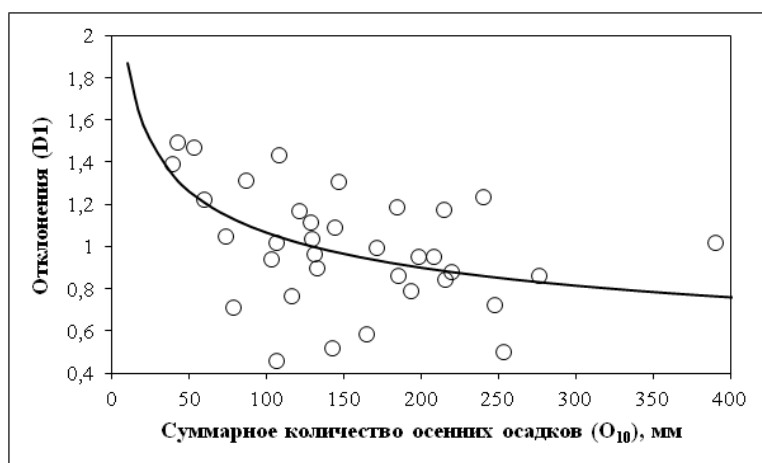


Рис. 3. Зависимость отклонений уравнения (1) от количества осенних осадков, сглаженная уравнением (4)

Fig. 3. Deviations of chum recruitment calculated with Equation (1) from its actual values, smoothed with Equation (4), in dependence on amount of autumn precipitation

Отклонения уравнения (5) вновь пытались связать со всеми имеющимися в нашем распоряжении метеорологическими факторами в разных вариантах описания связей. Из их числа следующим фактором в модель включили количество осадков, выпадающих в мае в год нереста (O_5 , мм, рис. 4). Зависимость отклонений уравнения (5) ($D5$) от количества майских осадков также описали убывающей степенной функцией (рис. 4), ее параметры приведены в табл. 1:

$$D5 = a \cdot O_5^{(-d)}. \quad (6)$$

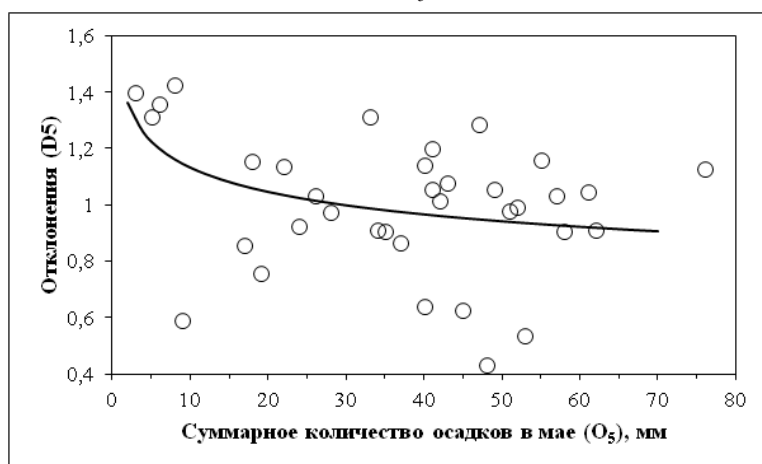


Рис. 4. Зависимость отклонений уравнения (5) от количества осадков, выпадающих в мае в год нереста, сглаженная уравнением (6)

Fig. 4. Deviations of chum recruitment calculated with Equation (5) from its actual values, smoothed with Equation (6), in dependence on amount of precipitation in May of the year of spawning

Несмотря на то что связь рассматриваемых переменных относительно слабая ($R^2 = 0,147$), она статистически значима на уровне 0,023, а ее включение в модель уравнением

$$R = a \cdot P \cdot \exp(-P/b) \cdot O_{10}^{(-c)} \cdot O_5^{(-d)} \quad (7)$$

увеличивает долю объясненной дисперсии зависимой переменной до 55,0 % (уравнение (7), табл. 2).

Значения коэффициентов и результаты анализа уравнений (7), (8) и (9), (10)

Table 2

Empirical coefficients and parameters of Equations (7), (8), (9), and (10)

Коэффициент	Уравнение (№), факторы			
	7, $R(P, O_{10}, O_5)$	8, $D7(O_4)$	9, $R(P, O_{10}, O_5, O_4)$	10, $D9(O_6)$
$a \pm \text{a.s.e.}$	$18,435 \pm 7,199$	$1,084 \pm 0,043$	$15,483 \pm 5,194$	$0,695 \pm 0,112$
$b \pm \text{a.s.e.}$	$3,486 \pm 0,459$	—	$3,401 \pm 0,391$	—
$c \pm \text{a.s.e.}$	$0,259 \pm 0,068$	—	$0,222 \pm 0,059$	—
$d \pm \text{a.s.e.}$	$0,136 \pm 0,048$	—	$0,109 \pm 0,041$	—
$e \pm \text{a.s.e.}$	—	$64,423 \pm 14,649$	$61,358 \pm 17,010$	—
$f \pm \text{a.s.e.}$	—	$132,277 \pm 33,056$	$134,601 \pm 35,958$	—
$g \pm \text{a.s.e.}$	—	—	—	$0,100 \pm 0,042$
Дисперсионный анализ уравнений				
$D_e : k_e$	42,921 : 34	1,768 : 34	42,921 : 34	1,464 : 34
$D_f : k_f$	19,316 : 31	1,309 : 32	13,818 : 29	1,212 : 33
R^2_e	0,550	0,259	0,678	0,172
F	12,630	5,592	12,212	6,855
p	0,000	0,008	0,000	0,013
s.e.	0,802	0,205	0,702	0,195
Анализ остатков уравнений				
$M \pm \text{s.e.}$	$-0,001 \pm 0,137$	$0,000 \pm 0,033$	$-0,002 \pm 0,108$	$0,000 \pm 0,032$
As	-1,021	-0,292	-0,365	0,144
Ex	1,262	-0,166	-0,227	0,325
T_{As}	-2,570	-0,735	-0,917	0,362
T_{Ex}	1,629	-0,214	-0,293	0,420

После устранения расчетным способом влияния на зависимую переменную перенесенных факторов отчетливее проявилась ее связь с суммарным количеством осадков в марте и апреле в год нереста и в год миграции молоди в море (условно — весенние осадки). Учитывая сходное направление связи количества весенних осадков с отклонениями уравнения (7) и стремление сделать модель как можно более компактной, осадки в этих месяцах (март-апрель за 2 смежных года) объединили в один фактор (O_4) суммированием. Зависимость отклонений уравнения 7 ($D7$) от весенних осадков (рис. 5, табл. 2) хорошо объяснима уравнением асимметричной колоколообразной кривой вида:

$$D7 = a \cdot \exp (-(((O_4 - e)/f)^2)).$$
 (8)

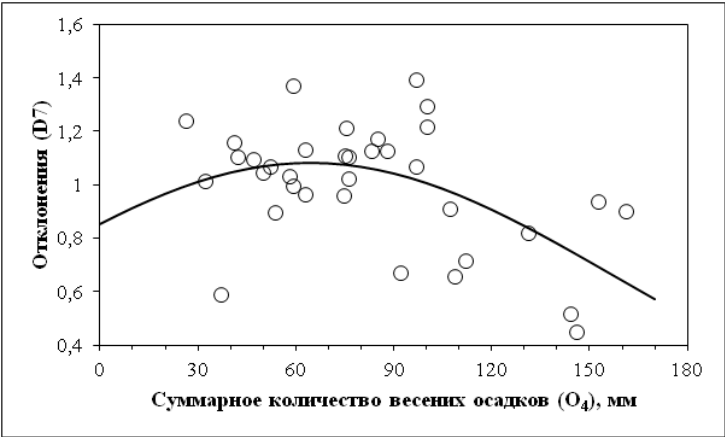


Рис. 5. Зависимость отклонений уравнения (7) от количества весенних осадков, сглаженная уравнением (8)

Fig. 5. Deviations of chum recruitment calculated with Equation (7) from its actual values, smoothed with Equation (8), in dependence on amount of spring precipitation

Уравнение, дополненное влиянием суммы весенних осадков, представлено в виде

$$R = a \cdot P \cdot \exp(-P/b - (((O_4 - e)/f)^2)) O_{10}^{(-c)} \cdot O_5^{(-d)}. \quad (9)$$

Дополнение уравнения (7) фактором O_4 увеличивает значение скорректированного коэффициента детерминации до 0,678 (табл. 2), а отклонения уравнения (9) ($D9$) удовлетворительно (рис. 6, табл. 2) объяснимы изменчивостью количества осадков в июне в год нереста (O_6 , мм), связь этих переменных описали степенной функцией:

$$D9 = a \cdot O_6^{(g)}. \quad (10)$$

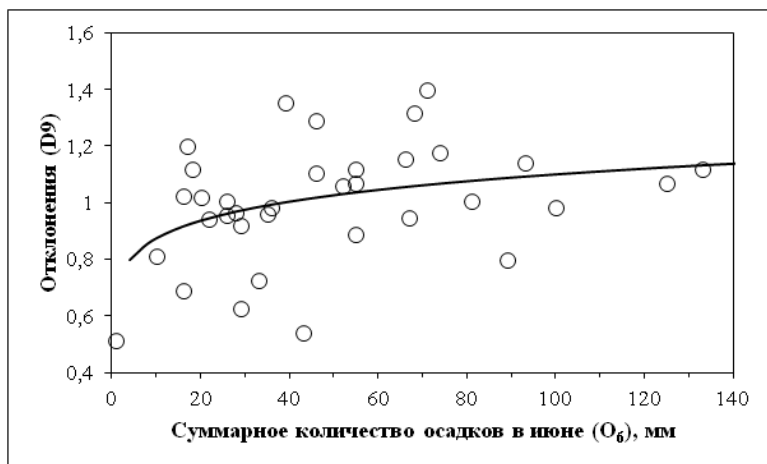


Рис. 6. Зависимость отклонений уравнения (9) от количества осадков в июне в год нереста, сглаженная уравнением (10)

Fig. 6. Deviations of chum recruitment calculated with Equation (9) from its actual values, smoothed with Equation (10), in dependence on amount of precipitation in June of the year of spawning

В окончательном виде модель, описывающую зависимость численности потомков кеты Охотского района от численности родителей и количества осадков в местах размножения, представили уравнением

$$R = a \cdot P \cdot \exp(-P/b - (((O_4 - e)/f)^2)) O_{10}^{(-c)} \cdot O_5^{(-d)} \cdot O_6^g. \quad (11)$$

Наибольшее значение коэффициента парной корреляции Пирсона между факторными переменными равно 0,222, $p > 0,05$ (O_{10} и O_4), т.е. все факторные переменные модели можно рассматривать как независимые признаки. Влиянием всех факторов уравнения (11) объяснимо 75,5 % изменчивости численности потомков (табл. 3). В 2005 г. на нерест пропущено 3,271 млн рыб, значения факторных переменных, включенных в уравнение (11), составило: O_4 — 46 мм, O_{10} — 87, O_5 — 4, O_6 — 92 мм. Подставляя эти значения в уравнение (11), рассчитали теоретическое значение численности половозрелых потомков поколения 2005 г. (рис. 7), оно составило 7,499 млн рыб, что довольно близко к фактическому значению (8,759 млн рыб).

Значения коэффициентов уравнения (11) практически не изменяются, если их подбирать ко всем данным, включая данные 2005 г., а значение скорректированного коэффициента детерминации увеличивается до 0,845 (табл. 3, уравнение (11a)), при этом расчетное значение численности поколения 2005 г. увеличивается до 8,409 млн рыб, т.е. меньше фактического значения всего на 4 %, средняя ошибка аппроксимации модели для полного набора данных составляет 14,3 %.

Устойчивость модели к изменениям факторных переменных проверяли по результатам следующего вычислительного эксперимента — исходный ряд данных разбили на два равных временных интервала по 16 наблюдений в каждом. Для первого ряда (1980–1997 гг.) подобрали значения коэффициентов уравнения (11):

$$R = 7,653 \cdot P \cdot \exp(-P/3,521 - (((O_4 - 12,196)/204,343)^2)) O_{10}^{(-0,142)} \cdot O_5^{(-0,150)} \cdot O_6^{0,136}. \quad (12)$$

Таблица 3

Значения коэффициентов и результаты анализа уравнения (11)

Table 3

Empirical coefficients and parameters of Equation (11)

Коэффициент	Уравнение (№), факторы	
	11, $R(P, O_{10}, O_5, O_4, O_6)$	11a*, $R(P, O_{10}, O_5, O_4, O_6)$
$a \pm \text{s.e.}$	$11,383 \pm 3,554$	$12,134 \pm 3,742$
$b \pm \text{s.e.}$	$3,697 \pm 0,438$	$3,957 \pm 0,437$
$c \pm \text{s.e.}$	$0,233 \pm 0,053$	$0,251 \pm 0,051$
$d \pm \text{s.e.}$	$0,138 \pm 0,039$	$0,169 \pm 0,028$
$e \pm \text{s.e.}$	$51,337 \pm 22,083$	$42,379 \pm 29,509$
$f \pm \text{s.e.}$	$148,13 \pm 41,623$	$160,913 \pm 51,391$
$g \pm \text{s.e.}$	$0,114 \pm 0,043$	$0,139 \pm 0,037$
Дисперсионный анализ уравнений		
$D_c : k_c$	42,921 : 34	70,822 : 35
$D_r : k_r$	10,502 : 28	10,969 : 29
R_c^2	0,755	0,845
F	14,381	26,349
p	0,000	0,000
s.e.	0,624	0,626
Анализ остатков уравнений		
$M \pm \text{s.e.}$	$-0,001 \pm 0,137$	$0,012 \pm 0,093$
As	-1,021	0,176
Ex	1,262	-0,013
T_{As}	-2,570	0,448
T_{Ex}	1,629	-0,017

* Уравнение (11) с учетом данных для поколения 2005 г.; стандартная ошибка коэффициента асимметрии остатков уравнения (11a) равна 0,392, эксцесса — 0,765.

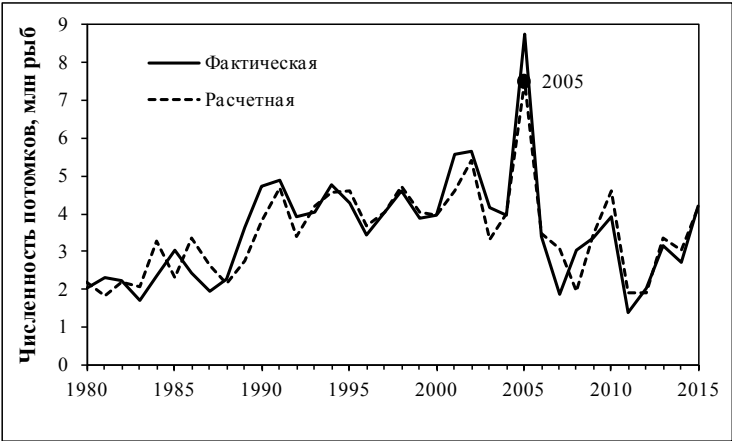


Рис. 7. Фактическая и модельная (уравнение (11)) динамика численности кеты Охотского района

Fig. 7. Actual and modeled with Equation (11) dynamics of chum salmon abundance in the Okhotsk district

Значение скорректированного коэффициента детерминации уравнения (12) составило 0,763 ($F = 5,9$; $p = 0,006$; s.e. 0,685 млн рыб). Подставляя в него известные значения факторных переменных для поколений 1998–2015 гг., рассчитали их численность. Эксперимент грубо имитирует прогноз численности потомков по уравнению (12) без корректировки значений коэффициентов уравнения по мере поступления «новых данных» (рис. 8).

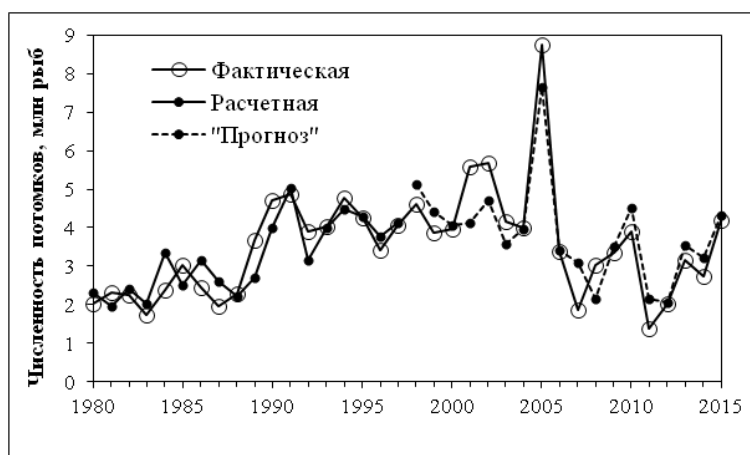


Рис. 8. Имитация прогноза численности потомков на 1998–20015 гг. по уравнению (12)

Fig. 8. Simulation of the forecast for the number of progeny in 1998–2015 according to Equation (12)

Несмотря на возросшие ошибки коэффициентов уравнения (12) средние значения фактической ($3,872 \pm 0,393$ млн рыб) и «прогнозной» ($3,869 \pm 0,305$ млн рыб) численности потомков в 1998–2015 гг. одинаковы, практически одинаковы и дисперсии сравниваемых рядов ($F = 1,661 < F_{\text{крит}} = 2,272$ для 95 %-ного уровня значимости). Средняя ошибка «прогноза» равна 16,7 %, что в отношении открытых систем считаем вполне приемлемым результатом, подтверждающим устойчивость модели к изменениям входных параметров.

Повторное пошаговое построение модели с использованием всех данных, включая данные 2005 г. (уравнение (11а)), показало, что эксцесс распределения остатков модели уменьшается до приемлемого (для принятия гипотезы о нормальном распределении) значения после включения в уравнение фактора O_5 (сумма осадков в мае в год нереста). Этот фактор отрицательно влияет на численность потомков (рис. 4), но в мае 2005 г. осадков выпало всего 4 мм при среднемноголетнем значении $35,8 \pm 3,2$ мм.

Поклоение 2005 г. происходит от нереста 3,271 млн рыб, это значение близко к значению точки максимума численности потомков (около 4 млн рыб, табл. 3, уравнение (11а), коэффициент b). Сопоставление значений остальных факторов (O_{10} , O_4 , O_6 , приведены выше) с соответствующими зависимостями (соответственно рис. 3, 5, 6) также свидетельствует о том, что значения остальных факторов в основном благоприятствовали воспроизводству. Таким образом, сверхвысокая численность поколения 2005 г., не объяснимая ни однофакторным уравнением Рикера (уравнение (1)), ни трендовой составляющей динамики численности потомков (уравнение (2)), ни их совместным влиянием (уравнение (3)), хорошо объяснима благоприятным для воспроизводства сочетанием значений численности родителей и метеорологических факторов в местах размножения (уравнение (11)).

Итак, результаты построения модели можно признать удовлетворительными. Часть невязок модели связана с невысокой точностью оценок численности родителей и потомков, часть — с ее спецификацией, часть — с вариациями смертности в связи с влиянием неучтенных климатических факторов. Судя по значению коэффициента детерминации уравнения (11а), на долю этих причин приходится около 15 % дисперсии численности поколений, поэтому можно заключить, что динамика численности потомков кеты Охотского района в рассматриваемом периоде практически полностью объяснима изменчивостью численности родителей и метеорологических условий в местах размножения.

Следовательно, трендовая составляющая динамики численности поколений (см. рис. 2) вряд ли отражает влияние иных факторов, независимо от того, действуют они

в пресноводном или морском периоде жизни. Более вероятно, что ее генерирует изменчивость одного, нескольких или «ансамбль» всех используемых в модели метео-факторов. Эту гипотезу проверили, анализируя характер изменений синусоидального тренда (рис. 2) динамики численности потомков по мере дополнения модели новыми факторными переменными.

С этой целью описали уравнением синусоиды (2) отклонения уравнений (1), (5), (7), (9), (11) (табл. 4). Результат такой проверки однозначно свидетельствует о том, что каждый из последовательно включенных в модель факторов уменьшал долю дисперсии зависимой переменной, объясненную влиянием фактора времени. После дополнения модели фактором O_5 регрессии перестали быть статистически значимыми ($p > 0,05$). Значения коэффициента b уравнений, характеризующих амплитуду синусоиды, постепенно уменьшались практически до нуля — от $0,238 \pm 0,056$ для отклонений уравнения (1) до $0,052 \pm 0,153$ уравнения (11). Статистически значимым осталось лишь значение коэффициента a , равного $0,995 \pm 0,178$, т.е. уравнение динамики отклонений уравнения (11) идентично уравнению прямой линии, параллельной оси X с постоянным значением, близким к 1 ($D = R/R_t \approx 1/1$).

Таблица 4
Значения коэффициентов уравнения (2), описывающего отклонения уравнений (1), (5), (7), (9), (11)

Table 4
Coefficients of Equation (2) describing deviations of Equations (1), (5), (7), (9), and (11)

Уравнение № (вводимый фактор)	Коэффициент				Коэффициент детерминации (R^2)	Уровень значимости (p)
	a	b	c	d		
1(P)	1,047	0,238	0,252	9,788	0,379	0,002
5(O_{10})	1,039	0,191	0,268	9,450	0,289	0,013
7(O_5)	1,031	0,140	0,266	9,322	0,179	0,102
9(O_4)	1,012	0,060	0,217	9,922	0,046	0,686
11(O_6)	0,995	0,052	0,137	11,809	0,026	0,842

Наглядно трансформация трендовой составляющей динамики численности потомков по мере включения новых переменных представлена на рис. 9. Таким образом, можно заключить, что временной тренд численности поколений, не объяснимый влиянием численности родителей, формируется в пресноводном периоде жизни совместным влиянием метеорологических факторов.

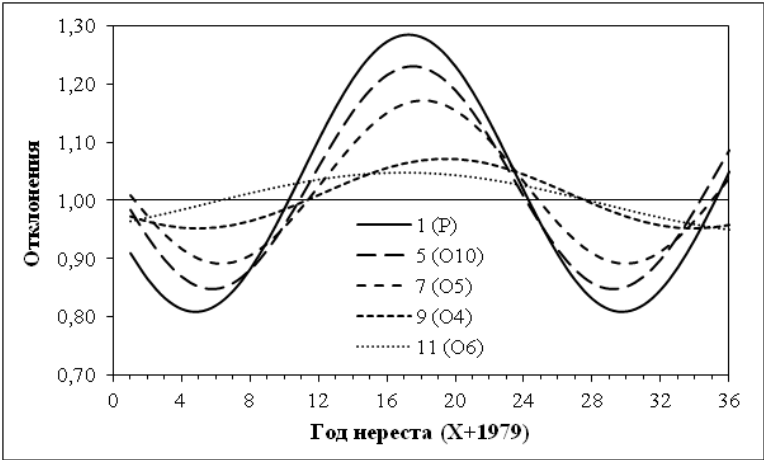


Рис. 9. Изменчивость отклонений уравнений (1), (5), (7), (9), (11) в связи с включением в модель дополнительных переменных, сглаженная уравнениями синусоиды (см. табл. 4 и текст)
Fig. 9. Variations of deviations for Equations (1), (5), (7), (9), and (11) caused by inclusion of additional variables in the model, smoothed with the sine wave equation (2)

Регрессионный анализ позволяет выявить статистически значимые связи, но не дает ответа на вопрос о механизмах их реализации. В целом в нашем случае избыточные осадки отрицательно влияют на численность поколений — паводки до нереста (O_4 , O_5 , рис. 4, 5), вероятно, могут приводить к ухудшению качества нерестилищ по причине их заноса мелкодисперсными частицами [Леванидов, 1968; Лысенко, 2002] или их количества, например, за счет «переформатирования» русел рек. В начале нерестового хода (O_6 , рис. 6) количество осадков в основном нейтрально по отношению к численности потомков, но низкий уровень воды неблагоприятен для воспроизводства, возможно, по причине большей доступности рыб для хищников [Островский, 1980]. После нереста (O_{10} , см. рис. 3) паводки размывают грунт нерестилищ, что приводит к гибели эмбрионов [Каев, 2018]. От количества осадков в марте и апреле (O_4 , рис. 4) зависит уровень весеннего паводка, который может выносить в море неподготовленных к морской среде мальков [Чупахин, 1975].

Вполне очевидно, что влияние осадков на численность поколений лососей опосредовано через гидрологический режим рек и результаты проведенных нами исследований являются весомым основанием для более пристального внимания к мониторингу данного фактора как в научных, так и в прикладных целях. Не исключено, что детальные сведения по динамике расходов воды или ее уровням в нерестовых реках позволят более корректно судить о механизмах реализации выявленных связей.

Использование в прогностических целях уравнения (1) предполагает постоянство условий воспроизводства, уравнения (3) — сохранение тенденций изменчивости условий воспроизводства, описываемых трендом. В обоих случаях прогнозы включают гипотезы относительно будущего характера изменчивости неизвестных внешних факторов, влияющих на численность поколений. Полученный нами результат (уравнение (11)) лишен данных недостатков, поскольку градации выявленных факторов могут быть измерены и учтены в прогнозе подобно тому, как это было сделано при расчете численности потомков поколения 2005 г. (см. рис. 7) или при имитации прогноза их численности на период 1998–2015 гг. (см. рис. 8).

Полагаем, что прогноз численности подходов кеты Охотского района на основе уравнения (11) будет более надежным, чем по уравнениям (1) или (3), но даже в отношении конкретной группировки лососей его нельзя считать идеальным. Дело в том, что сила влияния факторов зависит от градаций их значений, со временем пределы варьирования одних факторов могут увеличиться, других — уменьшиться, могут появиться экстремальные значения факторов, неучтенных в модели, которые в рассматриваемом периоде не играли роли в формировании численности поколений, но она может проявиться в будущем.

Выявленные причины изменчивости численности поколений кеты Охотского района не оказались неожиданными. Аналогичные результаты были получены ранее при исследованиях закономерностей воспроизводства кеты рек Хор [Островский, Подорожнюк, 2009], Исса [Островский, 2012], Мы [Островский, 2013]. В этих исследованиях также выявлена тесная связь численности поклатной молодежи с численностью родителей и с количеством осадков, выпадающих в районе размножения.

На связь урожайности поколений лососей с количеством осадков обращали внимание многие исследователи [Смирнов, 1947; Бирман, 1954; Костарев, 1964; Коротаев, 1997; Гриценко, 2002; и др.]. Они отмечали как положительное, так и отрицательное влияние количества осадков на зависимую переменную. Различия направления связи у разных видов лососей в разных частях ареалов могут быть обусловлены местными особенностями формирования режима водности рек, геоморфологии их русел, видовой спецификой требований к условиям инкубации икры, различиями выбора характеристик осадков по месяцам разными исследователями. Вполне вероятно, что избыточные и недостаточные осадки могут отрицательно влиять на воспроизводство лососей, поэтому не исключено, что изменчивость направления связи рассматриваемых

переменных зависит и от того, в засушливые или влажные периоды [Тростников, 1967] проводились исследования — в засушливые периоды связь может быть положительной, во влажные — отрицательной.

Условия пресноводного периода жизни лососей влияют как на выживаемость до начала покатной миграции, так и на выживаемость в морской период жизни. Такое влияние может быть прямым [Чупахин, 1975] и опосредованным, через различия темпа роста в прибрежье, поскольку он влияет на выживаемость лососей в море [Бимиш, Невилл, 2021]. «Стартовые» физиологические различия молоди, влияющие на темп роста и выживаемость в море, зависят не только от условий питания и роста в реках [Никольский, 1974], но и от плотности производителей на нерестилищах [Паренский, Шевляков, 1997].

Полученные нами результаты, как и анализ литературных данных, позволяют заключить, что основную роль в динамике численности поколений лососей играет пресноводный период жизни. Это заключение не противоречит теории естественной убыли численности поколений [Тюрин, 1962, 1972; Никольский, 1974; Зыков, 2005; и др.], согласно которой наибольшая смертность рыб, как и всех живых организмов с экстенсивной стратегией воспроизводства (г-стратегия), характерна для ранних стадий жизненного цикла, когда организм наиболее восприимчив к влиянию факторов среды. О том, что численность поколений лососей зависит в основном от численности родителей и условий пресноводного периода жизни, свидетельствуют и результаты анализа факторов, влияющих на количество покатной молоди горбуши рек Исса и Мы [Островский, 2011, 2014].

Аналогичной точки зрения придерживаются многие исследователи [Шунтов, Темных, 2008, 2011; Найдено и др., 2021], но не все. Работы некоторых исследователей в явном или скрытом виде первостепенную роль в формировании численности половозрелых рыб отводят морскому периоду жизни [Кляшторин, Любушин, 2005; Котенев и др., 2010; Бугаев и др., 2018]. Такие работы основаны на анализе связи уловов лососей с различными климатическими индексами, отражающими изменчивость климата. Считаем, что с подобными выводами относительно роли морского периода жизни в формировании численности поколений лососей нельзя согласиться.

Подобные исследования проведены с явными нарушениями логики экспериментальной экологии, согласно которой объекты исследования до воздействия анализируемого фактора должны быть равноценными [Козлов, 2003]. В приведенных выше работах объект исследования — улов (как характеристика численности рыб), анализируемый фактор — климатические индексы. Следовательно, выводы относительно влияния климата в морской период жизни на улов (численность) корректны лишь при условии одинаковой численности рыб разных поколений до начала миграции в море. Кроме того, рыбы, входящие в состав улова конкретного года, должны подвергаться одинаковому воздействию фактора. Такие ограничения в открытых системах могут приближаться к идеалу лишь при нереальных допущениях относительного постоянства численности родителей, фоновых условий пресноводного периода жизни и одновременного ската в море всех рыб, составляющих улов конкретного года.

Море, за исключением мелководной прибрежной части, в силу огромной массы воды медленнее, чем реки, реагирует на направленные изменения климата, дольше сохраняет следы его влияния с меньшим диапазоном изменчивости фоновых условий, т.е. условия жизни рыб в море стабильнее, чем в реках, что предполагает меньшее их влияние на численность поколений лососей по сравнению с условиями в местах размножения, к тому же, в отличие от пресноводного периода жизни, в морской период лососи могут покинуть районы с неблагоприятными условиями. Из этих фактов логически следует, что изменчивость выживаемости рыб в море не может сильнее влиять на численность поколений, чем их выживаемость в прибрежье [Волобуев, Рогатных, 1997; Карпенко, 1998] и в реках за исключением теоретически возможных последствий катастроф.

В период жизни лососей в море на их уловы (численность) может влиять только смертность, в то время как численность рыб определяется динамическим соотношением рождаемости и смертности, также как уровень воды в бассейне зависит от скоростей ее поступления и расхода. Модели, имитирующие динамику численности рыб, как и уровня воды в бассейне, должны включать обе составляющие единого процесса. Мы не отрицаем влияние глобальных направленных изменений климата на динамику численности лососей, но считаем, что механизмы данного влияния в первую очередь связаны с условиями в местах размножения и в прибрежье.

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что квазициклическая составляющая динамики численности поколений кеты Охотского района не объяснима изменчивостью численности родителей и фоновых условий в море. Ее формирует кумулятивный эффект влияния количества осадков в местах размножения. По мере включения в модель факторов, характеризующих количество осадков, уравнение синусоиды, описывающее данное явление, постепенно трансформируется в уравнение прямой линии, параллельной оси времени.

Совместным влиянием численности родителей и количества осадков в разных месяцах объяснимо около 85 % дисперсии численности поколений. Данный результат свидетельствует о преимущественном влиянии на численность поколений факторов, действующих в пресноводном или раннем морском периоде жизни. Он также подтверждает аксиомы экологии — численность поколений определяется рождаемостью и смертностью, наибольшая смертность, зависящая от влияния внешних факторов у животных и растений с высокой плодовитостью, характерна для ранних стадий жизненного цикла.

Не отрицая влияния выживаемости лососей в море на их численность, полагаем, что связь уловов с различными климатическими индексами описывает «эхо» условий воспроизводства на ранних стадиях жизненного цикла. Выводы на основе моделей динамики численности лососей, учитывающих только рождаемость или только смертность, корректны лишь при постоянстве недостающей части двуединой составляющей динамики.

Выводы в научных трудах относительно первостепенной роли факторов, влияющих на смертность (или выживаемость) лососей в море на их численность без учета смертности в пресноводный период жизни и рождаемости, получены с нарушением логики экспериментальной экологии, поэтому преждевременны.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Выполнить данную работу было бы невозможно без участия многих исследователей ХабаровскНИРО, МагаданНИРО, Охотскрыбвода, которые в течение многих лет участвовали в сборе и первичной обработке данных, характеризующих численность и биологическое состояние группировки кеты, заходящей в реки Охотского района. Всем участникам данных исследований приносим глубокую признательность, особенно бывшему сотруднику Охотской лаборатории ХфВНИРО С.Д. Пономареву и сотруднику этой лаборатории А.С. Пономареву, участвовавшим в мониторинге состояния запасов лососей Охотского района. Кроме того, очень благодарны сотруднику методико-прогностического отдела О.Б. Ткачевой, выполняющей основную рутинную работу отдела, ограничивающую время для разгадывания загадок динамики численности лососей.

This study would be impossible without inputs of many researchers from KhabarovskNIRO, MagadanNIRO and Okhotskrybvod, who participated for many years in collection and primary processing the data on abundance and biological parameters of chum salmon in the rivers of the Okhotsk district. The authors are grateful to all these people, and particularly to S.D. Ponomarev and A.S. Ponomarev, employees of the Okhotsk Laboratory of KhabarovskNIRO who monitored the salmon stocks in the Okhotsk district, and to O.B. Tkacheva from

the methodological and prognostic department of KhabarovskNIRO for her hard routine work that saved the time for solving the riddles of salmon population dynamics.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.
The study was not supported by sponsors.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы использования рыб, отловленных для биологического анализа, были соблюдены.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented.

Список литературы

Бимиш Р.Д., Невилл К.-Э.М. Доказательства зависимости численности тихоокеанских лососей от роста молоди в первые месяцы жизни в океане // *Вопр. рыб-ва.* — 2021. — Т. 22, № 4. — С. 5–15. DOI: 10.36038/0234-2774-2021-22-4-5-15.

Бирман И.Б. Динамика численности и современное состояние запасов кеты и горбуши в бассейне Амура // *Тр. совещ. по вопр. лососевого хоз-ва Дальнего Востока.* — М. : АН СССР, 1954. — С. 22–37.

Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Радченко В.И. Климатическая изменчивость и продуктивность тихоокеанских лососей Дальнего Востока России // *Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана.* — 2018. — Вып. 49. — С. 5–50. DOI: 10.15853/2072-8212.2018.49.5-50.

Волобуев В.В., Рогатных А.Ю. Условия воспроизводства лососей рода *Oncorhynchus* материкового побережья Охотского моря // *Вопр. ихтиол.* — 1997. — Т. 37, вып. 5. — С. 612–618.

Гриценко О.Ф. Проходные рыбы острова Сахалин (систематика, экология, промысел) : моногр. — М. : ВНИРО, 2002. — 248 с.

Дрейпер Н.Р., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ : моногр. : пер. с англ. — Изд. 3-е. — М. : Издат. дом «Вильямс», 2007. — 912 с.

Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования : учеб. пособие для вузов. — М. : Юнити-Дана, 2003. — 206 с.

Зыков Л.А. Биоэкологические и рыбохозяйственные аспекты теории естественной смертности рыб : моногр. — Астрахань : Астрах. ун-тет, 2005. — 373 с.

Каев А.М. Снижение численности горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) в Сахалино-Курильском регионе как следствие действия экстремальных факторов среды // *Изв. ТИНРО.* — 2018. — Т. 192. — С. 3–14. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-192-3-14.

Карпенко В.И. Ранний морской период жизни тихоокеанских лососей : моногр. — М. : ВНИРО, 1998. — 165 с.

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

Козлов В.А. Мнимые повторности (Pseudoreplications) в экологических исследованиях: проблема, не замеченная российскими учеными // *Журн. общ. биол.* — 2003. — Т. 64, № 4. — С. 292–307.

Коротаев Ю.А. Влияние гидрологических условий на воспроизводство анадырской кеты // 1-й Конгресс ихтиологов России : тез. докл. — М. : ВНИРО, 1997. — С. 157.

Костарев В.Л. Некоторые закономерности колебаний численности охотских лососей // *Лососевое хозяйство Дальнего Востока.* — М. : Наука, 1964. — С. 77–83.

Котенев Б.Н., Богданов М.А., Кровнин А.С., Мурый Г.П. Изменения климата и динамика вылова дальневосточных лососей // *Вопр. промысл. океанол.* — 2010. — Вып. 7, № 1. — С. 60–92.

Леванидов В.Я. О гидрологическом режиме нерестилищ кеты и горбуши // *Изв. ТИНРО.* — 1968. — Т. 64. — С. 101–125.

Лысенко А.В. Геоморфология нерестилищ осенней кеты и горбуши на северо-востоке Приморья // *Тез. докл. Всерос. конф. мол. ученых, посвящ. 140-летию со дня рождения Н.М. Книповича.* — Мурманск, 2002. — С. 127–128.

Максименко В.П., Антонов Н.П. Количественные методы оценки рыбных запасов : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2003. — 256 с.

Найденко С.В., Хен Г.В., Фигуркин А.Л. и др. Условия нагула молоди горбуши в осенне-зимний период на примере сезона 2019/2020 гг. // *Вопр. рыб-ва.* — 2021. — Т. 22, № 4. — С. 96–115. DOI: 10.36038/0234-2774-2021-22-4-96-115.

Никольский Г.В. Теория динамики стада рыб как биологическая основа рациональной эксплуатации и воспроизводства рыбных ресурсов : моногр. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пищ. пром-сть, 1974. — 447 с.

Островский В.И. Роль естественного отбора в формировании возрастной структуры субизолятов нерки озера Азабачьего // *Популяционная биология и систематика лососевых.* — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1980. — С. 24–29.

Островский В.И. Факторы, определяющие численность покатной молоди горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) р. Иска // *Изв. ТИНРО.* — 2011. — Т. 166. — С. 88–102.

Островский В.И. Факторы, определяющие численность покатной молоди горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) р. Мы // *Изв. ТИНРО.* — 2014. — Т. 177. — С. 156–166. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-177-156-166.

Островский В.И. Факторы, определяющие численность покатной молоди кеты (*Oncorhynchus keta*) р. Иска // *Изв. ТИНРО.* — 2012. — Т. 168. — С. 121–136.

Островский В.И. Факторы, определяющие численность покатной молоди кеты (*Oncorhynchus keta*) р. Мы // *Изв. ТИНРО.* — 2013. — Т. 172. — С. 94–105.

Островский В.И., Подорожнюк Е.В. Факторы, определяющие численность покатной молоди осенней кеты (*Oncorhynchus keta*) р. Хор // *Изв. ТИНРО.* — 2009. — Т. 159. — С. 176–189.

Островский В.И., Пономарев А.С. Зависимость численности потомков кеты *Oncorhynchus keta* Охотского района от численности родителей и условий воспроизводства // *Изв. ТИНРО.* — 2020. — Т. 200, вып. 3. — С. 605–617. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-605-617.

Островский В.И., Пономарев С.Д. Закономерности воспроизводства и стратегия эксплуатации кеты Охотского района // *Современное состояние водных биоресурсов : мат-лы науч. конф., посвящ. 70-летию С.М. Коновалова.* — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — С. 396–401.

Паренский В.А., Шевляков Е.А. Переполнение нерестилищ производителями нерки — причина дискретности молоди по срокам выклева и размерно-массовым характеристикам // 1-й Конгресс ихтиологов России : тез. докл. — М. : ВНИРО, 1997. — С. 49.

Пастырев В.А. Материалы по применению аэровизуальных методов в рыбохозяйственных исследованиях в северо-западной части Охотского моря // *Изв. ТИНРО.* — 2007. — Т. 148. — С. 42–56.

Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики. — М. : Финансы и статистика, 1982. — 344 с.

Рикер У.Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб : моногр. : пер. с англ. — М. : Пищ. пром-сть, 1979. — 408 с.

Смирнов А.Г. Состояние запасов амурских лососей и причины их численных колебаний // *Изв. ТИНРО.* — 1947. — Т. 25. — С. 33–53.

Таразанов В.И., Пономарев С.Д., Денисенко Е.В. Особенности нерестового хода лососей в реках Охотского района (Хабаровский край): динамика, сроки, оценка численности // *Современное состояние водных биоресурсов : мат-лы науч. конф., посвящ. 70-летию С.М. Коновалова.* — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — С. 414–418.

Тростников М.В. Влажные и засушливые летние сезоны в Приамурье и солнечная активность // *Вопр. географии Дальнего Востока. Климат и воды.* — Хабаровск, 1967. — С. 3–22.

Тюрин П.В. Фактор естественной смертности рыб и его значение при регулировании рыболовства // *Вопр. ихтиол.* — 1962. — Т. 2, вып. 3(24). — С. 403–427.

Тюрин П.В. «Нормальные» кривые переживания и темпов естественной смертности рыб как основа регулирования рыболовства // *Изв. ГосНИОРХ.* — 1972. — Т. 71. — С. 71–127.

Чупахин В.М. Естественное воспроизводство южнокурильской горбуши // *Тр. ВНИРО.* — 1975. — Т. 106. — С. 67–77.

Шевляков Е.А., Шубкин С.В., Дубынин В.А. и др. Методики учета производителей тихоокеанских лососей на нерестилищах и путях миграции к ним // *Бюл. № 8 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке.* — Владивосток : ТИНРО-центр, 2013. — С. 36–57.

Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — Т. 1. — 481 с.

Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2011. — Т. 2. — 473 с.

Wilkinson L., Hill M.-A., Welna J.P., Birkenbeyel G.K. Systat for Windows: Statistics. Version 5. — Evanston : Systat. Inc., 1992. — 750 p.

References

- Beamish, R.J. and Nevill, C.-E.M.**, Evidence that pacific salmon production is related to growth in the first months in the ocean, *Vopr. Rybolov.*, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 5–15. doi 10.36038/0234-2774-2021-22-4-5-15
- Birman, I.B.**, Population dynamics and special status of chum salmon and pink salmon stocks in the Amur basin, in *Tr. Soveshch. Po vopr. Lososevogo khoz-va Dal'nego Vostoka* (Tr. Meeting By question. Salmon farm of the Far East), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1954, pp. 22–37.
- Bugaev, A.V., Tepnin, O.B., and Radchenko, V.I.**, Climate variability and pacific salmon productivity in Russian Far East, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2018, vol. 49, pp. 5–50. doi 10.15853/2072-8212.2018.49.5-50
- Volobuev, V.V. and Rogatnykh, A.Yu.**, Conditions for the reproduction of salmon of the genus *Oncorhynchus* on the mainland coast of the Sea of Okhotsk, *Vopr. Ikhtiol.*, 1997, vol. 37, no. 5, pp. 612–618.
- Gritsenko, O.F.**, *Prokhnodnye ryby ostrova Sakhalin (sistematika, ekologiya, promysel)* (Diadromous Fishes of Sakhalin (Systematics, Ecology, Fisheries)), Moscow: VNIRO, 2002.
- Draper, N. and Smith, H.**, *Applied regression analysis*, New York: John Wiley & Sons, 1998.
- Dubrova, T.A.**, *Statisticheskiye metody prognozirovaniya* (Statistical forecasting methods), Moscow: Unity-Dana, 2003.
- Zykov, L.A.**, *Bioekologicheskies i rybohozyajstvennyye aspekty teorii estestvennoj smertnosti ryb* (Bioecological and fisheries aspects of the theory of natural mortality of fish), Astrahan': Astrakhan Univ., 2005.
- Kaev, A.M.**, Decreasing of the pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) abundance in Sakhalin-Kuril region as consequence of extreme environmental factors impact, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 192, pp. 3–14. doi 10.26428/1606-9919-2018-192-3-14
- Karpenko, V.I.**, *Ranniy morskoy period zhizni tikhookeanskikh lososey* (Early marine life of Pacific salmon), Moscow: VNIRO, 1998.
- Klyashtorin, L.B. and Lyubushin, A.A.**, *Tsiklicheskiye izmeneniya klimata i ryboproduktivnosti* (Cyclic Changes in Climate and Fish Capacity), Moscow: VNIRO, 2005.
- Kozlov, V.A.**, Pseudoreplication in ecological research: the problem overlooked by russian scientists, *Zh. Obshch. Biol.*, 2003, vol. 64, no. 4, pp. 292–307.
- Korotaev, Yu.A.**, Influence of hydrological conditions on the reproduction of Anadyr chum salmon, in *Pervyi Kongr. Ikhtiologov Possii, Tezisy Dokl.* (Proc. 1st Congr. Russ. Ichthyologists), Astrakhan, 1997, p. 157.
- Kostarev, V.L.**, Some patterns of fluctuations in the numbers of Okhotsk salmon, in *Lososevoye khozyaystvo Dal'nego Vostoka* (Salmon farming in the Far East), Moscow: Nauka, 1964, pp. 77–83.
- Kotenev, B.N., Bogdanov, M.A., Krovnin, A.S., and Mury, G.P.**, Climate change and dynamics of Far Eastern salmon catches, *Vopr. Promysl. Okeanol.*, 2010, vol. 7, no. 1, pp. 60–92.
- Levanidov, V.Ya.**, On the hydrological regime of spawning grounds for chum salmon and pink salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1968, vol. 64, pp. 101–125.
- Lysenko, A.V.**, Geomorphology of spawning grounds for autumn chum salmon and pink salmon in the northeast of Primorye, in *Tez. dokl. Vseros. Konf. molodykh uchenykh, posvyashch. 140-letiyu so dnya rozhdeniya N.M. Knipovicha* (Proc. All-Russ. Conf. Young Sci. Commem. 140th Year Anniv. Birth N.M. Knipovich), Murmansk, 2002, pp. 127–128.
- Maksimenko, V.P. and Antonov, N.P.**, *Kolichestvennyye metody otsenki rybnykh zapasov* (Quantitative methods of fish reserves evaluation), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2003.
- Naydenko, S.V., Khen, G.V., Figurkin, A.L., Kuznetsova, N.A., Starovoytov, A.N., Somov, A.A., and Shebanova, M.A.**, Environmental surrounding of pink salmon juveniles during fall and winter 2019/2020, *Vopr. Rybolov.*, 2021, vol. 22, no.4, pp. 96–115. doi 10.36038/0234-2774-2021-22-4-96-115
- Nikolsky, G.V.**, *Teoriya dinamiki stada ryb kak biologicheskaya osnova ratsional'noi ekspluatatsii i vosproizvodstva rybnykh resursov* (The Theory of Fish Stock Dynamics as a Biological Basis for the Rational Exploitation and Reproduction of Fish Resources), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1974, 2nd ed.
- Ostrovsky, V.I.**, The role of natural selection in the formation of the age structure of subisolates of sockeye salmon from Lake Azabachye, in *Populyatsionnaya biologiya i sistematika lososevykh* (Population Biology and Taxonomy of Salmon), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1980, pp. 24–29.
- Ostrovsky, V.I.**, Factors controlling the pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* juveniles abundance in the Iska River, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 166, pp. 88–102.
- Ostrovsky, V.I.**, Factors controlling abundance of downstream juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in the Mi River, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 177, pp. 156–166. doi 10.26428/1606-9919-2014-177-156-166

Ostrovsky, V.I., Factors controlling the chum salmon *Oncorhynchus keta* juveniles abundance in the Iska River, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 168, pp. 121–136.

Ostrovsky, V.I., Factors controlling the chum salmon (*Oncorhynchus keta*) juveniles abundance in the Mi River, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 172, pp. 94–105.

Ostrovsky, V.I. and Podorozhnyuk, E.V., Factors controlling the fall chum salmon (*Oncorhynchus keta*) juveniles abundance in the Khor River, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2009, vol. 159, pp. 176–189.

Ostrovsky, V.I. and Ponomarev, A.S., Ependence of number of chum salmon *Oncorhynchus keta* progeny in Okhotsky district on number of their parents and environments of reproduction, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 3, pp. 605–617. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-605-617

Ostrovsky, V.I. and Ponomarev, S.D., Patterns of reproduction and strategy of exploitation of chum salmon in the Okhotsk region, in *Mater. nauchn. konf., posvyashch. 70-letiyu S.M. Konovalova "Sovremennoe sostoyanie vodnyh bioresursov"* (Proc. Sci. Conf. 70th anniversary of S.M. Konovalova "Current state of aquatic biological resources"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008, pp. 396–401.

Parensky, V.A. and Shevlyakov, E.A., Overcrowding of spawning grounds by spawners of sockeye salmon is the reason for discreteness of juveniles in terms of hatching and size-mass characteristics, in *Pervyi Kongr. Ikhtiologov Possii, Tezisy Dokl.* (Proc. 1st Congr. Russ. Ichthyologists), Moscow: VNIRO, 1997, p. 49.

Pastyrev, V.A., Airborne visual surveillance application for fisheries researches in the northwestern Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 148, pp. 42–56.

Pollard, J.H., *A Handbook of Numerical and Statistical Techniques: with Examples Mainly from the Life Sciences*, New York: Cambridge Univ. Press, 1977.

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

Smirnov, A.G., Status of Amur salmon stocks and causes of their numerical fluctuations, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1947, vol. 25, pp. 33–53.

Tarazanov, V.I., Ponomarev S.D., and Denisenko, E.V., Features of the spawning run of salmon in the rivers of the Okhotsk region (Khabarovsk Territory): dynamics, timing, population estimates, in *Mater. nauchn. konf., posvyashch. 70-letiyu S.M. Konovalova "Sovremennoe sostoyanie vodnyh bioresursov"* (Proc. Sci. Conf. 70th anniversary of S.M. Konovalova "Current state of aquatic biological resources"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008, pp. 414–418.

Trostenikov, M.V., Wet and dry summer seasons in the Amur region and solar activity, in *Vopr. geografii Dal'nego Vostoka. Klimat i voda* (Question. geography of the Far East. Climate and water), Khabarovsk, 1967, pp. 3–22.

Tyurin, P.V., Factor of natural mortality of fish and its importance in the regulation of fisheries, *Vopr. Ikhtiol.*, 1962, vol. 2, no. 3(24), pp. 403–427.

Tyurin, P.V., "Normal" curves of the experience and rate of natural mortality of fish as a basis for fisheries regulation, *Izv. Gos. Nauchno-Issled. Inst. Ozer. Rechn. Rybn. Khoz.*, 1972, vol. 71, pp. 71–127.

Chupakhin, V.M., Natural reproduction of the South Kuril pink salmon, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1975, vol. 106, pp. 67–77.

Shevlyakov, E.A., Shubkin, S.V., Dubynin, V.A., Malykh, K.M., Golub, E.V., Golub, A.P., Kaev, A.M., and Koval, M.V., Methods for accounting for spawners of Pacific salmon in spawning grounds and migration routes to them, in *Byull. no. 8 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 8 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2013, pp. 36–57.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., *Tikhookeanskije lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh* (Pacific Salmon in Marine and Ocean Ecosystems), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008, vol. 1.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., *Tikhookeanskije lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh* (Pacific Salmon in Marine and Ocean Ecosystems), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2011, vol. 2.

Wilkinson, L., Hill, M.-A., Welna, J.P., and Birkenbeyer, G.K., *Systat for Windows: Statistics. Version 5*, Evanston: Systat. Inc., 1992.

Поступила в редакцию 15.09.2022 г.

После доработки 11.10.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

*The article was submitted 15.09.2022; approved after reviewing 11.10.2022;
accepted for publication 21.11.2022*

Краткое сообщение

УДК 597–19(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-828-835

EDN: IEIWOG

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВИДОВОМ СОСТАВЕ РЫБ БУХТЫ АЛЕКСЕЕВА
(ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)****А.И. Маркевич¹, П.С. Зимин², А.Е. Суботэ², В.К. Фищенко^{2*}**¹ Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17;² Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

Аннотация. В результате мониторинга рыб бухты Алексева (о. Попова) в 2021 г. при помощи системы долговременного подводного видеонаблюдения отмечена вторая достоверная встреча редкой для зал. Петра Великого рыбы — высокотелой лакедры *Seriola dumerili* (Risso 1810) (Carangidae). Также впервые в бухте встречены *Oplegnathus fasciatus*, *Pholis crassispina* и *Gymnogobius heptacanthus*, ранее — *Salangichthys microdon* и *Liparis agassizii*. Общее количество зарегистрированных видов рыб бухты в настоящее время увеличилось до 60.

Ключевые слова: мониторинг рыб, высокотелая лакедра, полосатый оплегнат, стационарная подводная видеосистема, веб-камера, залив Петра Великого

Для цитирования: Маркевич А.И., Зимин П.С., Суботэ А.Е., Фищенко В.К. Новые данные о видовом составе рыб бухты Алексева (залив Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 828–835. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-828-835. EDN: IEIWOG.

Short message

**New data on species composition of fish in the Alekseev Bay
(Peter the Great Bay, Japan Sea)****Alexander I. Markevich*, Petr S. Zimin**, Alexey E. Subote***,
Vitaliy K. Fishchenko******

* National Scientific Center of Marine Biology, Russian Ac. Sci.,
17, Palchevskogo Str., Vladivostok, 690041, Russia;
, *, **** Pacific Oceanological Institute, Russian Ac. Sci.,
43, Baltiiskaya Str., Vladivostok, 690041, Russia

* Ph.D., researcher, alexmarkfish@mail.ru, ORCID 0000-0002-6610-9397

** Ph.D., senior researcher, petr_zimin_poi92@mail.ru, ORCID 0000-0003-1056-3176

*** Researcher, subote.ae@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0001-7368-1431

**** Ph.D., senior researcher, fishchenko@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-5744-8207

* Маркевич Александр Игоревич, кандидат биологических наук, научный сотрудник, alexmarkfish@mail.ru, ORCID 0000-0002-6610-9397; Зимин Петр Степанович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, petr_zimin_poi92@mail.ru, ORCID 0000-0003-1056-3176; Суботэ Алексей Евгеньевич, научный сотрудник, subote.ae@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0001-7368-1431; Фищенко Виталий Константинович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, fishchenko@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-5744-8207.

© Маркевич А.И., Зимин П.С., Суботэ А.Е., Фищенко В.К., 2022

Abstract. By monitoring of fish in the Alekseev Bay of Popov Island with the long-time underwater video observation system, greater amberjack *Seriola dumerili* (Risso 1810) (Carangidae) was registered in the second time in Peter the Great Bay and several species were registered in the first time in the Alekseev Bay (*Oplegnathus fasciatus*, *Pholis crassispina*, *Gymnogobius heptacanthus*, *Salangichthys microdon*, and *Liparis agassizii*). The list of fish species for the Alekseev Bay is widened to 60 species.

Keywords: fish monitoring, *Seriola dumerili*, *Oplegnathus fasciatus*, long-time underwater video observation system, web camera, Peter the Great Bay

For citation: Markevich A.I., Zimin P.S., Subote A.E., Fishchenko V.K. New data on species composition of fish in the Alekseev Bay (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 828–835. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-828-835. EDN: IEIWOG.

Введение

Проведение долговременного мониторинга морской биоты — актуальная задача нашего времени в связи с постоянно изменяющимся видовым составом животных и растений прибрежной зоны и феноменом проникновения инвазивных видов [Адрианов и др., 2005]. Мониторинг ихтиофауны ведется разными методами и в акватории зал. Петра Великого Японского моря. Особое внимание обращено в последние годы на проникновение рыб — южных мигрантов, которых насчитывается до 25 % всего видового состава рыб залива [Соколовский и др., 2011]. Часто сообщается о регистрации как новых для ихтиофауны залива видов [Баланов, Маркевич, 2011; Калчугин и др., 2015; Земнухов и др., 2016; Маркевич, 2019], так и о новых находках единично встречающихся рыб-мигрантов [Долганов, 2019; Маркевич, 2021].

В бухте Алексеева зал. Петра Великого для целей регулярного мониторинга биоты установлена система долговременного подводного видеонаблюдения (СДПВ), которая позволяет вести наблюдения за рыбами как в режиме реального времени, так и анализируя фото- и видеоизображения из архива.

Цель настоящей работы состояла в представлении кратких результатов мониторинга рыб бухты Алексеева с использованием СДПВ в 2021 г. и в дополнении видового состава рыб бухты.

Материалы и методы

В последние годы в разных странах мира для ведения мониторинга моря широко применяются удаленные системы долговременного подводного видеонаблюдения различных конструкций [Report..., 2005; Jan et al., 2007; Гомелюк, 2008; Bachelier et al., 2014; Boom et al., 2014; Santana-Garcon et al., 2014; McLean et al., 2015; Finucci et al., 2019]. Они ведут регулярное накопление видеоинформации для ее последующего анализа, а также обычно подключены к интернету и транслируют видео в реальном времени. Образец СДПВ разработан в Тихоокеанском океанологическом институте им. В.И. Ильичева ДВО РАН и был установлен в 2012 г. в бухте Алексеева о. Попова (юго-западная часть Амурского залива зал. Петра Великого, координаты местоположения СДПВ — 42°58'50.38" с.ш. 131°43'45.17" в.д.). СДПВ состоит из подводного модуля, кабеля электропитания и связи и берегового пункта обеспечения. Подводный модуль состоит из бокса с видеокамерой и закрепленными на нем осветителями, глубина его установки — 3,5 м, дальность обзора в воде — до 5 м. Видеокамера либо была нацелена в толщу воды, либо устанавливалась вблизи подобия модуля искусственного рифа, состоящего из нескольких пластмассовых кухтылей, обросших мидиями *Грзя Crenomytilus grayanus*, актиниями, гидроидами и прочими сидячими организмами. Режим работы СДПВ непрерывный, круглосуточный. Фотоснимки и видеофрагменты передаются в береговую базу хранения данных. Подробное описание СДПВ было сделано ранее [Маркевич и др., 2015]. Данная работа выполнена на базе научно-об-

разовательного центра инновационных методов исследования и мониторинга морской среды (НОЦ ИМИМС) ТОИ ДВО РАН (МЭС «Остров Попова»). Для оценки видового состава рыб бухты Алексеева было просмотрено выборочно более 6440 фотоснимков и 230 видеофрагментов из архива СДПВ за июль-ноябрь 2021 г., а также выборочно использованы данные видеозаписей за 2014–2020 гг., на которых зарегистрированы рыбы, ранее не отмеченные в бухте.

Результаты и их обсуждение

8 июля 2021 г. на видеофрагментах, снятых ночью, в 5 час 28 мин в стае японского анчоуса *Engraulis japonicus* (Engraulidae) был идентифицирован один экземпляр (рис. 1) высокотелой (китайской) лакедры *Seriola dumerili* (Risso, 1810) (Carangidae). Особь была абсолютной длиной около 20 см и имела характерную для молоди этого вида форму тела и окраску с 5 широкими вертикальными полосами на теле и косой полосой, проходящей от спины через глаз к нижней челюсти [https://www.fishbase.org]. Рыба на короткое время появилась на краю освещенной прожекторами зоны. Ранее высокотелая лакедра была впервые сфотографирована в водах России А.В. Ратниковым (Дальневосточный морской заповедник ДВО РАН) 19 сентября 2003 г. в бухте Западной о. Фуругельма. На этом основании она была включена в список видов рыб Дальневосточного морского заповедника [Маркевич и др., 2004] и зал. Петра Великого [Соколовский и др., 2011], где приведена и ее фотография. Этот вид является значительно более редким, чем два других вида рода *Seriola*, отмеченных в заливе, — желтохвостая *S. quinqueriata* [Калчугин и др., 2015] и золотистая *S. lalandi* лакедры, которые часто встречаются летом и осенью в уловах ставных сетей, подводных охотников и рыбаков-спиннингистов.



Рис. 1. Высокотелая (китайская) лакедра *Seriola dumerili*, зарегистрированная СДПВ в бухте Алексеева о. Попова 8 июля 2021 г. вместе со стаей японского анчоуса *Engraulis japonicus*

Fig. 1. Greater amberjack *Seriola dumerili* registered by the underwater video observation system in the Alekseev Bay of Popov Island on July 8, 2021, together with a school of japanese anchovy *Engraulis japonicus*

11 ноября 2021 г. в 8 час 31 мин был зарегистрирован полосатый оплегнат *Oplegnathus fasciatus* (Oplegnathidae), кратковременно появившийся в условиях низкой прозрачности воды у модуля искусственного рифа (рис. 2). Этот вид регулярно, но эпизодически встречается в разных частях зал. Петра Великого [Соколовский и др., 2011].



Рис. 2. Пятнистый оплегнат *Oplegnathus fasciatus* у модуля искусственного рифа
Fig. 2. Striped beakfish *Oplegnathus fasciatus* at the artificial reef module

В конце августа и сентябре на модуле искусственного рифа среди мидий несколько раз был отмечен толстошипый маслюк *Pholis crassispina* (Pholidae) (рис. 3). Ранее в бухте Алексеева был встречен только полосатый маслюк *Pholis fasciata* [Гомелюк и др., 1990]. Следует отметить, что в конце июля и начале августа 2021 г. в зал. Петра Великого создались условия, при которых температура воды на мелководье достигла аномальных значений — выше 26 °С в Амурском заливе [Зуенко и др., 2022]. В бухте Алексеева температура на поверхности тоже была выше 26 °С, видимо, поэтому в течение 2 нед в поле зрения СДПВ обычные виды рыб мелководья почти не регистрировались. Многочисленным был только большеглазый бычок *Gymnogobius heptacanthus* (Gobiidae), большие стаи которого практически постоянно отмечались у модуля искусственного рифа (рис. 4), как и повсеместно на мелководье о. Попова (наши данные). Ранее мальки большеглазого бычка были зарегистрированы в бухте Алексеева в составе ихтиопланктона [Завертанова, 2010].



Рис. 3. Толстошипый маслюк *Pholis crassispina* (отмечен белой стрелкой) на модуле искусственного рифа
Fig. 3. Spotted gunnel *Pholis crassispina* (marked with white arrow) on the artificial reef module



Рис. 4. Стая большеглазого бычка *Gymnogobius heptacanthus* у модуля искусственного рифа
Fig. 4. School of sevenspine goby *Gymnogobius heptacanthus* at the artificial reef module

Из 4 видов впервые встреченных в бухте рыб 2 — высокотелая лакедра и полосатый оплегат — относятся к южным мигрантам, что подтверждает регулярное их проникновение в акваторию зал. Петра Великого. Другие впервые отмеченные нами в бухте рыбы являются аборигенными. Регистрация здесь высокотелой лакедры *Seriola dumerili* явилась вторым достоверным подтверждением обитания этой рыбы в зал. Петра Великого. Ранее на основе анализа изображений от СДПВ за 2013 г. было показано, что среди 22 зарегистрированных видов рыб [Маркевич и др., 2015] обнаружено два вида — бородатая лисичка *Pallasina barbata* (Agonidae) и колючий пинагор *Eumicrotremus pacificus* (Cyclopteridae), — не встреченных здесь в предыдущих исследованиях [Волова и др., 1980; Гомелюк и др., 1990].

Заключение

По результатам видеомониторинга ихтиофауны бухты Алексеева в 2022 г. к списку рыб бухты, состоящему из 54 наименований [Волова и др., 1980; Гомелюк и др., 1990; Маркевич и др., 2015], добавилось 4 вида: *Seriola dumerili*, *Oplegnathus fasciatus*, *Pholis crassispina*, *Gymnogobius heptacanthus*. Учитывая, что за период с 2014 по 2020 г. у СДПВ были встречены еще 2 вида рыб, не указанных ранее для бухты, — саланкс *Salangichthys microdon* (Salangidae) и липарис Агассица *Liparis agassizii* (Liparidae) — общее количество зарегистрированных рыб бухты составило 60 видов.

Система долговременного подводного видеонаблюдения показала свою пригодность и эффективность при мониторинге рыб. Дальнейшее ее улучшение лежит в области систематизации архивной базы изображений и применении искусственного интеллекта для автоматизированного определения видов рыб.

Благодарности (ACKNOWLEDGMENT)

Авторы выражают благодарность А.А. Кепелю (НИЦМБ ДВО РАН) за помощь в редактировании фотографий.

Authors are thankful to A.A. Kepel (Natl. Sci. Center of Marine Biology) for his assistance in photo editing.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented.

Authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Просмотр архива изображений, определение рыб, написание текста статьи, редактирование фотографий — А.И. Маркевич; просмотр архива изображений, обеспечение работы СДПВ в полевых условиях — П.С. Зимин; программное обеспечение работы СДПВ — А.Е. Суботэ; общее руководство работы проекта СДПВ — В.К. Фищенко.

Video images viewing, fish species identifying, text writing, photo editing — A.I. Markevich; the images viewing, the underwater video observation system maintenance — P.S. Zimin; software support for the underwater video observation system — A.E. Subote; general management of the project — V.K. Fishchenko.

Список литературы

Адрианов А.В., Тарасов В.Г., Щербатюк А.Ф. Применение и перспективы сезонного видеомониторинга на особо охраняемых морских акваториях залива Петра Великого (Японское море) // Вестн. ДВО РАН. — 2005. — № 1(119). — С. 19–26.

Баланов А.А., Маркевич А.И. Первое обнаружение *Carangoides equula* (Temminck et Schlegel, 1844) (Carangidae) в российских водах // Вопр. ихтиол. — 2011. — Т. 51, № 5. — С. 691–694.

Волова Г.Н., Жакина Т.И., Микулич Л.В. Бентос бухты Алексеева (залив Петра Великого) // Прибрежный планктон и бентос северной части Японского моря. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1980. — С. 32–56.

Гомелюк В.Е. Исследования сообществ рыб в мелководных биотопах моря Арафура с помощью подводной дистанционной видеосистемы с приманкой // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 153. — С. 181–200.

Гомелюк В.Е., Кондрашев С.Л., Левин А.В. Ихтиофауна бухты Алексеева острова Попова (залив Петра Великого, Японское море) и влияние на нее культивирования приморского гребешка // Биология шельфовых и проходных рыб. — Владивосток : ИБМ ДВО РАН, 1990. — С. 5–8.

Долганов В.Н. Первое описание зеркального солнечника *Zenopsis nebulosa* (Temminck et Schlegel, 1847) в водах Приморья // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 196. — С. 101–103. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-101-103.

Завертанова Ю.В. Ихтиопланктон бухты Алексеева (залив Петра Великого, Японское море) в 2006–2007 гг. // Вопр. рыб-ва. — 2010. — Т. 11, № 1(41). — С. 38–47.

Земнухов В.В., Барабанщиков Е.И., Туранов С.В. Synodontidae (Pisces: Aulopiformes) — новое семейство для фауны России // Биол. моря. — 2016. — Т. 42, № 3. — С. 244–245.

Зуенко Ю.И., Никитин А.А., Фигуркин А.А., Матвеев В.И. Жаркое лето 2021 года в Приморье: марикультурные аспекты // Морская биология в 21 веке: систематика, генетика, экология морских организмов (памяти академика Олега Григорьевича Кусакина) : тез. докл. Всерос. конф. — Владивосток : ННЦМБ ДВО РАН, 2022. — С. 145–146.

Калчугин П.В., Соломатов С.Ф., Джин-Хо Пак. Новые и редкие для залива Петра Великого и вод республики Корея (Японское море) виды рыб // Вопр. ихтиол. — 2015. — Т. 55, № 2. — С. 156–163. DOI: 10.7868/S0042875215020113.

Маркевич А.И. Новые для ихтиофауны Дальневосточного морского заповедника виды рыб // Биота и среда природных территорий. — 2021. — № 1. — С. 65–71. DOI: 10.37102/2782-1978_2021_1_5.

Маркевич А.И. *Petroscirtes variabilis* Cantor, 1849 (Actinopterygii: Blenniidae) и *Sphyraena flavicauda* Ruppell, 1838 (Actinopterygii : Sphyraenidae) — новые виды для ихтиофауны России // Биол. моря. — 2019. — Т. 45, № 2. — С. 141–144. DOI: 10.1134/S0134347519020074.

Маркевич А.И., Ратников А.В., Соколовский А.С., Соколовская Т.Г. Новые для России виды рыб // Дальневосточный морской биосферный заповедник / ред. А.Н. Тюрин, А.Л. Дроздов. — Владивосток : Дальнаука, 2004. — Т. 2 : Биота. — С. 802.

Маркевич А.И., Суботэ А.Е., Зимин П.С., Фищенко В.К. Первый опыт использования системы долговременного подводного видеонаблюдения для биологического мониторинга в заливе Петра Великого (Японское море) // Вестн. ДВО РАН. — 2015. — № 1. — С. 86–91.

Соколовский А.С., Соколовская Т.Г., Яковлев Ю.М. Рыбы залива Петра Великого : моногр. — 2-е изд., испр. и доп. — Владивосток : Дальнаука, 2011. — 431 с.

Bacheler N.M., Berrane D.J., Mitchell W.A. et al. Environmental conditions and habitat characteristics influence trap and video detection probabilities for reef fish species // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 2014. — Vol. 517. — P. 1–14. DOI: 10.3354/meps11094.

Boom B.J., He J., Palazzo S. et al. A research tool for long-term and continuous analysis of fish assemblage in coral-reefs using underwater camera footage // Ecol. Informatics. — 2014. — Vol. 23. — P. 83–97. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2013.10.006.

Finucci B., Hurst R.J., Bagley N.W. et al. Diversity, abundance, behavior, and catchability of fishes from trap catch and underwater video in the Arabian Gulf // Fish. Res. — 2019. — Vol. 220. 105342. DOI: 10.1016/fishres.2019.105342.

Jan R.-Q., Shao Y.T., Lin F.P. et al. An underwater camera system for real-time coral reef fish monitoring // The Raffles Bull. Zool. — 2007. — Suppl. 14. — P. 273–279.

McLean D.L., Green M., Harvey E.S. et al. Comparison of baited longlines and baited underwater cameras for assessing the composition of continental slope deepwater fish assemblages off south-east Australia // Deep-Sea Res. I. — 2015. — Vol. 98. — P. 10–20. DOI: 10.1016/j.dsr.2014.11.013.

Report of the National Marine Fisheries Service Workshop on Underwater Video Analysis / eds D.A. Somerton, C.T. Glendhill. — Seattle : U.S. Dep. Commerce. NOAA Tech. Memo. NMFS-F/SPO-68. — 2005. — 69 p.

Santana-Garcon J., Newman S.J., Harvey E.S. Development and validation of a mid-water baited stereo-video technique for investigating pelagic fish assemblages // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. — 2014. — Vol. 452. — P. 82–90. DOI: 10.1016/j.jembe.2013.12.009.

References

Adrianov, A.V., Tarasov, V.G., and Shcherbatyuk, A.F., Application and prospects of the seasonal video-monitoring in protected sea areas in Peter the Great Bay (Sea of Japan), *Vestnik DVO RAN*, 2005, no. 1(119), pp. 19–26.

Balanov, A.A. and Markevich, A.I., First occurrence of *Carangoides equula* (Temminck et Schlegel, 1844) (Carangidae) in Russian waters, *J. Ichthyol.*, 2011, vol. 51, no. 8, pp. 666–669. doi 10.1134/S0032945211040023

Volova, G.N., Zhakina, T.I., and Mikulich, L.V., Benthos of Alekseeva Bay (Peter the Great Bay, in *Pribrezhnyy plankton i bentos severnoy chasti Yaponskogo morya* (Coastal plankton and benthos of the northern part of the Sea of Japan), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1980, pp. 32–56.

Gomelyuk, V.E., Study of fish communities in biotopes of the Arafura Sea shallows by means of baited remote underwater video system, *Izv. Tihookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 153, pp. 181–200.

Gomelyuk, V.E., Kondrashev, S.L., and Levin, A.V., Ichthyofauna of Alekseev Bay, Popov Island (Peter the Great Bay, Sea of Japan) and the influence of seaside scallop cultivation on it, in *Biologiya shel'fovykh i prokhodnykh ryb* (Biology of shelf and anadromous fish), Vladivostok: Inst. Biol. Morya, Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 1990, pp. 5–8.

Dolganov, V.N., First description of mirror dory *Zenopsis nebulosa* (Temminck et Schlegel, 1847) from the waters of Primorye, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 196, pp. 101–103. doi 10.26428/1606-9919-2019-196-101-103

Zavertanova, Y.V., Ichthyoplankton of Alekseeva Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) in 2006–2007, *Vopr. Rybolov.*, 2010, vol. 11, no. 1(41), pp. 38–47.

Zemnukhov, V.V., Turanov, S.V., and Barabanshchikov, E.I., Synodontidae (Pisces: Aulopiformes), a new family for fauna of Russia, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2016, vol. 42, no. 3, pp. 279–280. doi 10.1134/S1063074016030111

Zuenko, Yu.I., Nikitin, A.A., Figurkin, A.A., and Matveev, V.I., Hot summer of 2021 in Primorye: maricultural aspects, in *Tezisy dokl. Vseros. konf. "Morskaya biologiya v 21 veke: sistematika, genetika, ekologiya morskikh organizmov"* (pamyati akademika Olega Grigor'evicha Kusakina) (Proc. All-Russ. Conf. "Marine biology in the 21st century: systematics, genetics, ecology of marine organisms" (in memory of academician Oleg Grigoryevich Kussakin), Vladivostok: NNCMB DVO RAN, 2022, pp. 145–146.

Kalchugin, P.V., Solomatov, S.F., and Park, J.-H., New and rare fish species for Peter the Great Bay and waters of the republic of Korea, Sea of Japan, *J. Ichthyol.*, 2015, vol. 55, no. 2, pp. 172–179. doi 10.1134/S0032945215020083

Markevich, A.I., New fish species for the fish fauna of Far Eastern Marine Reserve, *Biota i sreda prirodnikh territoriy*, 2021, no. 1, pp. 65–71. doi 10.37102/2782-1978_2021_1_5

Markevich, A.I., *Petrosirtes variabilis* Cantor, 1849 (Actinopterygii: Blenniidae) and *Sphyraena flavicauda* Rüppell, 1838 (Actinopterygii: Sphyraenidae), new species in the ichthyofauna of Russia, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2019, vol. 45, no. 2, pp. 159–161. doi 10.1134/S106307401902007X

Markevich, A.I., Ratnikov, A.V., Sokolovskij, A.S., and Sokolovskaya, T.G., Novyye dlya Rossii vidy ryb, in *Far-Eastern Marine Biospherical Reserve. Biota*, Tyurin, A.N., Drozdov, A.L., eds, Vladivostok: Dal'nauka, 2004, vol. 2, p. 802.

Markevich, A.I., Subote, A.E., Zimin, P.S., and Fishchenko, V.K., The first experience of long-time underwater video observation system using for biological monitoring in the Peter the Great Bay (the Sea of Japan), *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2015, no. 1, pp. 86–91.

Sokolovsky, A.S., Sokolovskaya, T.G., and Yakovlev, Yu.M., *Ryby zaliva Petra Velikogo* (Fishes of Peter the Great Bay), Vladivostok: Dal'nauka, 2011.

Bacheler, N.M., Berrane, D.J., Mitchell, W.A., Schobernd, C.M., Schobernd, Z.H., Teer, B.Z., and Ballenger, J.C., Environmental conditions and habitat characteristics influence trap and video detection probabilities for reef fish species, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2014, vol. 517, pp. 1–14. doi 10.3354/meps11094

Boom, B.J., He, J., Palazzo, S., Huang, P.X., Beyan, C., Chou, H.-M., Lin, F.-P., Spampinato, C., and Fisher, R.B., A research tool for long-term and continuous analysis of fish assemblage in coral-reefs using underwater camera footage, *Ecol. Informatics*, 2014, vol. 23, pp. 83–97. doi 10.1016/j.ecoinf.2013.10.006

Finucci, B., Hurst, R.J., Bagley, N.W., Al Dhaheri, S.S., and Grandcourt, E.M., Diversity, abundance, behavior, and catchability of fishes from trap catch and underwater video in the Arabian Gulf, *Fish. Res.*, 2019, vol. 220, 105342. doi 10.1016/fishres.2019.105342.

Jan, R.-Q., Shao, Y.T., Lin, F.P., Fan, T.-Y., Tu, Y.-Y., Tsai, H.-S., and Shao, K.-T., An underwater camera system for real-time coral reef fish monitoring, *The Raffles Bull. Zool.*, 2007, Suppl. 14, pp. 273–279

McLean, D.L., Green, M., Harvey, E.S., Williams, A., Daley, R., and Graham, K.J., Comparison of baited longlines and baited underwater cameras for assessing the composition of continental slope deepwater fish assemblages off southeast Australia, *Deep Sea Res., Part I*, 2015, vol. 98, pp. 10–20. doi 10.1016/j.dsr.2014.11.013.

Report of the National Marine Fisheries Service Workshop on Underwater Video Analysis, Somerton, D.A., Glendhill, C.T., eds, Seattle: U.S. Dep. Commerce, NOAA Tech. Memo, NMFS-F/SPO-68, 2005.

Santana-Garcon, J., Newman, S.J., and Harvey, E.S., Development and validation of a mid-water baited stereo-video technique for investigating pelagic fish assemblages, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 2014, vol. 452, pp. 82–90. doi 10.1016/j.jembe.2013.12.009.

Frøese, R. and Pauly, D., *FishBase*, World Wide Web electronic publication. <http://www.fishbase.org>, 2022, version (06/2022).

Поступила в редакцию 10.10.2022 г.

После доработки 21.10.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 10.10.2022; approved after reviewing 21.10.2022; accepted for publication 21.11.2022

Научная статья

УДК 597.556.35

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-836-849

EDN: IELZBQ

**О ВАЛИДНОСТИ ВИДОВ РОДА CLEISTHENES
(PLEURONECTIFORMES: PLEURONECTIDAE)****О.З. Бадаев, И.С. Черниенко***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Рассмотрена правомерность применения видовых таксонов рода *Cleisthenes*. На основе литературных данных показано значительное и достоверное расхождение рыб по морфологии, ставится под сомнение сведение форм «*pinetorum*» и «*herzensteini*» в один вид. Представители исследуемого рода, обитающие в водах зал. Сендай (Япония, префектуры Мияги и Фукусима), очевидно, являются *Cleisthenes pinetorum*. На остальной части ареала рода *Cleisthenes* обитает *C. herzensteini*.

Ключевые слова: *Cleisthenes*, *herzensteini*, *pinetorum*, остроголовая камбала, систематика, ареал, виды, морфология

Для цитирования: Бадаев О.З., Черниенко И.С. О валидности видов рода *Cleisthenes* (Pleuronectiformes: Pleuronectidae) // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 836–849. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-836-849. EDN: IELZBQ.

Original article

On validity of species of the genus *Cleisthenes* (Pleuronectiformes: Pleuronectidae)**Oleg Z. Badaev*, Igor S. Chernienko****

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

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

** Ph.D., leading researcher, Igor.chernienko@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-6410-0084

Abstract. Taxonomy status of genus *Cleisthenes* was revised several times from the time of its description (Jordan and Starks, 1904) to nowadays. Some species of this genus were even assigned to genus *Hippoglossoides*. At present, the stumbling block in taxonomy of the genus is: whether the genus is represented by two species (pointhead flounder *Cleisthenes herzensteini* and pinewood flounder *C. pinetorum*) or only one. The problem cannot be easily solved because of many contradictions in previous studies. On the base of retrospective information on taxonomy of these/these species, statistical significance for divergence of some morphological indices is identified by the Kolmogorov-Smirnov criterion of homogeneity, that prevents reduction of diversity for the forms *pinetorum* and *herzensteini* to one species.

* Бадаев Олег Зинурович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, badaev@yandex.ru, ORCID 0000-0001-9797-7763; Черниенко Игорь Сергеевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Igor.chernienko@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-6410-0084.

The flounders of genus *Cleisthenes* dwelling the waters of the Sendai Bay (Miyagi and Fukushima prefectures of Japan) are obviously *C. pinetorum*, whereas the rest of this genus range is inhabited by *C. herzensteini*.

Keywords: *Cleisthenes*, *herzensteini*, *pinetorum*, pointhead flounder, pinewood flounder, taxonomy, range of genus, species, morphology

For citation: Badaev O.Z., Chernienko I.S. On validity of species of the genus *Cleisthenes* (Pleuronectiformes: Pleuronectidae), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 836–849. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-836-849. EDN: IELZBQ.

Введение

Большеротые камбалы рода *Cleisthenes* (камбалы остроголовые) [Jordan, Starks, 1904] — обитатели приазиатских вод северной части Тихого океана. Их ареал включает северную часть Восточно-Китайского моря, Желтое, Японское моря, южную часть Охотского моря, южные Курильские острова и тихоокеанское побережье о-вов Хоккайдо и Хонсю [Линдберг, Федоров, 1993].

Со времени описания рода *Cleisthenes* [Jordan, Starks, 1904] и по настоящее время его видовые таксоны постоянно подвергаются ревизиям. Виды рода, кроме *Cleisthenes*, относили к родам *Hippoglossoides* [Шмидт, 1904; Sakamoto, 1984] и *Protopsetta* [Jordan, Starks, 1906; Snyder, 1912; Jordan et al., 1913; Okada et al., 1935]. В настоящее время спорным остается вопрос: один или два вида представлены в роду *Cleisthenes*. Ряд работ, посвященных таксономии фауны камбал, придерживается точки зрения, что видов в роде два, и разделяют *Cleisthenes herzensteini* [Шмидт, 1904] и *C. pinetorum* [Jordan, Starks, 1904, 1906; Kuronuma, 1939; Линдберг, Федоров, 1993; Cooper, Chapleau, 1998; Evseenko, 2004; Nelson, 2016]. Другие авторы считают, что в роде вид один [Wu, 1932; Sakamoto, 1984; Fishes..., 2002; Парин и др., 2014; Vinnikov et al., 2018]. Для дальневосточных морей без тихоокеанского побережья Японии один вид *C. herzensteini* указал Ю.П. Дьяков [2011]. Накопленные противоречия в предыдущих исследованиях ведут к путанице в системе рода *Cleisthenes*.

Цель исследования: на основании анализа истории изучения систематики, филогении, фауны остроголовой камбалы, а также выявления различий по некоторым морфологическим (меристическим) признакам и характеристикам окружающей среды сделать заключение о валидности видов исследуемого рода.

Материалы и методы

Данные по морфологическим признакам (меристическим) были доступны в виде сгруппированных рядов из статьи К. Куронума [Kuronuma, 1939]. По этой причине сравнивать два вида по совокупности признаков не представляется возможным, и каждый параметр рассматривался по отдельности.

Расчет t-критерия Стьюдента для каждого признака (число жаберных тычинок, лучей в спинном, анальном и грудных плавниках, пор в боковой линии) дает очень высокий уровень достоверности расхождения видов по ним ($p\text{-value} < 0,001$).

Достоверность различия частотных распределений признаков сравнивали критерием однородности Колмогорова-Смирнова. Критерий проверяет гипотезу об однородности двух выборок, а именно: выборки извлечены из одной и той же генеральной совокупности.

Для проверки гипотезы определяют меру расхождения между двумя эмпирическими распределениями двух выборок как максимальную абсолютную разность, называемую статистикой Колмогорова D [Шитиков и др., 2003]:

$$D = \max |F_{n_1}(x) - F_{n_2}(x)|, \quad (1)$$

где $F_{n_1}(x)$, $F_{n_2}(x)$ — эмпирические функции распределения (накопленные частоты) значений признака в выборках объемом соответственно n_1 и n_2 .

Для полученной величины вычисляется статистика Колмогорова-Смирнова λ , подчиняющаяся распределению Колмогорова, для которой рассчитывается уровень значимости p :

$$\lambda = \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} D. \quad (2)$$

Для проверки разделительной способности признака выполнили оценку параметров логистической регрессии [Шитиков и др., 2003]. Логистическая регрессия определяла вероятность принадлежности особи с определенным значением признака к *C. herzensteini* p_h .

В общем виде уравнение логистической регрессии записывается как

$$p_h = \frac{1}{1 + e^{-z}}, \quad (3)$$

где z — переменная, линейно зависящая от значений признаков. Поскольку в нашем случае признаки рассматриваются отдельно, $z = a + bx_i$, где x_i — величина признака i (число пор в боковой линии, число жаберных тычинок и т.д.). При $p_h > 0,5$ значение признака относили к камбале *C. herzensteini*, в противном случае к *C. pinetorum*. На рис. 1 приведены примеры эмпирических частот встречаемости *C. herzensteini* при соответствующих значениях признаков.

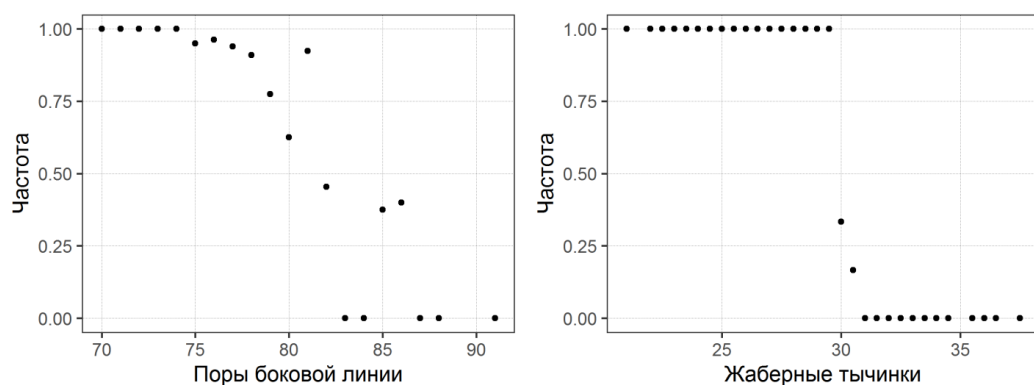


Рис. 1. Эмпирические доли в общей выборке для числа пор боковой линии и числа жаберных тычинок

Fig. 1. Empirical portions in the total sample for the number of pores in lateral line and the number of gill rakers

Выборки разделяли на обучающую и тестовую. По обучающей — выполняли оценку параметров, затем вычисляли значения для тестовой выборки и определяли число совпадений — точность A .

Результаты и их обсуждение

Под *Cleisthenes* и вид *C. pinetorum* описан в 1904 г. из бухты Маусима (рис. 2), в том числе у о. Кинказан [Jordan, Starks, 1904]. И в этом же году П.Ю. Шмидт [1904] по образцам из зал. Броутона у северо-восточного побережья п-ова Корея, зал. Петра Великого, недалеко от г. Владивосток, юго-западного побережья о. Сахалин у современного г. Холмск, о. Халезова у юго-восточного побережья п-ова Корея дает описание *Protopsetta herzensteini*. При описании этих видов была отмечена разница в количестве жаберных тычинок на первой дуге и чешуй в боковой линии.

В 1906 г. Д. Джордан и Э. Старкс [Jordan, Starks, 1906] дают описание этих видов под разными родами — *Cleisthenes pinetorum* и *Protopsetta herzensteini*. Кроме указанных при описании рода и вида *C. pinetorum* различий в счетных признаках и окраске, авторы отмечают, что у «*pinetorum*» «зубы мелкие острые в один ряд на каждой челюсти, едва

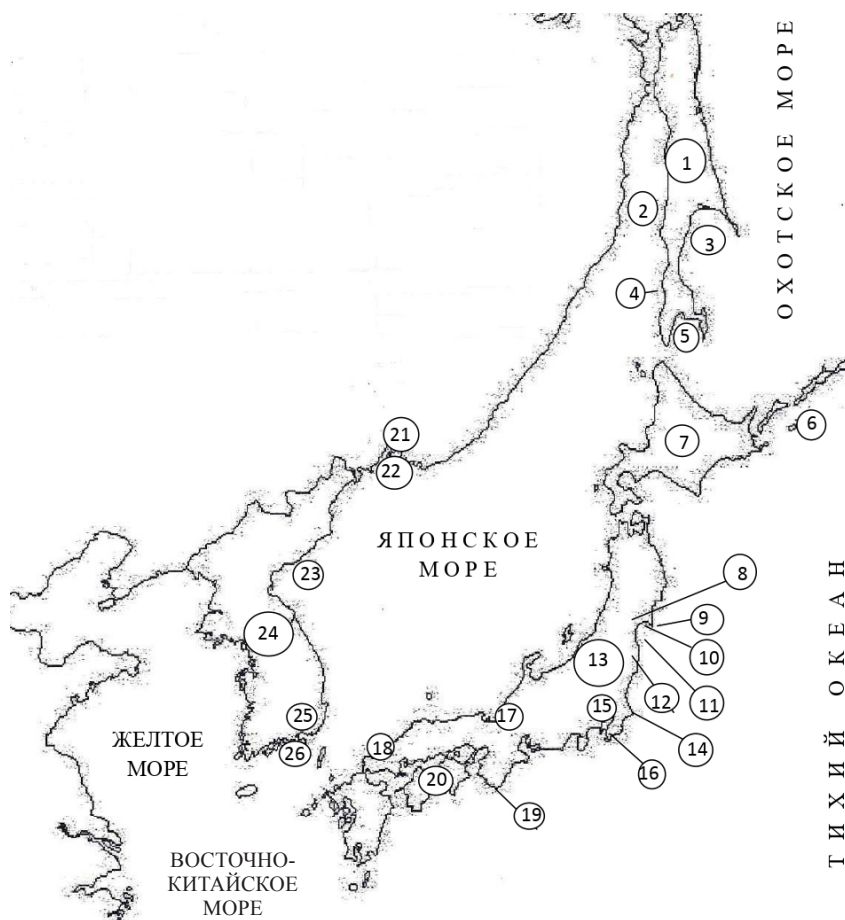


Рис. 2. Географические объекты, упоминающиеся в тексте: 1 — о. Сахалин; 2 — Татарский пролив; 3 — зал. Терпения; 4 — г. Холмск (ранее г. Маока); 5 — зал. Анива; 6 — южные Курильские острова; 7 — о. Хоккайдо; 8 — префектура Мияги; 9 — о. Кинказан; 10 — бухта Мацусима; 11 — зал. Сендай; 12 — префектура Фукусима и г. Иваки; 13 — о. Хонсю; 14 — мыс Инубо и г. Теси; 15 — г. Токио и г. Иокогама; 16 — п-ов Босо; 17 — префектура Фукуи; 18 — г. Хаги; 19 — мыс Куресаки; 20 — о. Сикоку; 21 — г. Владивосток; 22 — зал. Петра Великого; 23 — зал. Броутона (зал. Восточно-Корейский); 24 — п-ов Корея; 25 — г. Пусан; 26 — о. Халезова

Fig. 2. Geographical features mentioned in the text: 1 — Sakhalin Island; 2 — Tatar Strait; 3 — Terpeniya/Patience Bay; 4 — Kholmsk (former Maoka); 5 — Aniva Bay; 6 — south Kuril Islands; 7 — Hokkaido Island; 8 — Miyagi Prefecture; 9 — Kinkazan Island; 10 — Matsushima Bay; 11 — Sendai Bay; 12 — Fukushima Prefecture and Iwaki City; 13 — Honshu Island; 14 — Cape Inubo and Choshi City; 15 — Tokyo and Yokohama; 16 — Boso Peninsula; 17 — Fukui Prefecture; 18 — Hagi; 19 — Cape Kuresaki; 20 — Shikoku Island; 21 — Vladivostok; 22 — Peter the Great Bay; 23 — Chosonman/East-Korean Bay; 24 — Korea Peninsula; 25 — Busan; 26 — Khalezov Island

увеличены кпереди», а у «*herzensteini*» «зубы очень маленькие, острые и изогнутые; в два ряда на нижней челюсти».

Уже в 1915 г. К. Хаббс [Hubbs, 1915] при описании из типового местонахождения *C. pinetorum* подмечает его сходство с *P. herzensteini*, но отмечает «сильно выраженные ктеноидные чешуи тела и головы», а также большее количество жаберных тычинок у первого. Хаббс также дает роду *Protopsetta* синоним *Cleisthenes* [Jordan, Starks, 1904]. Затем Д. Джордан с соавторами [Jordan et al., 1925] относят 7 экз. пойманных у япономорского побережья о. Хонсю к *C. pinetorum* на основании 17–19 жаберных тычинок на нижней части первой жаберной дуги. Шмидт [Schmidt, 1931], очевидно,

подразумевая эти поимки и собственный образец из района г. Пусан (п-ов Корея), предполагает, что *C. herzensteini* является подвидом *C. pinetorum*, который встречается в бухте Мацусима зал. Сендай и в районе префектуры Фукуи япономорского побережья о. Хонсю. Ву Хсен-Вен [Wu, 1932] по нескольким экземплярам из Желтого моря называет *C. herzensteini* синонимом *C. pinetorum*. Дж. Норман [Norman, 1934], приводя в описании те же данные по количеству жаберных тычинок, что и Хаббс [Hubbs, 1915], разделяет эти виды, упоминая, что *C. pinetorum* распространен в бухте Мацусима. С. Танака [Tanaka, 1936] говорит об идентичности этих двух форм, хотя ничего не приводит в доказательство.

Наконец, в 1939 г. японский исследователь Кацузо Куронума [Kuronuma, 1939] на основании исторической справки по предыдущим исследованиям и по некоторым морфологическим характеристикам форм «*herzensteini*» и «*pinetorum*» пытается внести порядок в путанице с системой рода *Cleisthenes*. Автор показал, что в районе о. Кинказан были одновременно пойманы обе формы, а южнее «*herzensteini*» не встречается. На основании некоторых меристических признаков 51 экземпляра формы «*pinetorum*» из зал. Сендай от о. Кинказан на севере до г. Иваки префектуры Фукусима на юге и 197 экземпляров формы «*herzensteini*» показаны различия (частота встречаемости признаков и средняя величина) этих двух форм по числу жаберных тычинок в первой жаберной дуге и количеству чешуй в боковой линии. Куронума подвергает сомнению поимки *C. herzensteini* в районе г. Токио [Norman, 1934] и г. Теси [Tanaka, 1936] на том основании, что эти авторы не диагностировали свои образцы в этих водах. Свежая охлажденная рыба, представленная на рынках, могла быть поймана в других частях Японии, а часто и в Желтом море и у п-ова Камчатка, что практиковалось и практикуется в стране. В результате исследователь предлагает считать эти формы подвидами *C. pinetorum herzensteini* и *C. pinetorum pinetorum*.

Однако К. Сакамото [Sakamoto, 1984] по остеологическим исследованиям с приведением счетных признаков рассматривает взаимоотношения семейства *Pleuronectidae* и в предлагаемой классификации приводит только один из исследуемых видов — *Hippoglossoides pinetorum*. Разбирая материал, использованный в его работе, мы обнаружили, что ни один из исследованных им образцов не взят из мест указанных ранее поимок «*pinetorum*» — зал. Сендай.

В своей монографии Н.С. Фадеев [1987] выделяет два подвида *C. pinetorum*. Автор отмечает, что ареал *C. p. herzensteini*, спускаясь с севера по тихоокеанскому побережью Японии, доходит на юге до о. Кинказан, а южнее его замещает другой подвид *C. p. pinetorum*.

Г.У. Линдберг и В.В. Федоров в определителе рыб отряда *Pleuronectiformes* Японского моря и сопредельных вод [1993] род *Hippoglossoides* подразделяют на два подрода: *Hippoglossoides* и *Cleisthenes*. В определительной таблице рода приводят основные отличительные признаки видов *Hippoglossoides (Cleisthenes) herzensteini* и *Hippoglossoides (Cleisthenes) pinetorum*. Авторы считают, что различия в числе жаберных тычинок и особенности ареалов являются основанием считать их самостоятельными видами. У *H. herzensteini* на первой жаберной дуге (21) 23–27 (30) жаберных тычинок, на нижней ее части — 14–20 (23), а у *H. pinetorum* на первой жаберной дуге 30–36 (37) жаберных тычинок, на нижней ее части — 22–27 (30). Еще раз упоминается, что ареалом является только воды о. Кинказан и зал. Сендай. В качестве отличительных признаков также отмечается то, что у *H. herzensteini* на глазной стороне тела и головы в основном ктеноидная чешуя, на спинном и анальном плавниках нет темных полос. У *H. pinetorum* на глазной стороне тела и головы преобладает циклоидная чешуя, на спинном и анальном плавниках присутствуют от 6 до 12 темных полос.

Как валидный вид *C. herzensteini* для вод п-ова Корея, Китая и России в дальнейшем рассматривают ряд исследователей [Kim, Youn, 1994; Li, Wang, 1995; Cheng, 1997; Wang et al., 2001; Парин и др., 2014; Dyldin, Orlov, 2017]. Л.А. Борец [1997] в водах

зал. Петра Великого, Татарского пролива, зал. Терпения и в районе южных Курильских островов указывает вид *H. herzensteini*.

Указывая на неинформативную природу классификации Нормана [1934] и сомнительный характер реклассификации Сакамото [1984], в своей классификации семейства Pleuronectidae на основе кладистического анализа с использованием 106 морфологических и остеологических признаков Купер и Шапло [Cooper, Chapleau, 1998] выделяют два вида рода *Cleisthenes* по двум образцам *C. herzensteini* и одному *C. pinetorum*. На наличие в роде остроголовых камбал двух видов указывает С.А. Евсеенко [Evseenko, 2004].

Т. Накабо [Nakabo, 2002] указывает на один вид *H. pinetorum* из вод Японского, Охотского, Желтого, Восточно-Китайского морей и тихоокеанских вод Японии, в том числе севернее префектуры Фукусима. Чой с соавторами [Choi et al., 2002] для вод Кореи, а также Синохара [Shinohara et al., 2011, 2014] и Тахайрин с соавторами [Tohkairin et al., 2015] для япономорских вод Японии отмечают как валидный вид *H. pinetorum*. Для тихоокеанских вод о. Хонсю, округ Тохoku (куда входят префектуры Мияга и Фукусима), указывается вид *H. pinetorum* [Shinohara et al., 2009].

В предложенной Нельсоном с соавторами [Nelson et al., 2016] классификации со ссылкой на Купера и Шапло [1998] в роде *Cleisthenes* выделяется два вида. Но уже в 2018 г. К.А. Винников с соавторами [Vinnikov et al., 2018] пересматривают классификацию всего семейства Pleuronectidae на основании раскрытия неполного генома образцов (многолокусной филогении) с привлечением морфологии ваучерных образцов и данных предыдущих исследователей. В использованном филогенетическом исследовании *Cleisthenes herzensteini* и *C. pinetorum*, ранее считавшиеся отдельными видами, не различаются генетическими подходами. Указывая, что *C. herzensteini* является младшим синонимом *C. pinetorum*, авторы признают, что для них сохранились неразрешенные отношения и они рассматриваются как сомнительные виды. Привлеченные ваучерные образцы *C. herzensteini* (два образца) и *C. pinetorum* (два образца) взяты из типичных мест их обитания. Однако при рассмотрении морфологических признаков двух образцов в статистике, скорее всего, можно получить точку и лишь при рассмотрении большой выборки можно получить ряд. Ссылки в данной работе на морфологические исследования видов рода *Cleisthenes* Сакамото [1984] и Е.П. Ворониной [2002, 2005] мы считаем некорректными, так как для работы эти ученые привлекали образцы из мест, где не обитает «*pinetorum*».

Камбалы сем. Pleuronectidae имеют самое большое количество зарегистрированных гибридов среди морских рыб [Garrett et al., 2007], поэтому не исключено, что в приграничных с зал. Сендай районах эти две формы способны дать гибридное потомство, представители которого могли случайно оказаться в ограниченной выборке.

Со ссылкой на классификацию Pleuronectidae [Vinnikov et al., 2018] как валидный вид *C. pinetorum* отмечают в дальнейшем у берегов Кореи [Kim, Youn, 1994], по поимкам из вод Японского моря — у г. Хаги [Sonoyama et al., 2020], из западной и юго-западной части о. Сахалин (включая заливы Анива и Терпения) [Dyldin et al., 2021], в тематическом исследовании о разнообразии камбал Японского моря [Tashiro, 2022]. На основе неполной нуклеотидной последовательности 16S рРНК и полных последовательностей *Co-1* и *Cyt-b* филогенетические отношения рыб сем. Pleuronectidae исследованы А.Д. Рединым и Ю.Ф. Картавцевым [2021]. Представлен один вид *C. pinetorum*, два ваучерных образца которого использованы в исследовании (лабораторные номера 78-07 и 79-07, музейные номера соответственно MIMB 21591 и MIMB 21590), выловлены в водах зал. Петра Великого.

Наконец, в электронной базе «Eschmeyer's catalog of fishes» [<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>], опять со ссылкой на классификацию К.А. Винникова с соавторами [Vinnikov et al., 2018], *C. herzensteini* представляется младшим синонимом *C. pinetorum*.

В статье Куронумы [Kuronuma, 1939] приводятся таблицы распределения счетных признаков двух видов *Cleisthenes* с приведением средней арифметической. Другой статистической значимости нет. Используя эти сгруппированные ряды меристических признаков, мы сравнили, насколько достоверны видовые различия.

На рис. 3 и 4 приведены распределения значений признаков. Видно, что для форм «*herzensteini*» и «*pinetorum*» они существенно различаются. В табл. 1 и 2 представлены результаты теста Колмогорова-Смирнова и оценка параметров логистической регрессии.

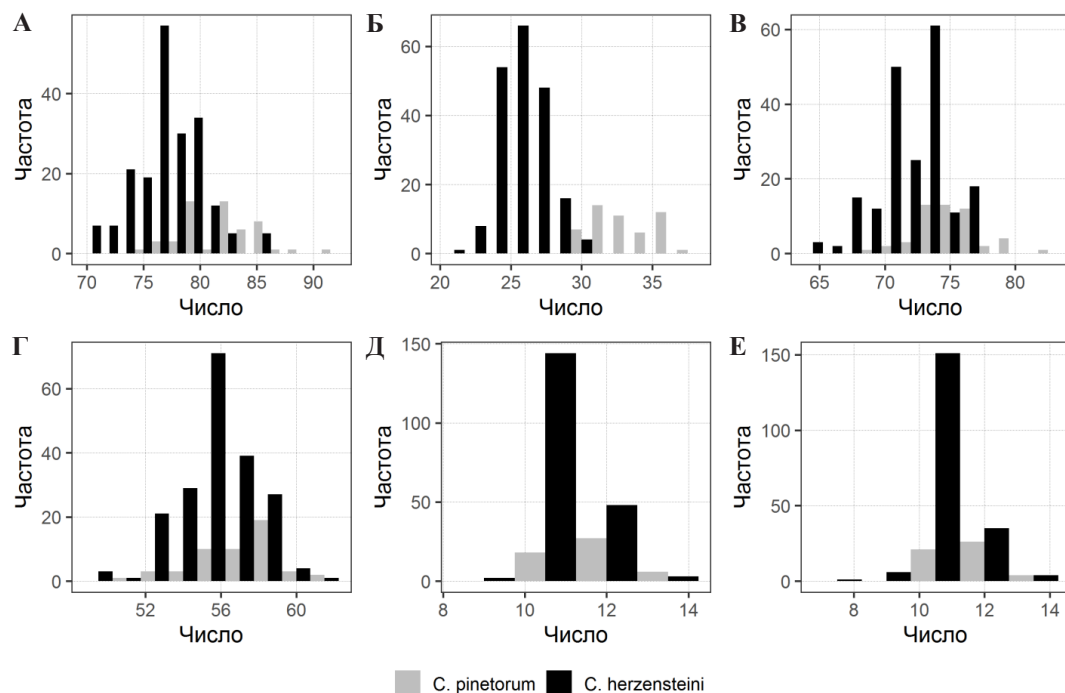


Рис. 3. Гистограммы частот значений признаков: **А** — число пор в боковой линии; **Б** — число жаберных тычинок на первой жаберной дуге; **В** — число лучей в спинном плавнике; **Г** — число лучей в анальном плавнике; **Д** — число лучей в грудном плавнике с глазной стороны тела; **Е** — число лучей в грудном плавнике со слепой стороны тела

Fig. 3. Frequency histograms, by indices: **A** — number of pores in lateral line; **Б** — number of gill rakers on the first gill arch; **В** — number of rays in dorsal fin; **Г** — number of rays in anal fin; **Д** — number of rays in pectoral fin on the ocular side of body; **Е** — number of rays in pectoral fin on the blind side of body

Из данных табл. 1 и 2 видно, что для каждой из форм («*herzensteini*» и «*pinetorum*») значения признаков существенно различаются, по каждому из них можно разделить выборки. Однако, учитывая, что данные по морфологическим признакам были доступны в виде сгруппированных рядов, результаты следует считать предварительными. Из других известных морфологических признаков можно отметить то, что максимальная длина для «*herzensteini*» — 47 см [Соколовский и др., 2011], а для «*pinetorum*» — 27 см [Kuronuma, 1939].

Ареалы *C. herzensteini* и *C. pinetorum* граничат лишь в районе о. Кинказан (рис. 5). Несмотря на высокую способность камбал к образованию гибридов, ввиду уникальности физико-географического положения зал. Сендай и его гидрологического режима обмен генами между «*herzensteini*» и «*pinetorum*», скорее всего, незначительный. Так, тихоокеанская сельдь, обладающая большей способностью к миграциям, в том числе в этом регионе, имеет незначительное смешение с особями тихоокеанского побережья о. Хоккайдо [Kitada et al., 2017].

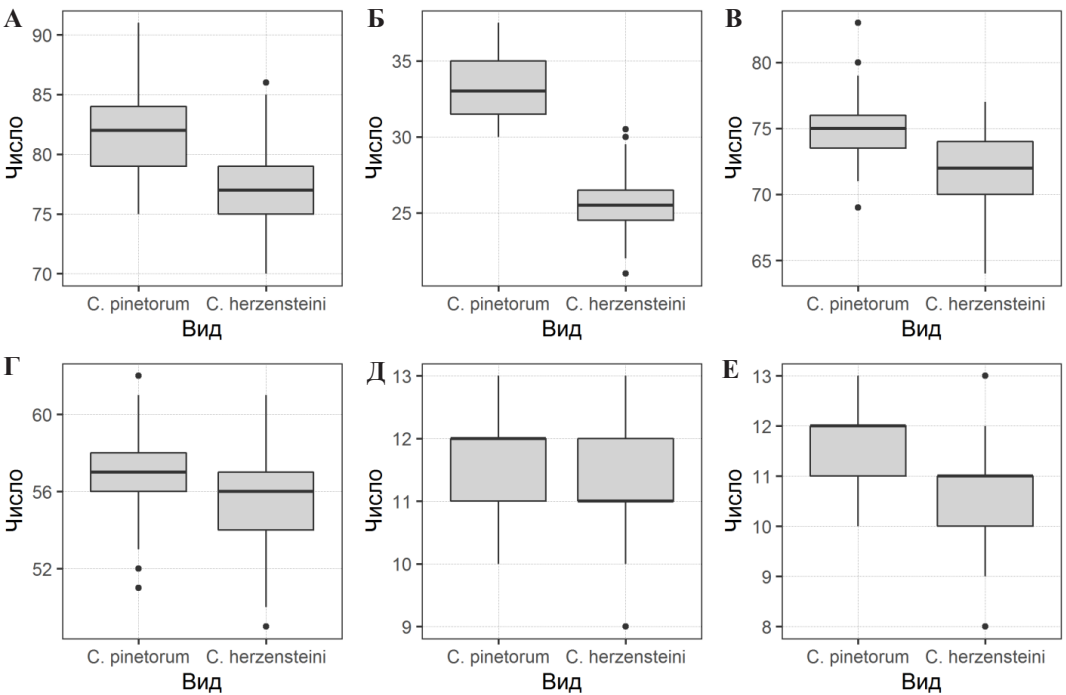


Рис. 4. Характеристика распределений значений признаков. Обозначения как на рис. 3
Fig. 4. Parameters of the indices distribution. Legend as for Figure 3

Таблица 1

Результаты теста Колмогорова-Смирнова. Обозначения как на рис. 3

Table 1

Results of the Kolmogorov-Smirnov test. Legend as for Figure 3

Признак	<i>D</i>	<i>p</i>
A	0,58	$3,35 \cdot 10^{-12}$
B	0,99	$2,20 \cdot 10^{-16}$
C	0,48	$1,53 \cdot 10^{-8}$
D	0,31	$9,57 \cdot 10^{-4}$
E	0,39	$9,97 \cdot 10^{-6}$
F	0,39	$8,74 \cdot 10^{-6}$

Таблица 2

Параметры логистической регрессии. Обозначения как на рис. 3

Table 2

Parameters of logistic regression. Legend as for Figure 3

Признак	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>p_a</i>	<i>p_b</i>	<i>A</i>
A	42,00	−0,51	$1,12 \cdot 10^{-9}$	$3,19 \cdot 10^{-9}$	0,86
B	116,27	−3,89	$2,27 \cdot 10^{-2}$	$2,22 \cdot 10^{-2}$	0,98
C	39,12	−0,51	$4,18 \cdot 10^{-8}$	$9,11 \cdot 10^{-8}$	0,82
D	17,59	−0,29	$4,67 \cdot 10^{-4}$	$1,06 \cdot 10^{-3}$	0,82
E	15,17	−1,21	$6,25 \cdot 10^{-6}$	$3,19 \cdot 10^{-5}$	0,80
F	16,44	−1,34	$2,35 \cdot 10^{-7}$	$1,37 \cdot 10^{-6}$	0,78

Используя моделирование, Кашнер с соавторами [www.aquamaps.org] для «pinetorum» показывают предпочтительные температуры 9,8–19,1 °C, оптимум 17,2 °C, а для «herzensteini» при разбросе температур 0–22 °C — оптимум 10,6 °C. Регион тихоокеанского побережья Японии от юга о. Хоккайдо до мыса Инубо выделяется как особая зоогеографическая зона [Шмидт, 1950; Inada, Murakami, 1993; Долганов, 2021].



Рис. 5. Ареалы *C. herzensteini* (черточки) и *C. pinetorum* (крестики)
Fig 5. Areas of *Cleisthenes herzensteini* (dashes) and *C. pinetorum* (crosses)

Южнее мыса Инубо от п-ова Босо теплое течение Куроисио отклоняется на восток и северо-восток, а с севера от Курильской гряды к о. Хонсю прижимается первая ветвь холодного течения Ойяисио. Именно район Тохоку префектуры Мияги у о. Кинказан от 38 до 39° с.ш. является районом крайнего распространения холодноводных рыб. В этом районе Ойяисио и Куроисио формируют фронт, влияющий в значительной степени на распределение рыб.

Южная граница изотермы 5–8 °С смещается в зависимости от интенсивности Ойяисио [Inada, Murakami, 1993]. В районе от о. Кинказан до мыса Инубо в диапазоне глубин 50–200 м создаются уникальные условия, в которых обитает *C. pinetorum*. Существует вероятность поимки *C. pinetorum* южнее мыса Инубо, и связано это с тем, что в отдельные годы происходит ослабление Куроисио, которое образует меандр, отклоняющийся на восток от Хонсю южнее п-ова Босо, в случае, если Ойяисио в этот год, напротив, интенсивное, его первая ветвь вдоль побережья о. Хонсю может оказывать влияние на юг до 34–36° с.ш. [Федосова, 1988; Булатов и др., 2008, 2016]. Однако южнее мыса Инубо, очевидно, ареал остроголовой камбалы является стерильной зоной.

Заключение

Анализ литературных данных, на основании которых составлялось представление о валидности видов рода *Cleisthenes*, а также исследование некоторых морфологических признаков показали, что сведение форм «*pinetorum*» и «*herzensteini*» в один вид недо-

статочно обосновано. В водах зал. Сендай (Япония, префектуры Мияги и Фукусима), очевидно, обитает *C. pinetorum*. На остальной части ареала рода *Cleisthenes* обитает *C. herzensteini*. Динамика течений Куроисио и Ойяисио, очевидно, обуславливает межгодовую изменчивость распространения остроголовой камбалы вдоль тихоокеанского побережья о. Хонсю.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы искренне признательны за содействие при подготовке работы профессору Музея Хоккайдского университета д-ру Ф. Тасиро.

The authors are sincerely grateful to Dr. F. Tashiro, Professor of the Museum of Hokkaido University, for his assistance in the work.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not supported by sponsors.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы использования животных были соблюдены.

Использованные в работе библиографические ссылки оформлены в соответствии с правилами данного издания.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented.

The bibliographic references used in the work are formatted in accordance with the rules of this edition.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Список литературы

Борец Л.А. Донные ихтиоцены российского шельфа дальневосточных морей: состав, структура, элементы функционирования и промысловое значение : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 1997. — 217 с.

Булатов Н.В., Самко Е.В., Цыпышева И.Л. Океанологические образования, благоприятные для концентрации пелагических рыб по инфракрасным данным ИСЗ NOAA // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2008. — Т. 2, вып. 5. — С. 49–61.

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.

Воронина Е.П. Особенности строения сейсмодатчиковой системы некоторых представителей семейства Pleuronectidae (sensu Chapleau, Keast, 1988). Сообщение 1 // Вопр. ихтиол. — 2002. — Т. 42, № 5. — С. 581–590.

Воронина Е.П. Особенности строения сейсмодатчиковой системы некоторых представителей семейства Pleuronectidae (sensu Chapleau, Keast, 1988). Сообщение 3 // Вопр. ихтиол. — 2005. — Т. 45, № 2. — С. 157–167.

Долганов В.Н. Формирование биологического разнообразия дальневосточных краснопёрок рода *Tribolodon* (Cyprinidae) // Биол. моря. — 2021. — Т. 47, № 6. — С. 369–380. DOI: 10.31857/S013434752106005X.

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

Линдберг Г.У., Федоров В.В. Рыбы Японского моря и сопредельных частей Охотского и Желтого морей : моногр. — СПб. : Наука, 1993. — Ч. 6. — 272 с. (Определители по фауне СССР, изд. АН СССР, № 166.)

Парин Н.В., Евсеев С.А., Васильева Е.Д. Рыбы морей России: аннотированный каталог. — М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2014. — 733 с.

Редин А.Д., Картавцев Ю.Ф. Филогенетические отношения камбалообразных рыб семейства Pleuronectidae (Ostichthyes: Pleuronectiformes) на основе участка гена 16S рРНК // Генетика. — 2021. — Т. 57, № 3. — С. 345–357. DOI: 10.31857/S0016675821030115.

Соколовский А.С., Соколовская Т.Г., Яковлев Ю.М. Рыбы залива Петра Великого : моногр. — 2-е изд., испр. и доп. — Владивосток : Дальнаука, 2011. — 431 с.

Фадеев Н.С. Северотихоокеанские камбалы (распространение и биология) : моногр. — М. : Агропромиздат, 1987. — 175 с.

Федосова Р.А. Межгодовые изменения мезопланктона в районе к юго-востоку от побережья Японии // Изменчивость состава ихтиофауны, урожайности поколений и методы прогнозирования запасов рыб в северной части Тихого океана. — Владивосток : ТИНРО, 1988. — С. 77–83.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: опыт системной идентификации : моногр. — Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. — 463 с.

Шмидт П.Ю. Рыбы восточных морей Российской империи : моногр. — СПб. : Изд-во Император. рус. геогра. о-ва, 1904. — 466 с.

Шмидт П.Ю. Рыбы Охотского моря : моногр. — М. ; Л. : АН СССР, 1950. — 370 с.

Cheng Q.T. Pleuronectiformes. — China : Shandong Science and Technology Press, 1997. — 549 p. (In Chinese).

Choi Y., Kim J.H., Park J.Y. Marine fishes of Korea. — Seoul : Kyohak Publishing, 2002. — 747 p. (In Korean).

Cooper J.A., Chapleau F. Monophyly and intrarelationships of the family Pleuronectidae (Pleuronectiformes), with a revised classification // Fish. Bull. — 1998. — Vol. 96(4). — P. 686–726.

Dyldin Y.V., Orlov A.M., Ichthyofauna of fresh and brackish waters of Sakhalin Island: An annotated list with taxonomic comments: 4. Pholidae–Tetraodontidae families // J. Ichthyol. — 2017. — Vol. 57, № 2. — P. 183–218. DOI: 10.1134/S0032945217020072.

Dyldin Yu.V., Fricke R., Hanel L. et al. Freshwater and brackish water fishes of Sakhalin Island (Russia) in inland and coastal waters: an annotated checklist with taxonomic comments // Zootaxa. — 2021. — Vol. 5065, № 1. — P. 1–92. DOI: 10.11646/zootaxa.5065.1.1.

Evseenko S.A. Family Pleuronectidae Cuvier, 1816 — righteye flounders : Calif. Acad. Sci. Annotated checklists of fishes. — San Francisco, 2004. — № 37. — 37 p.

Fishes of Japan: with pictorial keys and species / ed. T. Nakabo. — Tokyo : Tokai Univ. Press, 2002. — Vol. 1–2. — 1749 p.

Garrett D.L., Pietsch T.W., Utter F.M., Hauser L. The Hybrid Sole *Inopsetta ischyra* (Teleostei: Pleuronectiformes: Pleuronectidae): Hybrid or Biological Species? // Trans. Am. Fish. Soc. — 2007. — Vol. 136, Iss. 2. — P. 460–468. DOI: 10.1577/T06-092.1.

Hubbs C.L. Flounders and soles from Japan collected by the United States Bureau of Fisheries steamer «Albatross» in 1906 // Proc. U.S. Natn. Mus. — 1915. — Vol. 48, № 2082. — P. 449–496. DOI: 10.5479/SI.00963801.48-2082.449.

Inada T., Murakami M. Fluctuations of Pollock and Pacific cod resources and bottom temperature in the waters off the Tohoku region of Japan // Sci. Rep. Hokkaido Exp. Stn. — 1993. — Vol. 42. — P. 229–240. (In Japanese).

Jordan D.S., Hubbs C.L., McGregor E.A. Record of fishes obtained in Japan by David Starr Jordan in Japan, 1922 // Mem. Carnegie Mus. — 1925. — Vol. 10, № 2. — P. 93–346. DOI: 10.5962/p.234844.

Jordan D.S., Starks E.C. A review of the flounders and soles of Japan // **Proceedings of the United States National Museum.** — 1906. — Vol. 31(1484). — P. 161–246. DOI: 10.5479/si.00963801.31-1484.161.

Jordan D.S., Starks E.C. List of fishes dredged by the steamer Albatross off the coast of Japan in the summer of 1900, with descriptions of new species and a review of the Japanese Macrouridae // Bull. U.S. Fish Comm. — 1904. — Vol. 22. — P. 577–630.

Jordan D.S., Tanaka S., Snyder J.O. A catalogue of the fishes of Japan // J. Coll. Sci. Tokyo Imperial Univ. — 1913. — Vol. 33. — P. 1–497.

Kim I.-S., Youn C.-H. Taxonomic revision of the flounders (Pisces: Pleuronectidae) from Korea // Korean J. Ichthyol. — 1994. — Vol. 6, № 2. — P. 99–132. (In Korean).

Kitada S., Yoshikai R., Fujita T. et al. Population structure and persistence of Pacific her-ring following the Great Tohoku earthquake // Conserv. Genet. — 2017. — Vol. 18. — P. 423–437. DOI: 10.1007/s10592-016-0918-2.

Kuronuma K. *Cleisthenes pinetorum* vs. *Protopsetta herzensteini* // Bull. Biogeogr. Soc. Jpn. — 1939. — Vol. 9, № 10. — P. 181–192.

Li S.-Z., Wang H.-M. Fauna Sinica. Osteichthyes. Pleuronectiformes. — Beijing : Science Press, 1995. — 433 p. (In Chinese).

- Nelson J.S., Grande T.C., Wilson M.V.H.** Fishes of the world. — Fifth edition. — Hoboken : John Wiley & Sons, 2016. — 707 p. DOI: 10.1002/9781119174844.
- Norman J.R.** A systematic monograph of the flatfishes (Heterosomata). — London : British Mus.(Nat. Hist.), 1934. — 459 p.
- Okada Y., Uchida K., Matsubara K.** Color atlas of fishes of Japan. — Tokyo : Sanseido Co Ltd., 1935. — 426 p.
- Sakamoto K.** Interrelationships of the family Pleuronectidae (Pisces: Pleuronectiformes) // Memoirs of the Faculty of Fisheries Hokkaido University. — 1984. — Vol. 31, № 1, 2. — P. 95–215.
- Schmidt P.Yu.** On a collection of flat-fishes from Fusan (Korea) // Doklady Akademii Nauk SSSR. — 1931. — Vol. 12. — P. 313–320.
- Shinohara G., Nakae M., Ueda Y. et al.** Annotated Checklist of Deep-sea Fishes of the Sea of Japan // Deep-sea Fauna of the Sea of Japan. — 2014. — № 44. — P. 225–291.
- Shinohara G., Narimatsu Y., Hattori T. et al.** Annotated Checklist of Deep-Sea Fishes from the Pacific Coast off Tohoku District, Japan // Nat. Mus. Nat. Sci. Monographs. — 2009. — № 39. — P. 683–735.
- Shinohara G., Shirai A.M., Nazarkin M.V., Yabe M.** Preliminary list of the deep-sea fishes of the Sea of Japan // Bull. Nat. Mus. Nat. Sci., Ser. A. — 2011. — Vol. 37(1). — P. 35–62.
- Snyder J.O.** Japanese shore fishes collected by the United States Bureau of Fisheries steamer «Albatross» expedition of 1906 // Proc. U.S. Natn. Mus. — 1912. — Vol. 42. — P. 399–450.
- Sonoyama T., Ogimoto K., Hori S. et al.** An annotated checklist of marine fishes of the Sea of Japan off Yamaguchi Prefecture, Japan, with 74 new records // Bull. of the Kagoshima University Museum. — 2020. — Vol. 11. — P. 1–152. (In Japanese).
- Tanaka S.** Fishes of Japan. — Tokio : Dai Nihon Tosho Kabushiki Kaisha, 1936. — Vol. 1–2. — 334 p. (In Japanese).
- Tashiro F.** What Is known of fish diversity in the Sea of Japan? Flatfishes: a case study // Fish diversity of Japan. Evolution, zoogeography and conservation. — Singapore : Springer, 2022. — P. 79–109.
- Tohkairin A., Hamatsu T., Yoshikawa A. et al.** An illustrated and annotated checklist of fishes on Kitami-Yamato Bank, southern Sea of Okhotsk // Publ. Seto Mar. Biol. Lab. — 2015. — Vol. 43. — P. 1–29. DOI: 10.5134/193238.
- Vinnikov K.A., Thomson R.C., Munroe T.A.** Revised classification of the righteye flounders (Teleostei: Pleuronectidae) based on multilocus phylogeny with complete taxon sampling // Molecular Phylogenetics and Evolution. — 2018. — Vol. 125. — P. 147–162. DOI: 10.1016/j.ympev.2018.03.014.
- Wang S.A., Wang Z.M., Li G.L., Cao Y.P.** The fauna of Hebei, China (Pisces). — Shijiazhuang : Hebei Science and Technology Publishing House, 2001. — 366 p. (In Chinese).
- Wu H.-W.** Contribution a l'étude morphologique, biologique et systématique des poissons hétérosomes (Pisces Heterosomata) de la Chine // Theses Univ. Paris. — 1932. — Vol. 244. — P. 1–179.

References

- Borets, L.A.,** *Donnye ikhtiotseny rossiiskogo shel'fa dal'nevostochnykh morei: sostav, struktura, elementy funktsionirovaniya i promyslovoye znachenie* (Benthic Ichthyocoenes on the Russian Shelf of the Far Eastern Seas: Composition, Structure, Functioning Elements, and Commercial Significance), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 1997.
- Bulatov, N.V., Samko, E.V., and Tsypysheva, I.L.,** Oceanological formations favorable for the detection of pelagic fish according to NOAA satellites, *Sovremennyye problemy dstantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2008, vol. 2, no. 5, pp. 49–61.
- 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.
- Voronina, E.P.,** Morphology of the Acoustico-Lateralis System of Some Pleuronectids: Communication 1, *J. Ichthyol.*, 2002, vol. 42, no. 8, pp. 555–564.
- Voronina, E.P.,** Characteristics of the Seismosensory System Morphology in Some Pleuronectidae, *J. Ichthyol.*, 2005, vol. 45, no. 2, pp. 146–156.
- Dolganov, V.N.,** The formation of biological diversity of far eastern redfins of the genus *Tribolodon* (Cyprinidae), *Russ. J. Mar. Biol.*, 2021, vol. 47, no. 6, pp. 369–380. doi 10.31857/S013434752106005X
- Dyakov, Yu.P.,** *Kambaloobraznye (Pleuronectiformes) dal'nevostochnykh morei Rossii* (Flatfish (Pleuronectiformes) of the Far Eastern Seas of Russia), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2011.
- Lindberg, G.U. and Fedorov, V.V.,** *Opredeliteli po faune, izdavaemye zoologicheskim institutom Rossiiskoi akademii nauk. T. 166. Ryby Yaponskogo morya i sopredel'nykh chastei Okhotskogo i Zheltogo morei* (Keys to Fauna Published by the Zoological Institute, Russian Academy of Sciences,

vol. 166: Fishes of the Sea of Japan and Adjacent Waters of the Sea of Okhotsk and the Yellow Sea), St. Petersburg: Nauka, 1993, part 6.

Parin, N.V., Evseenko, S.A., and Vasiljeva, E.D., *Ryby morei Rossii: annotirovannyi katalog* (Fishes of Russian Seas: Annotated Catalogue), Moscow: KMK, 2014.

Redin, A.D. and Kartavtsev, Y.P., Phylogenetic relationships of flounders from the family Pleuronectidae (Ostichthies: Pleuronectiformes) based on 16s rRNA gene, *Rus. J. Genet.*, 2021, vol. 57, no. 3, pp. 345–357. doi 10.31857/S0016675821030115

Sokolovsky, A.S., Sokolovskaya, T.G., and Yakovlev, Yu.M., *Ryby zaliva Petra Velikogo* (Fishes of Peter the Great Bay), Vladivostok: Dal'nauka, 2011.

Fadeev, N.S., *Severotikhookeanskies kambaly (rasprostraneniye i biologiya)* (North Pacific Flounders (Distribution and Biology)), Moscow: Agropromizdat, 1987.

Fedosova, R.A., Interannual changes in mesoplankton in the area southeast of the coast of Japan, in *Izmenchivost' sostava ikhtiofauny, produktivnost' pokoleniy i metody prognoza rybnikh zapasov severnoy chasti Tikhogo okeana* (Variability in the composition of the ichthyofauna, productivity of generations and methods for forecasting fish stocks in the northern part of the Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO, pp. 77–83.

Shitikov, V.K., Rozenberg, G.S., and Zinchenko, T.D., *Kolichestvennaya gidroekologiya: opyt sistemnoy identifikatsii* (Quantitative hydroecology: experience of system identification), Tolyatti: IEVB RAN, 2003.

Shmidt, P.Yu., *Ryby vostochnykh morei Rossiiskoi imperii* (Fishes from the Eastern Seas of the Russian Empire), St. Petersburg: Izd. Imp. Russ. Geogr. O-va, 1904.

Schmidt, P.Yu., *Ryby Okhotskogo morya* (Fishes of the Sea of Okhotsk), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1950.

Cheng, Q.T., *Pleuronectiformes*, China: Shandong Science and Technology Press, 1997.

Choi, Y., Kim, J.H., and Park, J.Y., *Marine fishes of Korea*, Seoul: Kyohak Publishing, 2002.

Cooper, J.A. and Chapleau, F., Monophyly and intrarelationships of the family Pleuronectidae (Pleuronectiformes), with a revised classification, *Fish. Bull.*, 1998, vol. 96(4), pp. 686–726.

Dyldin, Y.V. and Orlov, A.M., Ichthyofauna of fresh and brackish waters of Sakhalin Island: An annotated list with taxonomic comments: 4. Pholidae–Tetraodontidae families, *J. Ichthyol.*, 2017, vol. 57, no. 2, pp. 183–218. doi 10.1134/S0032945217020072

Dyldin, Yu.V., Fricke, R., Hanel, L., Vorobiev, D.S., Interesova, E.A., Romanov, V.I., and Orlov A.M., Freshwater and brackish water fishes of Sakhalin Island (Russia) in inland and coastal waters: an annotated checklist with taxonomic comments, *Zootaxa*, 2021, vol. 5065, no. 1, pp. 1–92. doi 10.11646/zootaxa.5065.1.1

Evseenko, S.A., Family Pleuronectidae Cuvier, 1816 — righteye flounders, *Calif. Acad. Sci. Annotated checklists of fishes*, San Francisco, 2004, no. 37.

Fishes of Japan: with Pictorial Keys and Species, Nakabo, T., ed., Tokyo: Tokai Univ. Press, 2002, vol. 1–2.

Garrett, D.L., Pietsch, T.W., Utter, F.M., and Hauser, L., The Hybrid Sole *Inopsetta ischyra* (Teleostei: Pleuronectiformes: Pleuronectidae): Hybrid or Biological Species?, *Trans. Am. Fish. Soc.*, 2007, vol. 136, no. 2, pp. 460–468. doi 10.1577/T06-092.1

Hubbs, C.L., Flounders and soles from Japan collected by the United States Bureau of Fisheries steamer “Albatross” in 1906, *Proc. U.S. Natn. Mus.*, 1915, vol. 48, no. 2082, pp. 449–496. doi 10.5479/si.00963801.48-2082.449

Inada, T. and Murakami, M., Fluctuations of walleye pollock and Pacific cod resources and bottom temperature in the waters off the Tohoku region of Japan, *Sci. Rep. Hokkaido Exp. Stn.*, 1993, vol. 42, pp. 229–240 (in Japanese).

Jordan, D.S., Hubbs, C.L., and McGregor, E.A., Record of fishes obtained in Japan by David Starr Jordan in Japan, 1922, *Mem. Carnegie Mus.*, 1925, vol. 10, no. 2, pp. 93–346. doi 10.5962/p.234844

Jordan, D.S. and Starks, E.C., A review of the flounders and soles of Japan, *Proceedings of the United States National Museum*, 1906, vol. 31(1484), pp. 161–246. doi 10.5479/si.00963801.31-1484.161

Jordan, D.S. and Starks, E.C., List of fishes dredged by the steamer Albatross off the coast of Japan in the summer of 1900, with descriptions of new species and a review of the Japanese Macrouridae, *Bull. U.S. Fish Comm.*, 1904, vol. 22, pp. 577–630.

Jordan, D.S., Tanaka, S., and Snyder, J.O., A catalogue of the fishes of Japan, *J. Coll. Sci. Tokyo Imperial Univ.*, 1913, vol. 33, pp. 1–497.

Kim, I.-S. and Youn, C.-H., Taxonomic revision of the flounders (Pisces: Pleuronectidae) from Korea, *Korean J. Ichthyol.*, 1994, vol. 6, no. 2, pp. 99–132 (in Korean).

Kitada, S., Yoshikai, R., Fujita, T., Hamasaki, K., Nakamichi, R., and Kishino, H., Population structure and persistence of Pacific herring following the Great Tohoku earthquake, *Conserv. Genet.*, 2017, vol. 18, pp. 423–437. doi 10.1007/s10592-016-0918-2

- Kuronuma, K.**, *Cleisthenes pinetorum* vs. *Protopsetta herzensteini*, *Bull. Biogeogr. Soc. Jpn.*, 1939, vol. 9, no. 10, pp. 181–192.
- Li, S.-Z. and Wang, H.-M.**, *Fauna Sinica. Osteichthyes. Pleuronectiformes*, Beijing: Science Press, 1995 (in Chinese).
- Nelson, J.S.**, *Fishes of the world*, 5th ed., Hoboken: John Wiley & Sons, 2016. doi 10.1002/9781119174844
- Norman, J.R.**, *A systematic monograph of the flatfishes (Heterosomata)*, London: British Mus. (Nat. Hist.), 1934.
- Okada, Y., Uchida, K., and Matsubara, K.**, *Color atlas of fishes of Japan*, Tokyo: Sanseido Co Ltd., 1935.
- Sakamoto, K.**, Interrelationships of the family Pleuronectidae (Pisces: Pleuronectiformes), *Memoirs of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, 1984, vol. 31, no. 1, 2, pp. 95–215.
- Schmidt, P.Yu.**, On a collection of flat-fishes from Fusan (Korea), *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 1931, vol. 12, pp. 313–320.
- Shinohara, G., Nakae, M., Ueda, Y., Kojima, S., and Matsuura, K.**, Annotated Checklist of Deep-sea Fishes of the Sea of Japan, *Deep-sea Fauna of the Sea of Japan*, 2014, no. 44, pp. 225–291.
- Shinohara, G., Narimatsu, Y., Hattori, T., Ito, M., Takata, Y., and Matsuura, K.**, Annotated Checklist of Deep-Sea Fishes from the Pacific Coast off Tohoku District, Japan, *Nat. Mus. Nat. Sci. Monogr.*, 2009, vol. 39, pp. 683–735.
- Shinohara, G., Shirai, A.M., Nazarkin, M.V., and Yabe, M.**, Preliminary list of the deep-sea fishes of the Sea of Japan, *Bull. Nat. Mus. Nat. Sci., Ser. A.*, 2011, vol. 37(1), pp. 35–62.
- Snyder, J.O.**, Japanese shore fishes collected by the United States Bureau of Fisheries steamer “Albatross” expedition of 1906, *Proc. U.S. Natn. Mus.*, 1912, vol. 42, pp. 399–450.
- Sonoyama, T., Ogimoto, K., Hori, S., Uchida, Y., and Kawano, M.**, An annotated checklist of marine fishes of the Sea of Japan off Yamaguchi Prefecture, Japan, with 74 new records, *Bull. of the Kagoshima University Museum*, 2020, vol. 11, pp. 1–152 (in Japanese).
- Tanaka, S.**, *Fishes of Japan*, Tokio: Dai Nihon Tosho Kabushiki Kaisha, 1936, Vol. 1–2 (in Japanese).
- Tashiro, F.**, What Is known of fish diversity in the Sea of Japan? Flatfishes: a case study, *Fish diversity of Japan. Evolution, zoogeography and conservation*, Singapore: Springer, 2022, pp. 79–109.
- Tohkairin, A., Hamatsu, T., Yoshikawa, A., Kai, Y., and Narabo, T.**, An illustrated and annotated checklist of fishes on Kitami-Yamato Bank, southern Sea of Okhotsk, *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, 2015, vol. 43, pp. 1–29. doi 10.5134/193238
- Vinnikov, K.A., Thomson, R.C., and Munroe, T.A.**, Revised classification of the righteye flounders (Teleostei: Pleuronectidae) based on multilocus phylogeny with complete taxon sampling, *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2018, vol. 125, pp. 147–162. doi 10.1016/j.ympev.2018.03.014
- Wang, S.A., Wang, Z.M., Li, G.L., and Cao, Y.P.**, *The fauna of Hebei, China (Pisces)*, Shiji-azhuang: Hebei Science and Technology Publishing House, 2001.
- Wu, H.W.**, Contribution a l’étude morphologique, biologique et systématique des poissons hétérosomes (Pisces Heterosomata) de la Chine, *Theses Univ. Paris*, 1932, vol. 244, pp. 1–179.
- Fricke, R., Eschmeyer, W.N., and Van der Laan, R.**, *Eschmeyer’s catalog of fishes: genera, species, references*, 2022. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. Electronic version accessed 27 June 2022.
- Kaschner, K., Kesner-Reyes, K., Garilao, C., Rius-Barile, J., Rees, T. and Froese, R.**, *AquaMaps: predicted range maps for aquatic species*, 2016, World wide web electronic publication, www.aquamaps.org, Version 08/2016. Cited August 27, 2022.

Поступила в редакцию 7.10.2022 г.

После доработки 24.10.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

*The article was submitted 7.10.2022; approved after reviewing 24.10.2022;
accepted for publication 21.11.2022*

Научная статья

УДК 639.22:597.556.334.1

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

EDN: LHIQJR



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

Э.П. Черниенко, И.С. Черниенко*

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

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

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

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

Original article

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

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

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

4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

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

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

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

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

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

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

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

Введение

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

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

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

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

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

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

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

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

Материалы и методы

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

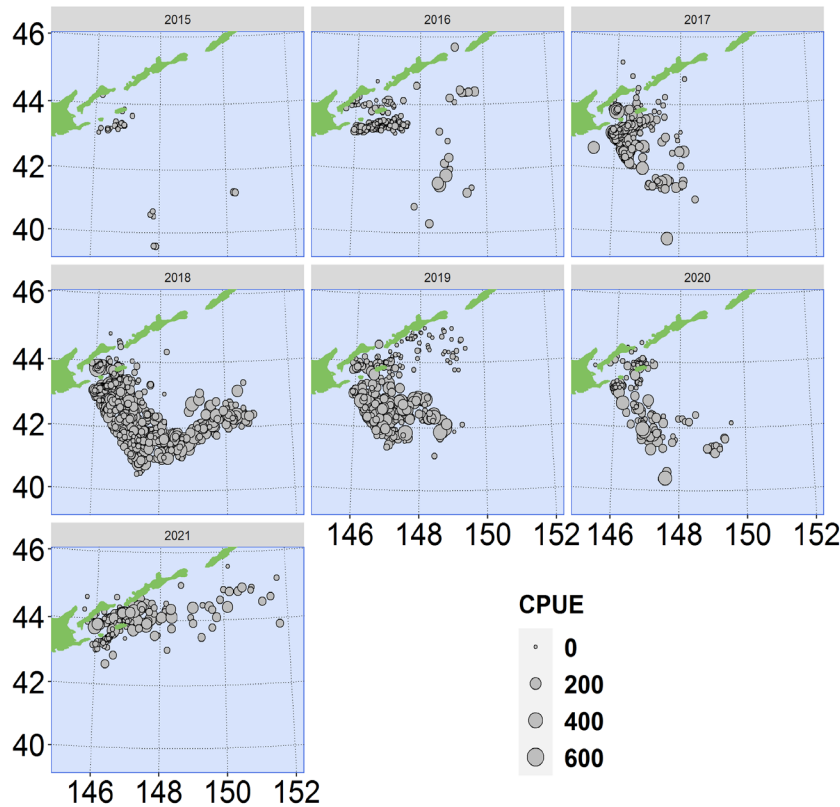


Рис. 1. Улов на усилие (CPUE) в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) Российской Федерации в 2015–2021 гг., т на судно-сутки

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

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

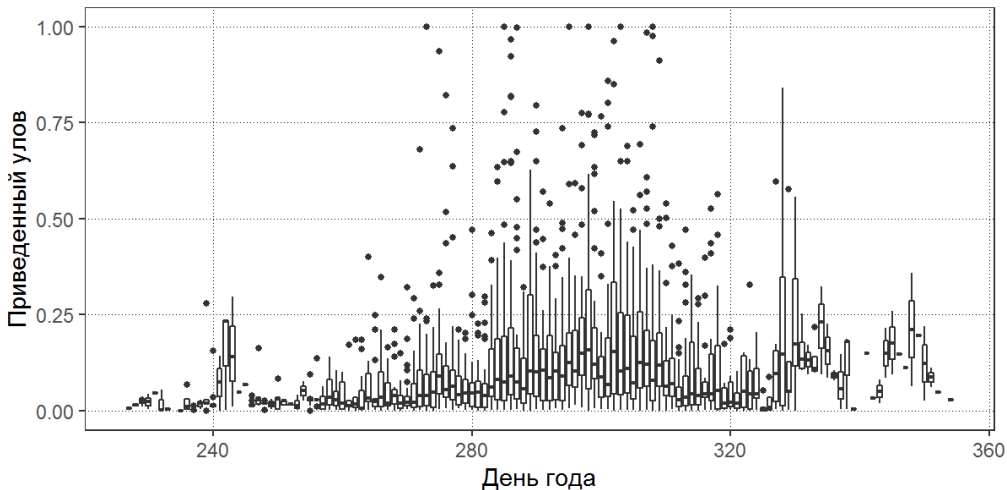


Рис. 2. Динамика CPUE, приведенного к максимальному в году в течение года в ИЭЗ Российской Федерации в 2015–2021 гг.

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

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

Таблица 1

Описание переменных, использованных в моделях-кандидатах

Table 1

Predictor factors used for all candidate models

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

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

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

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

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

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

Рассматривали следующие модели-кандидаты:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 2

Шкала Чеддока

Table 2

Chaddock scale

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

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

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

Результаты и их обсуждение

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

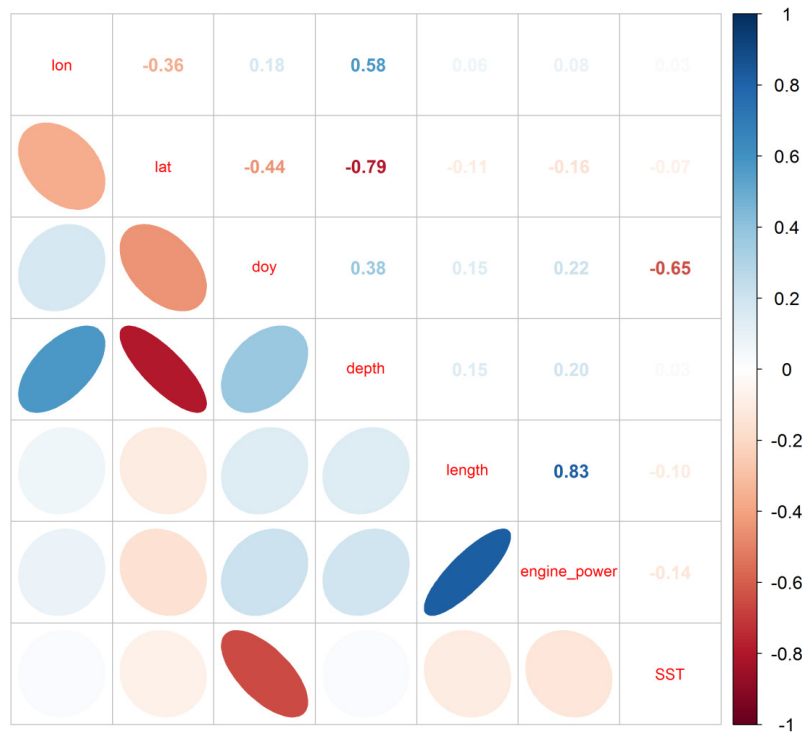


Рис. 3. Матрица корреляций объясняющих переменных
Fig. 3. Correlation matrix of the explanatory variables used in the analysis

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

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

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

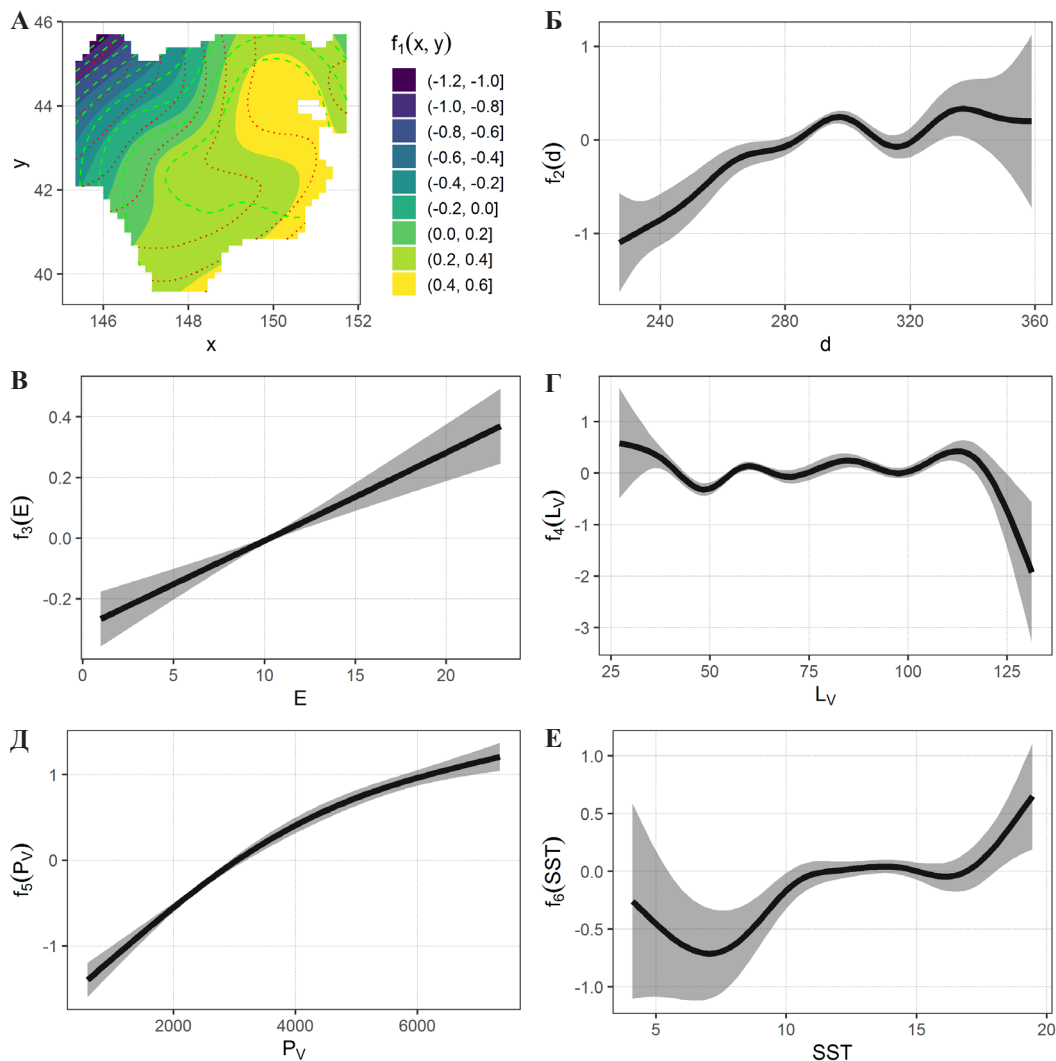


Рис. 4. Функции вклада переменных в значение улова на усилие для модели № 8: **А** — тензорное произведение для широты и долготы; **Б** — регрессионный сплайн для дня года; **В** — регрессионный сплайн для ежедневного усилия; **Г** — регрессионный сплайн для длины судна; **Д** — регрессионный сплайн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

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

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

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

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

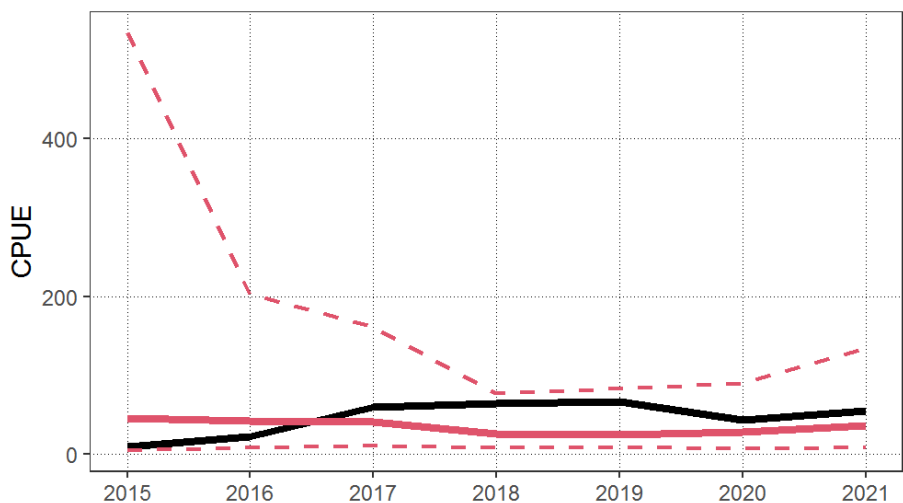


Рис. 5. Номинальные (черная сплошная линия) и стандартизованные с 95 %-ными доверительными интервалами (красные сплошная и пунктирные линии) значения уловов на судо-сутки

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

Таблица 4

Номинальные и стандартизованные CPUE в 2015–2021 гг.

Table 4

Nominal and standardized CPUE of chub mackerel in 2015–2021

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

Заключение

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

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

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

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

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

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

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not supported by sponsors.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

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

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

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

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

Список литературы

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

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

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

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

Кулик В.В., Варкентин А.И., Ильин О.И. Стандартизация уловов на усилие минтая в северной части Охотского моря с учетом некоторых факторов среды // *Изв. ТИНРО.* — 2020. — Т. 200, вып. 4. — С. 819–836. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-819-836.

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

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

- Черниенко И.С.** Стандартизация производительности промысла краба-стригуна опилио западной части Берингова моря с использованием аддитивных линейных моделей // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, № 2. — С. 359–370. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-359-370.
- Auger-Méthé M., Field C., Albertsen C.M. et al.** State-space models' dirty little secrets: even simple linear Gaussian models can have estimation problems // Sci. Rep. — 2016. — Vol. 6, № 1. — P. 1–10. DOI: 10.1038/srep26677.
- Battaille B.C., Quinn II T.J.** Catch per unit effort standardization of the eastern Bering Sea wall-eye pollock (*Theragra chalcogramma*) fleet // Fish. Res. — 2004. — Vol. 70, Iss. 2–3. — P. 161–177. DOI: 10.1016/j.fishres.2004.08.029.
- Burnham K.P., Anderson D.R.** Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. — 2nd ed. — N.Y. : Springer, 2002. — 488 p.
- Chernienko I.S., Chernienko E.P.** Standardized CPUE for Chub mackerel (*Scomber japonicus*) caught by Russian pelagic trawl fishery in 2015–2021 : NPFC-2022-TWG CMSA05-WP03. — Tokyo, 2022. — 12 p.
- Chin T.M., Vazquez-Cuervo J., Armstrong E.M.** A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature // Remote Sens. Environ. — 2017. — Vol. 200, № 7. — P. 154–169. DOI: 10.1016/j.rse.2017.07.029.
- Hastie T., Tibshirani R.** Generalized Additive Models : Wiley StatsRef: Statistics Reference Online, 2014. DOI: 10.1002/9781118445112.stat03141.
- Hilborn R., Walters C.J.** Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. — N.Y. : Chapman and Hall, 1992. — 570 p.
- Jørgensen B.** The Theory of Dispersion Models : Monogr. Stat. Appl. Probab. (Book 76). — L. : Chapman and Hall, 1997. — 256 p.
- Kulik V.V.** CPUE standardization for the Pacific chub mackerel historical catch in the Northwest Pacific Ocean : NPFC-2017-TWG CMSA01-WP02. — Tokyo, 2017. — 11 p.
- Maunder M.N., Punt A.E.** Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches // Fish. Res. — 2004. — Vol. 70, Iss. 2–3. — P. 141–159. DOI: 10.1016/j.fishres.2004.08.002.
- Newman K.B., Buckland S.T., Morgan B.J.T. et al.** Modelling population dynamics: model formulation, fitting and assessment using state-space methods. — N.Y. : Springer, 2014. — 215 p.
- Quinn II T.J., Deriso R.B.** Quantitative Fish Dynamics. — N.Y. : Oxford University Press, 1999. — 542 p.
- Wickham H.** ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. — 2nd ed. — N.Y. : Springer Verlag, 2016. — 268 p.
- Wood S.N.** Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models // J. R. Statist. Soc. B (Statistical Methodology). — 2011. — Vol. 73, № 1. — P. 3–36. DOI: 10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x.
- Wood S.N.** Generalized Additive Models: An Introduction with R. — N.Y. : Chapman and Hall/CRC, 2017. — 2nd ed. — 496 p. DOI: 10.1201/9781315370279.
- Wood S.N.** Stable and Efficient Multiple Smoothing Parameter Estimation for Generalized Additive Models // J. Am. Stat. Assoc. — 2004. — Vol. 99, Iss. 467. — P. 673–686. DOI: 10.1198/016214504000000980.
- Wood S.N.** Thin plate regression splines // J. R. Statist. Soc. B (Statistical Methodology). — 2003. — Vol. 65, № 1. — P. 95–114. DOI: 10.1111/1467-9868.00374.

References

- Bakanev, S.V.** Standardization of the red king crab fishery efficiency in the Russian part in the Barents Sea in 2010–2018 using generalized linear model, *Vopr. Rybolov.*, 2019, vol. 20, no. 3, pp. 363–373.
- Buyanovsky, A.I.** Use of fishery statistics to correct estimates of stocks of snow crab opilio in the seas of Russia, *Vopr. Rybolov.*, 2020, vol. 21, no. 1, pp. 106–124.
- Buyanovskiy, A.I.** Use of fisheries statistics for the tanner crab stock dynamics, *Vopr. Rybolov.*, 2019, vol. 20, no. 4, pp. 497–512.
- Kruchinin, O.N., Misyurkin, M.A., Zakharov, E.A., Volotov, V.M., Shabelsky, D.L., and Vakker, N.L.** Fleet operations at fishing of japanese sardine and chub mackerel in the kuril waters in the modern period of high abundance of these species, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 2, pp. 414–428. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-414-428
- Kulik, V.V., Varkentin, A.I., and Ilyin, O.I.** Standardization of CPUE for walleye pollock in the Okhotsk Sea with inclusion of some environmental factors, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 4, pp. 819–836. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-819-836

Medik, V.A., Tokmachev, M.S., and Fishman, B.B., *Statistika v meditsine i biologii* (Statistics in medicine and biology), Moscow: Meditsina, 2000, vol. 1.

Pyrkov, V.N., Solodilov, A.V., and Degaj, A.Yu., Development and implementation of new satellite techniques in the fishery monitoring system, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, vol. 12, no. 5, pp. 251–262.

Chernienko, I.S., Standardization of landing efficiency for opilio crab in the western Bering Sea by using of generalized additive models, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 2, pp. 359–370. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-359-370

Auger-Méthé, M., Field, C., Albertsen, C.M., Derocher, A.E., Lewis, M.A., Jonsen, I.D., and Flemming, J.M., State-space models' dirty little secrets: even simple linear Gaussian models can have estimation problems, *Sci. Rep.*, 2016, vol. 6, no. 1, pp. 1–10. doi 10.1038/srep26677

Battaile, B.C. and Quinn II., T.J., Catch per unit effort standardization of the eastern Bering Sea walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) fleet, *Fish. Res.*, 2004, vol. 70, no. 2–3, pp. 161–177. doi 10.1016/j.fishres.2004.08.029

Burnham, K.P. and Anderson, D.R., *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*, New York: Springer, 2002, 2nd ed.

Chernienko, I.S. and Chernienko, E.P., Standardized CPUE for Chub mackerel (*Scomber japonicus*) caught by Russian pelagic trawl fishery in 2015–2021, *NPFC-2022-TWG CMSA05-WP03*, Tokyo, 2022.

Chin, T.M., Vazquez-Cuervo, J., and Armstrong, E.M., A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature, *Remote Sens. Environ.*, 2017, vol. 200, no. 7, pp. 154–169. doi 10.1016/j.rse.2017.07.029

Hastie, T. and Tibshirani, R., Generalized Additive Models, *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, 2014. doi 10.1002/9781118445112.stat03141

Hilborn, R. and Walters, C.J., *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics, and Uncertainty*, New York: Chapman and Hall, 1992.

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

Kulik, V.V., CPUE standardization for the Pacific chub mackerel historical catch in the North-west Pacific Ocean, *NPFC-2017-TWG CMSA01-WP02*, Tokyo, 2017.

Maunder, M.N. and Punt, A.E., Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches, *Fish. Res.*, 2004, vol. 70, no. 2–3, pp. 141–159. doi 10.1016/j.fishres.2004.08.002

Newman, K.B., Buckland, S.T., Morgan, B.J.T., King, R., Borchers, D.L., Cole, D.J., Besbeas, P., Gimenez, O., and Thomas, L., *Modelling population dynamics: model formulation, fitting and assessment using state-space methods*, New York: Springer, 2014.

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

Wickham, H., *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*, New York, 2016, 2nd ed.

Wood, S.N., Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models, *J. R. Statist. Soc. B (Statistical Methodology)*, 2011, vol. 73, no. 1, pp. 3–36. doi 10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x

Wood, S.N., *Generalized Additive Models: An Introduction with R*, New York: Chapman and Hall/CRC, 2017, second edition. doi: 10.1201/9781315370279.

Wood, S.N., Stable and Efficient Multiple Smoothing Parameter Estimation for Generalized Additive Models, *J. Am. Stat. Assoc.*, 2004, vol. 99, no. 467, pp. 673–686. doi 10.1198/016214504000000980

Wood, S.N., Thin plate regression splines, *J. R. Statist. Soc. B (Statistical Methodology)*, 2003, vol. 65, no. 1, pp. 95–114. doi 10.1111/1467-9868.00374

The GEBCO_2020 version. <http://www.gebco.net>. Cited September 1, 2022.

R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022, version 4.1.3. <https://www.R-project.org/>. Cited January 27, 2022.

Hijmans, R.J., *raster: Geographic Data Analysis and Modeling*, 2021. <https://rdr.io/cran/raster/>. Cited January 27, 2022.

Bivand, R. and Lewin-Koh, N., *maptools: tools for handling spatial objects*, 2020. <https://CRAN.R-project.org/package=maptools>. Cited January 27, 2022.

Hijmans, R.J., *geosphere: Spherical Trigonometry*, 2021. <https://cran.r-project.org/web/packages/geosphere/geosphere.pdf>. Cited January 27, 2022.

Поступила в редакцию 12.10.2022 г.

После доработки 14.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

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

**УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ
ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES**

Научная статья

УДК [574.587:504.5](265.54)**DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-861-879****EDN: MDYYND****МЕТОД ОЦЕНКИ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОСАДКОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОИНДИКАЦИИ****А.В. Мощенко, Т.А. Белан, Б.М. Борисов***

Дальневосточный региональный научно-исследовательский
гидрометеорологический институт,
690091, г. Владивосток, ул. Фонтанная, 24

Аннотация. Разработан метод оценки степени загрязнения морской среды (TPF_{chem}) с использованием индекса TPF_{bio} , вычисляемого как средняя координата оптимумов кривых отклика (вдоль градиента TPF_{chem}) найденных на станции таксонов макрозообентоса. Основой метода является шкала для определения TPF_{chem} по TPF_{bio} , которая состоит из двух кривых. Первая из них предназначена для определения величин TPF_{chem} по значениям TPF_{bio} (содержание частиц < 0,05 мм более 10–12 %), вторая — для коррекции TPF_{chem} по TPF_{bio} для грунтов с более низкой концентрацией указанных размерностей. Обработке могут быть подвергнуты любые списки видов. Предлагаемый метод, кроме определения уровня химического загрязнения среды, позволяет восстанавливать последовательность изменений в силе антропогенного воздействия в периоды, когда анализ содержания загрязняющих веществ еще не производили; корректировать оценку уровня химического загрязнения; изучать процессы аккумуляции загрязняющих веществ в самой прибрежной части моря, где анализ загрязнения не был выполнен по объективным причинам. В то же время устойчивые результаты применения данного метода можно гарантировать только на прибрежных акваториях Владивостока.

Ключевые слова: мониторинг, зал. Петра Великого, экологическое состояние, загрязнение, донные отложения, макрозообентос

Для цитирования: Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. Метод оценки химического загрязнения донных осадков с использованием биоиндикации // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 861–879. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-861-879. EDN: MDYYND.

* Мощенко Александр Владимирович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, avtoshchenko@mail.ru, ORCID 0000-0001-6600-5654; Белан Татьяна Алексеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, tbelan@ferhri.ru, ORCID 0000-0003-1077-028X; Борисов Борис Михайлович, научный сотрудник, boris-borisov-54@mail.ru, ORCID 0000-0002-1214-6029.

A method for assessing chemical contamination of bottom sediments using bioassay approach

Alexander V. Moshchenko*, Tatyana A. Belan**, Boris M. Borisov***

*, **, *** Far-Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute,
24, Fontannaya St., Vladivostok, 690091, Russia

* D.Biol., leading researcher, avmoshchenko@mail.ru, ORCID 0000-0001-6600-5654

** Ph.D., leading researcher, tbelan@ferhri.ru, ORCID 0000-0003-1077-028X

*** researcher, boris-borisov-54@mail.ru, ORCID 0000-0002-1214-6029

Abstract. A method for assessing the degree of marine pollution (TPF_{chem}) is developed using a bioassay approach. The index TPF_{bio} is calculated as the average coordinate of the optima of response curves (along the TPF_{chem} gradient) known for the taxa of macrozoobenthos found at each station. The scale for correspondence between TPF_{chem} and TPF_{bio} is determined, separately for the fine-grained bottom sediments (with more than 10–12 % of particles < 0.05 mm) and for the sediments with lower portion of fine particles. Any list of species can be processed. Besides the assessing the level of chemical pollution, the method allows to correct results of chemical assessments and to restore dynamics of anthropogenic impact or to trace accumulation of pollutants at the seashore. However, reliable results of this method can be guaranteed for the coastal waters of Vladivostok only.

Keywords: monitoring, Peter the Great Bay, ecological condition, chemical contamination, bottom sediments, macrozoobenthos

For citation: Moshchenko A.V., Belan T.A., Borisov B.M. A method for assessing chemical contamination of bottom sediments using bioassay approach, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 861–879. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-861-879. EDN: MDYYND.

Введение

Одними из наиболее эффективных методов оценки качества водной среды считаются наблюдения за уровнем загрязнения осадков и состоянием донных животных, в частности макрозообентоса. Важнейшее направление таких исследований — использование неких общих параметров, которые характеризуют состояние донного населения [Washington, 1984; Rygg, 1985; Warwick, Clarke, 1995; Протасов, 2002; Ponti et al., 2009; Veríssimo et al., 2011*; и мн. др.]. Прежде всего это так называемые экологические индексы: видового богатства Маргалефа, разнообразия Шеннона-Винера, выравнинности видовых распределений Пиелу, доминирования Симпсона, статистика Кларка.

Более прогрессивны для диагностики качества морской и эстуарной среды интегральные биотические индексы: *AMBI*, *M-AMBI*, *BENTIX*, *IBI*, *EBI*, *B-IBI*, *BEQI* и другие [Bořja et al., 2000; Muxika et al., 2007; Ponti et al., 2009; Veríssimo et al., 2011*]. Эти показатели, образно говоря, являются одними из основных инструментов, при помощи которых в ЕС определяется состояние морской среды и донного населения [2000/60/ЕС, 2000**, 2008/56/ЕС, 2008***; Mee et al., 2008; Van Hoey et al., 2010]. При этом индексы *AMBI* и *M-AMBI* адаптированы авторами и для применения на акватории зал. Петра Великого [Мощенко и др., 2021a].

В то же время следует признать, что *AMBI* и, как следствие, *M-AMBI*, определяемый на его основе, в большей степени настроены на индикацию уровня эвтрофикации,

* Veríssimo H., Netoa J.M., Teixeira H. et al. Ability of benthic indicators to assess ecological quality in estuaries following management. 2011. URL: <https://www.researchgate.net/publication/236033738> (дата обращения 10.10.2022).

** 2000/60/ЕС. Water Framework Directive. 2000. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32000L0060> (дата обращения 10.10.2022).

*** 2008/56/ЕС. Marine Strategy Framework Directive. 2008. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0056> (дата обращения 10.10.2022).

а не загрязнения, так как в основе его вычисления лежит классификация макрозообентоса по отношению к содержанию органического углерода (далее — $C_{\text{орг}}$). Однако схемы распределения параметров, характеризующих эвтрофикацию и химическое загрязнение в зал. Петра Великого, похожи, но не идентичны, более того, эвтрофикация и загрязнение обусловлены действием разных факторов: для первой это терригенный сток, для второго — сток индустриальный, включая эоловый разнос и прочее [Мощенко и др., 2019, 2021б; Систематизированные данные..., 2021*].

Для характеристики общего уровня химического загрязнения авторами ранее [Belan, Moshchenko, 2005] был предложен индекс TPF , представляющий собой среднюю величину суммы ранжированных концентраций углеводов, фенолов, свинца, меди и ДДТ. Было показано, что виды макрозообентоса постепенно сменяют друг друга вдоль градиента TPF , образуя ряд, в котором каждый из них максимально обилен при конкретном уровне загрязнения [Мощенко, Белан, 2007]. В этом ряду полихета *Aphelochaeta pacifica* и форонида *Phoronopsis harmeri* являются позитивными, а многощетинковый червь *Maldane sarsi* — негативным индикатором загрязнения. Другие виды — полихеты *Scoloplos armiger*, *Schistomeringos japonica*, *Dipolydora cardalia*, двусторчатые моллюски *Axinopsida subquadrata*, *Alveinus ojanus*, *Raeta pulchella*, гастропода *Thapsiella plicosa* — также могут рассматриваться как индикаторы загрязнения, но, в отличие от *A. pacifica*, *Ph. harmeri* и *M. sarsi*, не его максимального и минимального, а промежуточных уровней. При усилении антропогенного воздействия *A. pacifica* и *Ph. harmeri* исчезают, уступая место полихете *Capitella capitata*, которая является индикатором еще более суровых условий. Следовательно, присутствие и/или максимальная численность того или иного вида-индикатора говорит о совершенно определенном экологическом статусе макрозообентоса.

На основе этой закономерности была разработана шкала, позволяющая определять общий уровень химического загрязнения и состояние морской среды [Мощенко, Белан, 2007]. Коэффициент корреляции TPF , вычисленный по плотности поселения видов-индикаторов, и его значения, определенные по концентрациям загрязняющих веществ (ЗВ) — далее соответственно TPF_{bio} и TPF_{chem} , — оказались близкими к единице. Верификация этой шкалы показала возможность применения данного подхода для определения степени антропогенного воздействия. Однако при интерпретации полученных с ее помощью данных следовало быть осторожным и учитывать проявления географической, сезонной и другой изменчивости донного населения.

Кроме того, предложенный метод имел и другие недостатки, что воспрепятствовало его внедрению в практику экологического мониторинга. К основным относятся:

— малое число выявленных видов-индикаторов (11) — в достаточном количестве (не менее трех) они присутствуют далеко не во всех пробах;

— включение в вычисления крайне изменчивого параметра — плотности поселения;

— выпадение станций с песчаными грунтами из облака регрессии — в этих случаях величины TPF_{chem} по сравнению с TPF_{bio} выглядели явно заниженными.

К настоящему времени авторами накоплен обширный материал, включающий результаты измерений концентраций ЗВ и наблюдений над видовым составом донной фауны, что позволяет выполнить более экстенсивный анализ. Цель исследования — разработать метод, позволяющий количественно оценить степень химического загрязнения осадков с использованием макрозообентоса на примере зал. Петра Великого.

* Систематизированные данные по факторам среды и общим характеристикам сообществ макрозообентоса: отчет о НИР (промежуточ.) / ДВНИГМИ. № ГР АААА-А20-120042190045-6. Владивосток, 2021. 110 с. http://ferhri.ru/images/stories/FERHRI/NIR/Otchet/otchet_4.6.2_2021_moschenko.pdf (дата обращения 10.10.2022).

Материалы и методы

Используемые данные. В работе использованы результаты съемок ДВНИГМИ и ННЦМБ ДВО РАН (1992–2019 гг.) в зал. Петра Великого (западный Посыет, Стрелок, Амурский и Уссурийский, акватория к северу от устья р. Туманной, прол. Босфор Восточный, бухты Рифовая, Патрокл, Золотой Рог, Диомид и Улисс). Методы сбора и камеральной обработки опубликованы ранее [Belan, Moshchenko, 2005; Мощенко, Белан, 2007; Мощенко и др., 2019, 2021a, б, 2022].

Анализ данных. Общий уровень загрязнения характеризовали индексом $TPF_{chem} = (УВ + ФЕ + Pb + Cu + \Sigma ДДТ)/5$, где УВ, ФЕ, Pb, Cu и $\Sigma ДДТ$ — 5-ранговые оценки ($\ln$ -масштаб) содержания углеводородов, фенолов, свинца, меди и суммы ДДТ [Belan, Moshchenko, 2005]. Степень антропогенного нарушения бентоса оценивали методом, который основан на зависимости индекса Шеннона-Винера двустворчатых моллюсков (H_b') от TPF_{chem} [Мощенко, Белан, 2007, 2008]. Показатели этих нарушений, — величины ERL_q и ERM_q ($TPF_{chem} \approx 2,8$ и $3,2$ усл. ед.), — ограничивают область прогрессивной деградации — почти линейного падения H_b' . Индексы $AMBI$ и $M-AMBI$ определяли при помощи программы, свободно распространяемой в интернете [Borja et al., 2012].

Для построения индекса TPF_{bio} использовали координаты точек оптимума 211 кривых отклика (далее — КО), полученных при анализе распределения таксонов макрозообентоса вдоль градиента TPF_{chem} с помощью иерархических моделей логистической регрессии Хаусмана-Олфа-Фреско [Мощенко и др., 2022]. Помимо этого, классификация донных животных по отношению к загрязнению (5 групп — крайне и сильно чувствительные, умеренно толерантные, толерантные и экстремально толерантные — соответственно ES, S, MT, T и ET) позволила определить оптимумы групповых модельных КО и средние внутригрупповые оптимумы.

Для каждой станции вычисляли $TPF_{bio} = (\Sigma(Opt_i))/N$, где Opt_i — координата оптимума по TPF_{chem} для встречаемости или плотности каждого таксона (далее F_q и A); N — число найденных видов на станции. Кроме определения TPF_{bio} по индивидуальным оптимумам, исследовали следующие варианты его вычисления:

1–2) на основе координат оптимумов групповых КО встречаемости (для группы MT — правая или усредненная координата);

3) по положению оптимумов групповых КО плотности;

4–5) по среднегрупповым оптимумам КО встречаемости и плотности.

В вариантах 1–3 использовали модельные, а в вариантах 4 и 5 — усредненные внутри групп координаты оптимумов.

Статистический анализ. В работе использованы линейный регрессионный анализ и нелинейное оценивание с вычислением коэффициента корреляции, параметров регрессии (R и b_1) и их статистической оценкой (ANOVA и проверка нулевых гипотез $H_0: R = 0$ — влияние фактора «модель» отсутствует, $b_1 = 0$) [Боровиков, Боровиков, 1998]. Нелинейное оценивание выполняли алгоритмами, представленными в ППП STATISTICA, и при помощи процедуры рандомизации сигмоидальной функции [Chatzidimitriou, 2012*; Систематизированные данные..., 2021**].

Для проверки данных на соответствие нормальному распределению и равенству внутригрупповых дисперсий (гомоскедастичности) применяли тесты Шапиро-Уилка и Ливина (H_0 : распределение соответствует нормальному, и дисперсии гомоскедастичны), а для трансформации результатов наблюдений — алгоритм Бокса-Кокса, реализованный в пакете 'AID' среды R [Мастицкий, Шитиков, 2014]. Поскольку все попытки трансформации оказались безуспешными, при сравнении выборок использованы непараметриче-

* Chatzidimitriou K. Fitting a sigmoid curve in R. 2012. URL: <https://kyrcha.info/2012/07/08/tutorials-fitting-a-sigmoid-function-in-r> (дата обращения 10.10.2022).

** Систематизированные данные... [2021]. http://ferhri.ru/images/stories/FERHRI/NIR/Otchet/otchet_4.6.2_2021_moschenko.pdf (дата обращения 10.10.2022).

ские аналоги однофакторного дисперсионного анализа и t -критерия — тесты Крускала-Уоллиса и Манна-Уитни (H_0 — влияние фактора не приводит к сдвигу распределений и два распределения величин неких характеристик идентичны). На заключительных этапах регрессионного анализа вместо проверки нормальности распределения значений зависимой переменной оценивали нормальность распределения остатков модели [Мастичкий, Шитиков 2014]. Ковариационный анализ (ANCOVA) выполнен при помощи обобщенных линейных моделей, которые не требуют нормальности и гомоскедастичности данных, так как не используют метод наименьших квадратов.

Результаты и их обсуждение

Первичный анализ. Индексы TPF_{bio} и TPF_{chem} , определенные по индивидуальным оптимумам таксонов макрозообентоса, заметно коррелируют между собой: доля объясненной дисперсии, вычисленной на основе плотности и встречаемости TPF_{bio} , составляет соответственно 65,1 и 67,7 % (рис. 1). При этом были выбракованы станции, где присутствуют один-два вида-индикатора (не во всех случаях); для TPF_{bio} по F_q таких «выбросов» оказалось четыре, а для TPF_{bio} по A — два.

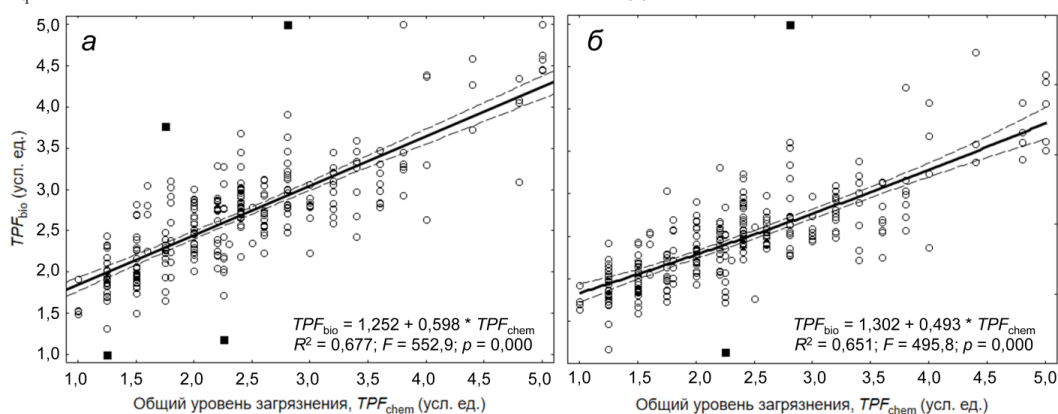


Рис. 1. Результаты регрессионного анализа: **а** — для встречаемости; **б** — плотности; *квадраты* — выбракованные точки. Здесь и далее: R — коэффициент корреляции; F — критерий Фишера; p — вероятность справедливости H_0 ; *штриховые линии* — 95 %-ные доверительные границы

Fig. 1. Results of regression analysis: **а** — for frequency of occurrence; **б** — for population density. *Squares* — discarded points. Hereinafter: R — correlation coefficient; F — Fisher's criterion; p — probability of H_0 validity; *dotted lines* — 95 % confidence limits

Необходимость наличия в пробе не менее трех видов-индикаторов отмечена выше, однако теперь имеется уже 191, а не 11 таксонов таких животных, что увеличивает долю станций (проб), для которых возможно вычисление TPF_{bio} , в 17,4 раза (из анализа исключены модели с «плоским ответом»). Однако уровень детерминации невысоок, что связано с большой «лишней» дисперсией, которая снижает предикторские возможности искомого индекса. Следовательно, необходимо применить процедуры, направленные на ее уменьшение, которые были разработаны ранее [Мощенко, Белан, 2007, 2008; Moshchenko et al., 2009].

Снижение индивидуальной изменчивости координат точек оптимума.

Дисперсия, маскирующая реальную форму зависимостей и силу связи предиктора и предиката, может быть обусловлена различиями условий в районах исследования, межгодовой и сезонной изменчивостью биологических и химических параметров, действием факторов среды (глубина, тип грунта и т.п.), а также индивидуальными особенностями видов. На первом этапе снизим вариабельность, вызываемую различиями в положении оптимумов таксонов макрозообентоса, для чего используем полученную ранее классификацию животных по отношению к химическому загрязнению осадков.

Максимальный коэффициент детерминации R^2 обнаружен у вариантов 4 и 5 — 74,2 и 75,3 % (рис. 2, а, б). В остальных случаях доля объясненной дисперсии была ниже 70 %, составляя соответственно 54,0, 66,1 и 69,2 %. Таким образом, применение данной классификации позволило увеличить объясняемую дисперсию исследованных параметров на 6,7 и 10,2 %.

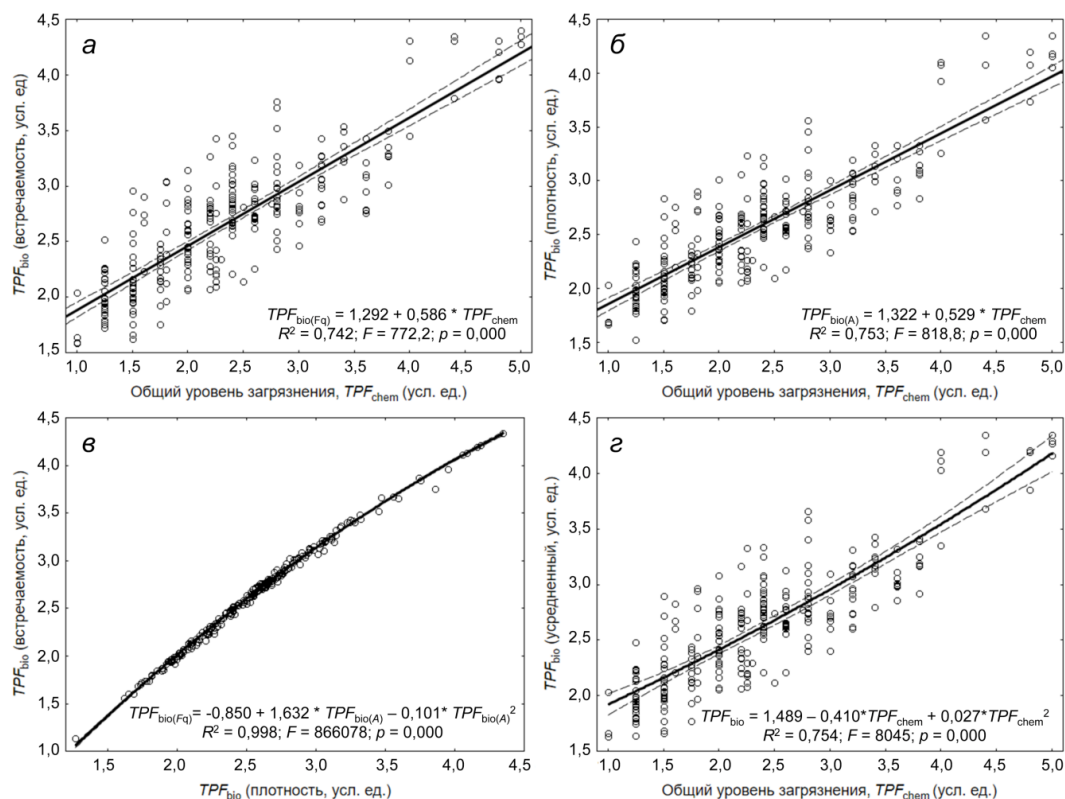


Рис. 2. Результаты регрессионного анализа TPF_{bio} и TPF_{chem} (пояснения в тексте)
Fig. 2. Results of regression analysis for TPF_{bio} and TPF_{chem} (see explanations in the text)

Индексы TPF_{bio} , вычисленные на основе встречаемости и плотности, сильно коррелируют друг с другом ($R^2 = 0,998, p = 0,000$; рис. 2, в). Поэтому достаточно использовать один индекс, полученный, например, усреднением TPF_{bio} для обеих среднегрупповых характеристик. В итоге доля объясненной дисперсии составила 75,4 % (рис. 2, г). Это примерно в 1,5 раза выше, чем у индексов $AMBI$ и $M-AMBI$ (49–51 %, не показано) и, следовательно, индекс TPF_{bio} «настроен» на наилучшее отображение именно уровня химического загрязнения среды.

За рубежом процедура проверки соответствия разных индексов весьма распространена и носит название интеркалибровки, или калибровки. Связь TPF_{bio} , вычисленного на основе A и F_q , весьма близка к таковой для индексов $M-AMBI$ и $BEQI2$ ($R^2 \approx 0,999$) [Van Loon et al., 2015]. Последние показатели определяются по одним и тем же параметрам, но разными способами: первый — методом факторного анализа с использованием индексов $AMBI$, видового разнообразия Шеннона-Винера и богатства Маргалефа, второй — усреднением указанных характеристик, нормализованных по референтным для данной акватории значениям. При калибровке индексов, применяемых в ЕС, R^2 варьирует в пределах 6–84 % [Borja et al., 2007, 2008; Simboura, Reizopoulou, 2008]. В этом ряду объясненные для TPF_{bio} и TPF_{chem} 75 % дисперсии занимают третье место. Таким образом, наши результаты хорошо согласуются с данными зарубежных исследователей, и поэтому уже в этом виде вполне пригодны для мониторинга и биоиндикации.

Снижение дисперсии, обусловленной межгодовой изменчивостью и основными абиотическими факторами. В работе Боря с соавторами [Borja et al., 2007] показана отчетливая неоднородность облаков регрессии различных индексов. Причины такого распада, как было указано выше, связаны с объединением данных из разных районов, сборов разных лет и сезонов, а также с действием факторов среды. К сожалению, в нашем распоряжении нет материалов, достаточных для оценки «географической» составляющей дисперсии TPF_{bio} и TPF_{chem} (должны быть результаты съемок одного года, но разных районов, близких по величинам других параметров). Но в то же время, имеются три выборки, сделанные на прибрежной акватории Владивостока (2001, 2016 и 2018–2019 гг.) в один сезон (август) примерно на одних и тех же или близкорасположенных станциях.

Состав, структура и состояние зообентоса акваторий вблизи Владивостока определяются прежде всего уровнем химического загрязнения и особенностями придонного гидрологического режима; последний во многом обусловлен интенсивностью терригенного стока [Предложения..., 2020*]. Кроме того, важную роль играют различные характеристики гранулометрического состава осадков, которые в конечном итоге определяют тип грунта. В качестве интегрального фактора, характеризующего гидрологический режим, с некоторыми оговорками можно использовать глубину отбора проб.

Статистически значимое влияние факторов «съемка» и «глубина» на индексы TPF_{bio} и TPF_{chem} , а также фактора «содержание тонких частиц» на TPF_{bio} отсутствует (результаты тестов Крускала-Уоллиса/Манна-Уитни: вероятность справедливости H_0 $p = 0,069–0,383$). Однако воздействие последнего фактора на TPF_{chem} значимо с позиций статистики ($p = 0,000$), что подтверждается результатами ковариационного анализа (см. таблицу).

Результаты различных вариантов ковариационного анализа (обобщенные линейные модели)
Results for different variants of covariate analysis (generalized linear models)

Фактор	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Критерий Фишера F	p
Модель: $TPF_{chem} = \text{Съемка} + \text{poly}(TPF_{bio}, \text{degree} = 3)$				
Съемка	0,132	2	0,860	0,426
TPF_{bio}	22,77	2	149,0	0,000
Остатки	8,104	106		
Модель: $TPF_{chem} = \text{Глубина} + \text{poly}(TPF_{bio}, \text{degree} = 3)$				
Глубина	0,198	1	2,631	0,108
TPF_{bio}	23,74	2	158,0	0,000
Остатки	8,037	107		
Модель: $TPF_{chem} = \text{МАП} + \text{poly}(TPF_{bio}, \text{degree} = 3)$				
МАП	2,006	1	34,46	0,000
TPF_{bio}	25,72	2	220,9	0,000
Остатки	6,229	107		
Модель: $TPF_{chem} = \text{Съемка} + \text{Глубина} + \text{МАП} + \text{poly}(TPF_{bio}, \text{degree} = 3)$				
Съемка	0,393	2	1,560	0,215
Глубина	0,389	1	3,087	0,082
МАП	12,497	1	99,21	0,000
TPF_{bio}	38,560	3	102,0	0,000
Остатки	12,975	103		

Примечание. МАП — содержание частиц $< 0,05$ мм; poly — полином; degree — степень; p — вероятность справедливости H_0 .

* Предложения по установлению граничных критериев для оценки классов состояния морской среды на базе одного или комплекса биологических параметров с учетом передового международного опыта: отчет о НИР (промежуточ.) / ДВНИГМИ. № ГР АААА-А20-120042190045-6. Владивосток, 2020. 167 с. URL: http://ferhri.org/images/stories/FERHRI/NIR/Otchety/otchet_462_moschenko.pdf.

Отделение трех съемок друг от друга добавляет (в соответствии с целью работы) зависимости были инвертированы: предиктором стал TPF_{bio} , предикатом — TPF_{chem} в среднем около 9 % объясненной дисперсии, а если исключить песчано-крупноалевритовые осадки — еще около 4–5 % (рис. 3, 4). В итоге доля объясненной дисперсии в среднем составила 90,7 % (рост на 36,6 % по сравнению с результатами первичного анализа), что дает возможность уверенно использовать индекс TPF_{bio} для оценки общего уровня химического загрязнения среды.

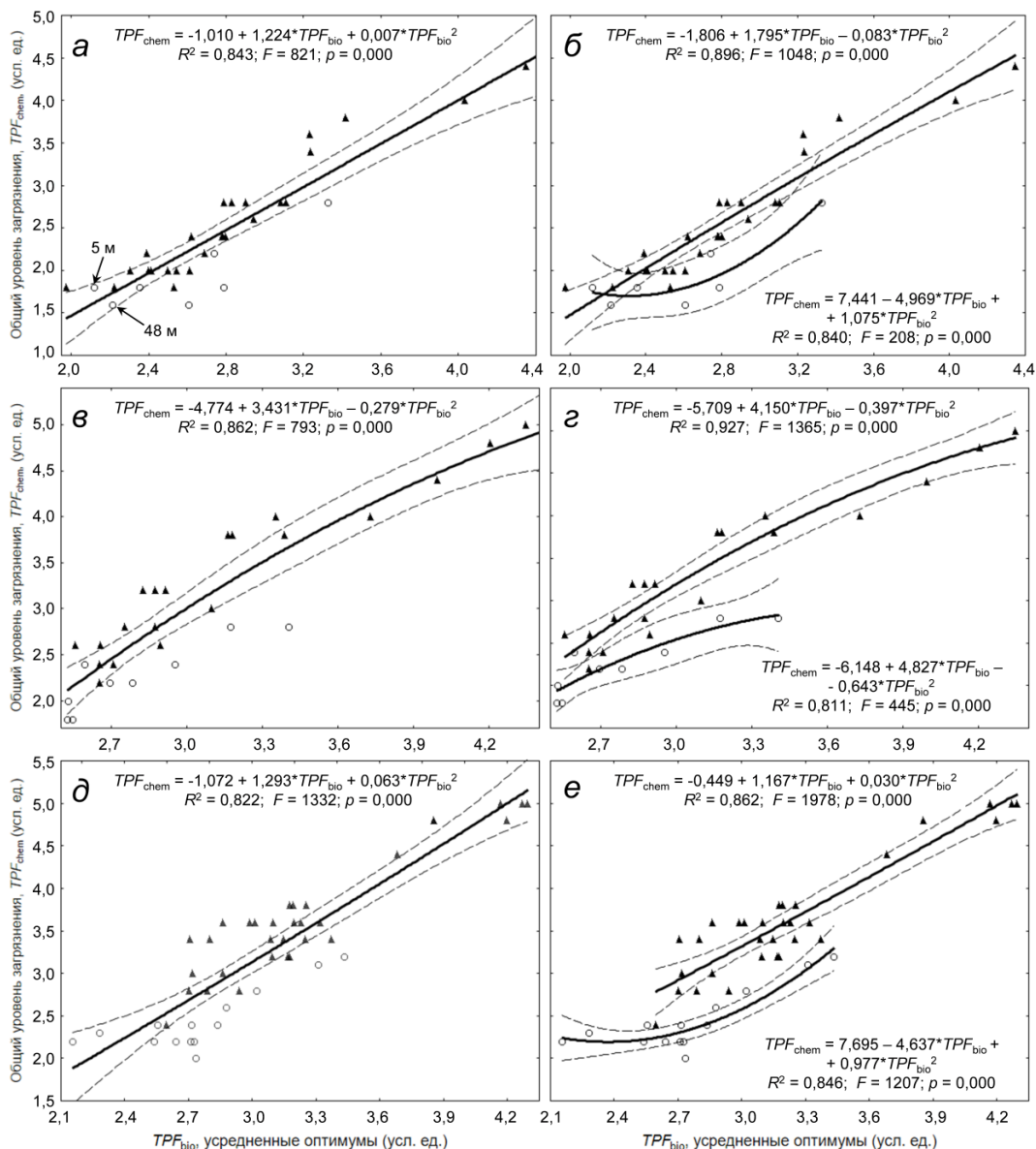


Рис. 3. Результаты регрессионного анализа: а, б — 2001, в, г — 2016, д, е — 2018–2019 гг.; а, в, д — обобщенные данные; б, г, е — для разных грунтов, Треугольники и кружки — соответственно мелкоалевритовые-пелитовые и песчано-крупноалевритовые осадки

Fig. 3. Results of regression analysis: а, б — 2001, в, г — 2016, д, е — 2018–2019; а, в, д — pooled data; б, г, е — data for certain types of sediments. Triangles and circles — fine-aleurite-pelitic and sandy-coarse-aleurite sediments, respectively

Результаты теста Шапиро-Уилка для всех 9 моделей, представленных на рис. 3, свидетельствуют о нормальном распределении остатков (вероятность справедливости

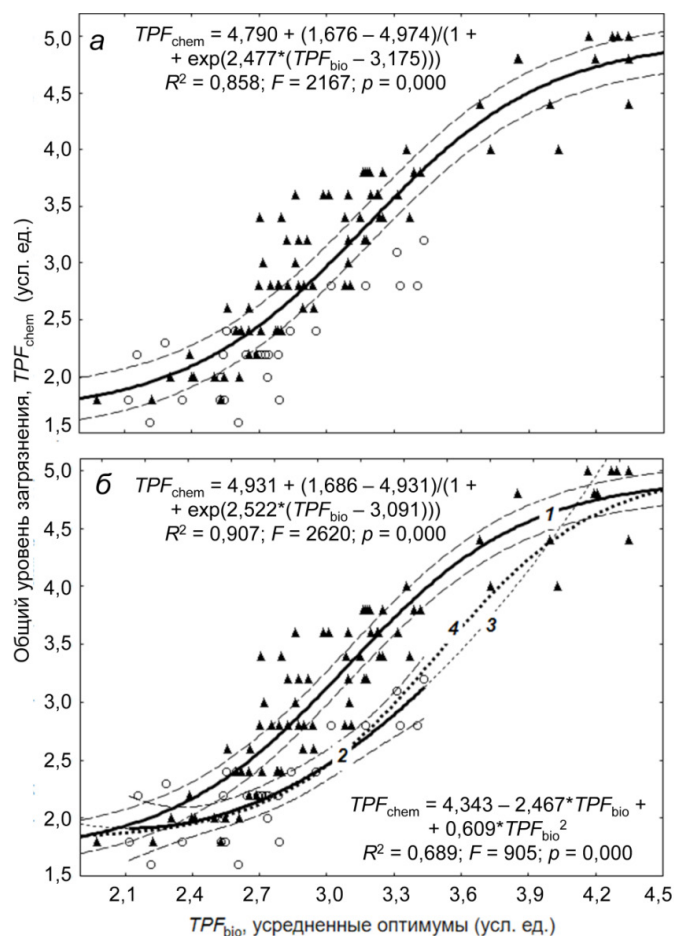


Рис. 4. Результаты регрессионного анализа всей выборки (а) и для разных грунтов по отдельности (б): 1 и 2 — соответственно мелкоалевритовые-пелитовые и песчано-крупно-алевритовые осадки; 3 — модельная кривая для 2 продлена за область определения TPF_{bio} ; 4 — теоретически наиболее вероятная форма кривой 2

Fig. 4. Results of regression analysis for pooled sample (a) and separately for certain sediments (б): 1 and 2 — fine-aleurite-pelitic and sandy-coarse-aleurite sediments, respectively; 3 — model curve for the sandy-coarse-aleurite sediments extended beyond the definitional domain for TPF_{bio} ; 4 — the most theoretically available curve for the sandy-coarse-aleurite sediments

$H_0 p = 0,182-0,531$). Таким образом, значения коэффициентов детерминации корректны с позиций статистики и могут быть использованы в дальнейших построениях, а выводы, сделанные на их основе, будут статистически непротиворечивы. Для сравнения: у остатков моделей полных выборок $p = 0,000-0,002$.

Необходимо подчеркнуть, что выполненный анализ не позволяет полностью исключить влияние факторов «съемка» и «глубина» на разброс значений исследуемых индексов. Воздействие этих факторов незначимо статистически, однако общий уровень загрязнения в 2001 г. был явно ниже, чем в 2016 и 2018–2019 гг. (см. рис. 3). Влияние глубины (маргинальный уровень значимости $H_0 p = 0,069$) можно увидеть, например, в облаке регрессии для съемки 2001 г. — две станции в его начале (песчано-крупноалевритовые осадки) опробованы на глубинах 5 и 48 м (рис. 3, а). Поэтому влияние этих факторов следует считать недоказанным с позиций статистики и, вполне вероятно, что при поступлении новых материалов их эффекты могут быть вычленены и оценены.

Зависимости TPF_{chem} от TPF_{bio} для обобщенных данных трех съемом на прибрежной акватории Владивостока в наилучшей степени аппроксимируются логистическими функциями и полиномом второй степени* (соответственно для всех типов осадков, мелкоалевритовых-пелитовых и песчано-крупноалевритовых отложений). Такая форма зависимостей отражает выравнивание величин индексов TPF_{chem} и TPF_{bio} при незначительном и сильном загрязнении грунтов, что вполне логично с позиции самого процесса контаминации. Более того, можно предположить, что полиномиальная модель, адекватная имеющимся данным, неадекватна теоретически и также должна быть логистической, при этом обе функции очерчивали бы фигуру, напоминающую петлю гистерезиса (рис. 4).

Так, осадки на станции, расположенной вблизи устья р. Объяснения (кутовая часть бухты Золотой Рог), содержат очень мало естественных гранулометрических разностей и состоят в основном из различных био- и антропогенных остатков органического происхождения. По классификации Ф.Р. Лихта с соавторами [1983] грунты в этой точке опробования относятся к алевритам песчаным, при этом доля песков, крупных, мелких алевритов и всех пелитов составляет соответственно 26,2, 18,7, 38,0 и 17,1 %. Встречается здесь только экстремально толерантный к загрязнению эврибионтный вид *C. capitata*. В результате TPF_{bio} достигает на этом участке предельно возможной величины (4,34 усл. ед.), а TPF_{chem} по многолетним данным составляет $4,43 \pm 0,07$, варьируя от 4,0 до 4,8 усл. ед.

С приближением к устью р. Объяснения гранулометрический состав осадка должен меняться в соответствии с законами осаждения взвешенного материала: в упрощенном виде, вблизи источника выпадают гидравлически более крупные частицы, а более тонкие — выносятся все дальше и дальше в водоем, последовательно опускаясь на дно в соответствии со своей крупностью. Поэтому вполне вероятно, что ближе к устью в осадках будут преобладать пески, но TPF_{bio} и TPF_{chem} не изменятся: в условиях экстремального загрязнения и эвтрофикации, отягощенных процессами гниения и летней гипоксией, выжить может только *C. capitata*, а общий уровень загрязнения определяется накоплением ЗВ в органических остатках.

Ситуация с выравниванием низких значений TPF_{chem} и TPF_{bio} для разных грунтов объясняется гораздо проще: когда поступление ЗВ невелико, их мало или нет ни в осаждающейся взвеси, ни в осадке ($TPF_{chem} \rightarrow 1,00$). Массово развиваются стено- и стено-эврибионтные организмы, абсолютно не толерантные или слабо и умеренно толерантные к загрязнению среды ($TPF_{bio} \rightarrow 1,13$). Эти величины (1,00 и 1,13) являются предельно возможными для индексов TPF_{chem} и TPF_{bio} . Однако на исследованной акватории TPF_{chem} в алевропелитовых отложениях не опускается ниже 1,8, как и средний TPF_{bio} у трех первых чистолюбивых групп, почти облигатных в таких условиях.

Метод оценки общего уровня химического загрязнения. Основой предлагаемого метода является шкала для определения уровня химического загрязнения донных отложений, полученная на основе координат оптимумов кривых отклика (усреднены координаты внутригрупповых оптимумов по плотности и встречаемости, индекс TPF_{bio}) видов и более крупных таксонов макрозообентоса (рис. 5). Эта номограмма представляет собой зависимость индекса химического загрязнения осадков (TPF_{chem}), определяемого на основе концентраций приоритетных ЗВ, от TPF_{bio} и состоит из двух кривых (логистической функции и полинома второй степени). Первая из них предназначена для определения величин TPF_{chem} по значениям TPF_{bio} (грунты, содержащие более 10–12 % частиц $< 0,05$ мм), вторая — для коррекции TPF_{chem} по TPF_{bio} для грунтов с более низкой концентрацией частиц указанных размерностей (крупноалевритовые, песчаные и более грубые осадки). Обработке могут быть подвергнуты любые списки

* Следует отметить, что и у этих моделей распределение остатков соответствует нормальному паттерну ($p = 0,172-0,854$), хотя в случае логистической модели и алгоритма, использованного для ее получения, этого не требуется.

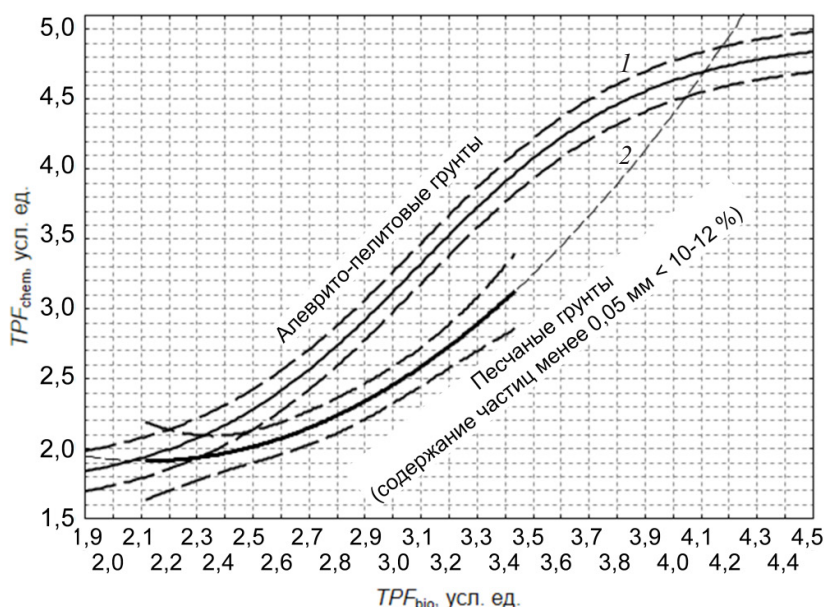


Рис. 5. Шкала для определения уровня химического загрязнения донных отложений (индекс TPF_{chem}) по величинам индекса TPF_{bio} : 1 — ERL_q ; 2 — ERM_q

Fig. 5. Scale for assessing the level of chemical contamination for bottom sediments (TPF_{chem} index) by the values of TPF_{bio} index: 1 — ERL_q ; 2 — ERM_q

видов и, что особенно важно, не включающие количественные характеристики. Ниже представлены несколько примеров применения предлагаемого метода.

Ретроспективный анализ видовых списков. Любой список таксонов животных и растений несет некую зашифрованную информацию, в частности о степени загрязнения среды их обитания. Предлагаемый метод, образно говоря, позволяет подобрать код к этому шифру.

К.М. Дерюгин и Н.М. Сомова [1941] по результатам съемок 1931–1933 гг. выделили на акваториях прол. Босфор Восточный, Амурского и Уссурийского заливов 7 «биоценозов», первые 5 из которых были локализованы на глубинах до 80 м, что примерно совпадает с глубинами наших сборов (до 65 м). Вычисления показали, что средние TPF_{bio} и TPF_{chem} у этих агломераций варьировали в пределах соответственно 1,5–2,3 и 1,7–2,0 (рис. 6).

Антропогенное загрязнение осадков металлами (Hg, Pb, Cu и др.) вблизи Владивостока началось в первой половине прошлого века и совпало с началом промышленного развития прибрежных территорий [Аксентов, 2008; Поляков, 2008]. Загрязнение этих районов нефтепродуктами стартовало в 40–50-е гг. прошлого столетия, что связано с переходом судов на дизельное топливо [Шорников, Зенина, 2014]. Таким образом, в начале 1930-х гг. какое-либо существенное загрязнение осадков вряд ли имело место, и поэтому полученные максимальные величины TPF_{bio} и TPF_{chem} в 2,3 и 2,0 усл. ед. следует рассматривать в качестве реперных, или предельно допустимых, для данной акватории. Необходимо отметить, что примерно на эти значения приходится начало снижения индекса Шеннона-Винера для двустворчатых моллюсков [Мощенко, Белан, 2007, 2008].

Таким образом, связь TPF_{bio} и TPF_{chem} позволяет получить информацию о загрязнении морской среды из любого списка видов (пока только на прибрежных акваториях Владивостока). Это, в свою очередь, дает возможность найти ответ на вопрос, когда же антропогенное воздействие достигло уровня, влияющего на видовой состав и структуру донного населения, или когда его воздействие стало «существенным».

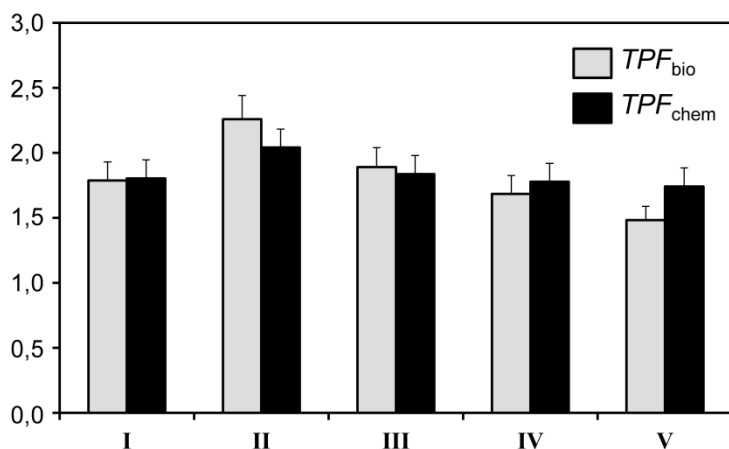


Рис. 6. Соотношение TPF_{bio} и TPF_{chem} для некоторых «биоценозов» зал. Петра Великого, выделенных К.М. Дерюгиным и Н.М. Сомовой [1941] по результатам съемок 1931–1933 гг. Здесь и далее: планки погрешностей — ошибка репрезентативности

Fig. 6. Ratio of TPF_{bio} and TPF_{chem} for some «biocenoses» of Peter the Great Bay defined by K.M. Deryugin and N.M. Somova [1941] on results of their surveys in 1931–1933. Hereinafter: error bars — standard errors

Коррекция TPF_{chem} по TPF_{bio} . Пространственные вариации степени химического загрязнения грунтов на исследованной в 2016 г. акватории отчетливо проявлялись в распределении значений индекса TPF_{chem} (рис. 7). Наиболее благоприятные для биологических объектов условия среды наблюдались в мористой и восточной частях Уссурийского залива ($TPF_{chem} < 2,0$). С продвижением на север и северо-запад TPF_{chem} последовательно возрастал и достигал критических значений вокруг южной оконечности п-ова Муравьева-Амурского (3,2) с максимумами в бухтах Золотой Рог и Диомид (4,8–5,0), затем вновь несколько снижался к западу, северо-западу и северо-востоку. Изолиния 2,9 (ERL_q , $\approx 20\%$ снижение разнообразия двустворчатых моллюсков) показывает границу, за которой начинается область прогрессивной деградации сообществ бентоса, изолиния 3,2 (ERM_q , уменьшение $> 54\%$) — область, где прогрессивная деградация заканчивается.

Точки опробования вдоль восточного побережья п-ова Муравьева-Амурского приурочены исключительно к песчаным осадкам с содержанием мелких псаммитов $> 90\%$, причем станция U103с располагается рядом со старой городской свалкой в бухте Горностай, которая не эксплуатируется уже более 10 лет и закрыта саркофагом (рис. 7). Однако низкий уровень загрязнения на этой акватории противоречит как здравому смыслу, так и результатам других авторов. Интенсивная аккумуляция металлов из-за просачивания ЗВ с грунтовыми водами, отмечена, например, у водорослей (устное сообщение ст. науч. сотр. ТИГ ДВО РАН Е.Н. Черновой). Коррекция TPF_{chem} по TPF_{bio} исправляет эту ситуацию и показывает, что экологическая обстановка здесь несколько не лучше таковой вдоль западного побережья этого полуострова, где в осадках преобладают мелкие алевроиты и пелиты, а высокое содержание ЗВ наблюдается уже на протяжении нескольких десятилетий.

Загрязнение прибрежных акваторий. В архиве авторов имеются данные по бентосу целого ряда прибрежных полигонов (80–90-е гг. прошлого века), на которых была детально изучена придонная физическая среда обитания гидробионтов — физико-механические свойства грунтов, сила и структура водообменных процессов, осаждение-взмучивание взвешенного материала и осадка. В то же время измерений содержания химических элементов и соединений, за исключением концентраций $C_{опр}$, не производили. При сопоставлении результатов этих исследований с распределением

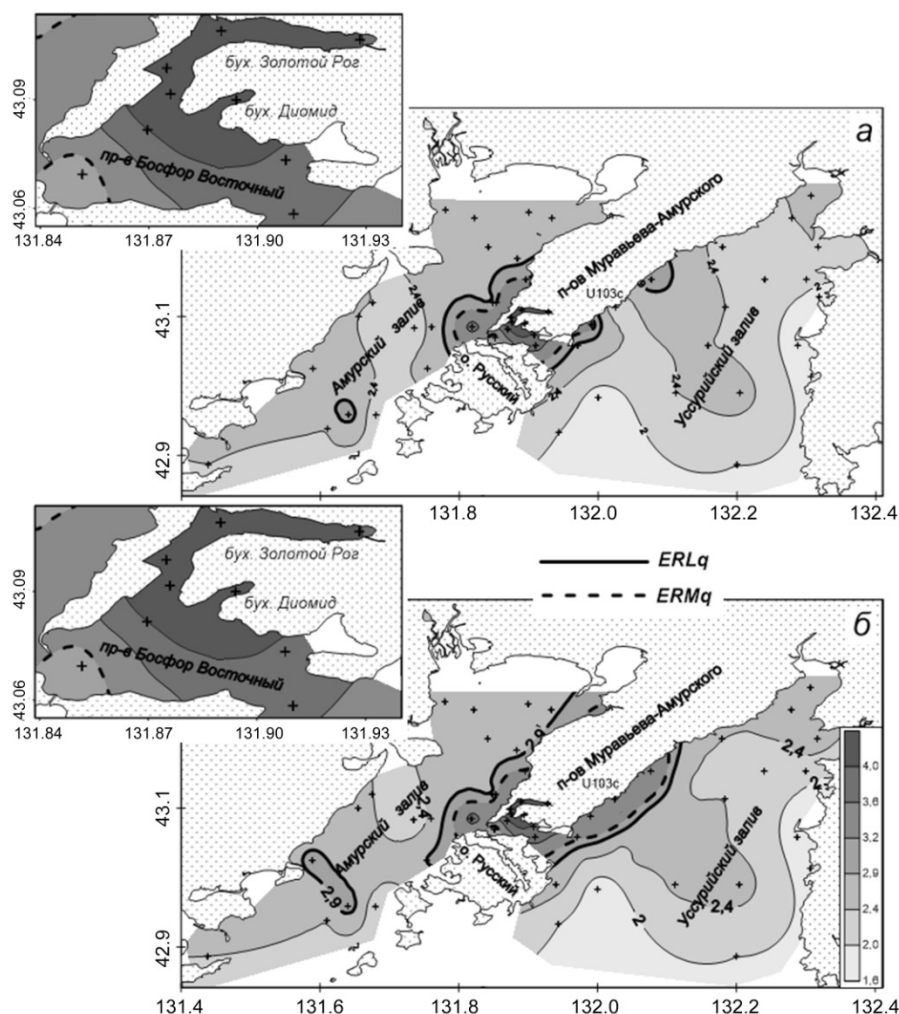


Рис. 7. Коррекция TPF_{chem} по TPF_{bio} (песчаные осадки): **а** и **б** — соответственно до и после внесения исправлений; ERL_q и ERM_q — начало и окончание области прогрессивной деградации донного населения

Fig. 7. Correction of TPF_{chem} by TPF_{bio} for sandy sediments: **a** — TPF_{chem} before the correction; **б** — TPF_{chem} after the correction; ERL_q and ERM_q — beginning and termination of the area of progressive degradation for benthic population

TPF_{bio} и TPF_{chem} можно определить положение и механизмы функционирования «барьеров», препятствующих аккумуляции ЗВ на мелководье (рис. 8, 9).

Вдоль разреза в бухте Западной (о. Фуругельма) было обнаружено 155 таксонов макрозообентоса, 62 из которых — виды-индикаторы загрязнения. Их число на станциях (каждые 5 м) варьировало от двух до 26, достигая в среднем 13 ± 1 . Это составит $55,2 \pm 1,7$ и $25,0-78,8$ % от общего числа найденных таксонов, причем до 45 м трансекты включительно количество таких животных в точках опробования не превышало 5. На большинстве же станций (на 35 из 54) число видов-индикаторов составляло 10 и более и, следовательно, выборки для определения TPF_{bio} были достаточно представительны. Для сравнения, напротив бухты Западной, в проливе между материком и о. Фуругельма (глубины 21–35 м), соотношение числа видов-индикаторов к общему количеству видов в среднем также превышало 55 %, изменяясь в диапазоне 42–74 % (по 18–35 видов на станцию). Следует подчеркнуть, что величина TPF_{bio} определяется вариациями доли видов-индикаторов менее чем на 20 %, как и сама доля, — увели-

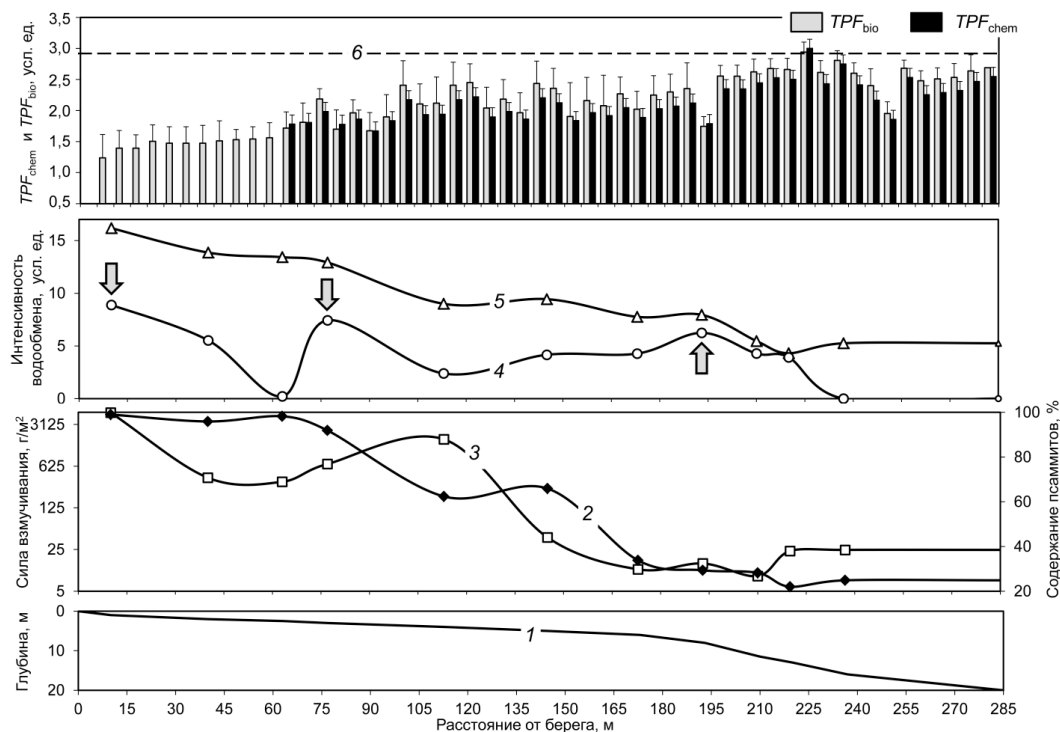


Рис. 8. Распределение TPF_{bio} , TPF_{chem} и некоторых характеристик придонной физической среды вдоль разреза у о. Фуругельма (волнение 3–4 балла): 1 — профиль дна; 2 — содержание псаммитов; 3 — сила взмучивания (логарифмический масштаб); 4–5 — соответственно интенсивность общего водообмена у дна и его вертикальной составляющей (1–5 — по: [Мощенко, 2006]); 6 — ERL_q ; стрелки — проникающее волнение

Fig. 8. Distribution of TPF_{bio} , TPF_{chem} and some near-bottom physical properties along the transect at Furugelm Island (sea roughness 3–4 points): 1 — bottom topography; 2 — content of sandy particles; 3 — force of resuspension (logarithmic scale); 4–5 — rate of total and vertical water exchange at the sea bottom, respectively; 6 — ERL_q ; arrows — wave penetration (1–5 — after [Moshchenko, 2006])

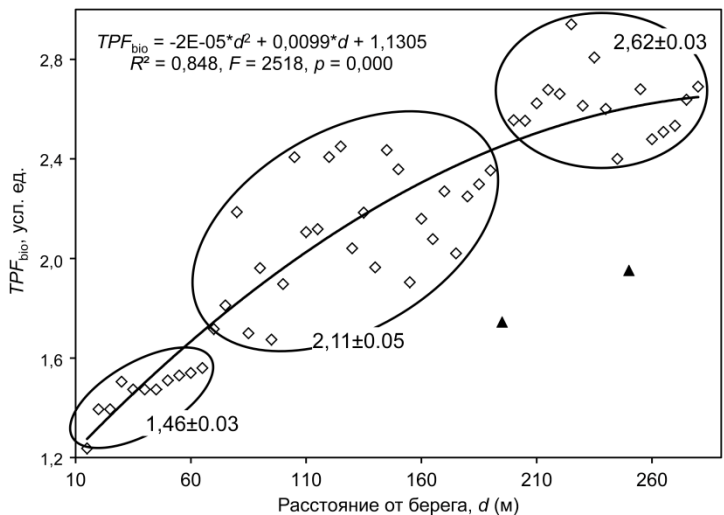


Рис. 9. Зависимость индекса TPF_{bio} от расстояния от берега: цифры на диаграмме — среднее значение $\pm$ ошибка репрезентативности; треугольники — выбракованные значения TPF_{bio}

Fig. 9. Dependence of TPF_{bio} index on distance from the shore: numerals at the diagram — mean values $\pm$ standard errors; triangles — discarded values of TPF_{bio}

чением расстояния от берега (положительный тренд в обоих случаях; $R^2 = 0,190$ и $0,174$, $p = 0,001$ и $0,002$).

Общая тенденция распределения индексов TPF_{bio} и TPF_{chem} вдоль разреза — увеличение их значений от берега в сторону моря* (рис. 8, 9). Этот рост явно неравномерен, и у TPF_{bio} наблюдаются по крайней мере два скачкообразных положительных инкремента: один в области 65–70 м трансекты, второй — в районе 190–200 м, составляющих по отношению к исходному значению 44,5 и 24,2 % (рис. 9). Эти приращения выше таковых, которые должны были бы наблюдаться в результате увеличения доли видов-индикаторов с дистанцией от берега.

Первый инкремент приурочен ко второй области разрушения волнения (из трех зафиксированных при данной гидродинамической ситуации) и началу снижения содержания частиц песчаных фракций, второй — к первой области разрушения волн и перегибу донного профиля, где формирование такой зоны почти облигатно при любых (кроме, вероятно, штилевых) условиях [Мощенко, 2006]. Естественно, проникающее волнение интенсифицирует эрозию склона и, соответственно, процессы взмучивания донных отложений, иными словами — их сортировку, вымывание илисто-глинистых (алеврито-пелитовых) частиц в сторону открытого моря (по современным представлениям о циркуляции воды в вертикальной плоскости прибрежной зоны), а именно такие частицы аккумулируют все типы ЗВ в наибольшей степени. Таким образом, барьерами для накопления загрязнителей на мелководье являются прежде всего области проникающего волнения и сам характер движения воды в прибрежной зоне моря.

Заключение

На основе результатов моделирования и созданной ранее классификации таксонов макрозообентоса по отношению к общему уровню загрязнения донных отложений разработан индекс TPF_{bio} , вычисляемый усреднением координат оптимумов кривых отклика видов-индикаторов вдоль градиента TPF_{chem} , полученных для их встречаемости и плотности поселения. Использование индекса TPF_{bio} позволило разработать метод индикации общего уровня химического загрязнения. Кроме того, данный метод дает возможность:

- восстанавливать последовательность изменений в силе антропогенного воздействия в периоды, когда анализ содержания загрязняющих веществ еще не производили;
- корректировать оценки уровня химического загрязнения донных осадков;
- исследовать процессы аккумуляции ЗВ в самой прибрежной части моря, где анализ загрязнения не был выполнен по объективным причинам.

Обработке могут быть подвергнуты любые списки видов и, что особенно важно, не включающие их количественные характеристики. Необходимо подчеркнуть, что «устойчивые» результаты применения данного метода можно гарантировать только в прибрежных районах Владивостока, а для расширения области его применения на другие акватории требуются дополнительные исследования, включая экспедиционные, и соответствующая верификация на основе тщательного статистического анализа. Методика построения индекса TPF_{bio} может быть применена для проектирования подобных показателей для индикации любых других параметров среды.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарны рецензентам за ценные замечания, которые были учтены при подготовке настоящей рукописи к печати.

The authors are grateful to the reviewers for their valuable comments, which were taken into account when preparing the manuscript for publication.

* Вычисление TPF_{chem} оказалось возможным только после 65 м трансекты, поскольку ближе к берегу значения TPF_{bio} (1,24–1,56 усл. ед.) были ниже минимальной границы его области определения.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed.

The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Все авторы принимали участие в получении и первичной обработке данных, обсуждении полученных результатов и редактировании текста рукописи; статистическая обработка и написание текста — А.В. Мощенко.

Data collection and primary processing; results discussing — all authors; statistical processing of the data and writing the text — A.V. Moshchenko.

Список литературы

Аксентов К.И. Ртуть в абиотических компонентах экосистемы залива Петра Великого // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. — М. : ГЕОС, 2008. — С. 173–184.

Боровиков В.П., Боровиков И.П. STATISTICA® Статистический анализ и обработка данных в среде Windows® : моногр. — М. : Инф.-издат. дом «Филинь», 1998. — 608 с.

Дерюгин К.М., Сомова Н.М. Материалы по количественному учету бентоса зал. Петра Великого (Японское море) // Исслед. дальневост. морей СССР. — 1941. — Вып. 1. — С. 13–36.

Лихт Ф.Р., Астахов А.С., Боцул А.И. и др. Структура осадков и фации Японского моря : моногр. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1983. — 287 с.

Мастицкий С.Э., Шитиков В.К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R : моногр. — Хайдельберг ; Лондон ; Тольятти, 2014. — 401 с. <http://r-analytics.blogspot.com>.

Мощенко А.В. Роль микромасштабной турбулентности в распределении и изменчивости бентосных животных : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2006. — 321 с.

Мощенко А.В., Белан Т.А. Метод оценки антропогенного нарушения сообществ макрозообентоса рыхлых грунтов // Биол. моря. — 2008. — Т. 34, № 4. — С. 279–292.

Мощенко А.В., Белан Т.А. Новые методы оценки экологического состояния природной среды Дальневосточных морей России // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. — Владивосток : Дальнаука, 2007. — С. 276–313.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. и др. Современное загрязнение донных отложений и экологическое состояние макрозообентоса в прибрежной зоне Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 196. — С. 155–181. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-155-181.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. Распределение и классификация макрозообентоса залива Петра Великого Японского моря по отношению к загрязнению донных отложений // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 3. — С. 623–639. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-623-639.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Лишавская Т.С. и др. Основные тенденции временного хода концентраций приоритетных поллютантов в осадках прибрежных акваторий Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. — 2021а. — Т. 201, вып. 2. — С. 440–457. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-440-457.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. и др. Адаптация метода оценки качества морской среды по данным биологического анализа на основе индексов AMBI и M-AMBI для залива Петра Великого Японского моря // Тр. ДВНИГМИ. — 2021б. — Вып. 156. — С. 142–181.

Поляков Д.М. Накопление тяжелых металлов донными осадками Амурского залива (Японское море) // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. — М. : ГЕОС, 2008. — С. 163–173.

Протасов А.А. Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсиконология : моногр. — Киев : Академперіодика, 2002. — 105 с.

Шорников Е.И., Зенина М.А. Остракоды как индикаторы состояния и динамики водных экосистем (на примере залива Петра Великого Японского моря) : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2014. — 334 с.

Belan T.A., Moshchenko A.V. Polychaete taxocenosis variability associated with sediment pollution loading in the Peter the Great Bay (the East Sea/Japan Sea) // *Ocean Sci. J.* — 2005. — Vol. 40, № 1. — P. 1–10.

Borja A., Dauer D., Diaz R. et al. Assessing estuarine benthic quality conditions in Chesapeake Bay: A comparison of three indices // *Ecological Indicators.* — 2008. — Vol. 8, Iss. 4. — P. 395–403.

Borja A., Franco J., Perez V. A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos Within European Estuarine and Coastal Environments // *Mar. Pollut. Bull.* — 2000. — Vol. 40, № 12. — P. 1100–1114.

Borja A., Josefson A.B., Miles A. et al. An approach to the intercalibration of benthic ecological status assessment in the North Atlantic ecoregion, according to the European Water Framework Directive // *Mar. Pollut. Bull.* — 2007. — Vol. 55, Iss. 1–6. — P. 42–52.

Borja A., Mader J., Muxika I. Instructions for the use of the AMBI index software (Version 5.0) // *Revista de Investigacion Marina.* — 2012. — Vol. 19, № 3. — P. 71–82.

Mee L.D., Jefferson R.L., Laffoley D.d.A., Elliott M. How good is good? Human values and Europe's proposed Marine Strategy Directive // *Mar. Pollut. Bull.* — 2008. — Vol. 56, Iss. 2. — P. 187–204. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2007.09.038.

Moshchenko A.V., Belan T.A., Oleynik E.V. Influence of contamination on soft-bottom communities in Peter the Great Bay, Sea of Japan: choice of variables // *Ecological studies and the state of the ecosystem of Amursky Bay and the estuarine zone of the Razdolnaya River (Sea of Japan).* — Vladivostok : Dalnauka, 2009. — Vol. 2. — P. 173–204.

Muxika I., Borja A., Bald J. Using historical data, expert judgment and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive // *Mar. Pollut. Bull.* — 2007. — Vol. 55, Iss. 1–6. — P. 16–29. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2006.05.025.

Ponti M., Vadrucchi M.R., Orfanidis S., Pinna M. Biotic indices for ecological status of transitional water ecosystems // *Transit. Waters Bull.* — 2009. — Vol. 3, № 3. — P. 32–90. DOI: 10.1285/i1825229Xv3n3p32.

Rygg B. Distribution of species along pollution-induced diversity gradients in benthic communities in Norwegian fjords // *Mar. Pollut. Bull.* — 1985. — Vol. 16, Iss. 12. — P. 469–474. DOI: 10.1016/0025-326X(85)90378-9.

Simboura N., Reizopoulou S. An intercalibration of classification metrics of benthic macroinvertebrates in coastal and transitional ecosystems of the Eastern Mediterranean ecoregion (Greece) // *Mar. Pollut. Bull.* — 2008. — Vol. 56, Iss. 1. — P. 116–126. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2007.09.042.

Van Hoey G., Borja A., Birchenough S. et al. The use of benthic indicators in Europe: From the Water Framework Directive to the Marine Strategy Framework Directive // *Mar. Pollut. Bull.* — 2010. — Vol. 60, Iss. 12. — P. 2187–2196.

Van Loon W.M.G.M., Boon A.R., Gittenberger A. et al. Application of the Benthic Ecosystem Quality Index 2 to benthos in Dutch transitional and coastal waters // *J. Sea Res.* — 2015. — Vol. 103. — P. 1–13. DOI: 10.1016/j.seares.2015.05.002.

Warwick R.M., Clarke K.R. New «biodiversity» measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* — 1995. — Vol. 129. — P. 301–305.

Washington H.G. Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems // *Water Res.* — 1984. — Vol. 18, Iss. 6. — P. 653–694. DOI: 10.1016/0043-1354(84)90164-7.

References

Aksentov, K.I., Mercury in Abiotic components of the Peter-the-Great Bay ecosystem, in *Sovremennoe sostoyanie i tendencii izmeneniya prirodnoi sredy zaliva Petra Velikogo Yaponskogo morya* (Current Environmental condition and tendencies of its change in the Peter the Great Bay, the Sea of Japan), Moscow: GEOS, 2008, pp. 173–184.

Borovikov, V.P. and Borovikov, I.P., *STATISTICA. Statisticheskii analiz i obrabotka dannykh v srede Windows* (STATISTICA. Statistical Analysis and Data Processing in the Windows Environment), Moscow: Filin, 1998.

Deryugin, K.M. and Somova, N.M., Contributions to quantitative estimate of the benthonic population of Peter the Great Bay (Sea of Japan), *Issled. Dal'nevost. morey SSSR*, 1941, no. 1, pp. 13–36.

Likht, F.R., Astakhov, A.S., Botsul, A.I., Derkachev, A.N., Dudarev, O.V., Markov, Yu.D., and Utkin, I.V., *Struktura osadkov i fraktsii Yaponskogo morya* (Structure of sediments and facies of the Sea of Japan), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1983.

Mastitsky, S.E. and Shitikov, V.K., *Statisticheskii analiz i vizualizatsiya dannykh s pomoshch'yu R* (Statistical Analysis and Data Visualization with R), Khaidelberg; London; Tolyatti: 2014. <http://ranalytics.blogspot.com>. Cited January, 25, 2022.

Moshchenko, A.V., *Rol mikromasshtabnoi nurbulentnosti v raspredelenii i izmenchivosti bentosnykh zhivotnykh* (The part of microscale turbulence in distribution and variability of benthic animals), Vladivostok: Dal'nauka, 2006.

Moshchenko, A.V. and Belan, T.A., Method for the appraisal of anthropogenic disturbance of macrozoobenthic communities of soft substrata, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2008, vol. 34, no. 4, pp. 235–248.

Moshchenko, A.V. and Belan, T.A., New methods of assessment of ecological condition of the natural environment in the Far Eastern seas of Russia, in *Dinamika morskikh ekosistem i sovremennyye problemy sokhraneniya biologicheskogo potentsiala morei Rossii* (Dynamics of Marine Ecosystems and the Current Problems of Conservation of the Biological Potential of the Russian Seas), Vladivostok: Dal'nauka, 2007, pp. 276–313.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., Borisov, B.M., Lishavskaya, T.S., and Sevastianov, A.V., Modern contamination of bottom sediments and ecological state of macrozoobenthos in the coastal zone at Vladivostok (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 196, pp. 155–181. doi 10.26428/1606-9919-2019-196-155-181

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., and Borisov, B.M., Distribution and classification of macrozoobenthos in Peter the Great Bay of Japan Sea in relation to contamination of bottom sediments, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 3, pp. 623–639. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-623-639

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., Lishavskaya, T.S., Sevastianov, A.V., and Borisov, B.M., Main tendencies of temporal changes for concentration of priority pollutants in sediments of the coastal areas at Vladivostok (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 2, pp. 440–457. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-440-457

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., Borisov, B.M., Lishavskaya, T.S., and Sevastyanov, A.V., Adaptation of the method of appraisal of marine environment quality using biological data analysis at the base of AMBI and M-AMBI indices for Peter the Great Bay (Sea of Japan), *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 2021, vol. 156, pp. 142–181.

Polyakov, D.M., Accumulation of heavy metals by bottom sediments in Amursky Bay (Sea of Japan), in *Sovremennoe sostoyaniye i tendentsii izmeneniya prirodnoi sredy zaliva Petra Velikogo Yaponskogo morya* (Current Environmental condition and tendencies of its change in the Peter the Great Bay, the Sea of Japan), Moscow: GEOS, 2008, pp. 163–173.

Protasov, A.A., *Bioraznoobrazie i ego otsenka. Kontseptualnaya diversikologiya* (Biodiversity and its assessment. Conceptual diversicology), Kiev: Akademperiodika, 2002.

Schornikov, E.I. and Zenina, M.A., *Ostrakody kak indikatory sostoyaniya i dinamiki vodnykh ekosistem (na primere zaliva Petra Velikogo Yaponskogo morya)* (Ostracods as Indicators of Conditions and Dynamics of Water Ecosystems (on the Example of Peter the Great Bay, Sea of Japan)), Vladivostok: Dalnauka, 2014.

Belan, T.A. and Moshchenko, A.V., Polychaete taxocenes variability associated with sediment pollution loading in the Peter the Great Bay (the East Sea/Japan Sea), *Ocean Sci. J.*, 2005, vol. 40, no. 1, pp. 1–10.

Borja, A., Dauer, D., Diaz, R., Llanso, R.J., Muxika, I., Rodriguez, J.G., and Schaffner, L., Assessing estuarine benthic quality conditions in Chesapeake Bay: A comparison of three indices, *Ecological Indicators*, 2008, vol. 8, no. 4, pp. 395–403.

Borja, Á., Franco, J., and Perez, V., A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos Within European Estuarine and Coastal Environments, *Mar. Pollut. Bull.*, 2000, vol. 40, no. 12, pp. 1100–1114.

Borja, A., Josefson, A.B., Miles, A., Muxika, I., Olsgard, F., Phillips, G., Rodriguez, G., and Rygg, B., An approach to the intercalibration of benthic ecological status assessment in the North Atlantic ecoregion, according to the European Water Framework Directive, *Mar. Pollut. Bull.*, 2007, vol. 55, no. 1–6, pp. 42–52.

Borja, Á., Mader, J., and Muxika, I., Instructions for the use of the AMBI index software (Version 5.0), *Revista de Investigacion Marina*, 2012, vol. 19, no. 3, pp. 71–82.

Mee, L.D., Jefferson, R.L., Laffoley, D.d'A., and Elliott, M., How good is good? Human values and Europe's proposed Marine Strategy Directive, *Mar. Pollut. Bull.*, 2008, vol. 56, no. 2, pp. 187–204. doi 10.1016/j.marpolbul.2007.09.038

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., and Oleynik, E.V., Influence of contamination on soft-bottom communities in Peter the Great Bay, Sea of Japan: choice of variables, *Ecological studies and the state of the ecosystem of Amursky Bay and the estuarine zone of the Razdolnaya River (Sea of Japan)*, Vladivostok: Dalnauka, 2009, vol. 2, pp. 173–204.

Muxika, I., Borja, Á., and Bald, J., Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive, *Mar. Pollut. Bull.*, 2007, vol. 55, nos. 1–6, pp. 16–29. doi 10.1016/j.marpolbul.2006.05.025

Ponti, M., Vadrucchi, M.R., Orfanidis, S., and Pinna, M., Biotic indices for ecological status of transitional water ecosystems, *Transit. Waters Bull.*, 2009, vol. 3, no. 3, pp. 32–90. doi 10.1285/i1825229Xv3n3p32

Rygg, B., Distribution of species along pollution-induced diversity gradients in benthic communities in Norwegian fjords, *Mar. Pollut. Bull.*, 1985, vol. 16, no. 12, pp. 469–474. doi 10.1016/0025-326X(85)90378-9

Simboura, N. and Reizopoulou, S., An intercalibration of classification metrics of benthic macroinvertebrates in coastal and transitional ecosystems of the Eastern Mediterranean ecoregion (Greece), *Mar. Pollut. Bull.*, 2008., vol. 56, no. 1, pp. 116–126. doi 10.1016/j.marpolbul.2007.09.042

Van Hoey, G., Borja, A., Birchenough, S., Buhl-Mortensen, L., Degraer, S., Fleischer, D., Kerckhof, F., Magni, P., Muxika, I., Reiss, H., Schröder, A., and Zettler, M.L., The use of benthic indicators in Europe: From the Water Framework Directive to the Marine Strategy Framework Directive, *Mar. Pollut. Bull.*, 2010, vol. 60, no. 12, pp. 2187–2196. doi 10.1016/j.marpolbul.2010.09.015

Van Loon, W.M.G.M., Boon, A.R., Gittenberger, A., Walvoort, D.J.J., Lavaleye, M., Duineveld, G.C.A., and Verschoor, A.J., Application of the Benthic Ecosystem Quality Index 2 to benthos in Dutch transitional and coastal waters, *J. Sea Res.*, 2015, vol. 103, pp. 1–13. doi 10.1016/j.seares.2015.05.002

Warwick, R.M. and Clarke, K.R., New “biodiversity” measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1995, vol. 129, pp. 301–305.

Washington, H.G., Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems, *Water Res.*, 1984, vol. 18, no. 6, pp. 653–694. doi 10.1016/0043-1354(84)90164-7

Verissimo, H., Netoa, J.M., Teixeira, H., Franco, J.N., Fath, B.D., Marques, J.C., and Patricio, J., Ability of benthic indicators to assess ecological quality in estuaries following management, 2011, <https://www.researchgate.net/publication/236033738>. Cited October, 10, 2022.

2000/60/EC. *Water Framework Directive*, 2000. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32000L0060>. Cited January, 25, 2022.

2008/56/EC. *Marine Strategy Framework Directive*, 2008. <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0056>. Cited January, 25, 2022.

Otchet Nauchno-Issled. Rab. “Sistematizirovannyye dannyye po faktoram sredy i obshchim kharakteristikam soobshchestv makrozoobentosa” (Res. Rep. “Systematized data on environmental factors and general characteristics of macrozoobenthos communities”), Available from DVNIGMI, 2021, Vladivostok, no. GR AAAA-A20-120042190045-6. http://ferhri.ru/images/stories/FERHRI/NIR/Otchety/otchet_4.6.2_2021_moschenko.pdf. Cited October 10, 2022.

Chatzidimitriou, K., *Fitting a sigmoid curve in R*, 2012. <https://kyrcha.info/2012/07/08/tutorials-fitting-a-sigmoid-function-in-r>. Cited October 10, 2022.

Otchet Nauchno-Issled. Rab. “Predlozheniya po ustanovleniyu granichnykh kriteriyev dlya otsenki klassov sostoyaniya morskoy sredy na baze odnogo ili kompleksa biologicheskikh parametrov s uchetom peredovogo mezhdunarodnogo opyta” (Res. Rep. “Proposals for establishing boundary criteria for assessing the state of the marine environment on the basis of one or a set of biological parameters, taking into account international best practices”), 2020. http://ferhri.ru/images/stories/FERHRI/NIR/Otchety/otchet_462_moschenko.pdf. Cited January, 25, 2022.

Поступила в редакцию 7.11.2022 г.

После доработки 21.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 7.11.2022; approved after reviewing 21.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022

Научная статья

УДК 581.526.325(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-880-893

EDN: MFZEXK

**ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ
ГОРОДА ВЛАДИВОСТОКА В 2019–2021 ГГ.****К.О. Тевс¹, О.Г. Шевченко^{2,3*}**¹ Дальневосточный федеральный университет,
690920, г. Владивосток, пос. Аякс, 10;² Национальный научный центр морской биологии
им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17;³ Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

Аннотация. Изучен качественный и количественный состав фитопланктона Спортивной гавани и бухты Парис в период с октября 2019 по декабрь 2021 г. Обнаружено соответственно 130 и 144 таксона фитопланктона. Общая численность варьировала от 1,3 тыс. до 19 млн кл./л (средние значения 209,7–844,7 тыс. кл./л), биомасса — от 3 мг/м³ до 38,5 г/м³ (0,8–2,6 г/м³). Многолетние исследования микроводорослей Спортивной гавани проводились впервые. Установлены закономерности компонентных характеристик микроводорослей, характерных при эвтрофировании вод. Если в бухте Парис развитие альгоценоза соответствовало классической схеме развития, то в Спортивной гавани отмечали увеличение случаев интенсивного развития микроводорослей, при этом наблюдали замещение диатомового комплекса жгутиковым сообществом, а также нитчатыми цианобактериями. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о наличии антропогенного эвтрофирования акватории Спортивной гавани, предположительно за счет неконтролируемого поступления неочищенных сточных вод.

Ключевые слова: фитопланктон, видовой состав, сезонная динамика, количественные характеристики, Спортивная гавань, бухта Парис, залив Петра Великого, Японское море

Для цитирования: Тевс К.О., Шевченко О.Г. Динамика фитопланктона в прибрежных водах города Владивостока в 2019–2021 гг. // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 880–893. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-880-893. EDN: MFZEXK.

* Тевс Кирилл Олегович, аспирант, tevs.kirill.95@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8893-1720; Шевченко Ольга Геннадьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, доцент, 713553@mail.ru, ORCID 0000-0003-2394-8673.

© Тевс К.О., Шевченко О.Г., 2022

Dynamics of phytoplankton in the coastal waters at Vladivostok in 2019–2021

Kirill O. Tevs*, Olga G. Shevchenko**

* Far Eastern Federal University, Ajax Bay, 10, Vladivostok, 690920;

** Institute of Marine Biology, National Scientific Centre of Marine Biology.

Far Eastern Branch. Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041, Russia;

Far-Eastern State Technical Fisheries University, 52b Lugovaya St., Vladivostok, 690087, Russia

* post-graduate student, tevs.kirill.95@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8893-1720

** Ph.D., senior researcher, 713553@mail.ru, ORCID 0000-0003-2394-8673

Abstract. Structure and abundance of phytoplankton community in the Sportivnaya Harbour and Paris Bay in Vladivostok (western coast of the Japan Sea) was monitored from October 2019 to December 2021. In total, 130 and 144 phytoplankton taxa were identified in these two areas, respectively. The overall cell abundance ranged from $1.3 \cdot 10^3$ to $19 \cdot 10^6$ cells/L (on average $21 \cdot 10^4$ and $84.5 \cdot 10^4$ cells/L); the total phytoplankton biomass — from 3.0 mg/m^3 to 38.5 g/m^3 (on average 0.8 and 2.6 g/m^3 , respectively, by areas). The long-term observations were made for the first time in the Sportivnaya Harbour. The community composition was typical of eutrophic waters, with usual seasonal succession in the Paris Bay but frequent blooms in the Sportivnaya Harbour, when diatoms were replaced by flagellates and filamentous cyanobacteria. Such dynamics is presumably caused by anthropogenic eutrophication due to uncontrolled wastewater discharge.

Keywords: phytoplankton, species composition, seasonal dynamics, phytoplankton abundance, Sportivnaya Harbour, Paris Bay, Peter the Great Bay, Japan Sea

For citation: Tevs K.O., Shevchenko O.G. Dynamics of phytoplankton community in the coastal waters at Vladivostok in 2019–2021, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 880–893. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-880-893. EDN: MFZEXK.

Введение

Одной из самых серьезных экологических проблем современности является загрязнение Мирового океана, особенно в районах расположения крупных городов. На российском побережье Японского моря примером такой акватории является Амурский залив. Согласно докладам об экологической ситуации в Приморском крае в 2019 г. воды залива имели IV класс качества «загрязненные»*, в 2020–2021 гг. — III класс «умеренно загрязненные»**. Несмотря на улучшение качества вод, прибрежные акватории в районе г. Владивосток подвержены значительному антропогенному воздействию, которое проявляется в высокой концентрации загрязняющих веществ в различных компонентах водных экосистем [Бегун, 2004; Христофорова, Саломай, 2006; Стоник, 2018]. Прибрежная зона Спортивной гавани — одно из основных мест отдыха горожан. В непосредственной близости расположены городская инфраструктура (кафе, рестораны, жилые постройки) и водный транспорт (стоянка для катеров и яхт), поэтому целесообразно проводить регулярный мониторинг микроводорослей для выявления биологических последствий органического загрязнения поверхностных вод данной акватории. Водные растительные сообщества активно используют для оценки качества среды, а также в качестве показателей состояния экосистем водоемов. Мониторинг фитопланктона в значительной степени помогает выявить биологические последствия антропогенного воздействия. На загрязненных акваториях нередко прослеживается изменение видового состава и структурно-функциональных характеристик микроводорослей [Абакумов, 1977; Cloern, Jassby, 2010]. Исследование результатов

* Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2019 году. Владивосток, 2020. 270 с.

** Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2021 году. Владивосток, 2022. 334 с.

многолетнего изучения фитопланктона Спортивной гавани ранее не проводились. В то же время исследованию фитопланктона Амурского залива посвящено более 40 работ. Среди них есть работы по изучению сообщества в целом [Паутова, Силкин, 2000; Шулькин и др., 2013], отдельных родов микроводорослей [Шевченко, Орлова, 2010; Стоник и др., 2012], проблем эвтрофирования и «цветения» воды [Симакова и др., 1990; Селина, 1992].

Детальная характеристика фитопланктона также необходима для прибрежных вод, используемых как особо охраняемые акватории, нерестилища или участки развития марикультуры. К такой акватории относится бухта Парис на восточном побережье о. Русского, где расположена База изучения морских млекопитающих Научно-образовательного комплекса «Приморский океанариум» филиала ННЦМБ ДВО РАН. Ранее проведенные исследования показали отсутствие явного влияния антропогенного воздействия на данную акваторию [Шевченко и др., 2020; Shevchenko et al., 2018].

Цель данной работы заключалась в сравнении сезонных изменений качественных и количественных показателей фитопланктона в различных акваториях зал. Петра Великого.

Материалы и методы

Сбор материала. В основу работы легли планктонные сборы, выполненные в период с октября 2019 по декабрь 2021 г. на 2 станциях, расположенных в прибрежных водах Амурского залива (Спортивная гавань; 43°07'16" с.ш. 131°52'27" в.д.) и прол. Босфор Восточный (бухта Парис; 43°00'44" с.ш. 131°54'45" в.д.) (рис. 1).

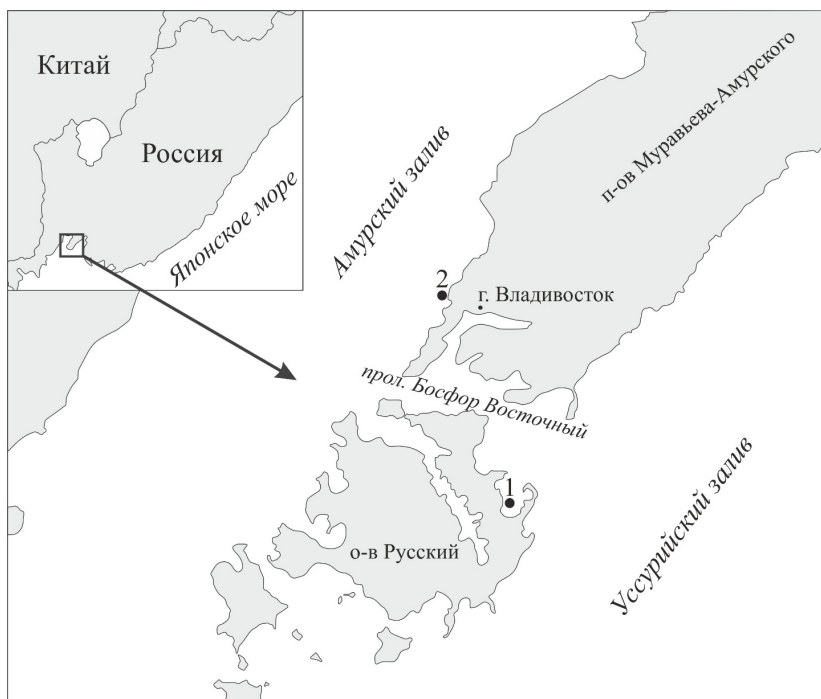


Рис. 1. Карта-схема расположения станций: 1 — бухта Парис; 2 — Спортивная гавань
Fig. 1. Scheme of smpling: 1 — Paris Bay; 2 — Sportivnaya Harbor

Пробы фитопланктона собирали с причалов 2 раза в месяц 5-литровым батометром Нискина с горизонта 0,5 м. Температуру и соленость поверхностного слоя воды измеряли с помощью многопараметрического зонда HORIBA U-52G.

Обработка материала. Для исследования микроводорослей материал фиксировали раствором Утермеля до бледно-желтого цвета. Концентрирование проб объемом

1 л производили методом осаждения [Utermöhl, 1958]. Численность клеток микроводорослей подсчитывали в счетной камере типа Нахотта объемом 0,05 мл [Федоров, 1979]. Биомассу микроводорослей оценивали объемным методом, используя собственные и литературные данные измерений объема клеток каждого вида [Olenina et al., 2006]. Вид считали доминирующим, если его численность или биомасса превышала 50 % общей численности или биомассы фитопланктона.

«Цветение» воды рассматривали как массовое развитие водорослей, численность клеток которых превышала 10^6 кл./л [Colijn, 1992]. Видовую идентификацию фитопланктона проводили с помощью светового микроскопа Carl Zeiss, Axio Scope.A1. Тонкую структуру панцирей доминирующих видов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss, Sigma 300 и трансмиссионного электронного микроскопа Carl Zeiss, Libra 120. Подготовку препаратов для электронной микроскопии проводили по стандартным методикам [Hasle, Fryxell, 1970; Truby, 1997]. При проведении экологического анализа использовали классификацию фитопланктона, предложенную И.А. Киселевым [1969]. Фитогеографический анализ производили по типам ареалов на основе различий в широтно-зональном распространении видов микроводорослей [Семина, 1974].

Результаты и их обсуждение

За весь период исследования идентифицировано 168 таксонов фитопланктона, относящихся к 7 классам, из которых в Спортивной гавани обнаружено 130 видов и внутривидовых фор микроводорослей: Bacillariophyceae (82 вида и внутривидовых таксонов), Dinophyceae (40), Chrysophyceae (3), Raphidophyceae (2), Euglenophyceae (1), Cryptophyceae (1) и Naptophyceae (1). В фитопланктоне бухты Парис отмечено 144 таксона микроводорослей из 6 классов: Bacillariophyceae (81), Dinophyceae (56), Chrysophyceae (4), Euglenophyceae (1), Raphidophyceae (1) и Cryptophyceae (1). Только в Спортивной гавани регистрировали гаптофитовые водоросли. В определении видового богатства ведущая роль (63,1 и 55,9 % общего числа видов фитопланктона соответственно Спортивной гавани и бухты Парис) принадлежала диатомовым водорослям. Второе место по числу видов занимали динофлагелляты (30,8 и 38,6 %), другие систематические группы были представлены единичными видами (менее 3 % каждая). Среди Bacillariophyceae наиболее разнообразным оказался род Chaetoceros (соответственно 26 и 24 вида и внутривидовых таксонов), среди Dinophyta — Protoperidinium (11 и 21 вид). В пробе число видов фитопланктона изменялось от 1 (Спортивная гавань) до 43 (бухта Парис) видов и внутривидовых таксонов.

Наиболее полное представление о структуре флоры дает эколого-географическая характеристика [Селина и др., 2005]. Экологические характеристики известны для 111 видов, обнаруженных в прибрежной зоне Спортивной гавани (84,7 % общего количества видов). В биотопическом отношении основу флористического списка составляли неритические виды (65,8 % числа видов с известной характеристикой), вторую позицию занимали панталассные виды (14,4 %). Океанические и бентические были представлены почти в равной степени — соответственно 10,8 и 8,1 %, пресноводные насчитывали менее 1 %. В бухте Парис наблюдали незначительное расхождение в соотношении экологических группировок. Экологическая характеристика установлена для 125 видов (86,2 %). Также основу флоры составляли неритические виды (61,6 %). Второе место занимали океанические (17,6 %), а панталассные (10,4 %), бентические (8,8 %) и пресноводные (1,6 %) значительно им уступали. По сравнению со Спортивной гаванью доля океанических видов в бухте Парис была выше, что свидетельствует о большем влиянии вод Уссурийского залива посредством водообмена с открытой частью зал. Петра Великого. Незначительная примесь пресноводных и бентических видов наряду с преобладанием неритических форм отражала прибрежное положение районов исследования.

В Спортивной гавани географический статус фитопланктона установлен для 105 видов и внутривидовых таксонов (80,2 % общего числа видов). Анализ соотношения географических элементов флоры выявил преобладание космополитов (47,7 % числа видов с известной характеристикой). Аркто-бореальные составляли 17,2 %, тропическо-бореальные и тропическо-аркто-бореальные — соответственно 15,2 и 7,6 %. Также микроводоросли включали 5 тропических (4,8 %), 4 бореальных (3,8 %), 2 биполярных (1,9 %) и 2 тропическо-антарктических (1,9 %) вида. В бухте Парис типы ареалов установлены для 120 видов, что составляет 82,8 % всего видового состава. В целом в фитоценозе доминировали космополиты (48,3 %), на втором месте тропическо-бореальные (15,8 %), на третьем — аркто-бореальные (12,5 %). Тропическо-аркто-бореальные виды составляли 10,0 %, бореальные — 5,0 %, тропические — 4,2 %, биполярные — 2,5 % и тропическо-антарктические — 1,7 %. Таким образом, широко распространенные виды (космополиты, тропическо-бореальные и тропическо-аркто-бореальные) насчитывали более половины от всех видов с известной географической характеристикой, что характерно для зал. Петра Великого [Бегун, 2004; Орлова и др., 2009] и в целом для прибрежных вод морей умеренной зоны [Селина и др., 2005; Skaloud et al., 2006].

Гидрохимические параметры поверхностного слоя воды изменялись в пределах: соленость — от 2 до 38 ‰, температура — от минус 1,8 до плюс 26 °C. Минимальные значения солености отмечены в январе (Спортивная гавань), максимальные — в апреле и мае 2021 г. (бухта Парис).

Анализ количественных данных показал, что на протяжении периода исследования численность фитопланктона изменялась в пределах от 1,3 тыс. до 19 млн кл./л, а биомасса варьировала от 3,0 до 38,5 г/м³ (рис. 2).

Количественные характеристики микроводорослей между годами и станциями имели значительные различия. Максимальные значения численности и биомассы фитопланктона были характерны для Спортивной гавани. Средние значения численности фитопланктона в период 2019–2021 гг. изменялись в пределах от 388,5 тыс. до 1,3 млн кл./л, биомассы — от 1,2 до 4,1 г/м³. Увеличение средних показателей происходило постепенно, максимальные величины отмечали в 2021 г. В ранневесенний период 2021 г. «цветение» воды обуславливали рафидофитовые рода *Heterosigma* (19 млн кл./л; 19,6 г/м³), доминирование которых также наблюдали и в летний период. Зимой 2021 г. отмечали развитие динофлагеллят, максимальную биомассу фитопланктона формировал *Gyrodinium lachryma*. Диатомовые водоросли вызывали «цветение» воды в летний и осенний периоды. Так, осенью 2019 г. отмечали «цветение» воды (1,5 млн кл./л), вызванное развитием *Skeletonema japonicum* (91,5 % общей численности). Последующее увеличение численности наблюдали летом, в июле 2020 г. (3,5 млн кл./л) в планктоне преобладал преимущественно *Skeletonema dorhnii* (87 %). Осенью 2021 г. на исследуемой акватории регистрировали развитие нитчатых форм цианобактерий (до 4,7 млн кл./л; 1,8 г/м³).

В бухте Парис численность микроводорослей изменялась от 10,2 тыс. до 2,3 млн кл./л (среднее значение 209,7–844,7 тыс. кл./л), биомасса — от 50,0 до 8,9 г/м³ (0,8–2,6 г/м³) (рис. 2). В отличие от Спортивной гавани, снижение средних значений численности и биомассы фитопланктона наблюдалось на протяжении всего периода исследования. Максимальную численность фитопланктона, вызванную развитием диатомовой водоросли *S. japonicum*, регистрировали в октябре 2019 г. «Цветение» воды, обусловленное массовым развитием микроводорослей, наблюдали в декабре 2019 г., июне 2020 г. и в августе 2021 г. Анализ соотношения численности отдельных групп фитопланктона показал, что подледное «цветение» воды (1,6 млн кл./л) было сформировано диатомовой водорослью *Thalassiosira nordenskioeldii* (90,7 % общей численности фитопланктона). Основу биомассы фитопланктона в январе составляла крупноклеточная водоросль *Coscinodiscus oculus-iridis* (88,5 % общей биомассы микроводорослей). В июне 2020 г. в планктоне наблюдали массовое развитие *S. dorhnii* (76,9 % от общей плотности и 32,3 % от общей биомассы фитопланктона), совместно с динофлагеллятой *Protoperidinium thulesense* (32,0 %) они составляли основу био-

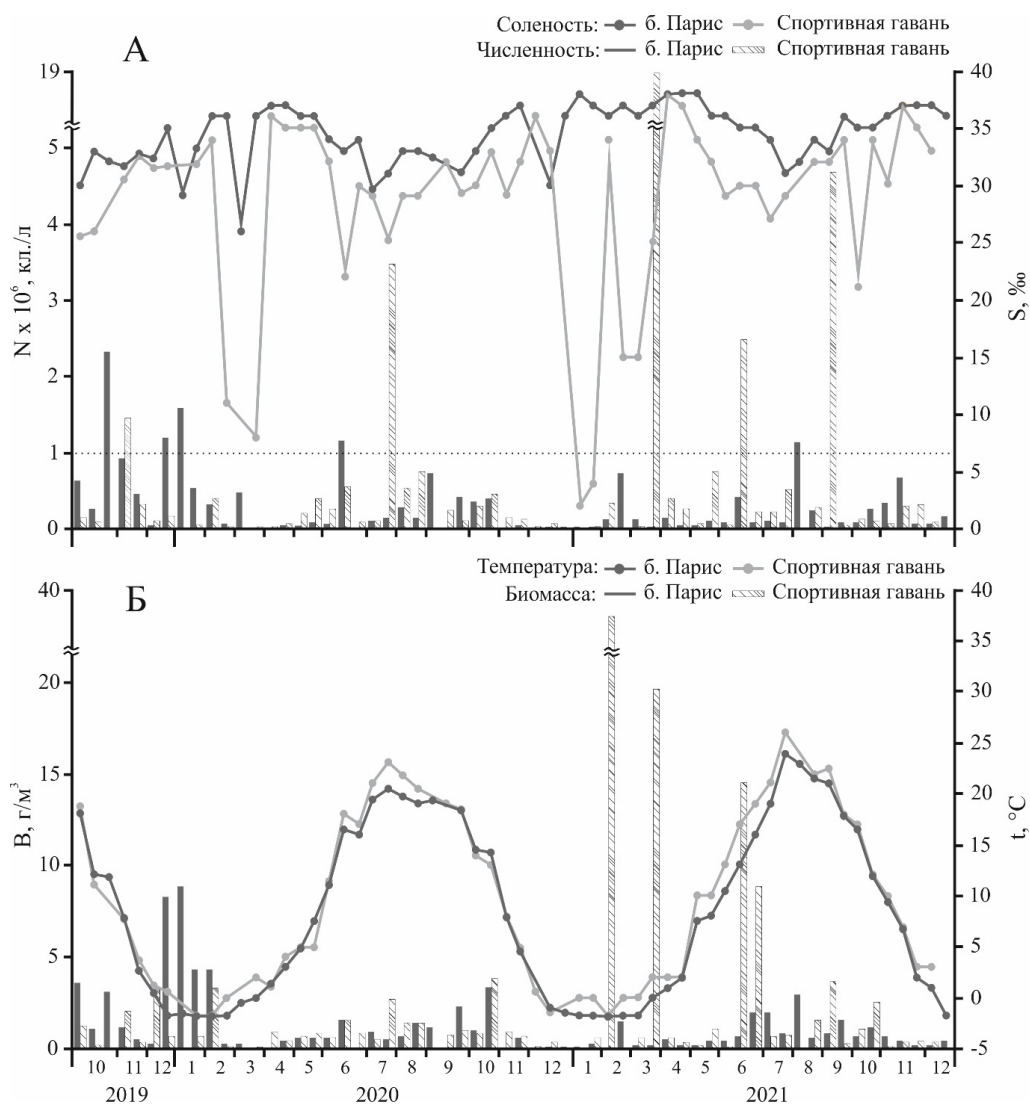


Рис. 2. Динамика численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона, солёности (А) и температуры (Б) поверхностного слоя воды в районе исследования в 2019–2021 гг.

Fig. 2. Dynamics of phytoplankton abundance (А, bars) and biomass (Б, bars), salinity (А, dotted line), and water temperature (Б, dotted line) for the surface layer in 2019–2021

массы микроводорослей. В августе 2021 г. «цветение» формировал *S. dornnii* (66,0 % общей численности фитопланктона), по биомассе преобладал *C. oculus-iridis* (46,6 %).

В период исследования обнаружено 26 доминирующих видов фитопланктона, из них по численности преобладали 19 (табл. 1), по биомассе — 18 видов (табл. 2). Степень доминирования видов составляла 50,0–96,1 % общей численности и 54,0–99,9 % общей биомассы фитопланктона. В Спортивной гавани отмечали 18 видов-доминантов микроводорослей, из которых 15 видов преобладали по численности, 12 по биомассе. В бухте Парис идентифицировали 15 видов-доминантов: по численности — 9, по биомассе — 10 видов. В осенне-зимний период 2019 г. в планктоне исследуемых акваторий преобладали исключительно диатомовые водоросли, формировавшие до 91,6 % общей численности и 93,1 % общей биомассы. В 2020 г. в Спортивной гавани среди диатомей отмечали доминирование центрических видов — *Chaetoceros pseudocrinitus* (55 % общей численности), *C. socialis* (66,9 %), *S. dornnii* (87,0 %), *S. japonicum* (63,0 %), видов родов *Cyclotella* (92,2 %) и *Thalassiosira* (81,0–85,5 %). Из пениатных диатомо-

Таблица 1

Максимальные доли численности доминирующих видов фитопланктона
в период исследования, % от суммарной численности фитопланктона на станции

Table 1

Maximum relative abundance for the dominant phytoplankton species,
% of the total phytoplankton cells number, by areas (Paris Bay/Sportivnaya Harbor)

Отдел, вид	2019 г.		2020 г.				2021 г.			
	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима
BACILLARIOPHYTA										
<i>Chaetoceros concavicornis</i>	—/—	—/—	—/80	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Chaetoceros debilis</i>	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	85/—	—/—	—/—	—/—
<i>Chaetoceros pseudocritus</i>	—/—	—/—	—/—	55/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Chaetoceros socialis</i>	—/—	—/—	—/—	—/—	67/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Cyclotella</i> sp.	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	92/—	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Cylindrotheca closterium</i>	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/68	—/—	—/—
<i>Navicula directa</i>	—/—	—/—	71/—	—/—	—/—	54/—	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Navicula septentrionalis</i>	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/59	—/—	—/—	—/—
<i>Nitzschia</i> sp.	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	96/—	—/—
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/91	83/88	—/—
<i>Skeletonema dohrnii</i>	—/—	—/—	—/—	87/77	—/62	—/—	—/—	92/66	—/—	—/—
<i>Skeletonema japonicum</i>	92/92	—/—	—/—	—/—	63/73	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	—/—	81/96	—/—	—/—	—/—	85/96	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Thalassiosira</i> sp.	—/—	—/—	—/—	—/—	81/66	—/91	51/—	54/—	62/—	60/94
DINOPHYTA										
<i>Gyrodinium lachryma</i>	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	98/—	—/—	—/—	96/—
<i>Oxytoxum sceptrum</i>	—/—	—/—	—/61	—/—	—/—	—/89	—/—	—/—	—/—	—/—
RAPHYDOPHYTA										
Raphydophyta	—/—	—/—	50/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—
<i>Heterosigma</i> sp.	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	96/—	88/—	—/—	—/—
CRYPTOPHYTA										
Цианобактерии	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	—/—	50/—	—/—

Примечание. Здесь и далее через косую черту указана доля численности вида Спортивная гавань/бухта Парис.

вых водорослей отмечали преобладание *Navicula directa* (54,0 %). Весной в планктоне регистрировали развитие рафидофитовых водорослей, достигавших 50 % общей численности и 69,7–99,8 % общей биомассы фитопланктона.

В 2021 г. в Спортивной гавани, помимо преобладания диатомовых и рафидофитовых водорослей, осенью отмечали доминирование нитчатых форм цианобактерий (50,0 % общей численности), а в весенне-летний период динофлагелляты *G. lachryma* (до 98,4 % общей численности и до 99,9 % общей биомассы фитопланктона). В бухте Парис на протяжении всего периода исследования по численности преобладали диатомовые водоросли. Только в весенний и зимний периоды 2020 г. в планктоне регистрировали доминирование динофлагелляты *Oxytoxum sceptrum* (до 88,9 % общей численности фитопланктона). Основу биомассы фитопланктона на протяжении исследования формировали диатомовые водоросли. Только в 2021 г. наблюдали замещение диатомового комплекса динофитовыми водорослями: в весенний период наблюдали преобладание крупноклеточного вида *Gyrodinium spirale* (54,7 % общей биомассы), летом — *Gyrodinium fusiforme* (58,6 %), в осенний период — *Protoperidinium depressum* (56,8 %).

Долгое время промышленные, бытовые и сельскохозяйственные сточные воды г. Владивосток попадали в прибрежную зону Амурского залива практически без очистки [Ростов и др., 2001]. При этом в основном на акваторию органические вещества и

Таблица 2

Максимальные доли биомассы доминирующих видов фитопланктона в период исследования, % от суммарной биомассы фитопланктона на станции

Table 2

Maximum relative biomass for the dominant phytoplankton species, % of the total phytoplankton biomass, by areas (Paris Bay/Sportivnaya Harbor)

Отдел, вид	2019		2020				2021			
	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима
BACILLARIOPHYTA										
<i>Chaetoceros concavicornis</i>	–/–	–/–	–/65	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–
<i>Chaetoceros debilis</i>	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	60/–	–/–	–/–	–/–
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	–/–	–/–	–/–	–/65	–/–	–/88	–/–	57/–	77/–	–/80
<i>Cyclotella</i> sp.	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	66/–	–/–	–/–	–/–	–/–
<i>Ditylum brightwellii</i>	–/–	–/–	–/–	–/61	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–
<i>Navicula directa</i>	–/–	–/–	66/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–
<i>Skeletonema dohrnii</i>	–/–	–/–	–/–	63/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–
<i>Skeletonema japonicum</i>	–/70	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–
<i>Sundstroemia setigera</i>	–/0	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/54	–/–
<i>Thalassiosira nordenskioeldii</i>	–/–	93/93	–/–	–/–	–/–	84/98	–/–	–/–	–/–	57/–
<i>Thalassiosira</i> sp.	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/91	64/–	–/–	–/–	72/87
DINOPHYTA										
<i>Gyrodinium fusiforme</i>	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/59	–/–	–/–
<i>Gyrodinium lachryma</i>	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	99/–	–/–	–/–	99/–
<i>Gyrodinium spirale</i>	–/–	–/–	82/–	–/–	–/–	–/–	–/55	–/–	–/–	–/–
<i>Protoperidinium conicum</i>	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	82/–	–/–	–/–
<i>Protoperidinium depressum</i>	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/57	–/–
RAPHYDOPHYTA										
Raphydophyta	–/–	–/–	70/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–
<i>Heterosigma</i> sp.	–/–	–/–	99/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–	–/–

биогенные элементы поступают с бытовыми стоками [Майоров и др., 2008]. Несмотря на близкое расположение Спортивной гавани к городской зоне, экологические и гидро-биологические исследования акватории носили фрагментарный характер, охватывали отдельные сезоны, а полноценные многолетние исследования не проводились. В ряде работ [например, Христофорова, Саломай, 2006] указывается, что воды Спортивной гавани характеризуются повышенными показателями перманганатной окисляемости, что свидетельствует о присутствии в воде окисляемой органики, поступление которой может быть обусловлено как распадом макрофитов, так и интенсивным поверхностным смывом. Также воды Спортивной гавани характеризуются высокими показателями содержания фосфатов, основным источником попадания которого служат промышленные, канализационные и бытовые стоки. Вероятно, высокий уровень биогеогенных и растворенных органических элементов, поступающих с береговыми стоками с побережья городской зоны, способствовал интенсивному развитию планктонного альгоценоза по сравнению с бухтой Парис, где береговые стоки отсутствуют. В бухте Парис сезонная динамика микроводорослей была близка к классической схеме развития, характерной для морских прибрежных акваторий умеренной зоны [Раймонт, 1983], что согласуется с ранее проведенными исследованиями [Shevchenko et al., 2018; Шевченко и др., 2020]. Сравнение сезонной динамики фитопланктона в бухте Парис с некоторыми районами Амурского залива, не испытывающими значительной антропогенной нагрузки [Стоник, 1999; Бегун и др., 2003], показало схожие черты. Численность и биомасса некоторых видов микроводорослей в Спортивной гавани достигали величин «цветения» и значительно превосходили таковые для бухты Парис, при этом периоды развития фитопланктона различались как между станциями, так и в пределах одной станции между годами.

Стоит отметить, что на протяжении всего периода исследования в Спортивной гавани наблюдали постепенное повышение средней численности фитопланктона и резкое увеличение средних значений биомассы в 2021 г., что косвенно свидетельствовало о высокой эвтрофированности вод. В бухте Парис, напротив, регистрировали постепенное снижение средних значений как численности, так и биомассы. *Skeletonema* spp. является традиционным компонентом осеннего и летнего фитопланктона, способным вызывать «цветение» воды [Shevchenko et al., 2022]. В 2019–2020 гг. виды рода *Skeletonema* развивались повсеместно в районе исследования. В 2021 г. вспышки жгутикового планктона указывали на нарушение классической схемы сукцессии и косвенно свидетельствовали об увеличении антропогенной нагрузки. Увеличение частоты и интенсивности развития микроводорослей рассматривается многими исследователями как проявление антропогенного эвтрофирования [Smayda, 1998; Бегун, 2004]. Регистрируемые «цветения» воды в Спортивной гавани были обусловлены микроводорослями, известными как индикаторы неблагоприятного экологического состояния вод. К ним относились водоросли родов *Skeletonema* и *Heterosigma*, а также цианобактерии. Представители рода *Skeletonema* известны как факультативные гетеротрофы, достигающие массового развития в наиболее загрязненных высокоэвтрофных районах зал. Петра Великого [Стоник, Селина, 1995; Стоник, 2018], прибрежных водах Японии [Yoshida et al., 2011], Черного моря [Bodeanu, 1995], а также восточного побережья США [Borkman, Smayda, 2009] и Канады [Pan, Subba Rao, 1997]. Не единожды отмечалось, что антропогенное воздействие (хозяйственно-бытовые и промышленные стоки) способствуют повышению обилия фитопланктона с ростом доли в нем рафидофитовых водорослей и цианобактерий [Весман, 2012; Kang et al., 2021]. Хотя рафидофитовые являются космополитической группой фитопланктона, встречающейся в широком диапазоне условий окружающей среды [Clay et al., 1999], ранние исследования показывают, что виды рода *Heterosigma* являются индикаторами высокой эвтрофированности вод [Lewitus et al., 2003; Lemley et al., 2020]. Как известно, характерной особенностью сукцессии микроводорослей в районах с высоким уровнем органического загрязнения воды является резкий переход от диатомового планктонного сообщества к жгутиковому [Bode, Fernandez, 1992]. Высокую численность жгутикового планктона в Амурском заливе отмечали и ранее [Stonik, Orlova, 2002; Бегун, 2004]. Также стоит отметить, что численность цианобактерий может резко возрасти со степенью ухудшения качества воды, в то время как другие группы фитопланктона, такие как диатомовые водоросли и динофлагелляты, погибают [Marshall et al., 2006]. В последние десятилетия роль диатомовых водорослей в мировом масштабе снижается, что приводит к увеличению планктона меньшей размерной фракции [Laufkötter et al., 2015; Rousseaux, Gregg, 2015]. Таким образом, об органическом загрязнении акватории Спортивной гавани в 2021 г. свидетельствует изменение качественного и количественного состава фитопланктона с преобладанием жгутикового компонента.

Заключение

В результате проведенных исследований фитопланктона в Спортивной гавани и бухте Парис показано, что в 2019–2021 гг. существовали различия в составе и количественных характеристиках микроводорослей. В бухте Парис сезонная динамика фитопланктона была близка к классической схеме развития, характерной для прибрежных морских вод умеренной зоны. Регистрируемые «цветения» воды обуславливали диатомовые водоросли. В Спортивной гавани в 2019–2020 гг. также преобладал диатомовый планктон, в 2021 г. «цветения» воды вызывали виды, известные как индикаторы неблагоприятного экологического состояния вод, отмечалось замещение диатомового комплекса жгутиковыми водорослями.

Для более достоверных выводов относительно степени антропогенного загрязнения необходимы дальнейшие исследования микроводорослей синхронно с параметрами

водной среды, в том числе с количественным анализом биогенных органических и минеральных элементов.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарят сотрудников Центра коллективного пользования «Приморский океанариум» ННЦМБ ДВО РАН, где выполнялась работа.

This study was maintained by the Center for Collective Use «Primorsky Oceanarium» in Vladivostok.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках темы государственного задания «Динамика морских экосистем, адаптации морских организмов и сообществ к изменениям среды обитания», № 121082600038-3.

Financial support for the study was provided by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, for the Government Program «Dynamics of marine ecosystems and acclimation of marine organisms and communities to changing environmental conditions», № 121082600038-3.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Данные исследования выполнены без использования животных или людей в качестве объектов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The research does not involve humans or animals as the objects of experiments. The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

К.О. Тевс — сбор и обработка проб фитопланктона, анализ полученных данных, написание текста статьи; О.Г. Шевченко — генерация идеи исследования, анализ полученных данных, научное редактирование текста статьи.

K.O. Tevs performed sampling of phytoplankton and processing of the samples, conducted the data analysis, and wrote the text of manuscript. O.G. Shevchenko conceived the study, conducted the data analysis, and revised the manuscript.

Список литературы

Абакумов В.А. Контроль качества вод по гидробиологическим показателям в системе Гидрометеорологической службы СССР // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. — Л. : Гидрометеоиздат, 1977. — С. 93–100.

Бегун А.А. Фитопланктон бухты Золотой Рог и Уссурийского залива (Японское море) в условиях антропогенного загрязнения // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 138. — С. 320–344.

Бегун А.А., Орлова Т.Ю., Звягинцев А.Ю. Фитопланктон Амурского залива Японского моря г. Владивостока // Альгология. — 2003. — Т. 13, № 2. — С. 204–215.

Весман А. В. Современные проблемы Балтийского моря // Современные научные исследования и инновации. — 2012. — № 3. <http://web.snauka.ru/issues/2012/03/10613>.

Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Т. 1: Вводные и общие вопросы планктологии : моногр. — Л. : Наука, 1969. — 658 с.

Майоров И.С., Кочеткова О.А., Дулепов В.И. Мониторинговые оценки экологической ситуации в Амурском заливе // Вестн. ТГЭУ. — 2008. — № 3. — С. 34–45.

Орлова Т.Ю., Стоник И.В., Шевченко О.Г. Флора микроводорослей планктона Амурского залива Японского моря // Биол. моря. — 2009. — Т. 35, № 1. — С. 48–61.

Паутова Л.А., Силкин В.А. Зимний фитопланктон северо-западной части Японского моря. Некоторые закономерности формирования структуры фитоценоза в прибрежном мелководье // Океанол. — 2000. — Т. 40, № 4. — С. 553–561.

Раймонт Дж. Планктон и продуктивность океана. Т. 1. Фитопланктон : пер. с англ. — М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1983. — 568 с.

Ростов И.Д., Юрасов Г.И., Ростов В.И. Залив Петра Великого. Физико-географические, гидрологические характеристики и гидрометеорологические условия : моногр. — Владивосток : ТОИ ДВО РАН, 2001 (CD-ROM).

Селина М.С. Фитопланктон в районе мидиевого хозяйства в заливе Восток Японского моря // Биол. моря. — 1992. — № 5–6. — С. 15–24.

Селина М.С., Стоник И.В., Кантаков Г.А., Орлова Т.Ю. Сезонная и межгодовая изменчивость видового состава фитопланктона залива Анива Охотского моря // Тр. Сах-НИРО. — 2005. — Т. 7. — С. 179–196.

Семина Г.И. Фитопланктон Тихого океана : моногр. — М. : Наука, 1974. — 239 с.

Симакова Н.К., Орлова Т.Ю., Селина М.С. «Красный прилив», вызванный жгутиковой водорослью *Chattonella* sp. (Raphidophyceae) в Амурском заливе Японского моря // Биол. моря. — 1990. — № 5. — С. 77–88.

Стоник И.В. Качественный и количественный состав фитопланктона бухты Золотой Рог Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 194. — С. 167–174. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-194-167-174.

Стоник И.В. Фитопланктон Амурского залива (Японское море) в условиях евтрофирования : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 1999. — 26 с.

Стоник И.В., Орлова Т.Ю., Пропп Л.Н. и др. Осеннее «цветение» диатомовых водорослей рода *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo, 1900 в Амурском заливе Японского моря // Биол. моря. — 2012. — Т. 38, № 3. — С. 197–202.

Стоник И.В., Селина М.С. Фитопланктон как показатель трофности вод залива Петра Великого Японского моря // Биол. моря. — 1995. — Т. 21, № 6. — С. 403–406.

Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности : моногр. — М. : МГУ, 1979. — 168 с.

Христофорова Н.К., Саломай М.С. Химико-экологическая оценка качества прибрежных вод города Владивосток // Исследовано в России. — 2006. — Т. 9. — С. 1380–1386.

Шевченко О.Г., Орлова Т.Ю. Морфология и экология диатомовой водоросли *Chaetoceros contortus*, вызывающей «цветение» в заливе Петра Великого Японского моря // Биол. моря. — 2010. — Т. 36, № 4. — С. 251–258.

Шевченко О.Г., Тевс К.О., Шулькин В.М. Комплексный мониторинг фитопланктона в мелководной бухте залива Петра Великого (Японское море): динамика хлорофилла «а» и биогенных элементов // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 1. — С. 141–154. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-141-154.

Шулькин В.М., Орлова Т.Ю., Шевченко О.Г., Стоник И.В. Влияние речного стока и продукции фитопланктона на сезонную изменчивость химического состава прибрежных вод Амурского залива Японского моря // Биол. моря. — 2013. — Т. 39, № 3. — С. 202–212.

Bode A., Fernandes E. Influence of water-column stability on phytoplankton size and biomass succession patterns in the central Cantabrian Sea (Bay of Biscay) // J. Plankton Res. — 1992. — Vol. 14, № 6. — P. 885–902. DOI: 10.1093/plankt/14.6.885.

Bodeanu N. Algal blooms in Mamaia Bay (Romanian Black Sea coast) // Harmful marine algae blooms: proceeding of sixth international conference on toxic marine phytoplankton. — Nantes, France, 1995. — P. 127–132.

Borkman D., Smayda T. Multidecadal (1959–1997) changes in *Skeletonema* abundance and seasonal bloom patterns in Narragansett Bay, Rhode Island, USA // J. Sea Res. — 2009. — Vol. 61, № 1–2. — P. 84–94. DOI: 10.1016/j.seares.2008.10.004.

Clay B.L., Kugrens P., Lee R.E. A revised classification of Cryptophyta // Bot. J. Linn. Soc. — 1999. — Vol. 131, № 2. — P. 131–151. DOI: 10.1111/j.1095-8339.1999.tb01845.x.

Cloern J.E., Jassby A.D. Patterns and scales of phytoplankton variability in estuarine-coastal ecosystems // Estuar. Coast. — 2010. — Vol. 33. — P. 230–241. DOI: 10.1007/s12237-009-9195-3.

Colijn F. Changes in plankton communities: when, where and why? // ICES Mar. Sci. Symp. — 1992. — Vol. 195. — P. 193–212.

Hasle G.R., Fryxell G.A. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy // Trans. Amer. Microsc. Soc. — 1970. — Vol. 89, № 4. — P. 469–474. DOI: 10.2307/3224555.

Kang J.J., Min J.O., Kim Y.L. et al. Vertical distribution of phytoplankton community and pigment production in the Yellow Sea and the East China Sea during the late summer season // Water. — 2021. — Vol. 13, № 23: 3321. DOI: 10.3390/w13233321.

Laufkötter C., Vogt M., Gruber N. et al. Drivers and uncertainties of future global marine primary production in marine ecosystem models // Biogeosciences. — 2015. — Vol. 12, № 23. — P. 6955–6984. DOI: 10.5194/bg-12-6955-2015.

Lemley D.A., Adams J.B., Rishworth G.M., Purdie D.A. Harmful algal blooms of *Heterosigma akashiwo* and environmental features regulate *Mesodinium* cf. *rubrum* abundance in eutrophic conditions // Harmful Algae. — 2020. — Vol. 100: 101943. DOI: 10.1016/j.hal.2020.101943.

Lewitus A.J., Schmidt L.M., Mason L.J. et al. Harmful algae blooms in South Carolina Residential and Golf Course Ponds // Population and Environmental. — 2003. — Vol. 24, № 5. — P. 387–413. DOI: 10.1023/A:1023642908116.

Marshall H.G., Lacouture R.V., Buchanan C., Johnson J.M. Phytoplankton assemblages associated with water quality and salinity regions in Chesapeake Bay, USA // Estuar. Coast. Shelf. Sci. — 2006. — Vol. 69, № 1–2. — P. 10–18. DOI: 10.1016/j.ecss.2006.03.019.

Olenina I., Hajdu S., Edler L., et al. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea : HELCOM Balt. Sea Environ. Proc. — 2006. — № 106. — 144 p.

Pan Y., Subba Rao D.V. Impact of domestic sewage effluent on phytoplankton from Bedford Basin, Eastern Canada // Mar. Pollut. Bull. — 1997. — Vol. 34, № 12. — P. 1001–1005. DOI: 10.1016/S0025-326X(97)00115-X.

Rousseaux C.S., Gregg W.W. Recent decadal trends in global phytoplankton composition // Global Biogeochem. Cycles. — 2015. — Vol. 29, № 10. — P. 1674–1688. DOI: 10.1002/2015GB005139.

Shevchenko O.G., Ponomareva A.A., Shulgina M.A. et al. *Skeletonema* species (Bacillariophyta) from the northwestern Sea of Japan: morphology, ecology, seasonal and long-term dynamics // Bot. Mar. — 2022. — Vol. 65, № 3. — P. 159–175. DOI: 10.1515/bot-2021-0102.

Shevchenko O.G., Ponomareva A.A., Shulkin V.M. Phytoplankton and hydrochemical parameters near net pens with beluga whales in a shallow Bay of the Northwestern Sea of Japan // Thalassas: Int. J. Mar. Sci. — 2018. — Vol. 34, № 1. — P. 139–151. DOI: 10.1007/s41208-017-0046-x.

Škaloud P., Řezáčová M., Ellegaard M. Spatial distribution of phytoplankton in spring 2004 along a transect in the eastern part of the North Sea // J. Oceanogr. — 2006. — Vol. 62. — P. 717–729. DOI: 10.1007/s10872-006-0089-8.

Smayda J.S. Patterns of variability characterizing marine phytoplankton, with examples from Narragansett Bay // ICES J. Mar. Sci. — 1998. — Vol. 55, № 4. — P. 562–573. DOI: 10.1006/jmsc.1998.0385.

Stonik I.V., Orlova T.Yu. Phytoplankton of the coastal waters off Vladivostok (the Northwestern part of the East Sea) under Eutrophic Conditions // Ocean Polar Res. — 2002. — Vol. 24, № 4. — P. 359–365. DOI: 10.4217/OPR.2002.24.4.359.

Truby E.W. Preparation of single-celled marine dinoflagellates for electron microscopy // Microsc. Res. Tech. — 1997. — Vol. 36. — P. 337–340. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0029(19970215)36:4<337::AID-JEMT11>3.0.CO;2-Q.

Utermöhl H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik // Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie. — 1958. — Vol. 9. — P. 1–38.

Yoshida K., Chiba S., Ishimaru T. Long-term variation in the wintertime diatom community structure in Tokyo Bay, Japan (1981–2000) // Plankton Benthos Res. — 2011. — Vol. 6, № 4. — P. 195–205. DOI: 10.3800/pbr.6.195.

References

Abakumov, V.A., *Nauchnyye osnovy kontrolya kachestva poverkhnostnykh vod po gidrobiologicheskim pokazatelyam* (Water quality control by hydrobiological indicators in the system of the Hydrometeorological Service of the USSR), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977, pp. 93–100.

Begun, A.A., Phytoplankton in the Golden Horn Bay and the Ussuri Bay (Japan Sea) under conditions of anthropogenic pollution, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 138, pp. 320–344.

Begun, A.A., Orlova, T.Yu., and Zvyagintsev, A.Yu., Phytoplankton of Amur Gulf of the Sea of Japan Near Vladivostok, *Algologia*, 2003, vol. 13, no. 2, pp. 204–215.

Vesman, A.V., Modern problems of the Baltic Sea, *Modern scientific research and innovation*, 2012, no. 3. <http://web.snauka.ru/issues/2012/03/10613>.

Kiselev, I.A., *Plankton morey i kontinental'nykh vodoyemov. T. 1: Vvodnyye i obshchiye voprosy planktologii* (Plankton of seas and continental bodies of water. Vol. 1: Introductory and general questions of planktology, Leningrad: Nauka, 1969.

Mayorov, I.S., Kochetkova, O.A., and Dulepov, V.I., Monitoring assessments of the environmental situation in the Amur Bay, *Vestn. TGEU*, 2008, no. 3, pp. 34–45.

Orlova, T.Yu., Stonik, I.V., and Shevchenko, O.G., Flora of planktonic microalgae of Amursky Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2009, vol. 35, no. 1, pp. 60–78.

Pautova, L.A. and Silkin, V.A., Winter phytoplankton of the northwestern part of the Sea of Japan. Some regularities of the formation of the phytocene structure in coastal shallow water, *Okeanologiya*, 2000, vol. 40, no. 4, pp. 553–561.

- Raymont, J.E.G.**, *Plankton and productivity in the Oceans*, vol. 1: Phytoplankton, London: Pergamon press, 1980.
- Rostov, I.D., Yurasov, G.I., and Rostov, V.I.**, *Zaliv Petra Velikogo. Fiziko-geograficheskiye, gidrologicheskiye kharakteristiki i gidrometeorologicheskiye usloviya* (Peter the Great Bay, Physical-geographical, hydrological characteristics and hydrometeorological conditions), Vladivostok: Tikhookean. Okeanogr. Inst., 2001 (CD-ROM).
- Selina, M.S.**, Phytoplankton in the area of mussel farming in the East Bay of the Sea of Japan, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1992, no. 5–6, pp. 15–24.
- Selina, M.S., Stonik, I.V., Kantakov, G.A., and Orlova, T.Yu.**, Seasonal and interannual variability of phytoplankton species composition in Aniva Bay (Sea of Okhotsk), *Tr. Sahalin. Nauchno-Issled. Inst. Ryb. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 7, pp. 179–196.
- Semina, G.I.**, *Fitoplankton Tikhogo okeana* (Phytoplankton of the Pacific Ocean), Moscow: Nauka, 1974.
- Simakova, N.K., Orlova, T.Yu., and Selina, M.S.**, The “red tide” caused by the flagellate algae *Chattonella* sp. ((Raphidophyceae) in the Amur Bay of the Sea of Japan, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1990, no. 5, pp. 77–88.
- Stonik, I.V.**, Qualitative and quantitative composition of phytoplankton in the Golden Horn Bay, Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 194, pp. 167–174. doi 10.26428/1606-9919-2018-194-167-174
- Stonik, I.V.**, Phytoplankton of Amur Bay (Sea of Japan) under the conditions of eutrophication, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 1999.
- Stonik, I.V., Orlova, T.Yu., Propp, N.L., Demchenko, N.L., and Skriptsova, A.V.**, An autumn bloom of diatoms of the genus *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo, 1900 in Amursky Bay, the Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2012, vol. 38, no. 3, pp. 211–217. doi 10.1134/S1063074012030121
- Stonik, I.V. and Selina, M.S.**, Phytoplankton as an indicator of trophic waters of Peter the Great Bay of the Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1995, vol. 21, no. 6, pp. 403–406.
- Fedorov, V.D.**, *O metodakh izucheniya fitoplanktona i ego aktivnosti* (On the Methods for the Study of Phytoplankton and Its Activity), Moscow: Moscow Gos. Univ., 1979.
- Khristoforova, N.K. and Salomay, M.S.**, Chemical and ecological assessment of the quality of coastal waters of the city of Vladivostok, *Res. Russ.*, 2006, vol. 9, pp. 1380–1386.
- Shevchenko, O.G. and Orlova, T.Yu.**, Morphology and ecology of the bloom-forming diatom *Chaetoceros contortus* from Peter the Great Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2010, vol. 36, no. 4, pp. 243–251. doi 10.1134/S1063074010040024
- Shevchenko, O.G., Tevs, K.O., and Shulkin, V.M.**, Integrated monitoring of phytoplankton in a shallow inlet of Peter the Great Bay (Japan Sea): dynamics of chlorophyll *a* and nutrients, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 1, pp. 141–154. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-141-154
- Shulkin, V.M., Orlova, T.Yu., Shevchenko, O.G., and Stonik, I.V.**, The effect of river runoff and phytoplankton production on the seasonal variation of the chemical composition of coastal waters of the Amursky Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2013, vol. 39, no 3, pp. 197–207. doi 10.1134/S1063074013030115
- Bode, A. and Fernandes, E.**, Influence of water-column stability on phytoplankton size and biomass succession patterns in the central Cantabrian Sea (Bay of Biscay), *J. Plankton Res.*, 1992, vol. 14, no. 6, pp. 885–902. doi 10.1093/plankt/14.6.885
- Bodeanu, N.**, Algal blooms in Mamaia Bay (Romanian Black Sea coast), in *Harmful marine algae blooms: proceeding of sixth international conference on toxic marine phytoplankton*, Nantes, France, 1995, pp. 127–132.
- Borkman, D. and Smayda, T.**, Multidecadal (1959–1997) changes in *Skeletonema* abundance and seasonal bloom patterns in Narragansett Bay, Rhode Island, USA, *J. Sea Res.*, 2009, vol. 61, no. 1–2, pp. 84–94. doi 10.1016/j.seares.2008.10.004
- Clay, B.L., Kugrens, P., and Lee, R.E.**, A revised classification of Cryptophyta, *Bot. J. Linn. Soc.*, 1999, vol. 131, no. 2, pp. 131–151. doi 10.1111/j.1095-8339.1999.tb01845.x
- Cloern, J.E. and Jassby, A.D.**, Patterns and scales of phytoplankton variability in estuarine-coastal ecosystems, *Estuar. Coast.*, 2010, vol. 33, pp. 230–241. doi 10.1007/s12237-009-9195-3
- Colijn, F.**, Changes in plankton communities: when, where and why?, *ICES Mar. Sci. Symp.*, 1992, vol. 195, pp. 193–212.
- Hasle, G.R. and Fryxell, G.A.**, Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy, *Trans. Amer. Microsc. Soc.*, 1970, vol. 89, no. 4, pp. 469–474. doi 10.2307/3224555
- Kang, J.J., Min, J.O., Kim, Y.L., Lee, C.H., Yoo, H., Jang, H.K., Kim, M.J., Oh, H.J., and Lee, S.H.**, Vertical distribution of phytoplankton community and pigment production in the Yellow

Sea and the East China Sea during the late summer season, *Water*, 2021, vol. 13, no. 23, art. ID 3321. doi 10.3390/w13233321

Laufkötter, C., Vogt, M., Gruber, N., Aita-Noguchi, M., Aumont, O., Bopp, L., Buitenhuis, E., Doney, S.C., Dunne, J., Hashioka, T., Hauck, J., Hirata, T., John, J., Le Quere, C., Lima, I.D., Nakano, H., Seferian, R., Totterdell, I., Vichi, M., and Völker, C., Drivers and uncertainties of future global marine primary production in marine ecosystem models, *Biogeosciences*, 2015, vol. 12, no. 23, pp. 6955–6984. doi 10.5194/bg-12-6955-2015

Lemley, D.A., Adams, J.B., Rishworth, G.M., and Purdie, D.A., Harmful algal blooms of *Heterosigma akashiwo* and environmental features regulate *Mesodinium* cf. *rubrum* abundance in eutrophic conditions, *Harmful Algae*, 2020, vol. 100, art. ID 101943. doi 10.1016/j.hal.2020.101943

Lewitus, A.J., Schmidt, L.B., Mason, L.J., Kempton, J.W., Wilde, S.B., Wolny, J.L., Williams, B.J., Hayes, K.C., Hymel, S.N., Keppler, C.J., and Ringwood, A.H., Harmful algae blooms in South Carolina Residential and Golf Course Ponds, *Popul. Environ.*, 2003, vol. 24, no. 5, pp. 387–413. doi 10.1023/A:1023642908116

Marshall, H.G., Lacouture, R.V., Buchanan, C., and Johnson, J.M., Phytoplankton assemblages associated with water quality and salinity regions in Chesapeake Bay, USA, *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 2006, vol. 69, no. 1–2, pp. 10–18. doi 10.1016/j.ecss.2006.03.019

Olenina, I., Hajdu, S., Edler, L., Andersson, A., Wasmund, N., Busch, S., Göbel, J., Gromisz, S., Huseby, S., Huttunen, M., Jaanus, A., Kokkonen, P., Ledaine, I. and Niemkiewicz, E., Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea, *HELCOM Balt. Sea Environ. Proc.*, 2006, no. 106.

Pan, Y. and Subba Rao, D.V., Impact of domestic sewage effluent on phytoplankton from Bedford Basin, Eastern Canada, *Mar. Pollut. Bull.*, 1997, vol. 34, no. 12, pp. 1001–1005. doi 10.1016/S0025-326X(97)00115-X

Rousseaux, C.S. and Gregg, W.W., Recent decadal trends in global phytoplankton composition, *Global Biogeochem. Cycles*, 2015, vol. 29, no. 10, pp. 1674–1688. doi 10.1002/2015GB005139

Shevchenko, O.G., Ponomareva, A.A., Shulgina, M.A., Tevs, K.O., and Orlova, T.Yu., *Skeletonema* species (Bacillariophyta) from the northwestern Sea of Japan: morphology, ecology, seasonal and long-term dynamics, *Bot. Mar.*, 2022, vol. 65, no. 3, pp. 159–175. doi 10.1515/bot-2021-0102

Shevchenko, O.G., Ponomareva, A.A., and Shulkin, V.M., Phytoplankton and hydrochemical parameters near net pens with beluga whales in a shallow Bay of the Northwestern Sea of Japan, *Thalassas: Int. J. Mar. Sci.*, 2018, vol. 34, no. 1, pp. 139–151. doi 10.1007/s41208-017-0046-x

Škaloud, P., Řezáčová, M., and Ellegaard, M., Spatial distribution of phytoplankton in spring 2004 along a transect in the eastern part of the North Sea, *J. Oceanogr.*, 2006, vol. 62, pp. 717–729. doi 10.1007/s10872-006-0089-8

Smayda, J.S., Patterns of variability characterizing marine phytoplankton, with examples from Narragansett Bay, *ICES J. Mar. Sci.*, 1998, vol. 55, no. 4, pp. 562–573. doi 10.1006/jmsc.1998.0385

Stonik, I.V. and Orlova, T.Yu., Phytoplankton of the coastal waters off Vladivostok (the North-western part of the East Sea) under Eutrophic Conditions, *Ocean Polar Res.*, 2002, vol. 24, no. 4, pp. 359–365. doi 10.4217/OPR.2002.24.4.359

Truby, E.W., Preparation of single-celled marine dinoflagellates for electron microscopy, *Microsc. Res. Tech.*, 1997, vol. 36, pp. 337–340. doi 10.1002/(SICI)1097-0029(19970215)36:4<337::AID-JEMT11>3.0.CO;2-Q

Utermöhl, H., Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik, *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 1958, vol. 9, pp. 1–38.

Yoshida, K., Chiba, S., and Ishimaru, T., Long-term variation in the wintertime diatom community structure in Tokyo Bay, Japan (1981–2000), *Plankton Benthos Res.*, 2011, vol. 6, no. 4, pp. 195–205. doi 10.3800/pbr.6.195

Doklad ob ekologicheskoy situatsii v Primorskom kraye v 2019 godu (Report on the environmental situation in Primorsky Krai in 2019), Vladivostok, 2020.

Doklad ob ekologicheskoy situatsii v Primorskom kraye v 2021 godu (Report on the environmental situation in Primorsky Krai in 2021), Vladivostok, 2020.

Поступила в редакцию 25.10.2022 г.

После доработки 17.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 25.10.2022; approved after reviewing 17.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022

Научная статья

УДК 597.555.5–1.05:577.118(265.53)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-894-905

EDN: MMIQFW



**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ТКАНЯХ И ОРГАНАХ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ НАВАГИ *ELEGINUS GRACILIS* (TILESIIUS, 1810)
ИЗ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД О. САХАЛИН**

Ю.Н. Полтев, Т.Г. Коренева, В.Е. Марыжихин, И.В. Сырбу*

Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),

693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196

Аннотация. Представлены результаты исследований содержания некоторых микроэлементов (Pb, Cd, As, Hg, Fe, Cu, Mn, Cr, Ni) в дальневосточной наваге *Eleginus gracilis*, выловленной в прибрежных водах о. Сахалин в 2020 г. Выявлено, что распределение изученных элементов в тканях и органах рыб неоднородное. Установлено, что концентрации нормируемых токсичных элементов в дальневосточной наваге не превышают допустимых санитарно-гигиенических показателей.

Ключевые слова: микроэлементы, атомная абсорбция, дальневосточная навага, ткани и органы, Татарский пролив, Охотское море

Для цитирования: Полтев Ю.Н., Коренева Т.Г., Марыжихин В.Е., Сырбу И.В. Распределение микроэлементов в тканях и органах дальневосточной наваги *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810) из прибрежных вод о. Сахалин // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 894–905. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-894-905. EDN: MMIQFW.

Original article

**Distribution of microelements in the tissues and organs of saffron cod
Eleginus gracilis (Tilesius, 1810) from the coastal waters of Sakhalin Island**

Yury N. Poltev*, Tatyana G. Koreneva, Vsevolod E. Maryzhihin***,
Irina V. Sirbu******

*, **, ***, **** Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO),
196, Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia

* Ph.D., leading researcher, y.poltev@sakhniro.ru, ORCID 0000-0002-5997-0488

** Ph.D., head of department, t.koreneva@sakhniro.ru, ORCID 0000-0003-1030-3286

*** senior specialist, jonur.27@mail.ru, ORCID 0000-0002-2775-4991

**** leading engineer, irus67@inbox.ru

Abstract. Microelements (Pb, Cd, As, Hg, Fe, Cu, Mn, Cr, Ni) are investigated in the tissues of saffron cod *Eleginus gracilis* caught in the coastal waters of Sakhalin Island in 2020.

* Полтев Юрий Николаевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, y.poltev@sakhniro.ru, ORCID 0000-0002-5997-0488; Коренева Татьяна Георгиевна, кандидат биологических наук, начальник отдела, t.koreneva@sakhniro.ru, ORCID 0000-0003-1030-3286; Марыжихин Всеволод Евгеньевич, старший специалист, jonur.27@mail.ru, ORCID 0000-0002-2775-4991; Сырбу Ирина Викторовна, ведущий инженер, irus67@inbox.ru.

© Полтев Ю.Н., Коренева Т.Г., Марыжихин В.Е., Сырбу И.В., 2022

The samples of weight about 1.0 g were taken from thawed fish, treated with concentrated nitric acid, and mineralized in a microwave oven; the mineralizates were dissolved in distilled water and quantitatively analyzed twice. The microelements distribution in the organs of fish was heterogeneous, but their concentration never exceeded the permissible sanitary and hygienic levels.

Keywords: trace element, atomic absorption, saffron cod, fish tissue, fish organ, Tatar Strait, Okhotsk Sea

For citation: Poltev Yu.N., Koreneva T.G., Maryzhihin V.E., Sirbu I.V. Distribution of microelements in the tissues and organs of saffron cod *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810) from the coastal waters of Sakhalin Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 894–905. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-894-905. EDN: MMIQFW.

Введение

Дальневосточная навага *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810) (далее — навага) является представителем прибрежного комплекса рыб дальневосточных морей, широко распространенным в северной части Тихого океана [Новикова, 2007]. В границах шельфовых вод Сахалина выделяют четыре географически обособленных популяции наваги, обитающих в Татарском проливе, заливах Терпения и Сахалинский, а также в водах северо-восточного Сахалина [Сафронов, 1986]. Навага имеет большое промысловое значение. Между тем информация о содержании микроэлементов, рассчитанном на сухую массу, имеется только для наваги из Ныйского залива Охотского моря [Латковская, 2000; Латковская и др., 2000] и из побережья Японского моря [Симоконь, 2003; Ковековдова, 2011].

Цель настоящего исследования — определить уровни содержания некоторых микроэлементов в мышечных тканях и органах наваги из трех популяций (Татарского пролива, зал. Терпения и северо-восточного Сахалина) и оценить их соответствие санитарно-гигиеническим требованиям.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили образцы тканей и органов наваги, добытой в 2020 г. в период промысла у западного (с. Трамбаус) и юго-восточного Сахалина (зал. Терпения) в январе, а также во время донной траловой съемки у северо-восточного Сахалина в июне. Образцы отбирали в ходе биологического анализа рыб с использованием оборудования, не содержащего металлы. Для выполнения анализа делили рыб по полу, готовили средние пробы путем смешивания и гомогенизации образцов отдельных тканей и органов, которые хранили в герметичных пластиковых емкостях объемом 50 см³ при температуре –20 °С. Пробоподготовку осуществляли после размораживания проб. Навески массой около 1,0 г помещали в лайнеры, приливали по 5 см³ концентрированной азотной кислоты, затем проводили мокрую минерализацию в микроволновой печи. Минерализаты количественно переносили в градуированные пробирки объемом 10 см³, доводили до метки водой и анализировали [М-02-1009-08*; ГОСТ 26929). Анализ проб выполняли в двух повторностях. Пробоподготовку навесок массой около 1,0 г для определения ртути проводили «закрытым» способом. Для этого образцы рыбы выдерживали в круглодонных колбах, снабженных обратными холодильниками, на водяной бане в смеси концентрированной азотной и серной кислот (1 : 1) в течение 15 мин при 70 °С, 5 мин при кипении до и 60 мин после добавления 30 см³ дистиллированной воды. После охлаждения к минерализату добавляли 20 см³

* Методика количественного химического анализа. Определение As, Pb, Cd, Sn, Cr, Cu, Fe, Mn и Ni в пробах пищевых продуктов и пищевого сырья атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией № М-02-1009-08. Аттестовано ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». Свидетельство № 242/43-09 от 08.07.2009. ООО «Внедренческая фирма «Аналит», 2009. 21 с.

5 %-ного раствора перманганата калия, через 5 мин — 5 см³ раствора 15 %-ного раствора гидроксилamina солянокислого, получая совершенно прозрачные растворы*.

Концентрацию свинца, кадмия, меди, хрома, марганца, никеля и мышьяка определяли атомно-абсорбционным методом в режиме электротермической атомизации (GFAA) на спектрофотометре Shimadzu AA-6800 с графитовой печью и коррекцией фона на основе эффекта Зеемана. Концентрации железа в пробах измеряли этим же методом, но в пламенном режиме с дейтериевой коррекцией фона (FLAA). Содержание ртути определяли методом «холодного пара» (CVAA) с использованием приставки MVU-1A к спектрофотометру AA-6800. Концентрации рассчитывали в миллиграммах на килограмм сырой массы.

Достоверность результатов обеспечивалась проведением контроля правильности измерений с использованием государственных стандартных образцов и рабочих проб с известными добавками элементов. Контрольные пробы анализировали параллельно с пробоподготовкой и анализом реальных проб. Для контроля чистоты реактивов для каждой партии проб не реже 1 раза в день проводили минерализацию холостых проб, добавляя те же реактивы и в той же последовательности, что и при анализе рабочей пробы.

Границы относительной суммарной погрешности измерений ($\pm\delta$, %) составляют: 25 — для свинца (Pb), 26 — для кадмия (Cd), 25 — для меди (Cu), 34 — для хрома (Cr), 32 — для марганца (Mn), 36 — для никеля (Ni), 32 — для мышьяка (As), 20 — для железа (Fe), 20 — для ртути (Hg). Результаты анализов обрабатывали с помощью программы Microsoft Excell.

Для градуировки спектрофотометра и контроля точности результатов измерений применяли стандартные образцы утвержденного типа; ГСО 7330-96 состава раствора ионов металлов (Fe, Cd, Mn, Cu, Ni и Pb), ГСО 7264-96 состава раствора ионов As(III), ГСО 7781-2000 состава раствора ионов Cr(VI), ГСО 8004-93 состава водного раствора ионов Hg.

Среднее значение, стандартное отклонение и достоверность сравниваемых различий (с использованием двухвыборочного t-теста с одинаковыми дисперсиями) рассчитывали в пакете прикладных программ Excel.

Результаты и их обсуждение

Биологическая характеристика наваги, выловленной в прибрежных водах о. Сахалин, приведена в табл. 1. Уровни аккумуляции микроэлементов в тканях и органах рыб, как самцов, так и самок, значительно варьировали (табл. 2, 3).

Среди изученных эссенциальных (Fe, Cu, Mn, Cr, Ni), т.е. жизненно важных для нормального протекания физиологических процессов, микроэлементов [Heath, 2002] накопление Fe, входящего в состав многих ферментов и гемоглобина крови [Ермаков и др., 2018], было преобладающим для изученных органов и тканей наваги Амурского залива [Симоконов, 2003; Ковековдова, 2011]. В наших исследованиях в тканях и органах содержание Fe изменяется в пределах от 1,75 (яичники самок) до 8,61 мг/кг сыр. массы (печень самцов). Уровни Fe в мышцах достоверно ниже, чем в печени и пилорических придатках. Содержание Cu, незаменимого для нормальной жизнедеятельности организмов элемента [Патин, 1979], в тканях и органах рыб изменяется от 0,17 (мышцы самок) до 3,12 мг/кг сыр. массы (печень самцов). В пилорических придатках концентрации Cu достоверно выше, чем в гонадах, мышцах и коже, а в печени выше, чем в мышцах и коже. Максимальное накопление Cu в печени наваги согласуется с данными, полученными для Амурского залива [Ковековдова, 2011], а также для других

* МУК 4.1.1472-03. Атомно-абсорбционное определение массовой концентрации ртути в биоматериалах животного и растительного происхождения (пищевых продуктах, кормах и др.) [Электронный ресурс]. Доступ из ИИС «Техэксперт». Дата обращения 28.01.2021.

Таблица 1

Биологическая характеристика дальневосточной наваги, выловленной в прибрежных водах о. Сахалин, 2020 г.

Table 1

Biological characteristics of saffron cod caught in the coastal waters of Sakhalin Island in 2020

Параметры, ед. изм.	Место вылова рыбы			
	Юго-восточный Сахалин (зал. Терпения)	Западный Сахалин (траверз с. Грамбаус)	Северо-восточный Сахалин	
Количество рыб, шт. (самцы/самки)	25 (19/6)	25 (7/18)	2 (1/1)	
Длина тела АС, см	22,7–34,9 (27,0 ± 0,6)*	21,4–38,0 (26,6 ± 0,8)	25,3–26,1	
Масса тела, г	78–320 (143 ± 11)	65–365 (138 ± 14)	125–128	
Степень наполнения желудков, %	0–3 (1,4 ± 0,13)	0–3 (1,40 ± 0,22)	3–3 (3,0)	
Состав питания	Икра наваги, пл**	Шримс, нога Bivalvia, пл	Икра, кумовые, амфиподы, полихеты	

* Здесь и далее — пределы (среднее с ошибкой среднего).

** Полупереваренная пища.

Таблица 2

Концентрации элементов в тканях и органах дальневосточной наваги из прибрежных вод юго-восточного Сахалина (зал. Терпения), мг/кг сырой массы

Table 2

Concentration of microelements in the tissues and organs of saffron cod from the coastal waters of southeastern Sakhalin (Patience/Terpeniya Bay), mg/kg of wet weight

Пол	Ткань, орган	Элементы									
		Fe	Cu	Mn	As	Cr	Ni	Cd	Pb	Hg	
Самки	Кожа	5,79	0,45	1,26	0,14	1,01	0,37	0,001	0,11	0,003	
Самцы		5,67	0,54	1,26	0,38	0,98	0,28	0,001	0,05	0,015	
Среднее		5,73 ± 0,06	0,50 ± 0,05	1,26 ± 0,00	0,26 ± 0,12	0,10 ± 0,02	0,33 ± 0,05	0,001 ± 0,0	0,08 ± 0,03	0,009 ± 0,008	
Самки	Мышцы	3,05	0,17	0,43	1,11	0,26	0,12	0,007	0,01	0,030	
Самцы		3,42	0,21	0,87	1,69	0,62	0,15	0,005	0,05	0,031	
Среднее		3,24 ± 0,19	0,19 ± 0,02	0,65 ± 0,22	1,40 ± 0,29	0,44 ± 0,18	0,14 ± 0,02	0,006 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,031 ± 0,001	
Самки	Печень	7,10	2,85	0,97	1,20	0,13	0,20	0,180	0,10	0,007	
Самцы		8,61	3,12	1,15	0,11	0,51	0,46	0,123	0,09	0,020	
Среднее		7,86 ± 0,75	2,99 ± 0,14	1,06 ± 0,09	0,66 ± 0,55	0,32 ± 0,19	0,33 ± 0,13	0,15 ± 0,03	0,10 ± 0,00	0,014 ± 0,007	
Среднее*		–	5,5–7,5	–	–	1,7	–	0,25–0,29	0,05	–	
Самки	Яичники	1,75	0,39	0,65	0,06	0,16	0,06	0,020	0,03	0,004	
Самцы	Семенники	6,23	0,51	0,25	0,09	0,40	0,16	0,002	0,04	0,010	
Среднее	Гонады	3,99 ± 2,20	0,45 ± 0,06	0,45 ± 0,20	0,08 ± 0,02	0,28 ± 0,12	0,11 ± 0,05	0,011 ± 0,009	0,03 ± 0,01	0,007 ± 0,003	
Самки	Пил. придатки	7,44	1,50	1,16	0,09	0,83	0,21	0,036	0,06	0,010	
Самцы		7,72	2,03	0,94	0,33	0,69	0,21	0,005	0,08	0,016	

* Пределы средних значений по Е.М. Ляtkовской [2000].

Таблица 3
Концентрации элементов в тканях и органах дальневосточной наваги из прибрежных вод западного и северо-восточного Сахалина, мг/кг сырой массы

Concentration of microelements in the tissues and organs of saffron cod from the coastal waters of western and northeastern Sakhalin, mg/kg of wet weight										
Пол	Ткань, орган	Элементы								
		Fe	Cu	Mn	As	Cr	Ni	Cd	Pb	Hg
Самки	Мышцы	3,60	0,21	0,19	1,66	0,42	0,14	0,005	0,01	0,025
Самцы		4,36	0,22	0,98	1,72	0,53	0,19	0,005	0,03	0,029
Среднее		3,98 ± 0,38	0,21 ± 0,01	0,59 ± 0,40	1,69 ± 0,03	0,47 ± 0,06	0,17 ± 0,03	0,005 ± 0,000	0,02 ± 0,01	0,027 ± 0,002
Самки	Печень	8,78	0,91	1,24	0,77	0,70	0,21	0,057	0,07	0,006
Самки*	Мышцы	1,99	0,18	0,11	0,26	0,14	0,02	0,007	0,02	0,032
Самцы*		1,96	0,16	0,13	0,20	0,19	0,08	0,016	0,01	0,024
Среднее*		1,98 ± 0,02	0,17 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,23 ± 0,03	0,17 ± 0,03	0,05 ± 0,03	0,012 ± 0,005	0,02 ± 0,01	0,028 ± 0,004

* Пределы средних значений по Е.М. Лягковской [2000].

видов рыб [Моисеенко, 2015; Ермаков и др., 2018; и др.]. Mn, оказывающий влияние на рост, размножение, кроветворение и обмен веществ, участвующий в биологическом катализе и стимулирующий белковый, углеводный и жировой обмены рыб [Войнар, 1960], находится в рыбе в диапазоне от 0,25 (семенники самцов) до 1,26 мг/кг сыр. массы (кожа самцов и самок). Достоверных различий в содержании данного элемента в тканях и органах наваги не выявлено. Концентрация Cr, участвующего в обмене липидов, белков и углеводов, но проявляющего токсичные свойства, находясь в соединениях в высшей степени окисления (Cr⁶⁺) [Практическое руководство ..., 2018], изменяется от 0,13 (печень самок) до 1,01 мг/кг сыр. массы (кожа самок). Его содержание в коже достоверно выше, чем в гонадах. Ni, являющийся канцерогенным элементом, но играющий важную роль в кроветворных процессах, оказывая положительное действие на сердечно-сосудистую систему [Практическое руководство..., 2018], в наваге отмечен в пределах значений от 0,06 (ястыки самок) до 0,46 мг/кг сыр. массы (печень самцов). Уровни накопления Ni в тканях и органах наваги достоверно не различаются.

Наибольшую опасность представляют неэссенциальные элементы, такие как Pb, Cd и Hg [Иваненко, 2006]. Содержание Pb, лабильного, обладающего высокой кумулятивной способностью и одного из наиболее токсичных для гидробионтов микроэлемента [Исуев, Аскерханова, 1995; Филенко, Михеева, 2007; и др.], варьировало от 0,01 (мышцы самок) до 0,11 мг/кг сыр. массы (кожа самок). Его содержание в печени достоверно выше, чем в гонадах. Ранее более высокие уровни данного элемента в печени относительно гонад и мышц были отмечены для наваги Амурского залива [Симоконь, 2003]. Концентрации Cd, растворимые соединения которого наиболее токсичны для рыб [Ермаков и др., 2018], в тканях и органах наваги отмечены в диапазоне от 0,001 (кожа самцов) до 0,180 мг/кг сыр. массы (печень самок). Уровни накопления Cd в печени наваги достоверно выше, чем в коже, мышцах и гонадах, а в мышцах выше, чем в коже. Содержание Hg — тяжелого металла, обладающего способностью накапливаться в виде органических соединений в концентрациях, значительно превышающих ее содержание

в воде и низшем звене трофической цепи [Практическое руководство..., 2018], изменяется в диапазоне от 0,003 (кожа самок) до 0,031 мг/кг сыр. массы (мышцы самцов). Уровни накопления Hg в мышцах достоверно выше, чем в гонадах. As, входящий в группу условно эссенциальных элементов [Курсков и др., 2010], обнаружен в наваге в диапазоне от 0,06 (яичники самок) до 1,69 мг/кг сыр. массы (мышцы самцов). Его содержание в мышцах достоверно выше, чем в гонадах наваги.

Особое место среди исследованных органов занимает печень, обезвреживающая токсичные вещества и интенсивно их аккумулирующая [Костоусов, 2018]. Максимальные средние концентрации приходятся на Fe ($7,90 \pm 0,75$ мг/кг сыр. массы для зал. Терпения и $8,78$ мг/кг сыр. массы для побережья западного Сахалина) (табл. 2, 3), минимальные — на Hg (соответственно $0,014 \pm 0,007$ и $0,006$ мг/кг сыр. массы). В печени наваги зал. Терпения содержание Pb достоверно выше, чем в гонадах, Fe — чем в мышцах, Cu — чем в мышцах и коже, Cd — чем в мышцах и гонадах.

Пилорические придатки имеют идентичные гистологическую структуру и состав ферментов со смежными участками кишечника — органа, через который в организм рыб преимущественно поступают тяжелые металлы и микроэлементы [Смит, 1986]. Наиболее интенсивно аккумулируется в изученном органе Fe ($7,58 \pm 0,14$ мг/кг сыр. массы), наиболее слабо — Hg ($0,013 \pm 0,003$ мг/кг сыр. массы). В пилорических придатках содержание Fe достоверно выше, чем в мышцах, Cu выше, чем в гонадах, мышцах и коже.

В коже, выступающей фактором неспецифического иммунитета и защищающей рыбу от внешних воздействий [Иванов, 2003; Костоусов, 2018], максимальные концентрации отмечены для Fe ($5,73 \pm 0,06$ мг/кг сыр. массы), минимальные — Cd ($0,001 \pm 0,0$ мг/кг сыр. массы). В коже содержание Cr достоверно выше, чем в гонадах, а Cu ниже, чем в печени и пилорических придатках.

Гонады (яичники и семенники) — органы, вырабатывающие половые стероиды, регулирующие оогенез и сперматогенез, а также формирующие вторичные половые признаки и половое поведение рыб [Физиология рыб..., 2016]. В гонадах наиболее сильно накапливается Fe ($3,99 \pm 2,20$ мг/кг сыр. массы), в наименьшей степени — Hg ($0,007 \pm 0,003$ мг/кг сыр. массы). Содержание в гонадах As достоверно ниже по сравнению с накоплением в мышцах, Cr — в коже, Pb и Cd — в печени, Hg — в мышцах, Cu — по сравнению с накоплением в пилорических придатках.

В мышцах, за счет которых происходит движение рыбы [Анисимова, Лавровский, 1983], как и в других исследованных тканях и органах наваги, максимальные концентрации отмечаются для Fe — $3,24 \pm 0,19$ (зал. Терпения), $3,98 \pm 0,38$ (западный Сахалин) и $1,98 \pm 0,02$ мг/кг сыр. массы (северо-восточный Сахалин). Минимальные концентрации приходятся на Cd — соответственно $0,006 \pm 0,010$, $0,005 \pm 0,0$ и $0,012 \pm 0,005$ мг/кг сыр. массы. В мышцах достоверно выше содержание As и Hg относительно гонад и Cd — относительно кожи, Fe и Cu ниже, чем в пилорических придатках и печени, Cd — чем в печени.

Сравнение уровней накопления микроэлементов в мышцах наваги из разных популяций показало, что содержание Fe у рыб северо-восточных вод достоверно ниже, чем у рыб западного и юго-восточного побережий, а As и Cr ниже, чем западного. Причины выявленных различий могут быть обусловлены геоморфологическими особенностями районов обитания и физиологическим состоянием исследованных рыб.

Результаты проведенного исследования позволили выявить последовательность распределения среднего содержания элементов в дальневосточной наваге из прибрежных вод Сахалина: Fe > As > Cu = Mn > Cr > Ni > Pb > Cd > Hg. В данном ряду очевидно преобладание Fe, As, Cu и Mn — элементов, не заменимых для нормальной жизнедеятельности рыб. Вместе с тем общеизвестно, что неорганические соединения As токсичны. Считается, что повышенные содержания As не следует однозначно связывать с токсичностью, поскольку его гидратированные ионы в тканях и органах

сразу связываются в значительно менее опасные или безвредные для организма рыб органические комплексы [Мур, Рамамурти, 1987; Mortimer, 2000].

Концентрации микроэлементов в тканях гидробионтов зависят от возраста, вида, типа питания и геохимического фона среды [Морозов, Петухов, 1986; Филенко, Михеева, 2007]. Замечено также, что накопление элементов различается в отдельных органах рыб, что связано с их участием в физиологических процессах [Христофорова и др., 2015; Чусовитина и др., 2019; Ковековдова, Симоконь, 2020; и др.]. Результаты настоящей работы также показывают разное содержание микроэлементов в отдельных органах и тканях наваги из прибрежных вод о. Сахалин (табл. 2, 3).

Результаты ранее проведенных исследований в Ныйском заливе [Латковская, 2000; Латковская и др., 2000] показали более высокие относительно наших данных уровни концентраций Cu в печени наваги (5,5–7,5 мг/кг сырой массы). Сравнение с результатами исследований в Амурском заливе невозможно из-за различия методических подходов к расчету концентраций элементов (на сухую и влажную массу).

Полученные данные о накоплении микроэлементов показывают, что в печени рыб, независимо от их видовой принадлежности, концентрируются максимальные количества Fe, Cu, Cd, Pb и Hg [Ковековдова, Симоконь, 2004; Козуб и др., 2008; Ковековдова, 2011]. Вместе с тем другими авторами отмечено разнотипное распределение элементов, и в частности Hg, по органам и тканям изученных рыб [Степанова, Комов, 1997; Svobodova et al., 1999; Пастухов и др., 2008]. Так, в наваге зал. Петра Великого (Японское море) содержание Cu в печени выше, чем в мышцах, а содержание Hg, напротив, ниже [Ковековдова и др., 2006]. У налима *Lota lota* и алтайского османа Потанина *Oreoleuciscus potanini* из озер бассейна Телецкого озера концентрации Cd в печени выше, чем в мышцах и коже, а у сибирского хариуса *Thumallus arcticus* из этих же озер — ниже [Кузнецова, Ельчинойнова, 2015]. В наших исследованиях концентрации Hg в печени ниже, чем в мышцах.

Интенсивное накопление большинства элементов в печени, характерное также для наваги из прибрежных сахалинских вод, связывают с процессом детоксикации, в котором данный орган принимает активное участие [Костоусов, 2018]. Повышенные уровни накопления Hg в мышцах обусловлены содержанием в них функциональных групп белков (-SH, -NH₂, -COOH, -OH), к которым Hg обладает высоким сродством [Немова и др., 2014]. Биофильные элементы (Cu, Zn, Cr, Mn и др.) аккумулируются в большей степени в системах организма, где активно протекают метаболические процессы (печень, почки) [Моисеенко и др., 2006]. Концентрация эссенциальных микроэлементов в большинстве случаев определяется физиологической потребностью организма и содержанием в окружающей среде [Ковальский, 1974; Мур, Рамамурти, 1987]. Их распределение имеет сложный характер, определяясь совокупностью факторов, как экзогенных (например, загрязнение вод), так и эндогенных (потребность организма, патологии органов и др.) [Моисеенко, 2015].

Согласно имеющимся данным, содержание микроэлементов может различаться и в зависимости от пола рыбы. В частности, в мышцах, печени и гонадах леща *Abramis brama*, синца *A. ballerus* и щуки *Esox lucius* из Куйбышевского водохранилища самки отличались от самцов более высоким содержанием Zn, Cu, Fe, Cr, Pb [Ваганов, 2011]. В наших исследованиях достоверных различий уровней концентраций между самками и самцами не выявлено.

В соответствии с СанПиН 2.3.2.1078 и ТР ТС 021/2011* допустимые уровни содержания токсичных элементов в мышечных тканях морских рыб составляют (мг/кг сырой массы): Pb — 1,0, As — 5,0, Cd — 0,2, Hg — 0,5; в икре и молоках: Pb, Cd, As — 0,5, Hg — 0,2; в печени: Pb — 1,0; Cd — 0,7; Hg — 0,5. Согласно полученным нами данным,

* ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». Комиссия Таможенного союза, 2011. 242 с.

содержание микроэлементов в мышцах, печени и гонадах наваги из прибрежных вод о. Сахалин соответствует установленным нормативам. Не было отмечено превышения допустимых концентраций Pb и Cd в печени наваги Ныйского залива (северо-восточный Сахалин) и ранее [Латковская, 2000]. Исследования, проведенные в Амурском заливе [Симоконь, 2003; Ковековдова, 2011], характеризующемся более урбанизированной и промышленно развитой прибрежной акваторией, показали превышение нормируемых значений содержания As в гонадах и Cd в печени рыб.

Выводы

Получены первые данные о содержании микроэлементов в органах и тканях дальневосточной наваги из прибрежных вод о. Сахалин. Различий уровней концентраций между самками и самцами не выявлено.

Сравнение уровней накопления микроэлементов в мышцах наваги из разных популяций показало, что содержание Fe у рыб северо-восточных вод достоверно ниже, чем у рыб западного и юго-восточного побережий, а As и Cr ниже, чем у рыб западного.

В печени наваги зал. Терпения содержание Pb достоверно выше, чем в гонадах, Fe — чем в мышцах, Cu — чем в мышцах и коже, Cd — чем в мышцах и гонадах.

В пилорических придатках концентрация Fe достоверно выше, чем в мышцах, Cu выше, чем в гонадах, мышцах и коже.

Содержание в гонадах As достоверно ниже по сравнению с накоплением в мышцах, Cr — в коже, Pb и Cd — в печени, Hg — в мышцах, Cu — по сравнению с содержанием в пилорических придатках.

В мышцах достоверно выше концентрация As и Hg относительно содержания в гонадах и Cd — в коже, Fe и Cu ниже, чем в пилорических придатках и печени, Cd ниже, чем в печени.

Содержание токсичных нормируемых элементов в тканях и органах наваги из прибрежных вод зал. Терпения, западного и северо-восточного Сахалина не превышает утвержденных нормативов.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность сотрудникам сектора прибрежных и пресноводных рыб лаборатории морских и пресноводных рыб СахНИРО за помощь, оказанную в отборе дальневосточной наваги.

The authors are grateful to the staff of the Marine and Freshwater Fish Laboratory of SakhNIRO for their assistance in the samples collecting.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsorship.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed.

The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Ю.Н. Полтев — подготовка проб к анализу, проведение минерализации проб на металлы, написание статьи; Т.Г. Коренева — контроль качества, участие в написании

статьи; В.Е. Марыжихин — анализ проб методом атомно-абсорбционной спектроскопии; И.В. Сырбу — проведение минерализации проб на ртуть.

Yu.N. Poltev — samples processing, text writing; T.G.Koreneva — quality control, assistance for the text writing; V.E. Maryzhikhin — atomic absorption spectrometry of the samples; I.V. Sirbu — mineralization of samples for mercury.

Список литературы

- Анисимова И.М., Лавровский В.В.** Ихтиология : учеб. пособие. — М. : Высш. шк., 1983. — 255 с.
- Ваганов А.С.** Сравнительная характеристика содержания тяжелых металлов в промысловых видах рыб Куйбышевского водохранилища // Изв. СамарНЦ РАН. — 2011. — Т. 13, № 5. — С. 143–146.
- Войнар А.И.** Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека : моногр. — М. : Высш. шк., 1960. — 240 с.
- Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А.** Биогеохимическая индикация микроэлементов : моногр. / отв. ред. Т.И. Моисеенко. — М. : РАН, 2018. — 386 с.
- Иваненко Н.В.** Экологическая токсикология : учеб. пособие. — Владивосток : ВГУЭС, 2006. — 108 с.
- Иванов А.А.** Физиология рыб : моногр. — М. : Мир, 2003. — 284 с.
- Исупов А.Р., Аскерханова А.К.** О накоплении мутагенных химических веществ в органах промысловых рыб Каспия // Каспий — 95 : мат-лы Междунар. конф. «Каспийский регион: экономика, экология, минеральные ресурсы». — М., 1995. — С. 100–101.
- Ковальский В.В.** Геохимическая экология : моногр. — М. : Наука, 1974. — 269 с.
- Ковековдова Л.Т.** Микроэлементы в морских промысловых объектах Дальнего Востока России : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток, 2011. — 44 с.
- Ковековдова Л.Т., Симоконов М.В.** Оценка содержания металлов и мышьяка в кете (*Oncorhynchus keta*) из реки Рязановка Приморского края // Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование : мат-лы II Междунар. науч.-практ. конф. — Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2020. — С. 329–333.
- Ковековдова Л.Т., Симоконов М.В.** Тенденции изменения химико-экологической ситуации в прибрежных акваториях Приморья. Токсичные элементы в донных отложениях и гидробионтах // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 137. — С. 310–320.
- Ковековдова Л.Т., Симоконов М.В., Кикун Д.П.** Токсичные элементы в промысловых гидробионтах прибрежных акваторий северо-западной части Японского моря // Вопр. рыб-ва. — 2006. — Т. 7, № 1(25). — С. 185–190.
- Козуб С.Н., Лавренко А.А., Козуб П.А. и др.** Токсичность кадмия и методы воздействия его на окружающую среду // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Сер. Химия, химическая технология и экология. — 2008. — № 41. — С. 65–72.
- Костоусов В.Г.** Ихтиология : пособие. — Минск : БГУ, 2018. — 183 с.
- Кузнецова О.В., Ельчиной О.А.** Содержание и особенности распределения тяжелых металлов в органах и тканях рыб бассейна Телецкого озера // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии. В 2-х томах. — Барнаул, 2015. — Т. 1. — С. 306–309.
- Курсков С.Н., Растегаев О.Ю., Чупис В.Н.** Мышьяк в природных системах и его эссенциальность // Теоретическая и прикладная экология. — 2010. — № 3. — С. 33–41.
- Латковская Е.М.** Химико-экологическая оценка заливов северо-востока Сахалина: хлорорганические пестициды и тяжелые металлы : дис. ... канд. биол. наук. — Южно-Сахалинск, 2000. — 143 с.
- Латковская Е.М., Лебедев А.Е., Саматов А.Д.** Содержание тяжелых металлов в печени донных рыб Ныйского залива (северо-восточный Сахалин) // Охрана водных биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений на шельфе и внутренних водных объектах Российской Федерации : сб. мат-лов Междунар. семина. — М., 2000. — С. 89–90.
- Моисеенко Т.И.** Влияние геохимических факторов водной среды на биоаккумуляцию металлов в организме рыб // Геохимия. — 2015. — № 3. — С. 222–233. DOI: 10.7868/S0016752515030097.
- Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А.** Рассеянные элементы в поверхностных водах суши. Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология : моногр. — М. : Наука, 2006. — 261 с.

- Морозов Н.П., Петухов С.А.** Микроэлементы в промысловой ихтиофауне Мирового океана : моногр. — М. : Агропромиздат, 1986. — 160 с.
- Мур Дж.В., Рамамурти С.** Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния : моногр. — М. : Мир, 1987. — 285 с.
- Немова Н.Н., Лысенко Л.А., Мещерякова О.В., Комов В.Т.** Ртуть в рыбах: биохимическая индикация // Биосфера. — 2014. — Т. 6, № 2. — С. 176–186.
- Новикова О.В.** Дальневосточная навага (*Eleginus gracilis* (Til.)) прикамчатских вод : автореф дис. ... канд. биол. наук. — Петропавловск-Камчатский, 2007. — 23 с.
- Патин С.А.** Влияние загрязнений на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1979. — 304 с.
- Пастухов М.В., Гребенщикова В.И., Андрулайтис Л.Д. и др.** Биоаккумуляция ртути рыбами Братского водохранилища // Мат-лы III Всерос. конф. по водной токсикологии, посвящ. памяти Б.А. Флерова «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы». — Борок : ИБВВ, 2008. — С. 66–70.
- Практическое руководство по химическому анализу элементов водных экосистем. Приоритетные токсиканты в воде, донных отложениях, гидробионтах** / под ред. Т.О. Барабашина. — Ростов н/Д : Мини Тайп, 2018. — 436 с.
- Сафронов С.Н.** Экология дальневосточной наваги *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) шельфа Сахалина и южных Курильских островов : автореф дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ИБМ ДВНЦ АН СССР, 1986. — 26 с.
- Симоконь М.В.** Металлы в промысловых рыбах залива Петра Великого в связи с условиями обитания : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 2003. — 24 с.
- Смит Л.С.** Введение в физиологию рыб : сокращ. пер. с англ. В.И. Лапина. — М. : Агропромиздат, 1986. — 168 с.
- Степанова И.К., Комов В.Т.** Накопление ртути в рыбе из водоемов Вологодской области // Экология. — 1997. — Т. 28, № 4. — С. 196–202.
- Физиология рыб : краткий курс лекций** / сост. Н.А. Пудовкин, В.Ю. Васильев. — Саратов : ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2016. — 71 с.
- Филенко О.Ф., Михеева И.В.** Основы водной токсикологии : моногр. — М. : Колос, 2007. — 144 с.
- Христофорова Н.К., Цыганков В.Ю., Боярова М.Д., Лукьянова О.Н.** Содержание тяжелых металлов и мышьяка в горбуше *Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum, 1972 из прикурильских океанических вод во время анадромной миграции // Биол. моря. — 2015. — Т. 41, № 6. — С. 447–452.
- Чусовитина С.В., Стеблевская Н.И., Полякова Н.В. и др.** Распределение некоторых макро- и микроэлементов в органах и тканях терпуга *Pleurogrammus azonus* и камбалы *Hippoglossoides dubius* (Амурский залив, Японское море) // Вопр. рыб-ва. — 2019. — Т. 20, № 2. — С. 233–241.
- Heath A.G.** Water Pollution and Fish Pysiology. — L. : Lewis Publ., 2002. — 506 p.
- Mortimer M.R.** Pesticide and Trace Metal concentrations in Queensland Estuarine Grabs // Mar. Pollut. Bull. — 2000. — Vol. 41, № 7–12. — P. 359–366. DOI: 10.1016/S0025-326X(00)00136-3.
- Svobodová Z., Dušek L., Hejtmánek M. et al.** Bioaccumulation of mercury in various fish species from Orlik and Kamýk water reservoirs in the Czech Republic // Ecotoxicology and environmental safety. — 1999. — Vol. 43, № 3. — P. 231–240. DOI: 10.1006/eesa.1999.1783.

References

- Anisimova, I.M. and Lavrovsky, V.V.,** *Ikhtiologiya* (Ichthyology), Moscow: Vysshaya Shkola, 1983.
- Vaganov, A.S.,** The comparative characteristic of the maintenance of heavy metals in trade kinds of fishes of the Kuibyshev water basin, *Izv. Samar. Nauchn. Tsentra Ross. Akad. Nauk*, 2011, vol. 13, no. 5, pp. 143–146.
- Voinar, A.I.,** *Biologicheskaya rol' mikroelementov v organizme zhivotnykh i cheloveka* (The biological role of trace elements in the body of animals and humans), Moscow: Vysshaya Shkola, 1960.
- Ermakov, V.V., Tyutikov, S.F., and Safonov, V.A.,** *Biogeokhimicheskaya indikatsiya mikroelementov* (Biogeochemical indication of microelementoses), Moiseenko, T.I., ed., Moscow: Ross. Akad. Nauk, 2018.
- Ivanenko, N.V.,** *Ekologicheskaya toksikologiya* (Ecological toxicology), Vladivostok: VGUES, 2006.

- Ivanov, A.A.**, *Fiziologiya ryb* (Physiology of fish), Moscow: Mir, 2003.
- Isuev, A.R. and Askerkhanova, A.K.**, On the accumulation of mutagenic chemicals in the organs of commercial fish of the Caspian, in *Caspian-95: Mater. Mezhdunar. konf. «Kaspiyskiy region: ekonomika, ekologiya, mineral'nyye resursy»* (Proc. Int. Conf. "Caspian region: economy, ecology, mineral resources"), Moscow, 1995, pp. 100–101.
- Kovalsky, V.V.**, *Geokhimicheskaya ekologiya* (Geochemical ecology), Moscow: Nauka, 1974.
- Kovekovdova, L.T.**, Trace elements in offshore fisheries in the Russian Far East, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2011.
- Kovekovdova, L.T. and Simokon, M.V.**, Estimation of metal and arsenic content in chum salmon (*Oncorhynchus chum* salmon) from the Ryazanovka River in Primorsky Krai, in *Biologicheskoye raznoobraziye: izucheniye, sokhraneniye, vosstanovleniye, ratsional'noye ispol'zovaniye: materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Biological diversity: study, save, restoration, rational use: materials of the II International Scientific and Practical Conference), Simferopol': IT «ARIAL», 2020, pp. 329–333.
- Kovekovdova, L.T. and Simokon, M.V.**, Tendencies in change of chemoecological situation in the coastal area of Primorye. Toxic elements in bottom sediments and aquatic organisms, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 137, pp. 310–320.
- Kovekovdova, L.T., Simokon, M.V., and Kiku, D.P.**, Toxic elements in commercial hydrobionts of the north west sea of Japan coastal waters, *Vopr. Rybolov.*, 2006, vol. 7, no. 1, pp. 185–190.
- Kozub, S.N., Lavrenko, A.A., Kozub, P.A., Grin, G.I., Pancheva, A.M., and Deineka, D.N.**, Toxicity of cadmium and methods of its impact on the environment, *Vestn. Nats. Tech. University "KhPI", Ser.: Chemistry, chemical technology and ecology*, 2008, no. 41, pp. 65–72.
- Kostousov, V.G.**, *Ikhtiologiya* (Ichthyology), Minsk: Beloruss. Gos. Univ., 2018.
- Kuznetsova, O.V. and Elchinina, O.A.**, Heavy metals content and distribution in organs and tissue of fish from the Lake Teletskoye basin, in *Biogeokhimiya tekhnogeneza i sovremennyye problemy geokhimicheskoy ekologii* (Biogeochemistry of technogenesis and modern problems of geochemical ecology), Barnaul, 2015, vol. 1, pp. 306–309.
- Kurskov, S.N., Rastegayev, O.Yu., and Chupis, V.N.**, Arsenic in natural ecosystems and its essentiality, *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2010, no. 3, pp. 33–41.
- Latkovskaya, E.M.**, Chemical-ecological assessment of the bays of the north-east of Sakhalin: organochlorine pesticides and heavy metals, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Yuzhno-Sakhalinsk, 2000.
- Latkovskaya, E.M., Lebedev, A.E., and Samatov, A.D.**, The content of heavy metals in the liver of bottom fish of the Nyisky Bay (North-Eastern Sakhalin), in *Sb. mater. Mezhdunar. semin. "Okhrana vodnykh bioresursov v usloviyakh intensivnogo osvoiniya neftegazovykh mestorozhdeniy na shel'fe i vnutrennikh vodnykh ob'yektakh Rossiyskoy Federatsii"* (Collect. Mater. Intern. Seminar "Protection of aquatic bioresources in conditions of intensive development of oil and gas fields on the shelf and inland water bodies of the Russian Federation"), Moscow, 2000, pp. 89–90.
- Moiseenko, T.I.**, Impact of geochemical factors of aquatic environment on the metal bioaccumulation in fish, *Geochem. Int.*, 2015, vol. 53, no. 3, pp. 213–223. doi 10.1134/S001670291503009X
- Moiseenko, T.I., Kudryavtseva, L.P., and Gashkina, N.A.**, *Rasseyannyye elementy v poverkhnostnykh vodakh sushi. Tekhnofil'nost', bioakkumulyatsiya i ekotoksikologiya* (Dispersed elements in the surface waters of the land. Technophilicity, bioaccumulation and ecotoxicology), Moscow: Nauka, 2006.
- Morozov, N.P. and Petuhov, S.A.**, *Mikroelementy v promyslovoj ihtiofaune Mirovogo okeana* (Microelements in the commercial fish fauna of the World Ocean), Moscow: Agropromizdat, 1986.
- Mur, J.V. and Ramamurti, S.**, *Tyazhelye metally v prirodnykh vodakh: kontrol' i ocenka vliyaniya* (Heavy metals in natural waters: applied monitoring and impact assessment), Moscow: Mir, 1987.
- Nemova, N.N., Lysenko, L.A., Meshcheryakova, O.V., and Komov, V.T.**, Mercury in fish: a biochemical indication, *Biosfera*, 2014, vol. 6, no. 2, pp. 176–186.
- Novikova, O.V.**, Far Eastern navaga (*Eleginus gracilis* (Til.)) of Kamchatka waters, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Petropavlovsk-Kamchatsky, 2007.
- Patin, S.A.**, *Vliyanie zagryazneniy na biologicheskiye resursy i produktivnost' Mirovogo okeana* (Impact of pollution on biological resources and productivity of the World Ocean), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1979.
- Pastukhov, M.V., Grebenshchikova, V.I., Andrulaitis, L.D., Ryazantseva, O.S., and Azovsky, M.G.**, Bioaccumulation of mercury by fish of the Bratsk Reservoir, in *Materialy III Vseros. konf. po vodnoy toksikologii, posvyashchennoy pamyati B.A. Flerova, «Antropogennoye vliyanie na vodnyye organizmy i ekosistemy»* (Proc. III All-Russ. Conf. on Aquatic Toxicology, dedicated to the memory of

B.A. Flerova, “Anthropogenic impact on aquatic organisms and ecosystems”), Borok: Institut biologii vnutrennikh vod, 2008, pp. 66–70.

Prakticheskoye rukovodstvo po khimicheskomu analizu elementov vodnykh ekosistem. Prioritetnyye toksikanty v vode, donnykh otlozheniyakh, gidrobiontakh (A practical guide to the chemical analysis of elements of aquatic ecosystems. Priority toxicants in water, bottom sediments, hydrobionts), Barabashina, T.O., ed., Rostov-na-Donu: Mini Tayp, 2018.

Safronov, S.N., Ecology of the Far Eastern navaga *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) from the Sakhalin shelf and the southern Kuril Islands, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 1986.

Simokon, M.V., Metals in commercial fish of the Peter the Great Bay in connection with habitat conditions, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2003.

Smith, L.S., *Introduction to fish physiology*, TFH Publication Inc., 1982.

Stepanova, I.K. and Komov, V.T., Mercury accumulation in fish from water bodies of the Vologodskaya oblast, *Russian Journal of Ecology*, 1997, vol. 28, no. 4, pp. 260–264.

Fiziologiya ryb (Fish physiology: a short course of lectures), Pudovkin, N.A., Vasiliev, V.Yu., eds, Saratov: Saratov State Agrarian University, 2016.

Filenko, O.F. and Mikheeva, I.V., *Osnovy vodnoy toksikologii* (Fundamentals of water toxicology), Moscow: Kolos, 2007.

Khristoforova, N.K., Tsygankov, V.Y., Boyarova, M.D., and Lukyanova, O.N., Heavy metal contents in the pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum, 1792 from Kuril oceanic waters during anadromous migration, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2015, vol. 41, no. 6, pp. 479–484.

Tchusovitina, S.V., Steblevskaya, N.I., Polyakova, N.V., and Zhad'ko, E.A., Distribution of some macro- and microelements in the organs and tissue of greenling *Pleurogrammus azonus* and flounder *Hippoglossoides dubius* (Amur Bay, Japan Sea), *Vopr. Rybolov.*, 2019, vol. 20, no. 2, pp. 233–241.

Heath, A.G., *Water Pollution and Fish Physiology*, London: Lewis Publ., 2002.

Mortimer, M.R., Pesticide and Trace Metal concentrations in Queensland Estuarine Grabs, *Mar. Pollut. Bull.*, 2000, vol. 41, no. 7–12, pp. 359–366. doi 10.1016/S0025-326X(00)00136-3

Svobodová, Z., Dušek, L., Hejtmánek, M., Vykusová, B., and Šmíd, R., Bioaccumulation of mercury in various fish species from Orlik and Kamýk water reservoirs in the Czech Republic, *Ecotoxicology and environmental safety*, 1999, vol. 43, no. 3, pp. 231–240. doi 10.1006/eesa.1999.1783

Metodika kolichestvennogo khimicheskogo analiza (Method of quantitative chemical analysis. Determination of As, Pb, Cd, Sn, Cr, Cu, Fe, Mn and Ni in samples of food products and food raw materials by atomic absorption method with electrothermal atomization no). M-02-1009-08. Certificate no. 242/43-09, 08.07.2009.

Metodicheskiye ukazaniya MUK 4.1.1472-03. Atomno-absorbtsionnoye opredeleniye massovoy kontsentratsii rtuti v biomaterialakh zhivotnogo i rastitel'nogo proiskhozhdeniya (pishchevykh produktakh, kormakh i dr.) (Methodical instructions MUK 4.1.1472-03. Atomic absorption determination of the mass concentration of mercury in biomaterials of animal and plant origin (food, feed, etc.)), Access from IIS “Techexpert”. Cited January 28, 2021.

Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti pishchevoi produktsii» (Technical Regulations of the Customs Union “On Food Safety”, TR TS 021/2011). Commission of the Customs Union, 2011.

Поступила в редакцию 25.10.2022 г.

После доработки 14.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 25.10.2022; approved after reviewing 14.11.2022; accepted for publication 21.11.2022

Краткое сообщение

УДК 597.552.51–169:576.895.132

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-906-916

EDN: KFZKPL



О ВЫЖИВАЕМОСТИ ЛИЧИНОК МОРСКОЙ ПАРАЗИТИЧЕСКОЙ НЕМАТОДЫ *ANISAKIS SIMPLEX* SENSU LATO (RUDOLPHI, 1809) В ПРЕСНЫХ ВОДАХ

О.Ю. Бусарова¹, В.А. Паренский^{2*}

¹ Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет,
690078, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б;

² Национальный научный центр морской биологии
им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17

Аннотация. Проведено наблюдение за выживаемостью личинок морской паразитической нематоды *Anisakis simplex sensu lato* (Rudolphi, 1809) в пресных водах. Живых личинок отбирали от гольца *Salvelinus malma* из нижнего течения р. Камчатка. Выдерживали в пресной воде, взятой из р. Азабачьей, и ежедневно ее сменяли. Личинки *A. simplex sensu lato* сохраняли жизнеспособность в пресной воде в свободном состоянии в течение 4 сут (100 % личинок), по истечении 9 сут жизнеспособными оставались 2,7 % особей, гибель 100 % личинок произошла через 10 сут. Регрессионный анализ зависимости количества погибших личинок в связи со временем, прошедшим от начала эксперимента, показал, что эти данные хорошо ($R^2 = 0,996$) аппроксимируются уравнением Берталанфи. Дополнительно оценили жизнеспособность личинок *A. simplex sensu lato* в телах погибших производителей нерки на нерестилище оз. Азабачьего: в полости тела рыб, смерть которых наступила не менее 3–5 дней назад, содержались живые личинки *A. simplex sensu lato*. Наблюдение показало, что личинки морского паразита *A. simplex sensu lato* заносятся в пресные воды проходными рыбами и выживают в пресной воде. При использовании в пищу пресноводных рыб, отловленных в водоемах Дальнего Востока, связанных с морской средой, необходимы меры по обеззараживанию рыб от *A. simplex sensu lato*.

Ключевые слова: пресноводные рыбы, лососевые рыбы, полевой эксперимент, озеро Азабачье, Камчатка

Для цитирования: Бусарова О.Ю., Паренский В.А. О выживаемости личинок морской паразитической нематоды *Anisakis simplex sensu lato* (Rudolphi, 1809) в пресных водах // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 906–916. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-906-916. EDN: KFZKPL.

* Бусарова Олеся Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент, olesyabusarova@mail.ru, ORCID 0000-0003-3246-9658; Паренский Валерий Александрович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, vaparensky@inbox.ru, ORCID 0000-0003-1282-4253.

© Бусарова О.Ю., Паренский В.А., 2022

Short message

On survival of the larvae of marine parasitic nematode *Anisakis simplex sensu lato* (Rudolphi, 1809) in the fresh waters

Olesya Yu. Busarova*, Valery A. Parensky**

* Far-Eastern State Technical Fisheries University,
52b, Lugovaya St., Vladivostok, 690087, Russia

** National Scientific Centre of Marine Biology,
Far-Eastern branch of Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, 690041, Russia

* Ph.D., assistant professor, olesyabuserova@mail.ru, ORCID 0000-0003-3246-9658

** Ph.D., researcher, vaparensky@inbox.ru, ORCID 0000-0003-1282-4253

Abstract. Survival of the larvae of marine parasitic nematode *Anisakis simplex sensu lato* (Rudolphi, 1809) in the fresh waters was monitored. In total, 37 live larvae of *A. simplex* s.l. were sampled from charr *Salvelinus malma* caught in the lower reaches of the Kamchatka River. The larvae were kept in the freshwater refreshed everyday, without food, their viability was examined daily at 9 a.m. All larvae were still alive in the 4th day (100 %); 2.7 % were alive after 9 days in freshwater, but all of them were died after 10 days. Dependence of the number of dead larvae on the time of their exposition in the freshwater is well approximated by von Bertalanffy equation ($R^2 = 0.996$). Besides, viability of *A. simplex* s.l. larvae in the bodies of dead sockeye spawners was examined at the spawning grounds in Lake Azabachye: the larvae were alive in the body cavity of fish that died at least 3–5 days ago and remained alive at least 3 days more being placed in the freshwater. The larvae of marine nematode *A. simplex* s.l. are able to enter to the fresh waters with migratory fish. Following to our results, they can survive there for several days. So, measures for disinfecting against *A. simplex* s.l. are recommended for the freshwater fish caught in the water bodies connected with the marine environment.

Keywords: freshwater fish, salmon, natural experiment, Lake Azabachye, Kamchatka

For citation: Busarova O.Yu., Parenskij V.A. On survival of the larvae of marine parasitic nematode *Anisakis simplex sensu lato* (Rudolphi, 1809) in the fresh waters, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 906–916. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-906-916. EDN: KFZKPL.

Введение

Морские паразитические нематоды *Anisakis simplex sensu lato* (Rudolphi, 1809) имеют всеветное распространение и встречаются у многих групп животных [Гаевская, 2005]. Для *A. simplex sensu lato* дефинитивными хозяевами являются морские млекопитающие, промежуточными хозяевами — морские эвфаузииды и веслоногие, транспортными — кальмары и различные виды морских рыб [Klimpel et al., 2004; Buchmann, Mehrdana, 2016]. Человек может выступать в качестве резервуарного хозяина *A. simplex sensu lato*, приобретая паразита во время питания зараженной рыбой [Гаевская, 2005].

У человека нематоды семейства Anisakidae вызывают тяжелое инвазионное заболевание — анисакидоз, в некоторых случаях приводящее к летальному исходу [Попов и др., 2020]. Личинки нематод поражают желудочно-кишечный тракт [Baptista-Fernandes et al., 2017], вызывают иммунные реакции [Del Pozo et al., 1999; Audicana et al., 2002; Ivanović et al., 2017]. Анисакидоз относят к космополитическим зоонозам, зарегистрировано более 20 тыс. случаев заболеваний [Pravettoni et al., 2012], большинство которых отмечают в прибрежных регионах, где традиционно используют в пищу сырую рыбу (Япония [Suzuki et al., 2021], Республика Корея [Choi et al., 2009], Тайвань [Li et al., 2015], Нидерланды [Bucci et al., 2013], Португалия [Baptista-Fernandes et al., 2017], Италия [Mattiucci et al., 2013], Приморский край РФ [Соловьева, Таран, 2000; Кравцова и др., 2004; Попов и др., 2020]).

Помимо широкого распространения у различных видов морских и проходных рыб [Гаевская, 2005], *A. simplex sensu lato* может встречаться и у жилых пресновод-

ных рыб. Так, на Дальнем Востоке личинки *A. simplex* и *Anisakis* sp. были отмечены на Камчатке у хариуса *Thymallus arcticus mertensi* в р. Камчатка [Ахмеров, 1955], у микижи *Parasalmo mykiss* в реках Камчатка [Коновалов, 1971], Сопочная и Утхолок [Соколов, 2005], мальмы *Salvelinus malma* в р. Плотникова [Спасский и др., 1961], р. Авача [Бусарова и др., 2020], мальмы, микижи и кунджи *Salvelinus leucomaenis* в бассейне оз. Азабачье [Бусарова и др., 2018], а также у сига-пыжьяна *Coregonus pidschian*, чира *C. nasus*, обыкновенного валька *Prosopium cylindraceum* и сибирского хариуса *Th. arcticus* в р. Анадырь и чира — в р. Колыма [Пугачев, 1984]. Во многих реках Дальнего Востока пресноводные рыбы, такие как мальма, кунджа, микижа, населяющие водоемы в течение всего года, являются важным объектом традиционного рыболовства и питания населения. Между тем у этих видов рыб отмечают личинок анисакид, которые являются опасными для здоровья человека и животных.

Морской паразит *A. simplex* sensu lato способен заражать пресноводных рыб. Так, пресноводные садковые рыбы (радужная форель *P. mykiss* и кумжа *Salmo trutta*) заражаются личинками анисакид при питании кормами, изготовленными из морских рыб [Wootten, Smith, 1975]. Эксперимент по внедрению личинок *A. simplex*, отобранных у голубого путассу *Micromesistius poutassou*, в радужную форель показал приживаемость паразита в пресноводных рыбах [Santamarina et al., 1994]. Эти результаты демонстрируют возможность перехода личинок *A. simplex* sensu lato от морских рыб к пресноводным.

В связи с этим целью нашей работы являлось экспериментальное наблюдение за выживаемостью личинок *A. simplex* sensu lato в пресной воде.

Материалы и методы

Памятник природы, оз. Азабачье (56°14' с.ш. 161°79' в.д.), располагается в 40 км от устья р. Камчатка и соединяется с ней р. Азабачьей длиной 12 км (рис. 1); в озеро впадает 15 притоков, из которых самый крупный — р. Бушуйка, длиной 40 км; площадь озера — 56,5 км², длина — 13 км, ширина — 7,7 км, максимальная глубина — 36,8 м, средняя — 18,2 м; озеро является нерестово-выростным водоемом для нерки

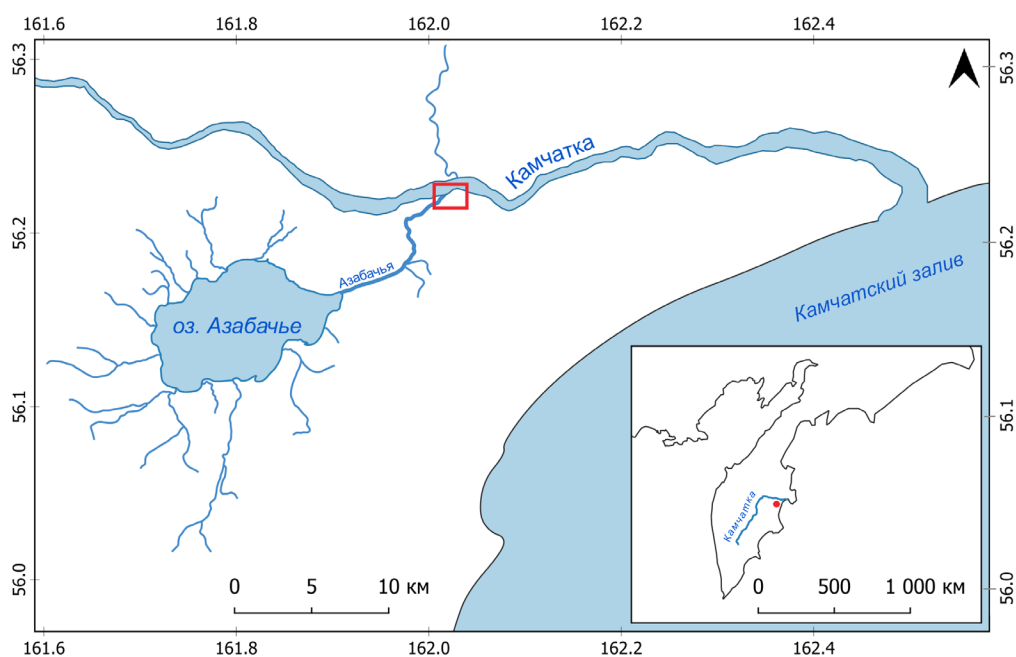


Рис. 1. Карта нижнего течения р. Камчатка

Fig. 1. Scheme of the lower reaches of the Kamchatka River

Oncorhynchus nerka и кижуча *O. kisutch*, помимо этих видов, здесь обитают мальма, кунджа, микижа, трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus*, девятииглая колюшка *Pungitius pungitius*, малоротая корюшка *Hipomesus olidus*, серебряный карась *Carassius auratus gibelio* и другие виды [Бугаев, Кириченко, 2008].

Сбор материала провели в августе 2021 г. в нижнем течении р. Камчатка. Личинок *A. simplex sensu lato* отобрали от 10 экз. речной формы мальмы *S. malma*, отловленной на спиннинг в р. Камчатка в месте впадения в нее р. Азабачьей. Червей собрали из полости тела рыб, с поверхности внутренних органов, из мышечной ткани. Всего отобрали 37 экз. живых активно двигающихся личинок *A. simplex sensu lato*. Отобранных червей поместили в чашку Петри с пресной водой из р. Азабачьей, хранили при комнатной температуре, дополнительно не кормили. В течение следующих 10 сут в 9.00 подсчитывали число живых и погибших личинок, удаляли мертвые экземпляры, после чего меняли воду, в которой находились личинки, на свежую из р. Азабачьей. В первые 5 сут жизнеспособность личинок оценивали визуально по их двигательной активности. В последующие сутки неподвижных личинок дополнительно механически раздражали кончиком препаровальной иглы и увеличивали температуру воды, т.е. использовали метод физического раздражения [ГОСТ 34812-2021]. Мертвыми считали личинок *A. simplex sensu lato*, которые были неподвижны, не реагировали на увеличение температуры воды и на механическое раздражение. Жизнеспособность личинок оценивали под бинокулярным микроскопом марки МБС-10 в проходящем и падающем свете.

Для формализации наблюдавшейся динамики смертности и выживания личинок в эксперименте была использована модель «логистического роста» Берталанфи [Von Bertalanffy, 1938].

Дополнительно провели специальное паразитологическое вскрытие 3 экз. погибших производителей нерки *O. nerka* из побережья оз. Азабачьего на наличие в мертвых рыбах живых личинок *A. simplex sensu lato*. Отобранных живых личинок поместили в отдельную чашку Петри с водой из р. Азабачьей и оценили их жизнеспособность через три дня.

Результаты и их обсуждение

Личинки *A. simplex sensu lato*, отобранные из тел речной мальмы, находясь в свободном состоянии в пресной воде без питания, сохраняли жизнеспособность в течение десяти суток. За период наблюдения в первые четверо суток (96 ч) все 100 % личинок были живы и активны. Гибель личинок началась на пятые сутки наблюдения с отхода 16,2 % особей. На девятые сутки наблюдения жизнеспособными оставались 2,7 % особей. Гибель 100 % личинок произошла на десятые сутки. Погибшие личинки были поражены плесневыми грибами (Saprolegniales).

Как показал регрессионный анализ зависимости количества погибших личинок (D) в связи со временем (T , ч), прошедшим от начала эксперимента, эти данные хорошо ($R^2 = 0,996$) аппроксимируются уравнением Берталанфи [Von Bertalanffy, 1938] со степенью:

$$D = a (1 - \exp(-T/b))^{\exp(c)},$$

где $b = 25,730$, $c = 5,188$. Первый коэффициент $a = 37$ — известная величина (количество личинок в эксперименте).

Средняя относительная ошибка коэффициентов модели 7,84 %. Соответственно, выживание (S , экз.) в течение времени (T , ч) является комплементарной функцией с теми же параметрами и качеством (рис. 2):

$$S = 37 (1 - (1 - \exp(-T/b))^{\exp(c)}).$$

Проведенные наблюдения за выживаемостью личинок *A. simplex sensu lato* в пресных водах позволяют дополнить понимание особенностей их жизненного цикла. Личинки, отобранные от рыб и помещенные в пресную воду из естественного источника в свободном состоянии без питания, сохраняют жизнеспособность как минимум 10 сут. В

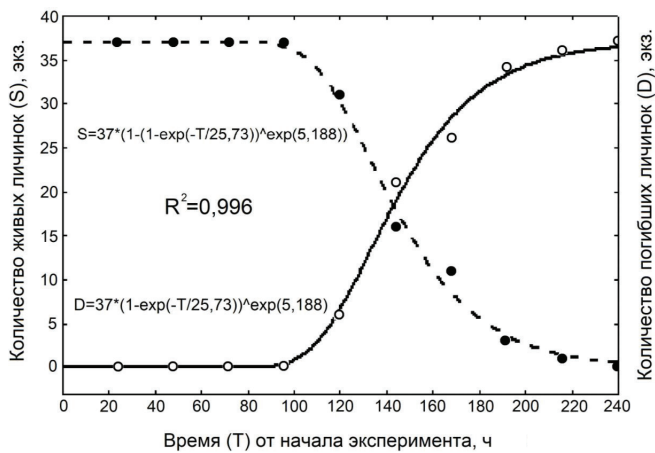


Рис. 2. Аппроксимация динамики смертности (сплошная линия, светлые кружки) и выживания (штриховая линия, черные кружки) *A. simplex sensu lato* в пресной воде уравнением Бергаланфи

Fig. 2. Dynamics of mortality (solid line, light circles) and survival (dashed line, black circles) for larvae of *A. simplex s.l.* in the freshwater approximated by von Bertalanffy equation

дистиллированной воде продолжительность жизни анизакид составляет до 71 сут [Беспрозованных, Ермоленко, 2005]. Относительно ранняя гибель личинок в эксперименте может быть связана с несколькими факторами: личинки содержались в воде из реки, не подвергшейся обеззараживанию и, по всей видимости, содержащей споры плесневых грибов, поразивших личинок; личинки содержались в скученном состоянии; личинки испытывали широкий диапазон дневных и ночных температур. Сохраняется вероятность более долгой продолжительности жизни личинок при благоприятных условиях.

При осмотре полости тела погибших производителей нерки во всех трех осматриваемых рыбах присутствовали живые личинки *A. simplex sensu lato* в количестве 5–17 экз./рыбу, мертвые личинки не отмечены (рис. 3). По визуальной оценке смерть нерки наступила не менее чем 3–5 дней назад, поверхность тела и жабры рыб имели белый цвет (рис. 3), рыбы были найдены либо в прибрежье озера на поверхности воды, либо у кромки воды.



Рис. 3. Мертвая нерка с живыми подвижными личинками *A. simplex sensu lato*

Fig. 3. Dead sockeye salmon with alive and mobile larvae of *A. simplex s.l.*

Также у берега встречались производители нерки с разорванной брюшной стенкой и отсутствующими внутренними органами, выклеванными птицами (рис. 4).



Рис. 4. Мертвая нерка в прибрежье оз. Азабачьего, внутренние органы которой выклеваны птицами

Fig. 4. Dead sockeye salmon ashore of Lake Azabachie with viscera pecked out by birds

Все личинки *A. simplex sensu lato*, отобранные из тел погибшей нерки и помещенные в пресную воду, в течение первых трех суток наблюдения сохраняли жизнеспособность. На четвертые сутки наблюдение за личинками было остановлено.

Таким образом, в пресных водах тихоокеанские лососи после гибели сохраняют в своих телах живых личинок *A. simplex sensu lato* в течение как минимум нескольких дней. При этом известно, что в кете, засоленной семужным (слабым) посолом, личинки остаются живыми в течение 2 мес. [Беспрозванных, Ермоленко, 2005]. Тихоокеанские лососи (как живые, так и мертвые), пришедшие в пресные воды на нерест, являются пищей для хищных птиц и медведей. Животные, поедая рыб, разрывают их тела, при этом гельминты рыб попадают в воду. Находясь в воде, активные свободноживущие личинки могут случайно послужить кормом для пресноводных рыб.

Срок жизни личинок анизакид в живых рыбах составляет не менее двух лет, и рыбы в течение жизни аккумулируют этих гельминтов [Koie, 2001]. Имеются данные о сохранении жизнеспособности 50 % личинок анизакид в треске в течение 4 лет и 90 % личинок в течение 14 лет [Hauksson et al., 2012]. На примере морских рыб показан путь передачи анизакид к новым рыбам от погибших рыб-хозяев непосредственно через воду [Гаевская, 2005, с. 95]. Несмотря на то что алиментарный путь заражения показан для морской среды, не исключена возможность того, что пресноводные рыбы могут заражаться *A. simplex sensu lato* в пресных водах, куда паразит заносится проходными рыбами.

Подтверждением возможности заражения рыб анизакисом в пресных водах является присутствие личинок у чисто пресноводных видов рыб в оз. Азабачьем. Так, *A. simplex sensu lato* отмечен нами у микижи (доля зараженных рыб в выборке составляла 30 %), кунджи (20), хищной мальмы (84), бентосоядной (10) и ручьевой мальмы (6,7 %). Мы считаем, что бентосоядная и ручьевая мальма, питаясь бентосом у дна, заражается *A. simplex* непосредственно из воды. Заражение хищных рыб (хищной формы мальмы, микижи и кунджи) *A. simplex sensu lato* мы связываем с их питанием мелкими проходными рыбами — трехиглой колюшкой и малоротой корюшкой, возвращающимися из моря в озеро [Бусарова, 2022].

Стоит учитывать, что *A. simplex sensu lato* смертельно опасен для человека и животных, вызывая тяжелое заболевание — анизакидоз. Личинки нематод локализуются у рыб не только в полости тела на внутренних органах, но и в мышцах (рис. 5), из-за чего черви менее заметны при разделке рыбы.



Рис. 5. Личинки *A. simplex sensu lato* в мышцах мальмы *S. malma* из нижнего течения р. Камчатка

Fig. 5. Larvae of *A. simplex s.l.* in muscles of dolly varden *S. malma* from the lower reaches of the Kamchatka River

По нашим данным, речная форма гольца (мальмы) из нижнего течения р. Камчатка в устье р. Азабачьей имеет высокую инвазию личинками *A. simplex sensu lato*. В наших сборах 66,7 % рыб были заражены паразитом, индекс обилия (среднее число особей, приходящееся на одну рыбу в выборке) составлял 4,5 экз., максимальная интенсивность инвазии (число личинок на одну зараженную рыбу) — 39 экз. Личинки нематод находились в полости тела, на поверхности внутренних органов, в мышцах рыб. Также мы отмечали личинок анизакид у молоди мальмы в р. Авача [Бусарова и др., 2020]. Поэтому необходимо учитывать, что пресноводные рыбы из рек и озер Камчатки также могут служить источником заражения человека и животных и проводить обязательные мероприятия по обеззараживанию рыбного сырья. Учитывая устойчивость анизакид к солевым растворам, наиболее эффективным способом обеззараживания рыб является их промораживание в течение не менее 7 сут [Беспрозванных, Ермоленко, 2005].

Заключение

Личинки морской паразитической нематоды *A. simplex sensu lato* сохраняют жизнеспособность в пресных водах: в свободном состоянии, в телах проходных рыб, пришедших на нерест, и в организмах жилых пресноводных рыб. Необходимо соблюдать технологические требования к обеззараживанию рыбного сырья из пресноводных рыб, отловленных в водоемах, связанных с морской средой.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы глубоко признательны д.б.н. Т.Е. Буториной (ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз») за обсуждение рукописи.

The authors are sincerely grateful to T.E. Butorina (Far Eastern State Technical Fisheries University) for useful discussions concerning the manuscript.

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. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

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

Список литературы

Ахмеров А.Х. Паразитофауна рыб р. Камчатки // Изв. ТИНРО. — 1955. — Т. 43. — С. 99–137.

Беспрозванных В.В., Ермоленко А.В. Природноочаговые гельминтозы человека в Приморском крае : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2005. — 120 с.

Бугаев В.Ф., Кириченко В.Е. Нагульно-нерестовые озера азиатской нерки (включая некоторые другие водоемы ареала) : моногр. — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2008. — 280 с.

Бусарова О.Ю. Трофическая специализация симпатрических форм мальмы *Salvelinus malma* (Salmonidae) озера Азабачье, Камчатка // Вопр. ихтиол. — 2022. — Т. 62, № 5. — С. 621–633. DOI:10.31857/S0042875222040051.

Бусарова О.Ю., Есин Е.В., Маркевич Г.Н. Питание и паразиты молоди мальмы *Salvelinus malma* реки Авачи (юго-восточная Камчатка) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : мат-лы 21-й междунар. науч. конф. — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2020. — С. 33–37.

Бусарова О.Ю., Колтун Г.Г., Подвалова В.В. Паразиты лососевых рыб (Salmonidae) озера Азабачьего (Камчатка), опасные для здоровья человека и влияющие на качество рыбного сырья // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2018. — Вып. 48. — С. 31–42. DOI: 10.15853/2072-8212.2018.48.31-42.

Гавская А.В. Анизакидные нематоды и заболевания, вызываемые ими у животных и человека : моногр. — Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. — 223 с.

Коновалов С.М. Дифференциация локальных стад нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) : моногр. — Л. : Наука, 1971. — 229 с.

Кравцова В.О., Царенко С.С., Филимонова Н.Б., Гагальчий Н.М. Анизакиоз в Приморском крае // Тихоокеанский медицинский журнал. — 2004. — № 3(7). — С. 65–67.

Попов А.Ф., Симакова А.И., Петухова С.А. и др. Анизакидоз в Приморском крае // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. — 2020. — № 2. — С. 15–20. DOI: 10.33092/0025-8326mp2020.2.15-20.

Пугачев О.Н. Нематоды пресноводных рыб северо-востока Азии // Тр. ЗИН АН СССР. — 1984. — Т. 126. — С. 10–19.

Соколов С.Г. Обзор паразитов микижи *Parasalmo mykiss* (Osteichthyes, Salmonidae) полуострова Камчатка // Invertebrate Zoology. — 2005. — Т. 2, № 1. — С. 35–60.

Соловьева Г.Ф., Таран Н.А. Два случая обнаружения личинок *Anisakis simplex* (Ascaridina, Anisakidae) в желудке у человека // Изв. ТИНРО. — 2000. — Т. 127. — С. 590–592.

Спаский А.А., Ройтман В.А., Шагаева В.Г. К гельминтофауне рыб бассейна р. Плотникова Камчатской области // Тр. ГЕЛАН. — 1961. — Т. 11. — С. 270–285.

Audicana M.T., Ansotegui I.J., de Corres F.L., Kennedy M.W. *Anisakis simplex*: dangerous — dead and alive? // Trends Parasitol. — 2002. — Vol. 18, Iss. 1. — P. 20–25. DOI: 10.1016/S1471-4922(01)02152-3.

Baptista-Fernandes T., Rodrigues M., Castro I. et al. Human gastric hyperinfection by *Anisakis simplex*: a severe and unusual presentation and a brief review // Int. J. Infect. Dis. — 2017. — Vol. 64. — P. 38–41. DOI: 10.1016/j.ijid.2017.08.012.

Bucci C., Gallotta S., Morra I. et al. Anisakis, just think about it in an emergency! // Int. J. Infect. Dis. — 2013. — Vol. 17, Iss. 11. — P. e1071–e1072. DOI: 10.1016/j.ijid.2013.05.008.

Buchmann K., Mehrdana F. Effects of anisakid nematodes *Anisakis simplex* (s.l.), *Pseudoterranova decipiens* (s.l.) and *Contracaecum osculatum* (s.l.) on fish and consumer health // Food and Waterborne Parasitology. — 2016. — Vol. 4. — P. 13–22. DOI: 10.1016/j.fawpar.2016.07.003.

Choi S.-J., Lee J.-C., Kim M.-J. et al. The clinical characteristics of *Anisakis* allergy in Korea // Korean J. Intern. Med. — 2009. — Vol. 24, № 2. — P. 160–163. DOI: 10.3904/kjim.2009.24.2.160.

Del Pozo V., Arrieta I., Tuñon T. et al. Immunopathogenesis of human gastrointestinal infection by *Anisakis simplex* // J. Allergy Clin. Immunol. — 1999. — Vol. 104, Iss. 3. — P. 637–643. DOI: 10.1016/S0091-6749(99)70336-2.

Hauksson E., Karlsson H., Eliasson K. Decreases in Anisakid Nematodes Abundance and Density in Cod, Kept in On-growing Sea-Cages // Advanced Studies in Biology. — 2012. — Vol. 4, № 5. — P. 217–230.

Ivanović J., Baltić M.Ž., Bošković M. et al. Anisakis allergy in human // Trends in Food Science & Technology. — 2017. — Vol. 59. — P. 25–29. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.11.006.

Klimpel S., Palm H.W., Ruckert S., Piatkowski U. The life cycle of *Anisakis simplex* in the Norwegian Deep (northern North Sea) // Parasitol. Res. — 2004. — Vol. 94, Iss. 1. — P. 1–9. DOI: 10.1007/s00436-004-1154-0.

Køie M. Experimental infections of copepods and sticklebacks *Gasterosteus aculeatus* with small ensheathed and large third-stage of *Anisakis simplex* (Nematoda, Ascaridoidea, Anisakidae) // Parasitol. Res. — 2001. — Vol. 87, Iss. 1. — P. 32–36. DOI: 10.1007/s004360000288.

Li S.-W., Shiao S.-H., Weng S.-C. et al. A case of human infection with *Anisakis simplex* in Taiwan // Gastrointestinal Endoscopy. — 2015. — Vol. 82, Iss. 4. — P. 757–758. DOI: 10.1016/j.gie.2015.03.1983.

Mattiucci S., Fazii P., De Rosa A. et al. Anisakiasis and gastroallergic reactions associated with *Anisakis pegreffii* infection, Italy // Emerg. Infect. Dis. — 2013. — Vol. 19, № 3. — P. 496–499. DOI: 10.3201/eid1903.121017.

Pravettoni V., Primavesi L., Piantanida M. *Anisakis simplex*: current knowledge // Eur. Ann. Allergy Clin. Immunol. — 2012. — Vol. 44, № 4. — P. 150–156.

Santamarina M.T., Tojo J.L., Gestido J.C. et al. Experimental infection of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by *Anisakis simplex* (Nematoda: Anisakidae) // Jpn. J. Parasitol. — 1994. — Vol. 43, № 3. — P. 187–192.

Suzuki J., Murata R., Kodo Y. Current status of Anisakiasis and Anisakis larvae in Tokyo, Japan // Food Safety. — 2021. — Vol. 9, Iss. 4. — P. 89–100. DOI: 10.14252/foodsafetyfscj.D-21-00004.

Von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II) // Human Biology. — 1938. — Vol. 10, № 2. — P. 181–213. DOI: 10.2307/41447359.

Wootton R., Smith J.W. Observational and experimental studies on the acquisition of *Anisakis* sp. larvae (Nematoda: Ascaridida) by trout in fresh water // Int. J. Parasitol. — 1975. — Vol. 5, Iss. 3. — P. 373–378. DOI: 10.1016/0020-7519(75)90087-9.

References

Akhmerov, A.Kh., Parasitic fauna of fish from the Kamchatka River, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1955, vol. 43, pp. 99–137.

Bezprozvannykh, V.V. and Ermolenko, A.V., *Prirodnookhagovyye gel'mintozy cheloveka v Primorskom krae* (Natural focal human helminthiasis in Primorsky Krai), Vladivostok: Dal'nauka, 2005.

Bugaev, V.F. and Kirichenko, V.E., *Nagul'no-nerestovyye ozera aziatskoy nerki (vkluychaya nekotoryye drugie vodoyemy areala)* (Feeding and Spawning Lakes for Asian Sockeye Salmon Stocks (Including Several Additional Water Bodies in the Range), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2008.

Busarova, O.Yu., Trophic specialization of sympatric forms of Dolly Varden *Salvelinus malma* (Salmonidae) from Azabachy Lake, Kamchatka, *Vopr. Ikhtiol.*, 2022, vol. 62, no. 5, pp. 621–633. doi 10.31857/S0042875222040051

Busarova, O.Yu., Esin, E.V., and Markevich, G.N., Nutrition and parasites of juvenile Dolly Varden *Salvelinus malma* of the Avacha River (southeastern Kamchatka), in *Mater. 21 Mezhdunar. nauchn. Konf «Sokhraneniye bioraznobraziya Kamchatki i prilgayushchikh morey»* (Proc. 21th Int. Sci. Conf. «Conservation of biodiversity of Kamchatka and adjacent seas», Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2020, pp. 33–37.

Busarova, O.Yu., Koltun, G.G., and Podvalova, V.V., Parasites of Salmonidae in the Azabachy Lake (Kamchatka), dangerous for human health or affecting quality and commercial value of fish, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2018, vol. 48, pp. 31–42. doi 10.15853/2072-8212.2018.48.31-42

Gayevskaya, A.V., *Anizakidnyye nematody i zabolevaniya, vyzyvayemye imi u zhivotnykh i cheloveka* (Anisakid nematodes and diseases caused by them in animals and humans), Sevastopol': EKOSI-Gidrofizika, 2005.

- Kononov, S.M.**, *Differentsiatsiya lokal'nykh stad nerki Oncorhynchus nerka (Walbaum)* (Differentiation of local herd of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Walbaum)), Leningrad: Nauka, 1971.
- Kravtsova, V.O., Tsarenko, S.S., Filimonova, N.B., and Gagalchii, N.M.**, Anisakiasis in Primorsky Krai, *Pacific Medical Journal*, 2004, no. 3(17), pp. 65–67.
- Popov, A.F., Simakova, A.I., Petuhova, S.A., Obratsov, Y.G., Sokotun, S.A., Dmitrenko, K.A., and Ivanis, V.A.**, Anisakiasis in Primorsky Krai, *Meditinskaya parazitologiya i parazitarnyye bolezni*, 2020, no. 2, pp. 15–20. doi 10.33092/0025-8326mp2020.2.15-20
- Pugachev, O.N.**, Freshwater fish nematodes of Northeast Asia, *Tr. Zool. Inst., Akad. Nauk SSSR*, 1984, vol. 126, pp. 10–19.
- Sokolov, S.G.**, A review of parasites of the mikizha *Parasalmo mykiss* (Osteichthyes, Salmonidae) from Kamchatka peninsula, *Invertebrate Zoology*, 2005, vol. 2, no. 1, pp. 35–60.
- Solov'yeva, G.F. and Taran, N.A.**, Two cases of revealing of *Anisakis simplex* (Ascaridina, Anisakidae) larvae in human stomach, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2000, vol. 127, pp. 590–592.
- Spassky, A.A., Roitman, V.A., and Shagaeva, V.G.**, To the helminthofauna of fishes from the Plotnikov River basin, Kamchatka Oblast, *Tr. Gel'mintologicheskoi Lab. Akad. Nauk*, 1961, vol. 11, pp. 270–285.
- Audicana, M.T., Ansotegui, I.J., de Corres, F.L., and Kennedy, M.W.**, *Anisakis simplex*: dangerous — dead and alive?, *Trends Parasitol.* 2002, vol. 18, no. 1, pp. 20–25. doi 10.1016/S1471-4922(01)02152-3
- Baptista-Fernandes, T., Rodrigues, M., Castro, I., Paixão, P., Pinto-Marques, P., Roque, L., Belo, S., Ferreira, P.M., Mansinho, K., and Toscano, C.**, Human gastric hyperinfection by *Anisakis simplex*: a severe and unusual presentation and a brief review, *Int. J. Infect. Dis.*, 2017, vol. 64, pp. 38–41. doi 10.1016/j.ijid.2017.08.012
- Bucci, C., Gallotta, S., Morra, I., Fortunato, A., Ciacci, C., and Iovino, P.**, *Anisakis*, just think about it in an emergency!, *Int. J. Infect. Dis.*, 2013, vol. 17, no. 11, pp. e1071–e1072. doi 10.1016/j.ijid.2013.05.008
- Buchmann, K. and Mehrdana, F.**, Effects of anisakid nematodes *Anisakis simplex* (s.l.), *Pseudoterranova decipiens* (s.l.) and *Contracaecum osculatatum* (s.l.) on fish and consumer health, *Food and Waterborne Parasitology*, 2016, vol. 4, pp. 13–22. doi 10.1016/j.fawpar.2016.07.003
- Choi, S.-J., Lee, J.-C., Kim, M.-J., Hur, G.-Y., Shin, S.-Y., and Park, H.-S.**, The clinical characteristics of *Anisakis* allergy in Korea, *Korean J. Intern. Med.*, 2009, vol. 24, no. 2, pp. 160–163. doi 10.3904/kjim.2009.24.2.160
- Del Pozo, V., Arrieta, I., Tuñón, T., Cortegano, I., Gomez, B., Cárdbaba, B., Gallardo, S., Rojo, M., Renedo, G., Palomino, P., Tabar, A.I., and Lahoz, C.**, Immunopathogenesis of human gastrointestinal infection by *Anisakis simplex*, *J. Allergy Clin. Immunol.*, 1999, vol. 104, no. 3, pp. 637–643. doi 10.1016/S0091-6749(99)70336-2
- Hauksson, E., Karlsson, H., and Eliasson, K.**, Decreases in anisakid nematodes abundance and density in cod, kept in on-growing sea-cages, *Advanced Studies in Biology*, 2012, vol. 4, no. 5, pp. 217–230.
- Ivanović, J., Baltić, M.Ž., Bošković, M., Kilibarda, N., Dokmanović, M., Marković, R., Janjić, J., and Baltić, B.**, *Anisakis* allergy in human, *Trends in Food Science & Technology*, 2017, vol. 59, pp. 25–29. doi 10.1016/j.tifs.2016.11.006
- Klimpel, S., Palm, H.W., Ruckert, S., and Piatkowski, U.**, The life cycle of *Anisakis simplex* in the Norwegian Deep (northern North Sea), *Parasitol. Res.*, 2004, vol. 94, no. 1, pp. 1–9. doi 10.1007/s00436-004-1154-0
- Koie, M.**, Experimental infections of copepods and sticklebacks *Gasterosteus aculeatus* with small ensheathed and large third-stage of *Anisakis simplex* (Nematoda, Ascaridoidea, Anisakidae), *Parasitol. Res.*, 2001, vol. 87, no. 1, pp. 32–36. doi 10.1007/s004360000288
- Li, S.-W., Shiao, S.-H., Weng, S.-C., Liu, T.-H., Su, K.-E., and Chen, C.-C.**, A case of human infection with *Anisakis simplex* in Taiwan, *Gastrointestinal Endoscopy*, 2015, vol. 82, no. 4, pp. 757–758. doi 10.1016/j.gie.2015.03.1983
- Mattiucci, S., Fazii, P., De Rosa, A., Paoletti, M., Megna, A.S., Glielmo, A., De Angelis, M., Costa, A., Meucci, C., Calvaruso, V., Sorrentini, I., Palma, G., Bruschi, F., and Nascetti, G.**, Anisakiasis and gastroallergic reactions associated with *Anisakis pegreffii* infection, Italy, *Emerg. Infect. Dis.*, 2013, vol. 19, no. 3, pp. 496–499. doi 10.3201/eid1903.121017
- Pravettoni, V., Primavesi, L., and Piantanida, M.**, *Anisakis simplex*: current knowledge, *Eur. Ann. Allergy Clin. Immunol.*, 2012, vol. 44, no. 4, pp. 150–156.

Santamarina, M.T., Tojo, J.L., Gestido, J.C., Leiro, J.L., Ubeira, F.M., and Sanmartin, M.L., Experimental infection of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by *Anisakis simplex* (Nematoda: Anisakidae), *Jpn. J. Parasitol.*, 1994, vol. 43, no. 3, pp. 187–192.

Suzuki, J., Murata, R., and Kodo, Y., Current status of Anisakiasis and Anisakis larvae in Tokyo, Japan, *Food Safety*, 2021, vol. 9, no. 4, pp. 89–100. doi 10.14252/foodsafetyfscj.D-21-00004

Von Bertalanffy, L., A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II), *Human Biology*, 1938, vol. 10, no. 2, pp. 181–213. doi:10.2307/41447359

Wootten, R., Smith, J.W., Observational and experimental studies on the acquisition of *Anisakis* sp. Larvae (Nematoda: Ascaridida) by trout in fresh water, *Int. J. Parasitol.*, 1975, vol. 5, no. 3, pp. 373–378. doi 10.1016/0020-7519(75)90087-9

Поступила в редакцию 13.09.2022 г.

После доработки 7.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

*The article was submitted 13.09.2022; approved after reviewing 7.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022*

Научная статья

УДК 551.464.618(265.53)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-917-932

EDN: IZYFHO

**ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ФОСФАТОВ В ЭСТУАРИЯХ РЕК УДА И УСАЛГИН
(ОХОТСКОЕ МОРЕ)****А.С. Курносова¹, Ю.И. Зуенко¹, М.Г. Швецова^{2*}**¹ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;² Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

Аннотация. По данным гидрохимических наблюдений, выполненных экспедицией Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН в июле 2016 г., определена локализация зон преобладания продукции и деструкции органического вещества в эстуариях рек Уда и Усалгин (Охотское море) по признаку неконсервативных изменений концентрации фосфатов. На протяжении зон смешения вод обеих рек с морскими водами отмечена смена знака продукционно-деструкционного баланса: от преобладания деструкции во внутренних эстуариях к преобладанию продукции в верхних частях внешних эстуариев. При этом для продуцирования большей части органического вещества в обоих эстуариях использован не речной ионный сток, а реминерализованный в эстуариях фосфор. Более интенсивный рециклинг отмечен в эстуарии р. Усалгин, дренирующей болотистую местность.

Ключевые слова: эстуарий, фосфаты, неконсервативное смешение, продукционно-деструкционный баланс

Для цитирования: Курносова А.С., Зуенко Ю.И., Швецова М.Г. Локализация продукционно-деструкционных процессов по распределению фосфатов в эстуариях рек Уда и Усалгин (Охотское море) // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 917–932. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-917-932. EDN: IZYFHO.

Original article

**Localization of production-destruction processes by distribution of phosphate
in the estuaries of Uda and Usalgin Rivers (Okhotsk Sea)****Anna S. Kurnosova*, Yury I. Zuenko**, Maria G. Shvetsova*****

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

*** Pacific Oceanological Institute, Russian Ac. Sci., 43, Baltiyskaya Street, Vladivostok, 690041, Russia

* leading specialist, anna.vazhova@gmail.com, ORCID 0000-0002-4026-9456

** D.Geogr., head of laboratory, zuenko_yury@hotmail.com, ORCID 0000-0003-1312-542X

*** researcher, chippers@rambler.ru, ORCID 0000-0002-6415-0329

* Курносова Анна Сергеевна, ведущий специалист, anna.vazhova@gmail.com, ORCID 0000-0002-4026-9456; Зуенко Юрий Иванович, доктор географических наук, заведующий лабораторией, zuenko_yury@hotmail.com, ORCID 0000-0003-1312-542X; Швецова Мария Геннадиевна, научный сотрудник, chippers@rambler.ru, ORCID 0000-0002-6415-0329.

© Курносова А.С., Зуенко Ю.И., Швецова М.Г., 2022

Abstract. The areas with prevalence of either production or decomposition of organic matter are localized in the estuaries of Uda and Usalgin Rivers (western coast of the Okhotsk Sea) on the data of chemical survey conducted in conditions of summer flood in July, 2016, interpreting patterns of non-conservative variations of inorganic phosphorus concentration (deflections of observed values from potential values determined by the river water mixing with the seawater). Sign of production-destruction balance changed along both surveyed estuaries: the organic matter decomposition prevailed in the internal estuaries but its production prevailed in the upper part of the external estuaries. Another common feature of both estuaries was active recycling: the larger portion of organics was produced with utilizing the phosphorus mineralized within the estuaries, but not the terrestrial phosphorus provided by the rivers ionic discharge. Extremely intensive recycling was observed in the Usalgin estuary that drained swampy lands.

Keywords: estuary, phosphate, non-conservative mixing, production-destruction balance

For citation: Kurnosova A.S., Zuenko Yu.I., Shvetsova M.G. Localization of production-destruction processes by distribution of phosphate in the estuaries of Uda and Usalgin Rivers (Okhotsk Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 917–932. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-917-932. EDN: IZYFHO.

Введение

В ходе продукционно-деструкционных процессов в экосистемах синтезируется либо разлагается органическое вещество, выделяется либо потребляется кислород, обеспечиваются потребности живых организмов в обмене веществ. Интенсивность и баланс продукционно-деструкционных процессов оцениваются по косвенным показателям: по количеству хлорофилла или углерода в составе органического вещества [Lee et al., 1996; Marra et al., 2007], по динамике (росту или убыванию) содержания растворенного кислорода [Винберг, 1960], по отношению валовой первичной продукции к суммарной деструкции планктона, по изменениям связанных с ними компонент в экосистемных моделях [Дмитриев и др., 2019], а также гидрохимическим методом — по балансу биогенных веществ в эстуарных водах [Леонов, Стыгар, 2001; Звалинский и др., 2005; Важова, Зуенко, 2015]. Гидрохимический подход основывается на допущении, что соотношение потребляемых сообществом фитопланктона биогенных веществ и связываемого в процессе продуцирования углерода существенно не меняется и соответствует стехиометрическому соотношению [Redfield et al., 1963].

Для понимания закономерностей функционирования эстуарных экосистем важно оценивать: какие процессы преобладают в экосистеме на конкретном участке эстуария — синтез или разложение органического вещества? В зависимости от этого выстраивается вся биологическая надстройка экосистемы: в ее нижних звеньях преобладают либо фитофаги, либо детритофаги. Ранее такие исследования проведены для эстуариев рек южного Приморья, где выявлена значительная пространственная разобщенность зон с разными знаками продукционно-деструкционного баланса, а именно: во внутренних частях эстуариев преобладают деструкционные, а во внешних — продукционные процессы [Важова, Зуенко, 2015; Важова, 2019]. Для рек, находящихся в иных климатических и океанологических условиях, подобные работы не проводились. Реки Уда и Усальгин, впадающие в западную часть Охотского моря, находятся в области сурового климата с отрицательной среднегодовой температурой воздуха. Река Уда дренирует горную таежную местность, площадь водосбора 61 300 км², среднегодовой расход воды 510 м³/с. Долина р. Усальгин — это в основном заболоченная местность, площадь водосбора 2420 км², расчетный среднегодовой расход — около 15 м³/с [Ресурсы..., 1970]. Водный режим этих рек в основном определяется количеством атмосферных осадков. Важнейшей особенностью эстуариев обеих рек являются сильные приливы, высота которых достигает 6 м*. Эстуарий р. Усальгин отличается тем, что полностью занимает кутовую часть длинного и узкого зал. Николая, в то время как р. Уда впадает в море на открытом участке побережья обширного Удского залива.

* Луция Охотского моря (№ 1406). Вып. 1. Южная часть моря. СПб.: ГУНиО, 1998. 390 с.

Целью данной работы является определение особенностей локализации зон преобладания продукции и деструкции органического вещества в эстуариях рек, находящихся в своеобразных климатических и океанологических условиях, на основе анализа изменений концентрации минерального фосфора по градиенту солености, на примере рек Уда и Усалгин, впадающих в западную часть Охотского моря.

Материалы и методы

Материалом для расчетов продукционно-деструкционного баланса послужили данные о температуре, солености и концентрации неорганического фосфора в поверхностном слое эстуариев (в котором распространяются и разбавляются речные воды), полученные в экспедиции Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН на НИС «Профессор Гагаринский» в район Шантарского архипелага в июле 2016 г. В ходе экспедиции с использованием маломерных плавсредств в эстуариях рек Уда и Усалгин были выполнены съемки, охватывающие нижнее течение рек и обширную зону смешения речных и морских вод, распространяющуюся далеко в море, поскольку съемки проводились в период летнего паводка (рис. 1). Результаты экспедиции подробно представлены в сообщениях ее участников [Тищенко и др., 2018; Семкин и др., 2020a].

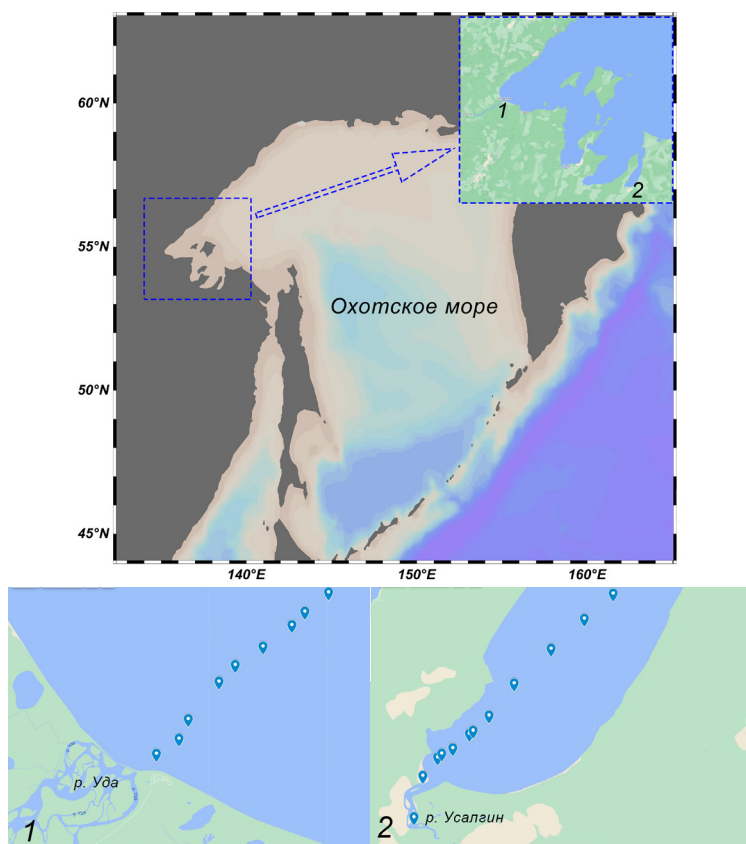


Рис. 1. Схемы исследованных акваторий: 1 — р. Уда; 2 — р. Усалгин. Обозначены станции, данные которых использованы для расчета продукционно-деструкционного баланса

Fig. 1. Schemes of the surveyed estuaries (1 — Uda River, 2 — Usalgin River). The stations are marked which data are used for calculation of the production-destruction balance

Фосфор входит в состав продуцируемого растениями органического вещества и потому является непрямым участником продукционно-деструкционных процессов, более того, в зоне смешения речных и морских вод продукция органического вещества обычно лимитируется наличием растворенных в воде минеральных соединений

фосфора [Doering et al., 1995]. В процессе фотосинтеза фосфор дигидро- и гидрофосфатов связывается в органических соединениях, при этом наиболее предпочтительной формой для фитопланктона являются ортофосфаты [Correll et al., 1975]. В процессе деструкции органического вещества фосфор вновь минерализуется с образованием фосфатов. Строго говоря, определить истинную скорость оборота фосфора посредством прямых измерений изменений во времени концентрации какой-либо из его форм невозможно, так как эти концентрации являются результатом одновременного протекания прямой и обратной реакций [Рыжаков, Степанова, 2016], однако можно определить, какая из них преобладает. Для расчета продукционно-деструкционного баланса использована методика, основанная на анализе неконсервативных изменений концентрации неорганического фосфора (преимущественно в составе растворимых ортофосфатов) в зоне смешения речных и морских вод [Liss, 1976; Михайлов, 1997; Звалинский и др., 2005; Гордеев, 2012], усовершенствованная авторами настоящей статьи ранее [Важова, Зуенко, 2015] с учетом возможного влияния на концентрацию фосфора в эстуариях водообмена с богатыми биогенными элементами подповерхностными морскими водами [Howarth et al., 2021]. Суть метода состоит в расчете отклонений фактически наблюдаемых концентраций фосфора от «потенциальных» значений концентрации этого биогенного элемента, обусловленных только разбавлением речных вод. В случае консервативного поведения растворенных в речной воде фосфатов изменение его концентрации (потенциальной концентрации) в эстуарии по направлению градиента солёности должно происходить пропорционально росту солёности, и зависимость концентрации фосфора от солёности имеет вид линейной функции. Превышение на каком-либо участке эстуария фактических концентраций фосфора над его потенциальной концентрацией интерпретировано как результат преобладания процесса деструкции органики, а недостаток фосфора относительно потенциальных значений — как результат преобладания процесса продукции. По этим отклонениям можно оценить значение продукционно-деструкционного баланса, а если пренебречь деструкцией на участках преобладания продукции и продукцией на участках преобладания деструкции — то и получить минимальные оценки величин продукции и деструкции. Если же в эстуарии смешиваются три водные массы (речная вода, поверхностная и подповерхностная морские водные массы), то предварительно с применением TS-анализа [Мамаев, 1987] для каждой станции по температуре и солёности оценивали вклад каждой водной массы в смесь и, соответственно, в величину потенциальной концентрации фосфора и для анализа использовали значения потенциальной концентрации с вычетом вклада подповерхностных морских вод. Такой подход позволяет аналитически сделать систему замкнутой для дальнейших расчетов. В частности, такая поправка имеет значения для внешней периферии эстуария, где поступление фосфора с глубины может значительно превышать потенциальную концентрацию; неучет этого процесса приводит к завышению величины продукции во внешней эстуарии. Концентрацию фосфора в ядрах водных масс определяли по экстремальным измеренным значениям, TS-индексы ядер водных масс — «графическим» методом по треугольникам смешения, поскольку доли водных масс в смеси на каждой станции обратно пропорциональны евклидову расстоянию в TS-координатах от точки, соответствующей температуре и солёности на станции, до углов треугольника смешения, соответствующих ядрам трех водных масс.

В случае преобладания продукции по разностям фактических и потенциальных концентраций фосфора для каждой станции (i) с использованием соотношения Редфилда $C : P = 106 : 1$ [Redfield et al., 1963] определялась масса органического вещества, которая образовалась в результате утилизации этого количества фосфора (удельная урожайность):

$$b_i = R(C_{i_potential} - C_i) \text{ [гC/м}^3\text{]}, \quad (1)$$

где b_i — удельная урожайность; R — соотношение Редфилда; C_i — фактическая концентрация фосфора на станции i ; $C_{i_potential}$ — потенциальная концентрация фосфора на станции i .

Далее оценивался урожай органического вещества, продуцированного из единичного объема речной воды к моменту достижения им станции i , с учетом разбавления речной воды в эстуарии:

$$Y_i = b_i / \mu_i \text{ [гС/м}^3 \text{ речной воды]}, \quad (2)$$

где Y_i — урожай органического вещества с кубометра речной воды; b_i — удельная урожайность; μ_i — доля речной воды в эстуарной воде.

Величина Y по определению может только возрастать вниз по течению реки, поскольку этот урожай продуцируется из фиксированного единичного начального объема речной воды. Рост урожая с единичного объема речной воды (например, с 1 м^3) так же необратим, как необратимо разбавление речной воды по мере ее прохождения через эстуарий. Поэтому случаи локального роста концентрации фосфатов в этом объеме при перемещении его вниз по течению, когда формальный расчет дает «отрицательную продукцию», интерпретированы как преобладание деструкции. На таких участках удельную урожайность b обнуляли путем добавления в уравнении (1) к наблюдаемой концентрации C_i величины $C_{i\text{-recycling}}$, обусловленной деструкцией. Соответственно, на таких участках, где преобладала деструкция, вместо величины удельной урожайности определяли величину удельной деструкции:

$$\begin{aligned} b_i = 0 &= R (C_{i\text{potential}} + C_{i\text{-recycling}} - C_i), \\ d_i &= R C_{i\text{-recycling}} \text{ [гС/м}^3 \text{]}. \end{aligned} \quad (3)$$

Суммарная величина деструкции органического вещества из единичного объема речной воды к моменту достижения им станции i с учетом разбавления может быть определена аналогично определению урожая органического вещества из единичного объема речной воды по уравнению (2).

Основным показателем первичной продукции в данной работе является удельная продукция эстуария на единицу его протяженности:

$$p = \frac{Y_i - Y_{i-1}}{L_i - L_{i-1}} \mu_i \text{ [гС/м}^3 \text{км]}, \quad (4)$$

где p — удельная продукция; $L_i - L_{i-1}$ — расстояние между станцией i и расположенной выше по течению станцией $i-1$; Y_i — урожай органического вещества с кубометра речной воды до станции i ; Y_{i-1} — урожай органического вещества с кубометра речной воды до станции $i-1$; μ_i — доля речной воды на станции i .

Необходимым условием для такого расчета является монотонное убывание доли речной воды при движении вниз по течению, т.е. увеличение солености от реки к морю. Если известна скорость прохождения водой эстуария, этот показатель продукции может быть пересчитан в размерность гС/м³сут, однако для эстуариев рек Уда и Усалигин скорость течения неизвестна.

По вышеописанной методике оцениваются величины продукции, основанной на утилизации как терригенных фосфатов, принесенных в эстуарий речной водой, так и минерализованных в эстуарии фосфатов (фосфаты рециклинга). Предполагается, что в зону эстуария органическое вещество поставляется только с речным стоком, в отличие от фосфатов, которые поставляются также из глубинных морских вод — этот поток учитывается при расчете потенциальных концентраций и из расчета продукции речных вод исключен. Однако при нашем расчете не учитывается возможность неоднократного рециклинга за время прохождения речной водой эстуария, из-за чего оценки деструкции и «продукции рециклинга» могут быть завышенными, особенно для мористой периферии эстуария. Завышение оценки продукции рециклинга может происходить также, если часть минерализующегося в эстуарии органического вещества ранее была синтезирована на основе нетерригенных (глубинных морских) фосфатов.

Результаты и их обсуждение

Распределение солёности. На обоих разрезах вдоль эстуариев при переходе от реки к морю солёность на поверхности быстро увеличивалась до значений $\sim 25\text{‰}$, которые в эстуарии р. Усальгин наблюдались в 30–40 км от бара реки, а в эстуарии более крупной р. Уда — в 60–70 км от бара (рис. 2). При дальнейшем удалении от берега значения солёности продолжали возрастать, но медленнее и, по-видимому, вне зависимости от влияния этих конкретных рек, поэтому районы исследования в данной работе условно ограничены изохалиной 25‰ .

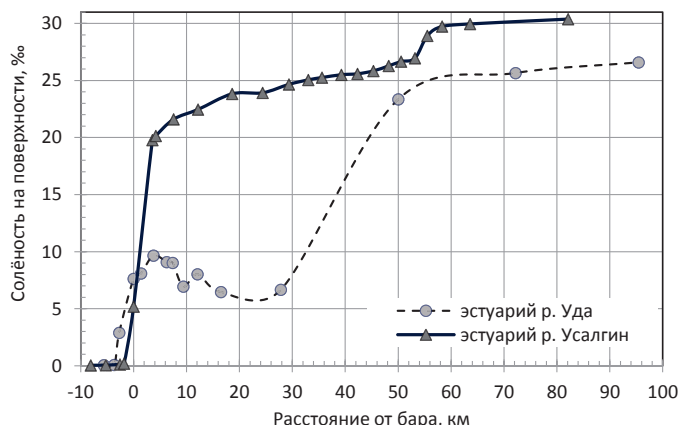


Рис. 2. Изменения солёности от реки к морю на поверхности эстуариев рек Уда и Усальгин

Fig. 2. Change of salinity from the rivers to the open sea at the surface of the Uda and Usalgin estuaries

На разрезе р. Усальгин — зал. Николая в эти пределы вошли 13 станций, расположенных на участке протяженностью 41 км (8 км по реке и 33 км по морю), а на разрезе р. Уда — Удская губа — 14 станций, расположенных на участке протяженностью 77 км (5 км по реке и 72 км по морю). При этом на карте расположения станций (см. рис. 1) в районе исследований видно, что так называемые речные станции расположены и за пределами устья р. Уда (в кутовой части Удской губы), и за пределами устьевового створа р. Усальгин (в кутовой части зал. Николая). Так, на дистанции 10–30 км от устья р. Уды наблюдалась обширная область с очень низкой солёностью ($6,6\text{--}8,0\text{‰}$) и относительно высокими концентрациями биогенных элементов (фосфаты до $0,3\text{ мкг/л}$). В условиях высокого расхода рек почти вся толща воды выше бара в обеих реках была занята пресной речной водой, а типичная для внутренних эстуариев стратификация с солоноватым клином у дна наблюдалась лишь с мористой стороны от бара (рис. 3). Внешний эстуарий р. Усальгин отличался слабой стратификацией вод, очевидно, вследствие сильного приливного перемешивания.

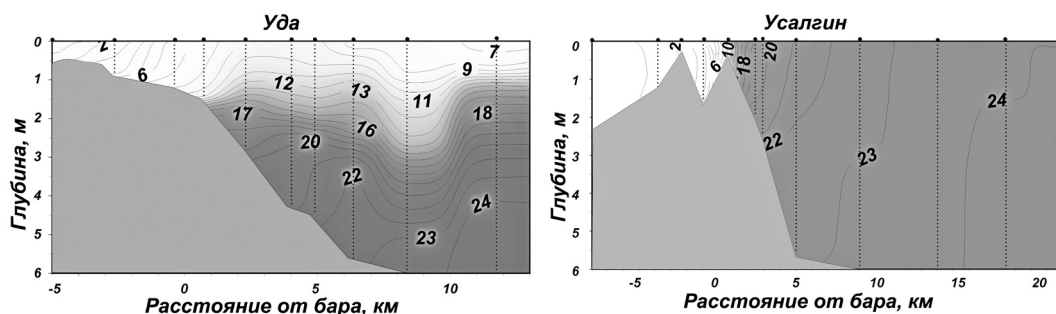


Рис. 3. Распределение солёности (‰) на разрезах вдоль эстуариев рек Уда и Усальгин.

Выделены зоны внутреннего эстуария

Fig. 3. Salinity (‰) at the sections along the Uda and Usalgin estuaries

Реальные и потенциальные концентрации фосфора. По результатам TS-анализа, в эстуариях рек Уда и Усалгин вклад речных вод в смешанной эстуарной воде убывал при перемещении от реки к морю от 100 практически до 0 %, а вклад подповерхностных морских вод возрастал соответственно изменению доли этих водных масс в смеси (рис. 4). В эстуарии р. Усалгин доля речных вод на поверхности стремилась к нулевым значениям на расстоянии 8 км от бара, а в эстуарии р. Уда — в 45–50 км от бара реки.

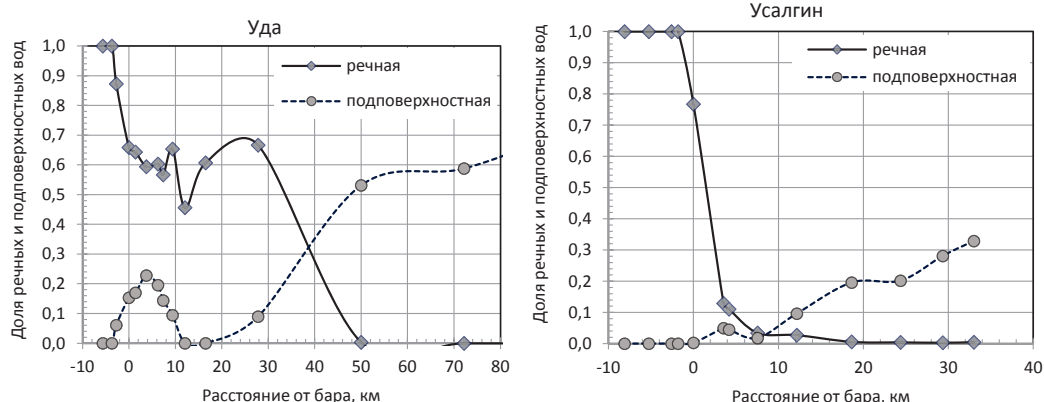


Рис. 4. Изменение от реки к морю доли речных и подповерхностных морских вод в смешанной эстуарной воде на поверхности эстуариев рек Уда и Усалгин

Fig. 4. Portions of the river freshwater and subsurface seawater in the mixed estuarine water at the surface of the Uda and Usalginsk estuaries, from the rivers to the open sea

Потенциальные концентрации фосфора в эстуариях, обусловленные только разбавлением речной воды морскими водами, были определены исходя из соотношения водных масс в смеси и следующих предполагаемых концентраций фосфора в ядрах этих водных масс:

$$\begin{aligned} C_{\text{р-Усалгин}} &= 1,6 \text{ мкМ/л}, C_{\text{р-Уда}} = 1,1 \text{ мкМ/л}, \\ C_{\text{р-подповерх. зал. Николая}} &= 1,6 \text{ мкМ/л}, C_{\text{р-подповерх. Удская губа}} = 0,6 \text{ мкМ/л}. \end{aligned}$$

Концентрация фосфора в ядре поверхностной морской водной массы принята нулевой, так как летом в этой водной массе происходит потребление, а не минерализация биогенных элементов.

Фактически во внутренних частях эстуариев рек Усалгин и Уда концентрации фосфора растут вниз по течению (рис. 5, 6), причем очень резко, возрастая на коротком участке нижнего течения рек протяженностью несколько километров более чем

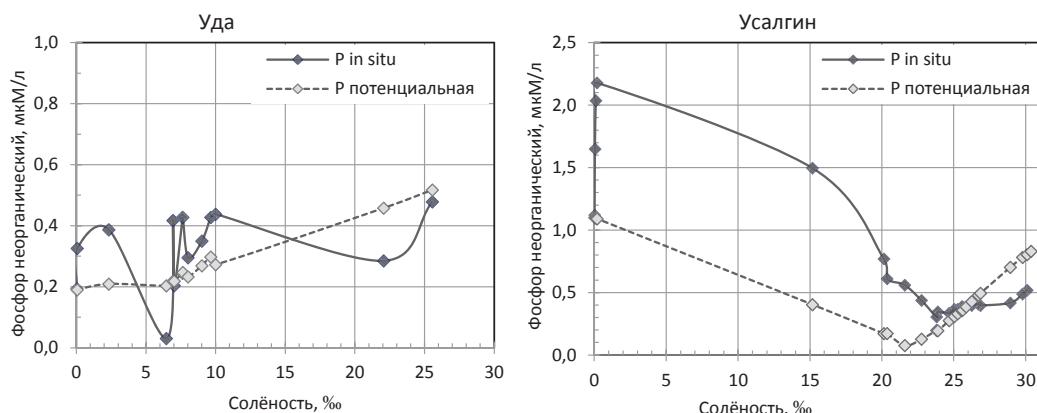


Рис. 5. Изменение от реки к морю потенциальных и реальных концентраций фосфора на поверхности эстуариев рек Уда и Усалгин по градиенту солёности

Fig. 5. Potential and factual concentration of phosphorus at the surface of the Uda and Usalginsk estuaries, by salinity gradient from the rivers to the open sea

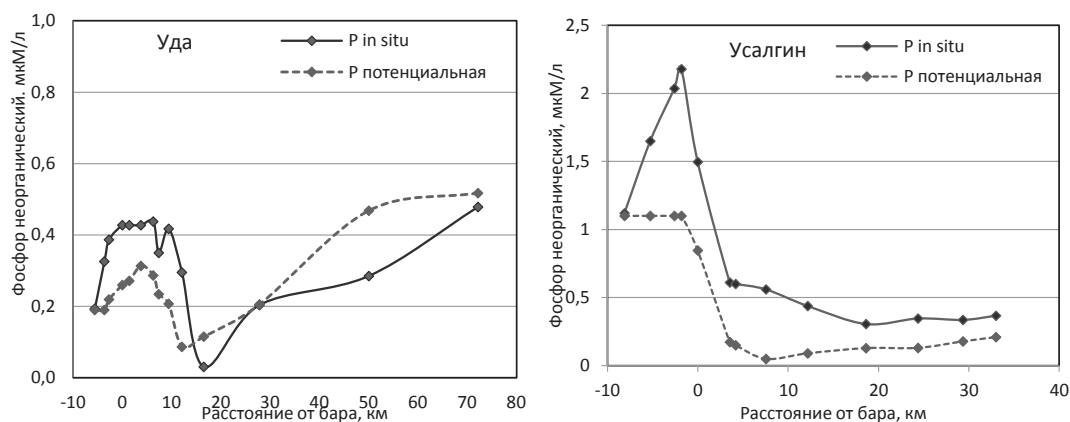


Рис. 6. Изменение от реки к морю потенциальных и реальных концентраций фосфора на поверхности эстуариев рек Уда и Усалгин, по протяженности разрезов

Fig. 6. Potential and factual concentration of phosphorus at the surface of the Uda and Usalgin estuaries, by distance along the transects from the rivers to the open sea

вдвое (соответственно от 1,0 до 2,2 и от 0,2 до 0,4 мкМ/л), что указывает на активные процессы деструкции органического вещества. Во внешних частях обоих эстуариев концентрации фосфора в целом снижаются (соответственно от 0,6 до 0,3 и от 0,4 мкМ/л практически до нуля) и постепенно приближаются к потенциальным значениям, что является признаком преобладания продукционных процессов. Однако в обоих эстуариях отмечена еще одна зона преобладания деструкции, когда фактическая концентрация фосфора вновь немного возрастает относительно потенциальных значений — она находится на внешней периферии эстуариев при солёности 20–25 ‰.

Локализация продукции и деструкции в эстуариях. По мере прохождения речной водой эстуария содержащиеся в ней терригенные фосфаты используются для фотосинтеза, соответственно, возрастает урожай органического вещества с 1 м³ речной воды (рис. 7). Участки преобладания продукции с резким ростом урожая в эстуарии р. Усалгин локализуются в районе бара (где урожай возрастает от 0,0 до 0,3 гС), в 8–12 км мористее бара (от 0,3 до 2,7 гС) и на внешней кромке эстуария, примерно в 30 км от бара (до 4,2 гС). В эстуарии р. Уда для расчета урожая речных вод использованы только данные, полученные в один день (для избежания искажений, связанных с приливной адвекцией); согласно этим данным, ограниченной приустьевой областью, зона роста урожая органического вещества была локализована в 6–8 км от бара, где урожай увеличился до 0,3 гС.

Поскольку на протяжении эстуария р. Усалгин доля речной воды в смешанной эстуарной воде последовательно уменьшалась, урожай и суммарная деструкция органического вещества с 1 м³ речной воды возрастали монотонно, есть возможность оценить скорость продукции и деструкции на единицу протяженности эстуария (рис. 8). На графике этих показателей, помимо упомянутой основной зоны продукции во внешнем эстуарии, хорошо виден еще и небольшой участок преобладания продукции (до +0,12 гС/м³км) в районе бара, а также обширные зоны деструкции, занимающие как большую часть внутреннего эстуария (до бара и сразу после бара), так и часть внешнего эстуария, при этом в районе бара скорость деструкции достигает 0,23 гС/м³км, а в 8–12 км от бара — 0,17 гС/м³км. На том небольшом участке эстуария р. Уда, где данные были получены в один день, что обеспечило последовательное увеличение солёности на поверхности эстуария, во внутреннем эстуарии наблюдалось преобладание деструкции (до –0,09 гС/м³км), а во внешнем эстуарии преобладала продукция (до +0,03 гС/м³км) (рис. 9). Удельные величины и деструкции, и продукции в эстуарии р. Уда значительно ниже, чем в эстуарии р. Усалгин.

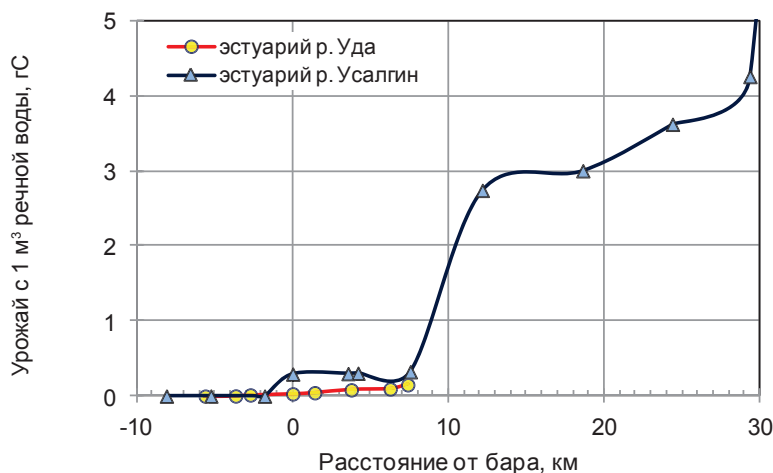


Рис. 7. Накопление урожая органического вещества с 1 м³ воды рек Уда и Усалин на разрезах вдоль оси их эстуариев (расчет произведен только для части эстуария р. Уда, где процесс разбавления речной воды не искажен приливной адвекцией)

Fig. 7. Accumulation of organic matter yielded from 1 m³ of the Uda and Usalgin Rivers freshwater on the sections along their estuaries (the yield is calculated for a part of the Uda estuary where the freshwater mixing with the seawater is not distorted by tidal advection)

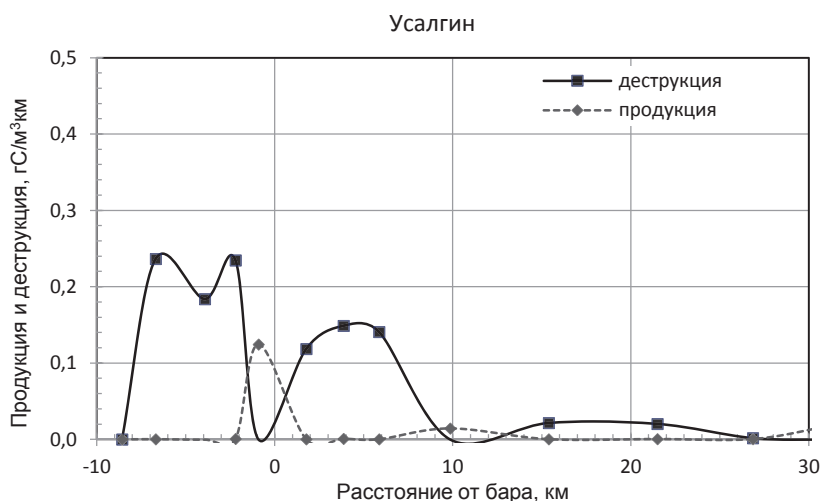


Рис. 8. Минимальные оценки удельной продукции и деструкции (по фосфору) эстуарных вод при прохождении ими 1 км вдоль оси эстуария р. Усалин

Fig. 8. The minimal estimations of net production and degradation of organic matter in the estuarine water (recalculated from phosphorous units) per 1 km of the water track along the Usalgin estuary

В реках южного Приморья, где продукционно-деструкционный баланс исследовался ранее [Важова, Зуенко, 2015], зона внутреннего эстуария хорошо выражена по наличию у дна реки клина солоноватых вод, а внешний эстуарий отделяется от прибрежных морских вод поверхностным эстуарным фронтом. В макроприливых эстуариях рек Уда и Усалин воды либо полностью перемешаны от поверхности до дна, либо наблюдается лишь слабая стратификация, а распределение термохалинных и гидрохимических показателей в мористой части очень подвижно под действием приливной адвекции (см. рис. 3). К тому же в период съемки на реках наблюдался паводок, оценки расходов рек (4390 м³/с для р. Уды и 173 м³/с для р. Усалин) значительно превышали их среднегодовое расходы в июле — соответственно 1600 и 41 м³/с [Семкин и др., 20206]. Поэтому структура вод в исследованных эстуариях существенно отличалась от структуры вод, известной для эстуариев рек южного Приморья. Так, судя

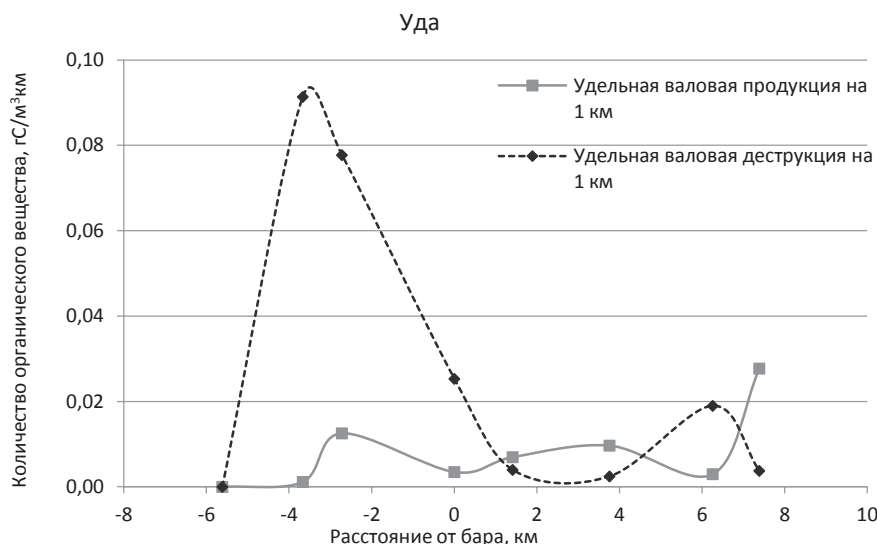


Рис. 9. Минимальные оценки удельной продукции и деструкции (по фосфору) эстуарных вод при прохождении ими 1 км вдоль оси эстуария р. Уда

Fig. 9. The minimal estimations of net production and degradation of organic matter in the estuarine water (recalculated from phosphorous units) per 1 km of the water track along the Uda estuary

по распределению солёности, зона внутреннего эстуария (где пресные речные воды подстилаются солоноватыми) у обеих рек располагалась с мористой стороны от бара, а все речное русло было занято только речными водами. Несмотря на такие различия, наиболее общие закономерности локализации продукционно-деструкционных процессов оказались свойственны и исследованным эстуариям, при ряде существенных местных особенностей.

Прежде всего привлекает внимание то, что в эстуариях рек Уда и Усалин концентрация фосфора на поверхности моря при удалении от устья рек не убывает, как следовало бы ожидать при смешении богатых биогенными элементами речных вод с бедными поверхностными морскими, а увеличивается из-за возрастающего влияния подповерхностных морских вод в условиях мощного приливного перемешивания. Поэтому график зависимости потенциальной концентрации фосфора от солёности не является прямой нисходящей линией, которая обычно анализируется в эстуарных исследованиях [например: Савенко, 2018], а имеет V-образную форму (см. рис. 5). Восходящая ветвь кривой отражает растущий вклад подповерхностных морских вод, который компенсирует убывающий вклад речных вод. В эстуарии р. Уда, где значительное влияние подповерхностных вод прослеживается уже в районе бара и еще более увеличивается мористее, представлена только правая часть V-образной кривой. В нашем исследовании эстуарных процессов, целью которых является оценка влияния именно материкового стока, вклад глубинных вод — это «шум», который искажает искомые результаты. Но удаление этого вклада из рассмотрения с использованием TS-анализа приводит динамику изменений концентрации фосфора в норму.

Основной закономерностью локализации продукционно-деструкционных процессов, которая проявилась и в исследованных эстуариях рек бассейна Охотского моря, является преобладание деструкции во внутренних частях эстуариев и продукции — в их внешних частях. Важно отметить, что все указанные процессы рассматриваются только в самом верхнем фотическом слое (на поверхности эстуариев). Признаками активной деструкции во внутренних эстуариях рек Уда и Усалин, помимо резкого роста концентрации неорганического фосфора, являются высокие концентрации общего фосфора за счет его органических форм и относительно высокие значения парциального

давления углекислого газа и AOU (apparent oxygen utilization — кажущееся поглощение кислорода) [Семкин и др., 2020a]. О высокой продуктивности внешних частей обоих эстуариев свидетельствуют как снижение концентрации фосфора, с постепенным приближением к потенциальным значениям, так и высокие концентрации хлорофилла *a*, высокий pH, пониженные значения парциального давления углекислого газа и отрицательные величины AOU, т.е. избыточное насыщение воды кислородом [Семкин и др., 2020a]. Экстремальные значения этих показателей в эстуарии р. Уда отмечены в диапазоне солености 5–10 ‰, в эстуарии р. Усалгин — 5–12 ‰.

Особенность обоих эстуариев — еще одна зона преобладания деструкции на их внешней периферии при солености 20–25 ‰, где фактическая концентрация фосфора вновь немного возрастает относительно потенциальных значений, а также снижается парциальное давление углекислого газа и AOU и увеличивается pH [Семкин и др., 2020a]. Для эстуариев рек южного Приморья такая зона не была отмечена, возможно потому, что не была исследована их дальняя внешняя периферия, но в принципе ее следовало бы ожидать, так как продуцируемое во внешней эстуарии органическое вещество должно где-то утилизироваться. С другой стороны, процессы деструкции на внешней периферии эстуариев, строго говоря, не являются эстуарными, поскольку там утилизируется органическое вещество нетерригенного происхождения, синтезированное в морских частях эстуариев. Значительная часть фосфатов в этой зоне, по-видимому, высвобождается в процессе минерализации органического вещества донных отложений, которые в условиях сильного приливного перемешивания взмучиваются [Савенко, 2018]. Аккумуляция органического вещества в донных отложениях — типичное явление как для внутренней зоны эстуариев, где происходят флокуляция и седиментация органического вещества, содержащегося в речной воде, так и для высокопродуктивной внешней зоны, где осаждается новообразованное органическое вещество [Лисицын, 1994].

Поскольку на протяжении эстуария р. Усалгин вклад речной воды в смесь эстуарной воды последовательно уменьшается от реки к морю, а урожай и суммарная деструкция органического вещества с 1 м³ речной воды возрастают монотонно, удалось оценить скорость продукции и деструкции на единицу протяженности эстуария (рис. 8). На протяжении эстуария знак продукционно-деструкционного баланса неоднократно менялся, чего не наблюдалось в эстуариях рек южного Приморья и других рек. По-видимому, лишь в первой зоне деструкции во внутреннем эстуарии, характерной для всех эстуариев мира [McLusky, Elliott, 2004], разлагается органическое вещество, поступающее с речной водой. В последующих же вниз по течению зонах преобладания деструкции, находящихся за пределами речного русла, разлагается органическое вещество, аккумулированное в донных отложениях вершины зал. Николая. Особенностью химического состава вод р. Усалгин является относительно высокое содержание гуминовых веществ, а также общее высокое содержание органического вещества (до 23 мгС/л), предположительно по причине большой заболоченности водосбора реки с обширными торфяниками [Семкин и др., 2020б]. По-видимому, из-за этой особенности переносимая рекой органика не разлагается полностью во внутреннем эстуарии, а в значительных количествах выносится в вершину зал. Николая, где оседает на дно эстуария и там разлагается окончательно, поставляя реминерализованные биогенные элементы в поверхностный слой внешнего эстуария.

Наблюдаемое в верхней части внешнего эстуария р. Усалгин преобладание продукции (до +0,22 гС/м³км) также типично для всех эстуариев [Лисицын, 1994]. Локализация зоны преобладания продукции в этом месте обусловлена осветлением речной воды после осаждения во внутреннем эстуарии загрязняющих ее минеральной взвеси и органических веществ. Но в условиях активного разложения органического вещества, сложившихся в вершине зал. Николая, деструкция преобладает и на части внешнего эстуария, разделив высокопродуктивную зону на участки в районе бара и

в 8–12 км от бара. Из-за чрезвычайно активной деструкции (до $-0,23$ гС/м³км выше бара, до $-0,17$ гС/м³км ниже бара) количество минерального фосфора, регенерированного в эстуарии, превышает количество фосфора, приносимого рекой, поэтому в зонах преобладания продукции органическое вещество синтезируется в основном на основе реминерализованных в эстуарии, а не терригенных фосфатов. Это дает существенную прибавку к продукции эстуария, вследствие чего эстуарий р. Усалгин отличается очень высокой продукцией, основой которой на 9/10 является рециклинг. Этот феномен подтверждается и высокими концентрациями феофитина и хлорофилла *a* в водах эстуария р. Усалгин [Семкин и др., 2020a]. Хотя во внешней эстуарии этой реки величины удельной продукции и деструкции эстуарных вод гораздо ниже, чем во внутренней его части и в районе бара, именно в морской части эстуария производится большая часть органического вещества, с учетом большой площади внешнего эстуария, на которой распределяется речная вода. Мощный рециклинг в эстуарии р. Усалгин стал причиной формирования нескольких чередующихся зон преобладания продукции и деструкции, что нехарактерно для других исследованных эстуариев, где наблюдается лишь одна зона преобладания деструкции во внутренней эстуарии и одна зона преобладания продукции во внешней эстуарии [Важова, Зуенко, 2015].

К сожалению, точно локализовать участки преобладания продукции и деструкции в пространственных координатах удалось только для эстуария р. Усалгин. На большей части эстуария р. Уда в период наблюдений процесс постепенного разбавления речной воды от реки к морю был искажен приливной адвекцией. Поэтому для эстуария р. Уды процессы продукции и деструкции не могут быть локализованы в географических координатах (по протяжению разреза от реки к морю), хотя в гидрологических координатах (по градиенту солености) отмечаются те же основные закономерности, что и в других эстуариях мира [McLusky, Elliott, 2004].

Результаты наших расчетов продукционно-деструкционного баланса по распределению фосфатов в эстуариях двух рек, впадающих в Охотское море, согласуются с выводом, сделанным на основе всей совокупности гидрохимических данных, полученных экспедицией 2016 г. [Семкин и др., 2020a], что высокие концентрации растворенного органического вещества, поступающего с водосборных бассейнов рек Уда и Усалгин, обеспечивают благоприятные условия для высокой биопродуктивности эстуариев этих рек, при этом раскрывают химические механизмы высокой продуктивности и позволяют сделать количественные оценки продукции и деструкции органического вещества.

Заключение

Анализ локализации зон преобладания продукции и деструкции органического вещества в эстуариях рек Уда и Усалгин, впадающих в заливы Охотского моря в районе Шантарского архипелага, выявил как типичные для приливных эстуариев черты пространственных изменений продукционно-деструкционного баланса, так и особенности, обусловленные местными условиями. По неконсервативному изменению фосфатов в обоих исследованных эстуариях отмечена смена знака продукционно-деструкционного баланса от деструкции во внутренних частях эстуариев к продукции в верхних частях внешних эстуариев. Поскольку это явление отмечается разными исследователями для эстуариев рек разных типов, находящихся в разных климатических зонах, очевидно, оно является типичным для эстуариев вообще.

Вместе с тем расчеты показывают, что в эстуарии р. Усалгин существует еще одна мощная зона преобладания деструкции, расположенная в его внешней части, которая разделила надвое высокопродуктивную мористую зону. Активная деструкция не только во внутренней эстуарии, но и на части внешнего эстуария р. Усалгин обусловлена массовым поступлением органических веществ с водами этой реки, дренирующей заболоченную местность, а также орографическими условиями зал. Николая, куда впадает река, способствующими аккумуляции органических отложений в вершине

залива, где они разлагаются. Это дает существенную прибавку к продукции эстуария, вследствие чего эстуарий р. Усалин отличается очень высокой продукцией, основой которой (по расчетам на 9/10) является рециклинг. В эстуарии р. Уда вторая, мористая, зона деструкции выражена слабее, но также прослеживается.

Новые данные подтвердили авторскую концепцию, ранее [Важова, Зуенко, 2015] сформулированную на основе результатов исследования продукционно-деструкционного баланса в эстуариях рек южного Приморья, что благодаря пространственной разобщенности участков преобладания продукции и деструкции органического вещества эстуарии являются одновременно и маргинальными фильтрами, задерживающими терригенные биогенные вещества (в частности, фосфаты), преобразуя их в первичную продукцию, и «фабриками биогенов», поставляющими минерализованные биогенные элементы в морские экосистемы. Основная граница, разделяющая зоны преобладания продукции и деструкции в эстуариях, проходит примерно по изохалинам 8–12 ‰, что в целом согласуется с известным в морской экологии понятием первой зоны критической солености и представлениями о нелинейности биологических процессов по градиенту солености с резким изменением их скоростей (или даже направления) в узком соленостном диапазоне [Хлебович, 1974; Telesh, Khlebovich, 2010].

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Коллектив авторов выражает глубокую благодарность сотрудникам лаборатории гидрохимии ФГБУН Тихоокеанского океанологического института им. В. И. Ильичева ДВО РАН (ТОИ ДВО РАН), принимавшим участие в сборе образцов проб воды и их лабораторном анализе, использованных в подготовке материалов для данной статьи.

The authors are deeply grateful to the researchers of Hydrochemistry Lab. of the Pacific Oceanological Institute who collected and analyzed the water samples and whose results were used in the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с животными в качестве объектов.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

The article does not concern to animal studies.

The authors declare that they have no conflict of interest

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования — Ю.И. Зуенко, А.С. Курносова; проведение лабораторных анализов — М.Г. Швецова; расчеты, написание статьи, рисунки — А.С. Курносова; редакторская правка — Ю.И. Зуенко.

Research concept — Yury Zuenko and Anna Kurnosova; laboratory analysis — Maria Shvetsova; data processing, text writing, figures — Anna Kurnosova; text editing — Yury Zuenko.

Список литературы

Важова А.С. Влияние структуры вод и особенностей продукционно-деструкционных процессов в эстуариях на структурно-функциональные характеристики биоценозов // Проблемы региональной экологии. — 2019. — № 3. — С. 14–22. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-13014.

Важова А.С., Зуенко Ю.И. Оценка первичной продукции в эстуариях рек Раздольная и Суходол (залив Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 182. — С. 132–143. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-182-132-143.

- Винберг Г.Г.** Первичная продукция водоемов : моногр. — Минск : АН БССР, 1960. — 329 с.
- Гордеев В.В.** Геохимия системы река–море : моногр. — М. : ИП Матушкина И.И., 2012. — 452 с.
- Дмитриев В.В., Боброва О.Н., Грачева И.В. и др.** Мониторинг и моделирование продукционно-деструкционных отношений в водных экосистемах // Успехи соврем. естествознания. — 2019. — № 1. — С. 82–87.
- Звалинский В.И., Недашковский А.П., Сагалаев С.Г. и др.** Биогенные элементы и первичная продукция в эстуарии реки Раздольной (Амурский залив Японского моря) // Биол. моря. — 2005. — Т. 31, № 2. — С. 107–116.
- Леонов А.В., Стыгар О.В.** Математическое моделирование процессов биотрансформации органогенных веществ для изучения условий евтрофирования вод поверхностного слоя Каспийского моря // Вод. ресурсы. — 2001. — Т. 28, № 5. — С. 587–605.
- Лисицын А.П.** Маргинальный фильтр океанов // Океанол. — 1994. — Т. 34, № 5. — С. 735–747.
- Мамаев О.И.** Термохалинный анализ вод Мирового океана : моногр. — Л. : Гидрометеоздат, 1987. — 296 с.
- Михайлов В.Н.** Гидрологические процессы в устьях рек : моногр. — М. : ГЕОС, 1997. — 176 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 18 : Дальний Восток. Вып. 2 : Нижний Амур (от с. Помпеевки до устья) / под ред. А.П. Муранова.** — Л. : Гидрометеоздат, 1970. — 592 с.
- Рыжаков А.В., Степанова И.А.** Оценка скорости потребления минерального фосфора в природных водах с использованием ингибиторов щелочной фосфатазы // Экол. химия. — 2016. — Т. 25, № 3. — С. 172–175.
- Савенко А.В.** Типы распределения растворенных форм химических элементов в устьевых областях рек // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. — 2018. — № 2. — С. 53–59.
- Семкин П.Ю., Тищенко П.Я., Тищенко П.П. и др.** Параметры карбонатной системы и растворенный органический углерод эстуариев рек Уда и Усалин (Охотское море) в летний сезон // Тр. ГОИ. — 2020а. — Т. 221. — С. 195–210.
- Семкин П.Ю., Тищенко П.П., Тищенко П.Я. и др.** Характеристика продукционно-деструкционных процессов в эстуариях рек Уда и Усалин (Охотское море) в период летнего паводка // Вестн. ДВО РАН. — 2020б. — № 2. — С. 88–96. DOI: 10.37102/08697698.2020.210.2.011.
- Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Шулькин В.М. и др.** Комплексные исследования прибрежных акваторий Японского и Охотского морей, находящихся под влиянием речного стока (71-й рейс научно-исследовательского судна «Профессор Гагаринский») // Океанол. — 2018. — Т. 58, № 2. — С. 340–342. DOI: 10.7868/S5003957418020193.
- Хлебович В.В.** Критическая соленость биологических процессов : моногр. — Л. : Наука, 1974. — 235 с.
- Correll D.L., Faust M.A., Severn D.J.** Phosphorus flux and cycling in estuaries // Estuarine research: chemistry, biology, and the estuarine system. — N.Y. : Acad. Press, 1975. — Vol. 1. — P. 108–136.
- Doering P.H., Oviatt C.A., Nowicki B.L. et al.** Phosphorus and nitrogen limitation of primary production in a simulated estuarine gradient // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 1995. — Vol. 124. — P. 271–287.
- Howarth R.W., Chan F., Swaney D.P. et al.** Role of external inputs of nutrients to aquatic ecosystems in determining prevalence of nitrogen vs. phosphorus limitation of net primary productivity // Biogeochemistry. — 2021. — Vol. 154. — P. 293–306. DOI: 10.1007/s10533-021-00765-z.
- Lee Z.P., Carder K.L., Marra J. et al.** Estimating primary production at depth from remote sensing // Applied Optics. — 1996. — Vol. 35, Iss. 3. — P. 463–474.
- Liss P.S.** Conservative and non-conservative behavior of dissolved constituents during estuarine mixing // Estuarine Chemistry. — L. : Acad. Press, 1976. — P. 93–130.
- Marra J., Trees C.C., O'Reilly J.E.** Phytoplankton pigment absorption: A strong predictor of primary production in the surface ocean // Deep-Sea Res. I. — 2007. — Vol. 54, Iss. 2. — P. 155–163.
- McLusky D.S., Elliott M.** The Estuarine Ecosystem: ecology, threats and management, 3rd edn. — Oxford : OUP, 2004. — 216 p.
- Redfield A.C., Ketchum B.H., Richards F.A.** The Influence of organisms on the composition of sea-water // The Sea. — 1963. — Vol. 2. — P. 26–77.
- Telesh I.V., Khlebovich V.V.** Principal processes within the estuarine salinity gradient: A review // Mar. Poll. Bull. — 2010. — Vol. 61, Iss. 4–6. — P. 149–155. DOI: 0.1016/j.marpollbul.2010.02.008.

References

- Vazhova A.S.** Effect of water structure and characteristics of the production-destructive processes in estuaries on structural and functional characteristics of biocenoses, *Problemy regional'noy ekologii*, 2019, no. 3, pp. 14–22. doi 10.24411/1728-323X-2019-13014
- Vazhova, A.S. and Zuenko, Yu.I.**, Evaluation of primary production in the estuaries of the Razdolnaya/Suifen and Sukhodol Rivers (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 182, no. 3, pp. 132–143. doi 10.26428/1606-9919-2015-182-132-143
- Vinberg, G.G.**, *Pervichnaya produktsiya vodoyemov* (Primary production of reservoirs), Minsk: AN BSSR, 1960.
- Gordeev, V.V.**, *Geokhimiya sistemy reka–more* (Geochemistry of the river–sea system), Moscow: IP Matushkina I.I., 2012.
- Dmitriev, V.V., Bobrova, O.N., Gracheva, I.V., Kolodkin, P.A., Primak, E.A., Sedova, S.A., and Chetverova, A.A.**, Monitoring and modeling of production and destruction relations in aquatic ecosystems, *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2019, no. 1, pp. 82–87.
- Zvalinsky, V.I., Nedashkovsky, A.P., Sagalaye, S.G., Tishchenko, P.J., and Shvetsova, M.G.**, Nutrients and primary production in the Estuary of the Razdol'naya River (Amur Bay, Sea of Japan), *Russ. J. Mar. Biol.*, 2005, vol. 31, no. 2, pp. 91–101.
- Leonov, A.V. and Stygar, O.V.**, Mathematical modeling of the processes of biotransformation of organogenic substances to study the conditions of eutrophication of the waters of the surface layer of the Caspian Sea, *Vodnyye resursy*, 2001, vol. 28, no. 5, pp. 587–605.
- Lisitsyn, A.P.**, Marginal filter of the oceans, *Oceanology*, 1994, vol. 34, no. 5, pp. 735–747.
- Mamaev, O.I.**, *Termokhalimnyy analiz vod Mirovogo okeana* (Thermohaline analysis of the waters of the World Ocean), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987.
- Mikhailov, V.N.**, *Gidrologicheskie protsessy v ust'yakh rek* (Hydrological Processes in River Estuaries), Moscow: GEOS, 1997.
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost'. T. 18: Dal'nii Vostok, vyp. 2: Nizhniy Amur (ot s. Pompeyevki do ust'ya)* (Surface Water Resources of the USSR, Hydrological study, vol. 18: Far East, no. 2: Lower Amur (from the village of Pompeevka to the mouth)), Muranova, A.P., ed., Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970.
- Ryzhakov, A.V. and Stepanova, I.A.**, Determination of rate of mineral phosphorus acceptance in natural waters by using of alkaline phosphatase inhibitors, *Ekol. khimiya*, 2016, vol. 25, no. 3, pp. 172–175.
- Savenko, A.V.**, Types of distribution of dissolved components in river mouth areas, *Vestn. Mosk. Gos. Univ., Ser. 5. Geografiya*, 2018, no. 2, pp. 53–59.
- Semkin, P.Yu., Tishchenko, P.Ya., Tishchenko, P.P., Pavlova, G.Yu., Sagalaev, S.G., Khodorenko, N.D., Shvetsova, M.G., and Shkirnikova, E.M.**, Parameters of the carbonate system and dissolved organic carbon in estuaries of Uda and Usalgin Rivers (Okhotsky Sea) in the summer season, *Tr. Gos. Okeanogr. Inst.*, 2020, vol. 221, pp. 195–210.
- Semkin, P.Yu., Tishchenko, P.P., Tishchenko, P.Ya., Pavlova, G.Yu., Sagalaev, S.G., Khodorenko, N.D., Shkirnikova, E.M., and Shvetsova, M.G.**, Characterization of production/destruction processes in the Uda and Usalgin estuaries of the Sea of Okhotsk during the summer flood, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2020, no. 2, pp. 88–96. doi 10.37102/08697698.2020.210.2.011
- Tishchenko, P.Y., Lobanov, V.B., Mel'nikov, V.V., Tsoi, I.B., Semkin, P.Y., Tishchenko, P.P., Bannov, V.A., Belous, O.V., Vasil'eva, L.E., Elovskaya, O.A., Sagalaev, S.G., Fedorets, Y.V., Shul'kin, V.M.**, Comprehensive research of the coastal water area of the Sea of Japan and Sea of Okhotsk under the influence of river runoff (cruise 71 of the R/V professor Gagarinskii), *Oceanology*, 2018, vol. 58, no. 2, pp. 325–327. doi 10.1134/S0001437018010150
- Khlebovich, V.V.**, *Kriticheskaya solenost' biologicheskikh protsessov* (Critical Salinity of Biological Processes), Leningrad: Nauka, 1974.
- Correll, D.L., Faust, M.A., and Severn, D.J.**, Phosphorus flux and cycling in estuaries, *Estuarine research: chemistry, biology, and the estuarine system*, New York: Acad. Press, 1975, vol. 1, pp. 108–136.
- Doering, P.H., Oviatt, C.A., Nowicki, B.L., Klos, E.G., and Reed, L.W.**, Phosphorus and nitrogen limitation of primary production in a simulated estuarine gradient, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1995, vol. 124, pp. 271–287.
- Howarth R.W., Chan F., Swaney D.P., Marino, R.M. and Hayn, M.**, Role of external inputs of nutrients to aquatic ecosystems in determining prevalence of nitrogen vs. phosphorus limitation of net primary productivity, *Biogeochemistry*, 2021, vol. 154, pp. 293–306. doi 10.1007/s10533-021-00765-z

Lee, Z.P., Carder, K.L., Marra, J., Steward, R.G., and Perry, M.J., Estimating primary production at depth from remote sensing, *Applied Optics*, 1996, vol. 35, no. 3, pp. 463–474.

Liss, P.S., Conservative and non-conservative behavior of dissolved constituents during estuarine mixing, *Estuarine Chemistry*, London: Acad. Press, 1976, pp. 93–130.

Marra, J., Trees, C.C., and O'Reilly, J.E., Phytoplankton pigment absorption: A strong predictor of primary production in the surface ocean, *Deep-Sea Res., Part I*, 2007, vol. 54, no. 2, pp. 155–163.

McLusky, D.S., Elliott, M., *The Estuarine Ecosystem: ecology, threats and management*, Glasgow: Blackie & Son, 1981.

Redfield, A.C., Ketchum, B.H., and Richards, F.A., The Influence of organisms on the composition of sea-water, *The Sea*, 1963, vol. 2, pp. 26–77.

Telesh, I.V. and Khlebovich, VV., Principal processes within the estuarine salinity gradient: A review, *Mar. Poll. Bull.*, 2010, vol. 61, no. 4–6, pp. 149–155. doi 0.1016/j.marpolbul.2010.02.008

Lotsiya Okhotskogo morya (№ 1406). Vyp. 1. Yuzhnaya chast' morya (Pilot of the Sea of Okhotsk (no. 1406). Issue 1. Southern part of the sea), St. Petersburg: GUNIO, 1998.

Поступила в редакцию 13.09.2022 г.

После доработки 8.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

*The article was submitted 13.09.2022; approved after reviewing 8.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022*

**АКВАКУЛЬТУРА
AQUACULTURE**

Научная статья

УДК 639.3.043.2:597.552.511-135**DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-933-945****EDN: KNBJXZ****СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОМБИКОРМОВ
НА РЫБОВОДНЫЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
МОЛОДИ КЕТЫ**

А.Н. Баштовой, К.Г. Павел, Т.Н. Слуцкая, Г.Н. Тимчишина, Е.В. Якуш*
Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Проведен сравнительный анализ рыбоводно-биологических показателей молоди кеты, выращенной на производственно-экспериментальном комбикорме, разработанном ТИНРО, и комбикорме «Aller Aqua» в холодноводных условиях лососевого рыбоводного завода. Установлено, что при одинаковой выживаемости при использовании комбикорма ТИНРО скорость роста рыб ниже, а кормовой коэффициент выше. Показано, что ткани кеты при использовании экспериментального корма ТИНРО содержат больше белков, минеральных веществ и менее обводнены, что может свидетельствовать о более высокой жизнестойкости молоди. Получены данные о влиянии низких температур воды на рыбоводно-биологические показатели молоди.

Ключевые слова: аквакультура, молодь кеты, комбикорма, температура воды, рыбоводные и биохимические показатели

Для цитирования: Баштовой А.Н., Павел К.Г., Слуцкая Т.Н., Тимчишина Г.Н., Якуш Е.В. Сравнительные исследования влияния комбикормов на рыбоводные и биохимические показатели молоди кеты // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 933–945. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-933-945. EDN: KNBJXZ.

* Баштовой Александр Николаевич, кандидат технических наук, заведующий сектором, a.n.bashtovoy@mail.ru, ORCID 0000-0003-1398-3547; Павел Константин Геннадьевич, кандидат химических наук, ведущий специалист, kg.pavel@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1476-9577; Слуцкая Татьяна Ноевна, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, tatyana.slutskaya@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-3228-3047; Тимчишина Галина Николаевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, galina.timchishina@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-8889-8657; Якуш Евгений Валентинович, кандидат химических наук, первый заместитель руководителя филиала, evyakush@mail.ru, ORCID 0000-0001-7837-5943.

© Баштовой А.Н., Павел К.Г., Слуцкая Т.Н., Тимчишина Г.Н., Якуш Е.В., 2022

Original article

Comparative studies of effect of compound feeds on fish-breeding and biochemical properties of juvenile chum salmon

Alexander N. Bashtovoy*, Konstantin G. Pavel, Tatyana N. Slutskaya***, Galina N. Timchishina****, and Evgeny V. Yakush*******

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

* Ph.D., head of sector, a.n.bashtovoy@mail.ru, ORCID 0000-0003-1398-3547

** Ph.D., leading specialist, kg.pavel@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1476-9577

*** D.Tech., professor, principal researcher, tatyana.slutskaya@tinro-center.ru,
ORCID 0000-0002-3228-3047

**** Ph.D., leading researcher, galina.timchishina@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-8889-8657

***** Ph.D., first deputy head of the branch, evyakush@mail.ru, ORCID 0000-0001-7837-5943

Abstract. Effectiveness of starter fodders is examined for the low-temperature rearing pools in the salmon fish hatchery Savushkina (Severo-Kurilsk). In May 2022, the experimental compound feed developed in TINRO was compared with the control fodder Aller Aqua (made in Denmark) when feeding of chum salmon fry. Both fodders complied with the veterinary and sanitary requirements of the Euro-Asian Economic Union in terms of quality and safety. The following fish breeding indices were determined for the experimental/control fodders after 47 days of testing: feeding ratio 0.670/0.467; mean daily gain 1.255/1.547 %; mean final weight 0.630/0.735 g; absolute weight growth 0.287/0.392 g; mortality (survival) 0.50 (99.50)/0.48 (99.52) %. Increasing of the water and minerals content and noticeable decreasing of the protein and fat content were detected in tissues of the control samples of fry by comparative biochemical analysis before and after the testing, whereas the content of protein and minerals had increased in tissues of the experimental samples. Thus, suitability and effectiveness of the experimental starter fodder for rearing of juvenile chum salmon in the low-temperature environment is proven by combination of several indices. To intensify the weight gain of juveniles, the experiments will be continued to adjust the composition of mixed feed for juvenile chum salmon in the cold-water conditions, with a principal restriction of the growth intensifiers (hormones) use. The starter compound feed developed in TINRO is recommended for using in rearing of chum salmon fry.

Keywords: aquaculture, juvenile chum salmon, compound feed, fish breeding, biochemical test

For citation: Bashtovoy A.N., Pavel K.G., Slutskaya T.N., Timchishina G.N., Yakush E.V. Comparative studies on influence of compound feeds on fish-breeding and biochemical properties of juvenile chum salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 933–945. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-933-945. EDN: KNBXJZ.

Введение

В Российской Федерации успешно развивается промышленное заводское разведение тихоокеанских лососей, основой которого является подращивание молоди (в основном кеты) в определенных условиях, одним из которых является обеспечение рыбопроизводных заводов физиологически полноценными кормами, которые соответствуют пищевым потребностям рыб и способствуют ускорению их роста, развития и повышению жизнестойкости. Несмотря на то что имеется ряд работ, посвященных биологическим основам кормления рыб, в том числе молоди тихоокеанских лососей [Гамыгин, 1987; Валова, 1999; Пономарев и др., 2010; Остроумова, 2012; Грозеску, 2016; Марковцев и др., 2016], не существует единого технологического подхода к составу, способам получения, а также обеспечению безопасности и эффективности стартовых комбикормов. Дополнительно к этому проявляется влияние и различных факторов биотехники выращивания: технического оснащения, освещенности, качества и температуры воды. Поскольку рыбопроизводные заводы Дальнего Востока находятся в разных климатических зонах, можно полагать, что при подращивании молоди лососей это может влиять на их рыбоводно-биологические показатели.

Целью настоящей работы является оценка эффективности применения стартовых комбикормов производства ТИНРО при подращивании молоди кеты в условиях низкой температуры воды на лососевом рыбоводном заводе (ЛРЗ) «Савушкина» (г. Северо-Курильск).

Материалы и методы

Исследования проводились в выростных бассейнах в период с 7 мая по 22 июня 2022 г.

Объектом исследований являлась молодь кеты, выращенная на разных кормах. Использовали комбикорм ТИНРО (экспериментальный), изготовленный по ТУ 10.91.10-388-35313404-2021, и смесь комбикормов «Aller Aqua futura ex gr» и «Aller Aqua infa ex gr» (контрольный). Эксперимент проводили на кете *Oncorhynchus keta* после поднятия личинок «на плав».

Комбикорм ТИНРО включает в себя следующие компоненты: мука рыбная, мука пшеничная, сухое молоко, дрожжи кормовые, масло растительное, премикс, витамины. Компоненты комбикорма Aller Aqua: рыбная и крилевая мука, пшеничный глютен, пшеница и пшеничная клейковина, рыбный жир, витамины, премиксы и минералы, иммуностимулятор.

Кормление личинок начинали при резорбции желточного мешка на 30–50 %.

Личинок кеты после поднятия «на плав» рассаживали в три выростных бассейна, водоподачу осуществляли из руслового потока р. Савушкина с применением оксигенации.

В варианте с экспериментальным кормом общее количество личинок на начало кормления в двух бассейнах составляло 938,1 тыс. шт., в контрольном — 469,1 тыс. шт.

Суточный рацион кормления рассчитывали с учетом 2 % отхода (до 190 шт./сут) за период подращивания. Отход молоди фиксировали ежедневно перед утренним кормлением.

Для поддержания необходимого содержания кислорода в воде (80–95 %) [Тарасюк, Тарасюк, 2010] с 7 мая уровень воды в бассейнах был установлен на отметке 45 см, скорость водообмена составила 180 л/мин, плотность посадки 17,4 тыс. шт./м³.

С 11 мая уровень воды в бассейнах установлен на отметке 90 см, скорость водообмена составила 200–220 л/мин, плотность посадки 8,7 тыс. шт./м³.

При проведении экспериментальных работ по кормлению молоди кеты ежедневно (утром, днем, вечером) измеряли температуру воды и содержание кислорода.

Перед началом работ проведено контрольное взвешивание по 100 экз. личинок кеты из использованных для эксперимента партий.

Для биохимического анализа молодь (50–100 шт.) замораживали при температуре не выше минус 18 °С до кормления и после завершения кормления экспериментальным и контрольным комбикормами.

Морфометрические анализы делали один раз в 5 дней, используя 100 шт. мальков кеты (табл. 1).

Кормовой коэффициент определяли путем деления количества вносимого корма за весь период подращивания на прирост молоди с учетом ее отхода [Щербина, Гамыгин, 2006] по формуле

$$KK = \frac{\sum \text{корма_за_период}}{(W_n - W_o) + W_o_отхода},$$

где W_n — конечная масса молоди, г; W_o — начальная масса молоди, г; $W_o_отхода$ — масса отхода за период, высчитывается по начальной средней массе, г.

Среднесуточный прирост (удельная скорость роста), выраженный в процентах к средней массе за расчетный период, показывает изменение массы рыб за каждые сутки периода кормления [Щербина, Гамыгин, 2006]. Для этого в формулу вводят его продолжительность (n) в сутках:

$$C = \frac{2(W_n - W_o)}{n(W_n + W_o)} \cdot 100.$$

Таблица 1

Схема проведения рыбоводно-биологических испытаний комбикормов для молоди кеты

Table 1

Scheme of fish-breeding and biological tests of compound feeds for chum juveniles

Объект и условия проведения экспериментов		
Комбикорм	Экспериментальный	Контрольный (смесь кормов)
Объект исследования	Молодь кеты	
Средняя начальная масса, г	0,343	
Плотность посадки, шт./м ³ , – начальная – конечная	17400 8700	
Условия содержания молоди: – водообмен, л/мин – начальный – конечный – размер емкостей, см – количество емкостей для каждого варианта опыта	Проточный 180 200–220 150 x 2000 x 90	
	2	1
Нормы кормления	Рассчитываются в зависимости от массы тела рыб и температуры воды [Щербина, Гамыгин, 2006]	
Способ кормления	Ручной	
Условия выращивания (кормления): – температура воды, °С – содержание кислорода в воде, % – периодичность контроля	1,2–8,3 Не менее 80 Ежедневно	
Периодичность контроля биологических показателей: – масса тела – отход	1 раз в 2–5 дней Ежедневно	
Рыбоводные показатели, по которым будет проведена оценка воздействия	Выживаемость (отход), коэффициент изменения массы, среднесуточный прирост, абсолютный прирост, кормовой коэффициент	
Дополнительные исследования	Определение химического состава тканей тела рыб на содержание воды, белка, липидов, минеральных веществ по стандартным методам	

Коэффициент изменения массы (абсолютная скорость прироста массы, г %/сут) рассчитывают по формуле [Щербина, Гамыгин, 2006]:

$$C = \frac{W_n - W_0}{n} \cdot 100.$$

В образцах комбикормов и тканей молоди кеты (рыба целиком) определяли мас-совую долю воды [ГОСТ Р 54951-2012], липидов [ГОСТ 13496.15-97] и минеральных веществ [ГОСТ 32933-2014]. Содержание общего азота (N_{общ}) — по методу Кьельдаля на приборе «Kjeltec 2300» (Foss, Швеция) [ГОСТ 13496.4-93].

Экстракцию липидов проводили по методу Блайя и Дайера [Bligh, Dyer, 1959], массовую долю липидов определяли гравиметрически.

Для определения состава жирных кислот в комбикормах липиды конвертировали в метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК) по известной методике [Cagreau, Dubacq, 1978], затем очищали методом препаративной тонкослойной хроматографии на стек-лянных пластинках с силикагелем (Merck Co. Ltd, Германия, 5 мкм) с использованием системы растворителей бензол : гексан — 7 : 3 в качестве элюента. Газожидкостную хроматографию МЭЖК проводили на хроматографе GC-14B (Shimadzu, Япония) с ис-пользованием капиллярной колонки SupelcowaxTM 10 (30,0 м x 0,32 мм, толщина плен-ки 0,25 мкм, Supelco, США) и пламенно-ионизационного детектора при температуре колонки 190 °С, температуре инжектора и детектора 240 °С. В качестве газа-носителя

применяли гелий со скоростью потока 1 мл/мин и делителем потока 1/60. Идентификацию проводили с использованием индексов удерживания ECL [Christie, 1988].

Содержание отдельных классов липидов определяли методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) на аналитических пластинах «Sorbfil» (ПТСХ-АФ-А-УФ) с использованием системы растворителей гексан : диэтиловый эфир : уксусная кислота — 70 : 30 : 2 (по объему). Хроматограммы проявляли опрыскиванием 10 %-ным спиртовым раствором фосфорно-молибденовой кислоты с последующим нагреванием при 110 °С. Для определения количества отдельных классов липидов отсканированные изображения проявленных хроматограмм обрабатывали с помощью пакета программного обеспечения ImageJ v.1.47 [Laggai et al., 2013].

Общую токсичность определяли по ГОСТ 31674-2012. Перекисное число (ПЧ) жира в комбикормах — по методике, основанной на взаимодействии перекисей, содержащихся в жире, с йодидом калия в присутствии уксусной кислоты с выделением йода, с последующим титрованием раствором тиосульфата натрия [ГОСТ 7636-85; ГОСТ Р 53024-2008; Лазаревский, 1955].

Кислотное число (КЧ) жира в комбикормах устанавливали по известному методу [ГОСТ 7636-85; Лазаревский, 1955].

Содержание токсичных металлов и элементов в образцах определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы «Nippon Jarrell Ach» модель AA-885 [ГОСТ 26927-86, 26929-94, 26930-86, 26932-86, 26933-86, 30178-96, 30538-97]. В качестве атомизатора использовали однощелевую горелку и пламя ацетилен-воздух.

Результаты исследований обрабатывали статистическими методами [Урбах, 1963, 1975; Кенуй, 1979]. Достоверность данных достигали планированием экспериментов, необходимых и достаточных для достижения точности результатов ($P = 0,90-0,95$), при доверительном интервале $\Delta \pm 3-10$ % среднеарифметических значений.

Результаты и их обсуждение

Важным показателем качества искусственных кормов является их химический состав, который позволяет судить о потенциальной биологической ценности рационов. Особое внимание уделяется содержанию в них белка, липидов, углеводов, минеральных компонентов.

Сравнительные исследования показывают (табл. 2), что в производственно-экспериментальном и контрольном комбикормах заявленное и фактическое содержание основных макронутриентов в целом совпадает. Экспериментальный и контрольный комбикорма значительно различаются, особенно по доле белков и углеводов, количество последних почти в три раза выше в образце, изготовленном в ТИНРО.

Химический состав комбикормов, %

Таблица 2

Table 2

Chemical composition of compound feeds, %

Показатель	Комбикорм					
	ТИНРО		Контроль («Aller Aqua»)			
			futura		infa	
	Заявлено	Фактически	Заявлено	Фактически	Заявлено	Фактически
Вода	5,5	5,9	5,0	5,8	5,0	5,3
Белок	40,0	39,3	60,0	60,1	64,0	63,9
Липиды	9,5	9,4	15,0	16,0	8,0	8,3
Минеральные вещества	12,5	12,2	12,6	12,1	12,1	12,0
Углеводы	32,5	33,2	7,4	6,0	10,9	10,5

По литературным данным известно, что с понижением температуры воды интенсивность энергетического обмена у рыб опережает пластический [Эколого-физио-

логические основы..., 1986; Скляр, 2008]; при этом увеличивается их потребность в жире и уменьшается — в белке [Козлов и др., 2004].

Липиды искусственных кормов являются важным источником энергии для рыб, поэтому при оценке состава таких кормов необходимо обращать внимание на содержание полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) ω -3 и ω -6, влияющих на рост и физиологическое состояние молоди лососей. Основными источниками ПНЖК ω -3 (особенно эйкозапентаеновой и докозагексаеновой) в лососевых комбикормах являются такие компоненты, как рыбная мука и рыбный жир, а ω -6 (особенно линолевой) — растительные масла [Сидоров, 1983].

Эффективность использования энергии рациона на рост молоди лососей зависит от соотношения в нем сумм ПНЖК ω -3 и ω -6 ($\Sigma\omega$ -3/ $\Sigma\omega$ -6), которое рекомендуется устанавливать в определенных пределах и учитывать при разработке липидных добавок в искусственные диеты. По литературным данным соотношение $\Sigma\omega$ -3/ $\Sigma\omega$ -6 кислот в отечественных кормах, разработанных для молоди тихоокеанских лососей, составляет 2,2–2,4 [Пономарев, Пономарева, 2003; Баштовой и др., 2017]. Анализируемый показатель в комбикорме ТИНРО — 1,44, «Aller Aqua» — 2,38.

Известно, что насыщенные и мононенасыщенные жирные кислоты могут синтезироваться в организме рыб, источником же полиненасыщенных кислот является только корм [Остроумова, 2012], причем для эффективного роста важно, чтобы сумма ПНЖК линоленового ряда (ω -3) превосходила сумму линолевого (ω -6) [Кальченко и др., 2009]. Согласно полученным результатам (табл. 3) в обоих вариантах кормов это условие соблюдается, однако сумма ЭПК и ДГК несколько ниже в экспериментальном корме.

Таблица 3
Состав жирных кислот липидов комбикормов, % от суммы жирных кислот
Table 3
Composition of fatty acids in lipids from compound feeds, % of total fatty acids

Жирные кислоты	Комбикорм	
	ТИНРО (эксперимент)	«Aller Aqua» (контроль)
Насыщенные	24,9	27,0
Мононенасыщенные	38,8	36,4
Полиненасыщенные (ПНЖК)	34,7	34,1
Сумма ω -3	18,9	22,4
Сумма ω -6	13,1	9,4
Сумма ЭПК и ДГК	14,9	18,0
ω -3/ ω -6	1,44	2,38

Триглицериды содержат больше насыщенных ЖК и являются энергетическим источником для рыб. Фосфолипиды содержат полиненасыщенные ЖК, являются структурными липидами и участвуют в адаптационных процессах рыб. Источником энергии у рыб являются в основном насыщенные и мононенасыщенные ЖК [Кальченко, 2010; Махутова, Гладышев, 2020].

Как следует из данных табл. 4, качественный и количественный состав липидов комбикормов ТИНРО и «Aller Aqua» характеризуется высоким содержанием триацилглицеридов и фосфолипидов, причем в контрольном корме используются преимущественно фосфолипиды криля*.

* Фосфолипиды для быстрого роста и здоровья мальков: [Электронный ресурс]. URL: https://www.magazine.fish/news/akvakultura/fosfolipidy_dlya_bystrogo_rosta_i_zdorovya_malkov/ (Дата обращения 28.10.2020).; A good start is the key to success in fry production: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aller-aqua.com/press/articles/granulates> (Дата обращения 07.10.2022).

Таблица 4

Фракционный состав липидов кормов, % от общего содержания липидов

Table 4

Fractional composition of lipids from compound feeds, % of total lipid content

Класс липидов	Комбикорм	
	ТИНРО (эксперимент)	«Aller Aqua» (контроль)
Эфиры стеринов	3,7	8,5
Триацилглицериды	65,2	57,1
Свободные жирные кислоты	6,8	15,1
Стерины	8,3	9,5
Фосфолипиды	16,0	9,8

По показателям безопасности, представленным в табл. 5, оба варианта комбикормов соответствуют регламентируемым значениям [ГОСТ 2116-2000; Единые ветеринарные требования..., 2022*].

Таблица 5

Показатели безопасности комбикормов

Table 5

Safety indices for compound feeds

Показатель	ТИНРО	Контроль («Aller Aqua»)	Единые ветеринарные требования, гл. 34, 35
Кислотное число, мг КОН/1 г жира	8,77	7,20	30,0*
Перекиси, % I ₂	0,06	0,03	0,10
Общая токсичность	Нетоксично	Нетоксично	Не допускается*
Токсич. элементы, не более, мг/кг:			
Cd	0,009	0,098	1,0
As	0,081	0,912	2,0
Pb	0,204	0,195	5,0
Hg	0,076	0,067	0,5

* ТР ТС «О безопасности кормов и кормовых добавок»**.

Таким образом, есть основания полагать, что оба варианта кормов, несмотря на некоторые отмеченные различия, будут эффективны при кормлении молоди лососевых.

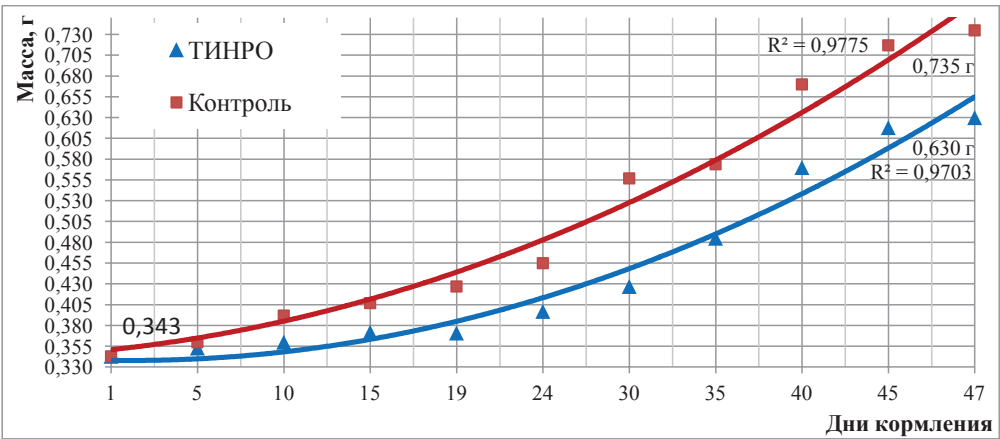
На экспериментальном комбикорме молодь стабильно набирала массу, но при этом средняя масса тела рыб в контроле была выше (см. рисунок). К концу подращивания масса кеты в эксперименте и контроле составляла соответственно 0,630 и 0,735 г.

Поскольку начальная температура в бассейнах была ниже, чем при проведении экспериментов в 2016–2019 гг. на территории Приморского края (ЛРЗ «Вербное») [Баштовой и др., 2021], где подращивание молоди продолжается в среднем 40 сут, имело смысл сравнить рыбоводные показатели экспериментальных кормов с учетом этого фактора, так как работы по подращиванию молоди кеты на комбикорме ТИНРО в холодноводных районах Сахалинской области проводились впервые.

Данные табл. 6 показывают, что при использовании одинаковых по составу кормов низкая температура в среде обитания оказывает заметное влияние на рост и жизнедеятельность объектов наблюдения, что выражается в более низких показателях прироста и конечной массы.

* Единые ветеринарные требования, предъявляемые к товарам, подлежащим ветеринарному контролю (надзору). Утверждены Решением комиссии Таможенного союза от 18 июня 2010 г., № 317 (с изменениями от 23.05.2022).

** Технический регламент Таможенного союза «О безопасности кормов и кормовых добавок» (проект, 2-я редакция) (ТР 201_/00_/ТС). М., Минск, Астана, 2012: [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200083875> (Дата обращения: 19.07.2022).



Изменение массы молоди кеты при кормлении на ЛРЗ «Савушкина»
Weight growth of chum juveniles during rearing at the salmon hatchery Savushkina

Рыбоводно-биологические показатели при испытании комбикормов
на ЛРЗ «Савушкина» и ЛРЗ «Вербное»

Таблица 6

Fish-breeding and biological indices when testing of compound feeds
at the salmon hatcheries Savushkina and Verboynoe

Table 6

Показатель	ЛРЗ «Савушкина»	ЛРЗ «Вербное»*
Период подращивания, сут	40	40
Температура воды, °С	1,2–6,3	4,5–6,5
Средняя начальная масса, г	0,343	0,370
Средняя конечная масса, г	0,570	0,630
Абсолютный прирост, г	0,23	0,27
Среднесуточный прирост, %	1,24	1,44
Отход молоди, %	0,382	0,750
Кормовой коэффициент, г корма/г прироста	0,65	0,72

* ЛРЗ «Вербное», 2018–2019 гг. Данные из работы А.Н. Баштового с соавторами [2021].

Результаты, представленные в табл. 7, показывают, что такие важные показатели, как среднесуточный прирост, а также средняя конечная масса, в экспериментальном варианте (ТИНРО) несколько ниже, чем в контрольном («Aller Aqua»). В то же время данные по отходу рыб при выращивании на обоих вариантах кормов сопоставимы и составляли 0,499 и 0,477 %.

Рыбоводно-биологические показатели при испытании комбикормов на ЛРЗ «Савушкина»

Таблица 7

Table 7

Fish-breeding and biological indices when testing of compound feeds
at the salmon hatchery Savushkina

Показатель	Комбикорм	
	ТИНРО (эксперимент)	«Aller Aqua» (контроль)
Период подращивания, сут	47	47
Температура воды, °С	1,2–8,3	1,2–8,3
Средняя конечная масса, г	0,630	0,735
Отход молоди, %	0,499	0,477
Абсолютный прирост, г	0,287	0,392
Среднесуточный прирост, %	1,255	1,547
Кормовой коэффициент, г корма/г прироста	0,670	0,467

В ходе исследований проведено сравнение химического состава молоди кеты до и после кормления (табл. 8). Ткани молоди, для кормления которой использовался экспериментальный корм, содержат более высокое количество белка и меньше воды, чем контрольные образцы. Возможно, у кеты, выращенной на импортном корме, из-за более высокой скорости роста, возможно — за счет наличия стимуляторов в корме, меньше содержание белков в тканях. Воды в тканях мальков в контрольном варианте существенно больше, чем в тканях экспериментальной молоди. При этом заметно выше минерализация тканей экспериментальных образцов, что может указывать на укрепление скелета молоди. Таким образом, наращивание массы у контрольных образцов, судя по данным табл. 8, происходит не за счет белковой или минеральной составляющей, а за счет повышения степени обводненности мышечной ткани.

Таблица 8

Химический состав тканей молоди кеты до и после кормления на ЛРЗ «Савушкина», %

Table 8

Chemical composition for tissues of juvenile chum salmon before and after the testing of fodders at the salmon hatchery Savushkina, %

Показатель	До кормления	После кормления	
	Исходная молодь	ТИНРО (эксперимент)	«Aller Aqua» (контроль)
Вода	82,68	83,51	86,27
Белок	12,81	12,76	10,26
Липиды	4,18	2,85	2,95
Минеральные вещества	0,32	0,87	0,52

Согласно данным литературы, посвященной биологическим вопросам выращивания рыб в искусственных условиях, химический состав тканей конечного продукта, а именно — молоди, имеет существенное значение при обосновании процессов воспроизводства тихоокеанских лососей. Так, известно, что жизнестойкость выпускаемой молоди напрямую зависит от количества белков и минеральных веществ в их тканях [Остроумова, 2012; Грозеску, 2016].

Несмотря на то что стартовые корма фирмы «Aller Aqua» используются в широких масштабах во многих хозяйствах как за рубежом, так и у нас в стране, имеются некоторые, пока немногочисленные, сведения о неоднозначном их влиянии на объекты разведения. Так, у большей части (70 %) исследованной молоди кеты (корм «Aller Aqua») отмечены признаки липоидной дегенерации печени тяжелой степени, а также развитие патологических изменений в желудке и кишечнике [Марковцев и др., 2016]. Сходные результаты получены при экспериментальном кормлении форели, которое привело к патологическому увеличению размеров, изменению цвета и формы печени, а также повышению в ее составе насыщенных липидов [Остроумова, 2009]. Возможной причиной этого может являться состав корма, который содержит не только заявленные добавки (например, комплексные соединения магния, цинка, меди) и высокие концентрации витаминов, каротиноидов, антиоксидантов, а также иммуностимуляторы*. Этим можно объяснить установленную заметную разницу в химическом составе мальков; также это показывает необходимость проведения специальных исследований, позволяющих определить сравнительную жизнестойкость молоди в зависимости от количественного содержания в ней воды, белков, липидов, минеральных веществ.

* Лечебно-профилактические корма. Борьба с болезнями рыб с помощью лечебно-профилактических кормов: [Электронный ресурс]. URL: www.aquafeed.ru/statie/o_kormah/94 (Дата обращения 20.07.2022).

Заключение

Установлено, что по показателям качества и безопасности производственно-экспериментальный комбикорм ТИНРО и комбикорма «Aller Aqua» (контроль) соответствуют регламентируемым значениям Единых ветеринарных (ветеринарно-санитарных) требований.

В ходе проведения рыбоводно-биологических испытаний производственно-экспериментальной партии комбикорма ТИНРО, в сравнении с контрольным комбикормом, применяемым на ЛРЗ «Савушкина», проведена оценка эффективности комбикормов при выращивании молоди кеты.

Определены основные рыбоводные показатели (эксперимент/контроль) после кормления в течение 47 сут:

- кормовой коэффициент — 0,670/0,467;
- среднесуточный прирост, % — 1,255/1,547;
- абсолютный прирост, г — 0,287/0,392;
- отход (выживаемость), % — 0,499 (99,501)/0,477 (99,523).

Проведен сравнительный биохимический анализ тканей молоди кеты (рыба целиком) до и после кормления, который показал в контрольном образце увеличение доли воды и минеральных веществ при заметном снижении доли белка и жира. В то же время в экспериментальных образцах установлено более высокое содержание белка и минеральных веществ.

Таким образом, на основании анализа комплекса рыбоводных и биохимических показателей можно заключить, что производственно-экспериментальный комбикорм, разработанный в ТИНРО, пригоден для подращивания молоди кеты в условиях низкой температуры воды 1,2–8,3 °С.

В настоящее время в ТИНРО ведутся работы по корректировке рецептуры экспериментальных образцов комбикорма для кормления молоди кеты в холодноводных условиях. При этом основополагающим является отсутствие в разрабатываемых комбикормах стимуляторов роста (гормонов). Полученные данные позволяют сделать вывод о перспективности применения стартовых комбикормов, разработанных в ТИНРО, для подращивания молоди кеты.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают свою признательность руководству и персоналу ЛРЗ «Савушкина» за возможность проведения экспериментальных работ, оказанную помощь и полезные предложения при подготовке и проведении работ, а также коллективу Аналитической научно-испытательной лаборатории отдела безопасности и технологии переработки сырья и разработок (ТИНРО).

The authors are grateful to management and staff of the salmon hatchery Savushkina for providing opportunity for the experiment, their kind assistance, and useful suggestions in the work, as well as to the team of the Analytical scientific-testing laboratory of TINRO who made some analyses important for the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Основанием для проведения научно-исследовательской работы является договор № 113-21 от 11 октября 2021 г. между Тихоокеанским филиалом ВНИРО (ТИНРО) и ООО «Азимут».

The study was funded by contract No. 113-21 on October 11, 2021 between TINRO and Azimut LLC.

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 have been complied with. Bibliographic references to all data of other authors used in the work are formatted in accordance with the rules of this publication.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Авторам в равной мере принадлежит участие в постановке цели, планировании и организации работы, получении экспериментальных данных, их обработке и анализе, составлении макета статьи, формулировании выводов.

The authors were equally involved in the study targeting, planning and organizing, in the experimental data collecting, processing and analyzing, as well as in writing the manuscript formulating conclusions.

Список литературы

Баштовой А.Н., Тимчишина Г.Н., Ярочкин А.П. и др. Результаты испытаний стартовых комбикормов для промышленного выращивания лососевых рыб (кеты) // Рыб. хоз-во. — 2021. — № 6. — С. 91–96.

Баштовой А.Н., Ярочкин А.П., Валова В.Н. и др. Сравнительная оценка стартовых традиционных и ферментированных комбикормов для молоди тихоокеанских лососей // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 191. — С. 223–234. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-191-223-234.

Валова В.Н. Характеристика физиологического состояния молоди тихоокеанских лососей при выращивании на искусственных кормах : дис. ... канд. биол. наук. — М. : ВНИИПРХ, 1999. — 170 с.

Гамыгин Е.А. Корма и кормление рыб : ОИ / ЦНИИТЭИРХ. — 1987. — Вып. 1. — 82 с.

Грозеску Ю.Н. Инновационные методы повышения эффективности кормления осетровых рыб на основе использования в рационах нетрадиционного кормового сырья и биологически активных препаратов : дис. ... д-ра сельскохозяйственных наук. — Астрахань : Астраханский государственный технический университет, 2016. — 307 с.

Кальченко Е.И. Оценка физиолого-биохимических показателей молоди кеты и чавычи при искусственном воспроизводстве : дис. ... канд. биол. наук. — Петропавловск-Камчатский, 2010. — 167 с.

Кальченко Е.И., Гаврюсева Т.В., Юрьева М.И. Физиолого-биохимические показатели молоди кеты при выращивании на импортных комбикормах // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2009. — Вып. 12. — С. 58–71.

Кенуй М.Г. Быстрые статистические вычисления : справочник / пер. с англ. — М. : Статистика, 1979. — 70 с.

Козлов В.И., Никифоров-Никишин А.Л., Бородин А.Л. Аквакультура : моногр. — М. : МГУТУ, 2004. — 433 с.

Лазаревский А.А. Техничко-химический контроль в рыбообрабатывающей промышленности : пособие для работников заводских и исслед. лабораторий. — М. : Пищепромиздат, 1955. — 520 с.

Марковцев В.Г., Валова В.П., Баштовой А.Н. и др. Испытание новых рецептур кормов для молоди кеты // Бюл. № 11 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — С. 144–149.

Махутова О.Н., Гладышев М.И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты в физиологии и метаболизме рыб и человека: значение, потребности, источники // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. — 2020. — Т. 106, № 5. — С. 601–621. DOI: 10.31857/S0869813920050040.

Остроумова И.Н. Биологические основы кормления рыб. 2-е изд., испр. и доп. : моногр. — СПб. : ГосНИОРХ, 2012. — 564 с.

Остроумова И.Н. Вызывает ли избыток углеводов в кормах жировую дегенерацию печени рыб? // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. — 2009. — Вып. 338. — С. 141–149.

Пономарев С.В., Гамыгин Е.А., Канидьев А.Н. Физиологические основы создания полноценных комбинированных кормов с учетом этапности развития организма лососевых и осетровых рыб // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. — 2010. — № 1. — С. 132–139.

Пономарев С.В., Пономарева Е.Н. Технологические основы разведения и кормления лососевых рыб в промышленных условиях : моногр. — Астрахань : АГТУ, 2003. — 186 с.

- Сидоров В.С.** Экологическая биохимия рыб: липиды : моногр. — Л. : Наука, 1983. — 240 с.
- Скляр В.Я.** Корма и кормление рыб в аквакультуре : моногр. — М. : ВНИРО, 2008. — 149 с.
- Тарасюк Е.В., Тарасюк С.Н.** Влияние плотности посадки и содержания кислорода на рост молоди кеты // Тр. ВНИРО. — 2010. — Т. 148. — С. 158–169.
- Урбах В.Ю.** Математическая статистика для биологов и медиков : моногр. — М. : АН СССР, 1963. — 323 с.
- Урбах В.Ю.** Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях : моногр. — М. : Медицина, 1975. — 296 с.
- Щербина М.А., Гамыгин Е.А.** Кормление рыб в пресноводной аквакультуре : моногр. — М. : ВНИРО, 2006. — 360 с.
- Эколого-физиологические основы повышения эффективности кормления рыб в индустриальном рыбоводстве** : сб. науч. тр. / под ред. И.Н. Остроумовой. — Л. : Промрыбвод, 1986. — 162 с.
- Bligh E.G., Dyer W.J.** A rapid method of total lipid extraction and purification // *Can. J. Biochem. Physiol.* — 1959. — Vol. 37, № 8. — P. 911–917. DOI: 10.1139/o59-099.
- Carreau J.P., Dubacq J.P.** Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts // *J. Chromatogr.* — 1978. — Vol. 151, Iss. 3. — P. 384–390. DOI: 10.1016/S0021-9673(00)88356-9.
- Christie W.W.** Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas-chromatography A reappraisal // *J. Chromatogr.* — 1988. — Vol. 447, Iss. 2. — P. 305–314. DOI: 10.1016/0021-9673(88)90040-4.
- Laggai S., Simon Y., Ransweiler T. et al.** Rapid chromatographic method to decipher distinct alterations in lipid classes in NAFLD/NASH // *World J. Hepatol.* — 2013. — Vol. 5, Iss. 10. — P. 558–567. DOI: 10.4254/wjh.v5.i10.558.

References

- Bashtovoy, A.N., Timchishina, G.N., Yarochkin, A.P., Pavel, K.G., Pasechnik, P.L., and Kotsyuk, D.V.**, Test results of starting compound feeds for industrial cultivation of salmonids (Chum salmon), *Rybn. Khoz.*, 2021, no. 6, pp. 91–96.
- Bashtovoy, A.N., Yarochkin A.P., Valova, V.N., Timchishina, G.N., Pavel, K.G., Yakush, E.V., and Pavlovsky, A.M.**, Comparative evaluation of starting traditional and fermented mixed fodders for juveniles of pacific salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 191, pp. 223–234. doi 10.26428/1606-9919-2017-191-223-234
- Valova, V.N.**, Characteristics of the physiological state of juvenile Pacific salmon when grown on artificial feed, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow: VNIIPRKh, 1999.
- Gamygin, E.A.**, *Korma i kormleniye ryb* (Fish feed and feeding), Moscow: TsNIITEIRKh, 1987, vol. 1.
- Grosescu, Yu.N.**, Innovative methods to increase the feeding efficiency of sturgeon fish based on the use of unconventional feed raw materials and biologically active preparations in diets, *Doctoral (Agricultural) Dissertation*, Astrahan': AGTU, 2016.
- Kalchenko, E.I.**, Evaluation of the physiological and biochemical parameters of juvenile chum salmon and chinook during artificial reproduction, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Petropavlovsk-Kamchatsky, 2010.
- Kalchenko, E.I., Gavruseva, T.V., and Yuryeva, M.I.**, Physiological and biochemical indexes of juvenile chum salmon when rearing the fishes on the imported artificial feedstuff, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2009, vol. 12, pp. 58–71.
- Kenuy, M.G.**, *Bystryye statisticheskiye vychisleniya* (Fast statistical calculations), Moscow: Statistics, 1979.
- Kozlov, V.I., Nikiforov-Nikishin, A.L., and Borodin, A.L.**, *Akvakul'tura* (Aquaculture), Moscow: MGUTU, 2004.
- Lazarevsky, A.A.**, *Tekhniko-khimicheskii kontrol' v ryboobrabatvyayushchey promyshlennosti: posobiye dlya rabotnikov zavodskikh i issled. laboratoriy* (Technical and chemical control in the fish processing industry: a manual for factory workers and research. laboratories), Moscow: Pishchepromizdat, 1955.
- Markovtsev, V.G., Valova, V.P., Bashtovoy, A.N., Timchishina, G.N., Yakush, E.V., Yarochkin, A.P., and Marchenko, V.A.**, Testing new feed formulations for juvenile chum salmon, in *Byull. N 11 izucheniya Tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. no. 11 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016, pp. 144–149.
- Makhutova, O.N. and Gladyshev, M.I.**, Essential pufa in physiology and metabolism of fish and human: functions, needs, sources, *Russian physiological journal im. I.M. Sechenov*, 2020, vol. 106, no. 5, pp. 601–621.

Ostroumova, I.N., *Biologicheskiye osnovy kormleniya ryb* (Biological basis of fish feeding), St. Petersburg: GosNIORKh, 2012. 2nd ed.

Ostroumova, I.N., Does the abundance of carbohydrate in the feed cause fatty liver degeneration in fish?, in *Sbornik nauchnykh trudov GosNIORKh*, 2009, vol. 338, pp. 141–149.

Ponomarev, S.V., Gamygin, E.A., and Canidiev, A.N., Physiological statement of creation of the valuable combined diets taking into consideration the stages of development of salmon and sturgeon, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2010, no. 1, pp. 132–139.

Ponomarev, S.V. and Ponomareva, E.N., *Tekhnologicheskiye osnovy razvedeniya i kormleniya lososevykh ryb v industrial'nykh usloviyakh* (Technological foundations of breeding and feeding salmon fish in an industrial environment), Astrakhan: Astrakh. Gos. Tekh. Univ., 2003.

Sidorov, V.S., *Ekologicheskaya biokhimiya ryb: lipidy* (Ecological biochemistry of fish: lipids), Leningrad: Nauka, 1983.

Sklyarov, V.Ya., *Korma i kormleniye ryb v akvakul'ture* (Feeds and fish feeding in aquaculture), Moscow: VNIRO, 2008.

Tarasyuk, E.V. and Tarasyuk, S.N., Influence of stocking density and oxygen content on growth of chum salmon juveniles, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 148, pp. 158–169.

Urbakh, V.Yu., *Matematicheskaya statistika dlya biologov i medikov* (Mathematical statistics for biologists and physicians), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1963.

Urbakh, V.Yu., *Statisticheskii analiz v biologicheskikh i meditsinskikh issledovaniyakh* (Statistical analysis in biological and medical research), Moscow: Medicine, 1975.

Shcherbina, M.A. and Gamygin, E.A., *Kormleniye ryb v presnovodnoy akvakul'ture* (Feeding fish in freshwater aquaculture), Moscow: VNIRO, 2006.

Ekologo-fiziologicheskiye osnovy povysheniya effektivnosti kormleniya ryb v industrial'nom rybovodstve (Ecological and physiological bases for increasing the efficiency of fish feeding in industrial fish farming), Ostroumova, I.N., ed., Leningrad: Promrybvod, 1986.

Bligh, E.G. and Dyer, W.J., A rapid method of total lipid extraction and purification, *Can. J. Biochem. Physiol.*, 1959, vol. 37, no. 8, pp. 911–917. doi 10.1139/o59-099

Carreau, J.P. and Dubacq, J.P., Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts, *J. Chromatogr.*, 1978, vol. 151, no. 3, pp. 384–390. doi 10.1016/S0021-9673(00)88356-9

Christie, W.W., Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas-chromatography A reappraisal, *J. Chromatogr.*, 1988, vol. 447, no. 2, pp. 305–314. doi 10.1016/0021-9673(88)90040-4

Laggai, S., Simon, Y., Ransweiler, T., Kiemer, A.K., and Kessler, S.M., Rapid chromatographic method to decipher distinct alterations in lipid classes in NAFLD/NASH, *World J. Hepatol.*, 2013, vol. 5, no. 10, pp. 558–567. doi 10.4254/wjh.v5.i10.558

Fosfolipidy dlya bystrogo rosta i zdorov'ya mal'kov (Phospholipids for the rapid growth and health of fry), URL: https://www.magazine.fish/news/akvakultura/fosfolipidy_dlya_bystrogo_rosta_i_zdorovya_malkov/. Cited October 28, 2020.

A good start is the key to success in fry production, URL: <https://www.aller-aqua.com/press/articles/granulates>. Cited October 07, 2022.

Yedinyye veterinarnyye trebovaniya, pred'yavlyayemye k tovaram, podlezhashchim veterinarnomu kontrolyu (nadzoru) (Uniform veterinary requirements for goods subject to veterinary control (supervision)). Approved by the Decision of the Commission of the Customs Union dated June 18, 2010, no. 317 (as amended on May 23, 2022).

Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti kormov i kormovykh dobavok» (Technical Regulations of the Customs Union “On the safety of feed and feed additives”) (draft, 2nd edition) (TR 201_/00_/TS). Moscow, Minsk, Astana, 2012, URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200083875>. Cited July 19, 2022.

Lechebno-profilakticheskiye korma. Bor'ba s boleznyami ryb s pomoshch'yu lechebno-profilakticheskikh kormov (Therapeutic and prophylactic feed. Fighting fish diseases with therapeutic and preventive feeds), URL: www.aquafeed.ru/statie/o_kormah/94. Cited July 20, 2022.

Поступила в редакцию 25.10.2022 г.

После доработки 21.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 25.10.2022; approved after reviewing 21.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ГИДРОБИОНТОВ
TECHNOLOGY OF HYDROBIONTS PROCESSING**

Научная статья

УДК 664.951.014:577.114**DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-946-956****EDN: LPMGXV****ХАРАКТЕРИСТИКА СУЛЬФАТИРОВАННЫХ ГЛИКОЗАМИНОГЛИКАНОВ
ХРЯЩЕВОЙ ТКАНИ СКАТОВ И ОСЕТРОВ****А.И. Чепкасова, Т.Н. Слуцкая, Е.П. Караулова***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Из хрящевой ткани ската и осетра (калуги) получены сульфатированные гликозаминогликаны (ГАГ) — хондроитинсульфаты — при следующих условиях: гидротермическая обработка сырья при 50 °С; гидролиз протеолитическим ферментом (гидромуль 1 : 1; температура 45 °С; длительность 4 ч), последовательное осаждение ГАГ спиртом (2–3 объемами этилового спирта (96°) с высаливанием 2 %-ным раствором хлорида натрия. В полученных образцах определено содержание гексозаминов и сульфатированных ГАГ: установлено, что ГАГ из ската и калуги отличаются высоким содержанием сульфатированных форм, сравнимым с коммерческим препаратом, что открывает перспективы разработки технологии получения из отходов при разделке этих объектов монокомпонентных биологически активных добавок хондропротекторного действия.

Ключевые слова: скат, калуга, хрящевая ткань, хондроининсульфат, гликозаминогликаны, сульфатированные гликозаминогликаны, гексозамины, хондропротекторы

Для цитирования: Чепкасова А.И., Слуцкая Т.Н., Караулова Е.П. Характеристика сульфатированных гликозаминогликанов хрящевой ткани скатов и осетров // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 946–956. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-946-956. EDN: LPMGXV.

Original article

**Characteristics of sulfated glycosaminoglycans in the cartilage tissue
of skate and sturgeon****Anna I. Chepkasova*, Tatiana N. Slutskaia**, Ekaterina P. Karaulova*****

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

4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

* Ph.D., leading specialist, anna.chepkasova@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-5643-3601

** D.Tech., professor, principal researcher, tatyana.slutskaia@tinro-center.ru,
ORCID 0000-0002-3228-3047

*** Ph.D., leading researcher, karaulova2002@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8508-9603

* Чепкасова Анна Ивановна, кандидат технических наук, ведущий специалист, anna.chepkasova@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-5643-3601; Слуцкая Татьяна Ноевна, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, slutskaia@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-3228-3047; Караулова Екатерина Павловна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, karaulova2002@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8508-9603.

© Чепкасова А.И., Слуцкая Т.Н., Караулова Е.П., 2022

Abstract. Sulfated glycosaminoglycans (GAGs) or chondroitin sulfates were obtained from the cartilage tissue of skate (indefinite species) and sturgeon (kaluga) under the processes of hydrothermal treatment of raw materials at 50 °C, then hydrolysis with proteolytic enzyme in 4 hours under temperature 45 °C (hydromodulus 1 : 1), then sequential precipitation of GAGs in 2–3 volumes of 96° ethyl alcohol and salting out with 2 % sodium chloride solution. The content of hexosamines and sulfated GAGs was determined in the extracted samples. GAGs of both skate and sturgeon have a high content of sulfated forms, comparable to commercial preparations, that opens up prospects for development of technology for production of mono-component biologically active additives of chondroprotective action from the wastes of skates and sturgeons processing.

Keywords: skate, kaluga, cartilage tissue, chondroitin sulfate, glycosaminoglycans, sulfated glycosaminoglycans, hexosamines, chondroprotector

For citation: Chepkasova A.I., Slutskaia T.N., Karaulova E.P. Characteristics of sulfated glycosaminoglycans in the cartilage tissue of skate and sturgeon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 946–956. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-946-956. EDN: LPMGXV.

Введение

Гликозаминогликаны (ГАГ) наземных и морских организмов представлены как несulfатированными (гиалуроновая кислота, гепарин), так и сульфатированными формами (дерматансульфат, хондроитинсульфат, гепарансульфат, кертансульфат). Хондроитинсульфаты (ХС) — сульфатированные гликозаминогликаны — входят в состав хрящевого матрикса практически всех органов, содержатся в хряще, коже, сухожилиях, связках, артериях, роговице глаза и т.д. [Панасюк, Ларионов, 2000; Volpi, 2006; Lauder, 2009].

Отходы от переработки рыбного сырья (плавники, чешуя, скелет, кости и хрящи) могут являться перспективными источниками ХС в силу доступности и невысокой стоимости, причем наиболее ценными являются хрящевые ткани [Silva et al., 2012].

Хондроитинсульфаты обладают противовоспалительной активностью и используются для облегчения симптоматики остеоартрита, характеризуются противовирусными свойствами, применяются в тканевой инженерии и косметике, что в последние годы увеличило их коммерческий спрос. В клинике сульфатированные ГАГ используются в качестве хондропротекторных препаратов при всех типах артрита у человека [Camro et al., 2004; Uebelhart et al., 2004; Reginster et al., 2017]. ХС — основные компоненты известных препаратов хондропротекторного действия, таких, например, как «Хондроитин-Акос» (Россия), «Структум» (Франция), «Глюкозаминосульфат» (США), «Хонсурид» (Россия) и др.

Известно, что с помощью белков ГАГ присоединяются к гиалуроновой кислоте и в виде солей или комплексов с коллагеном являются составной частью соединительной ткани [Volpi, 2006]. Поэтому методы, используемые для их количественного выделения, основаны на деструкции белковых компонентов протеолитическими ферментами. Как правило, проводят глубокий гидролиз протеазами широкого спектра действия, используя, например, папаин, трипсин, химотрипсин, щелочные протеолитические ферменты или их комбинации [Medeiros et al., 2000; Jo et al., 2005; Maccari et al., 2015; Abdallah et al., 2020]. Исследования, посвященные изучению действия различных ферментов на хрящевую ткань при получении хондроитинсульфата, показывают, что для ферментативного гидролиза наиболее целесообразно использовать субстратспецифичный ферментный препарат — коллагеназу [Пентин, Вилков, 2003; Сорокоумов и др., 2007]. Также установлена эффективность последовательного использования ферментов коллагенолитического и протеолитического действия [Гармашов, 2018]. Согласно данным литературы для гидролиза тканей хрящевых рыб возможно использование ферментов микробиального происхождения, обладающих протеолитической и коллагенолитической активностями, таких как протомекс [Jo et al., 2004, 2005; Суховерхова, 2006; Пат. РФ 2623738].

Следующим этапом является отделение белковой части от смеси ГАГ, которое осуществляется при помощи различных методов: осаждение спиртом, трихлоуксусной кислотой, высаливание, ионообменная хроматография [Im et al., 2010; Panagos et al., 2014; Gui et al., 2015; Maccari et al., 2015; Lin et al., 2017; Sundaresan et al., 2018].

Для получения чистых фракций хондроитинсульфатов из растворов ГАГ применяют различные препаративные методы, такие как фракционирование органическими растворителями, четвертичными солями аммония, ионообменная хроматография и др. [Volpi, 2006; Im et al., 2010; Panagos et al., 2014; Krichen et al., 2017; Lin et al., 2017].

Целью работы являлась характеристика хондроитинсульфатов, полученных из хрящевой ткани калуги и ската, а также сравнение их с препаратом хондропротекторного действия.

Материалы и методы

Объектом исследования являлась хрящевая ткань калуги культивированной *Huso dauricus* и ската *Bathyrāja parmifera*.

Для исследований были взяты отходы от разделки — хвостовая часть позвоночника с прирезами мышечной ткани. В качестве протеазы использован протамекс из *Bacillus protease* (Denmark) с активностью 1,5 AU/g.

Объектом для сравнения взят фармацевтический препарат «Хондроитин-Акос», содержащий в качестве активного вещества хондроитин сульфат натрия.

С учетом известных способов выделения сульфатированных гликозаминогликанов последовательно выполняли следующие операции:

— частичное удаление жира и сопутствующих белковых компонентов проводили промывкой водой (температура — 50 °С) измельченного хряща [Пат. РФ 2061485; Tadashi, 2004];

— удаление белков (протеолиз с применением протамекса) [Medeiros et al., 2000];

— извлечение ГАГ из гидролизатов осуществляли фракционированием этанолом и высаливанием (хлорид натрия) [Medeiros et al., 2000];

— осаждение хондроитинсульфатов из суммы ГАГ осуществляли фракционированием этанолом [Volpi, 1994, 1996; Werneck et al., 2000; Theocharis et al., 2001; Martins et al., 2003].

Для количественного определения гликозаминогликанов в хрящевой ткани и выделенном из нее ХС применяли метод определения суммы гексозаминов по Элсон-Морган [Elson, Morgan, 1933], который имеет несколько модификаций [Immers, Vasseur, 1950; Jang et al., 2005]. В соответствии с методом ГАГ гидролизovali 6 М HCl в течение 8 ч при 100 °С, далее после ацетилирования проводили реакцию с реактивом Эрлиха и спектрофотометрическое определение. Количество гексозаминов определяли в соответствии с калибровочным графиком (рис. 1).

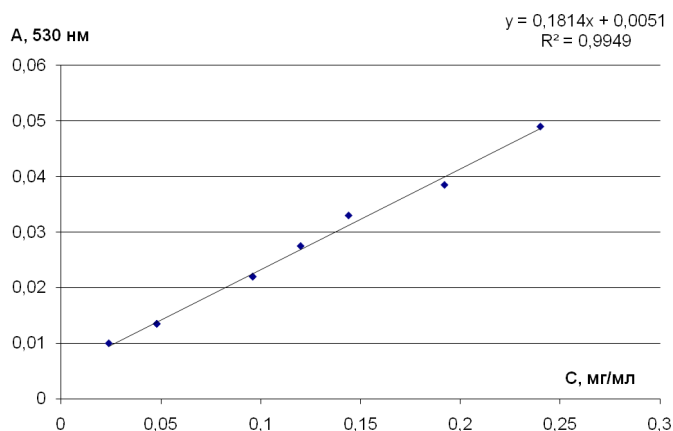


Рис. 1. Калибровочный график по методу Элсон-Морган
Fig. 1. Elson-Morgan calibration

Количественное определение ХС, основанное на реакции сульфатированных ГАГ с красителем 1,9-диметилметиленовый синий, проводили спектрофотометрическим методом после построения калибровочной [Farndale et al., 1986; Stone et al., 1994] (рис. 2). Содержание гексозаминов и сульфатированных ГАГ выражали в миллиграммах путем пересчета на массу ткани или полученного препарата.

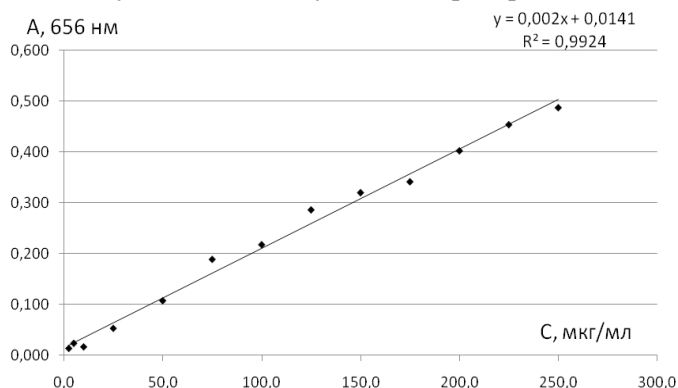


Рис. 2. Калибровочный график с красителем 1,9-диметилметиленовый синий
Fig. 2. Calibration with 1,9-dimethylmethylene blue dye

Для количественного определения, а также идентификации ХС использовали высокоэффективную жидкостную хроматографию экспериментальных образцов и стандарта при следующих условиях: УФ-детектор на основе диодной матрицы SPD-M20A; дегазатор DGU-20A5; насос LC20AD; автоматический дозатор SIL-20A; термостат колонок CTO-20AC — температура анализа 40 °C; колонка: Discovery C18, 5 µm, 26,0×4,6 mm; подвижная фаза: ацетонитрил-вода 50 %; скорость потока 1 мл/мин; диапазон детектирования 190–890 нм (длина волны 280 нм).

Результаты и их обсуждение

Последовательность операций, представленных на рис. 3, была применена с учетом анализа ранее проведенных исследований, хотя не исключено, что при дальнейшей разработке технологии могут быть изменены некоторые параметры в соответствии с условиями производства.

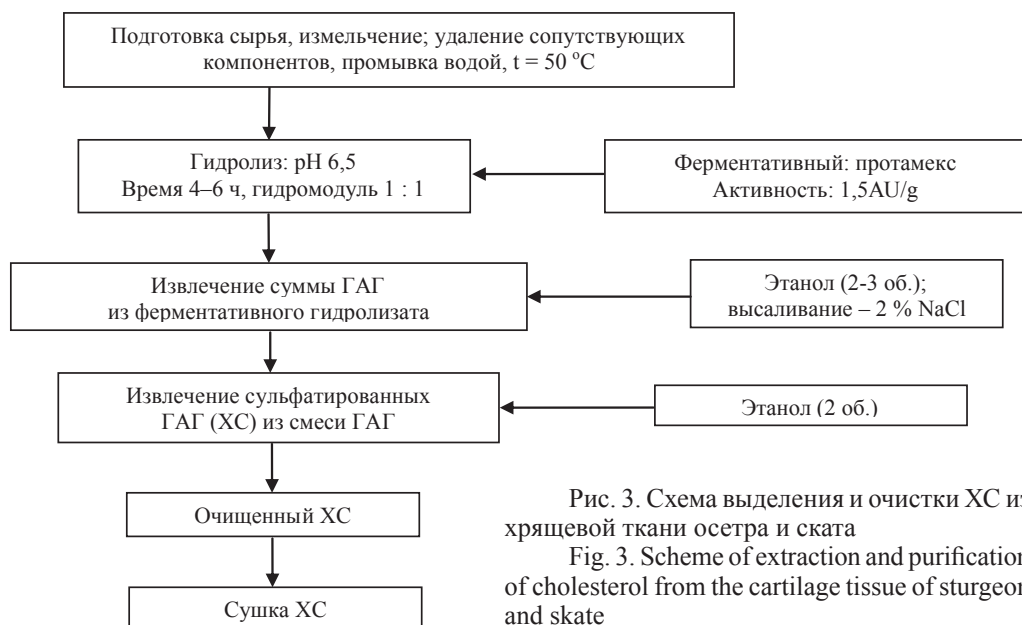


Рис. 3. Схема выделения и очистки ХС из хрящевой ткани осетра и ската

Fig. 3. Scheme of extraction and purification of cholesterol from the cartilage tissue of sturgeon and skate

В данном исследовании использованы ранее обоснованные параметры ферментативного гидролиза: гидромодуль 1 : 1; температура 45 °С; длительность 4 ч [Пат. РФ 2623738]. Осаждение ГАГ из ферментализата проводили 2–3 объемами этилового спирта (96°) в 2 %-ном растворе хлористого натрия. Далее осуществляли переосаждение ХС из смеси ГАГ 96 %-ным этиловым спиртом (2 объема).

Как следует из данных табл. 1, содержание гексозаминов в препарате ХС из ската составляет 161,5 мг/г, из осетра — 84,8 мг/г. Процесс выделения ХС позволил сконцентрировать искомое вещество: содержание аминсахаров в препаратах ХС увеличилось в 2,5 раза по сравнению с их содержанием в хрящевой ткани осетра и ската. Содержание гексозаминов в коммерческом фармпрепарате «Хондроитин-Акос» выше, чем в ХС из ската и осетра, что является предпосылкой для уточнения параметров выделения ГАГ при дальнейшей разработке технологического процесса.

Таблица 1

Содержание гексозаминов в образцах ХС из хрящевой ткани ската, калуги и фармпрепарате, мг/г

Table 1

Hexosamines content in samples of chondroitin sulfate from the cartilage tissue of skate and sturgeon and in pharmaceutical preparation, mg/g

Источник гексозаминов	Содержание
Хрящевая ткань	
Скат	63,0
Калуга	33,6
Хондроитинсульфат	
Скат	161,5
Калуга	84,8
Коммерческий препарат	
«Хондроитин-Акос»	208,0

В образцах ХС в качестве примесей могут присутствовать другие гликозаминогликаны. Следовательно, любой аналитический метод, направленный на количественную оценку хондроитинсульфата, должен быть избирательным по отношению к ХС в присутствии других гликозаминогликанов. В качестве альтернативы рекомендовано использовать методы, основанные на метахроматической реакции сульфатированных ГАГ с красителями: толуидиновый и альциановый синий [Gold, 1979] или 1,9-диметилметиленовый синий [Farndale et al., 1986; Хабиева, 2007]. Поглощение при 656 нм пропорционально количеству сульфатированных ГАГ, присутствующих в исходном образце.

Этот метод нельзя использовать для определения ХС в хрящах и ферментализатах, однако он может применяться для очищенного ХС [Farndale et al., 1986]. Нами определена концентрация сульфатированных ГАГ в ХС, выделенном из ската и осетра (табл. 2).

Таблица 2

Содержание сульфатированных ГАГ в образцах ХС из хрящевой ткани ската и калуги, мг/г препарата

Table 2

Sulfated GAGs content in samples of chondroitin sulfate from the cartilage tissue of skate and sturgeon, mg/g

Образец хондроитинсульфата	Содержание сульфатированных ГАГ
Скат	341,42
Калуга	105,15
«Хондроитин-Акос»	354,50

Установлено (табл. 2), что в ХС из ската содержание сульфатированных ГАГ составляет 341,42 мг/г препарата, что сравнимо с содержанием ХС в коммерческом препарате, тогда как в препарате из калуги их меньше.

В табл. 3 приведены характеристики полученных из хрящей ската и осетра ХС и коммерческого препарата.

Таблица 3

Сравнительная характеристика ГАГ из хрящевой ткани, % от сухого препарата

Table 3

Comparative characteristics of GAGs from cartilage tissue, % of dry preparation

Источник ГАГ	Гексозамины	Сульфатированные ГАГ	Гексозамины : сульфатированные ГАГ
Скат	16,15	34,1	1,0 : 2,10
Калуга	8,48	10,5	1,0 : 1,24
«Хондроитин-Акос» (Россия)	20,80	35,4	1,0 : 1,70

Поскольку гексозамины содержатся как в сульфатированных, так и в несulfатированных ГАГ (гиалуроновой кислоте и хондроитине), в полученных из хрящей ската и осетра ГАГ вероятно присутствуют хондроитинсульфаты с различной степенью сульфатирования (табл. 3).

Таким образом, полученные образцы ХС из хрящей ската и калуги можно идентифицировать по содержанию и соотношению гексозаминов и сульфатных групп. В них установлено высокое содержание сульфатированных ГАГ, соотношение гексозаминов к сульфатированным формам отличается для препаратов из ската и осетра, но является средним по сравнению со степенью сульфатирования ХС в коммерческом препарате; это может свидетельствовать о видовой специфичности ХС из различных источников.

На рис. 4 представлены результаты ВЭЖХ коммерческого препарата ХС, который имеет один основной пик, его интенсивность составляет 30 mAU, время удерживания 2,5 мин. На рис. 5 (а) видно, что ХС ската содержит один пик со временем удерживания 2,7 мин, интенсивность которого составляет 80 mAU. Основной пик ХС из хрящевой ткани осетра (рис. 5, б) также характеризуется одним пиком с временем удерживания 2,7 мин. Интенсивность этого пика значительно ниже, чем у ХС ската, и составляет 6 mAU.

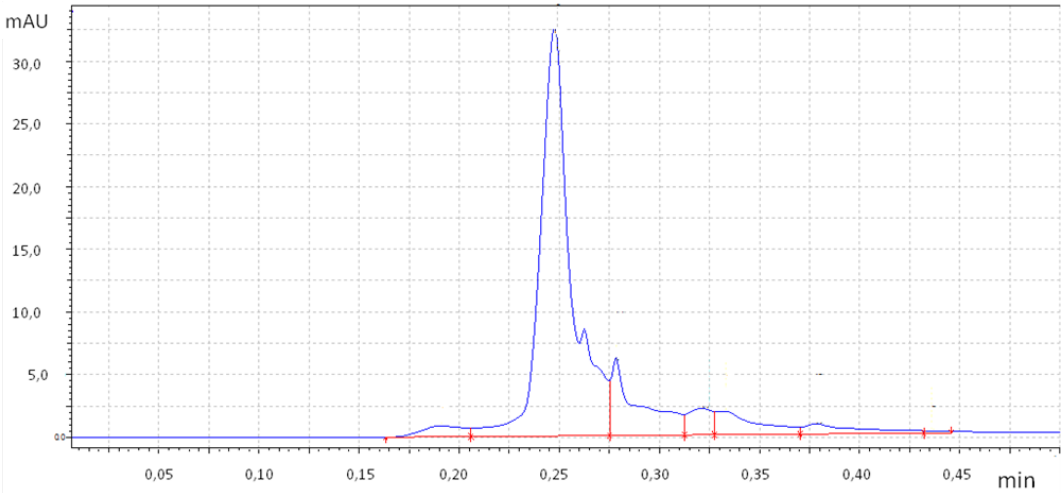


Рис. 4. ВЭЖХ коммерческого препарата хондроитинсульфата (Хондроитин-Акос, Россия)

Fig. 4. High-performance liquid chromatography for the commercial preparation of chondroitin sulfate (Chondroitin-Akos, Russia)

Таким образом, на основании анализа ВЭЖХ различных ХС можно сделать заключение о том, что коммерческий препарат хондроитинсульфата и образцы ХС, выделенные из хрящей ската и осетра, имеют в составе один основной компонент со сходными характеристиками. Для установления влияния вида исходного сырья

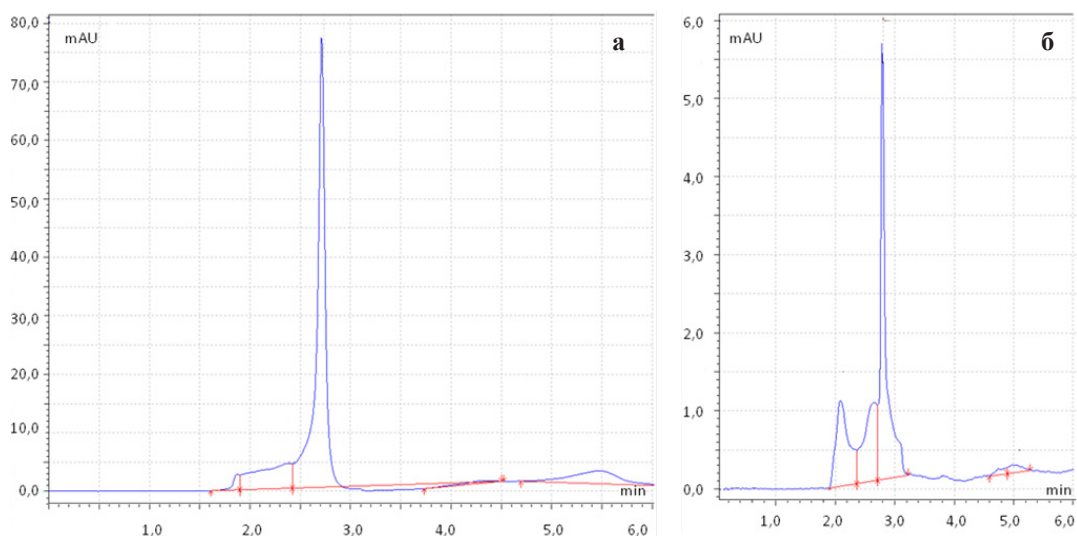


Рис. 5. ВЭЖХ хондроитинсульфата, выделенного из хрящей ската (а) и калуги (б)

Fig. 5. High-performance liquid chromatography for chondroitin sulfate extracted from skate (a) and sturgeon (б) cartilage

на количественное содержание хондроитинсульфата и его состав планируется провести дальнейшие исследования с применением различных условий выделения и хроматографического разделения.

Параметры выделения — гидротермическая обработка сырья при 50 °С; гидролиз протеолитическим ферментом (гидро модуль 1 : 1; температура 45 °С; длительность 4 ч); осаждение ГАГ 2–3 объемами этилового спирта (96°) в 2 %-ном растворе хлористого натрия с последующим переосаждением ХС из смеси ГАГ этиловым спиртом (96°) — позволили выделить из хрящевой ткани ската и калуги сульфатированный гликозаминогликан — хондроитинсульфат.

Выводы

Установлено, что ХС из ската и калуги имеют высокую степень сульфатирования, их состав позволяет позиционировать хрящевые ткани ската и калуги в качестве перспективного источника ХС.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Коллектив авторов выражает глубокую благодарность сотрудникам Лучегорской НИС (ТИНРО), предоставившим образцы калуги для исследования.

The authors are deeply grateful to the staff of Luchegorsk research station of TINRO for the samples of kaluga tissues for the investigation.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все приемлемые национальные, институциональные и международные этические принципы соблюдены.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable national, institutional and international ethical guidelines are implemented.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования — А.И. Чепкасова, Т.Н. Слуцкая; проведение экспериментов, обработка данных — А.И. Чепкасова, Е.П. Караулова; написание и редактирование статьи — А.И. Чепкасова, Т.Н. Слуцкая.

Research concept — A.I. Chepkasova and T.N. Slutskaya; experiments and data processing — A.I. Chepkasova and E.P. Karaulova; text writing and editing — A.I. Chepkasova and T.N. Slutskaya.

Список литературы

Гармашов С.Ю. Выбор условий ферментативного гидролиза коллагенсодержащего сырья // Вестн. КрасГАУ. — 2018. — № 3. — С. 268–273.

Панасюк А.Ф., Ларионов Е.В. Хондроитинсульфаты и их роль в обмене хондроцитов и межклеточного матрикса хрящевой ткани // Науч.-практ. ревматол. — 2000. — № 2. — С. 46–55.

Пат. РФ 2061485. Способ выделения хондроитинсульфата из животных тканей / С.Е. Васюков, Н.А. Кирьянов, И.В. Лукина и др. — Заявл. 28.12.1992; Оpubл. 10.06.1996. — 4 с.

Пат. РФ 2623738. Биологически активная добавка из морских гидробионтов — источник хондроитинсульфата и способ ее получения / А.Е. Карлина, А.И. Чепкасова, Т.Н. Слуцкая и др. — Заявл. 25.01.2016; Оpubл. 29.06.2017. — 11 с.

Пентин Ю.А., Вилков Л.В. Физические методы исследования в химии : моногр. — М. : Мир, 2003. — 683 с.

Сорокоумов И.М., Ежова Е.А., Быкова В.М. и др. Хондроитинсульфат из хрящей рыб // Рыбпром. — 2007. — № 3. — С. 18–22.

Суховерхова Г.Ю. Биохимическая характеристика хрящевой ткани гидробионтов и технология БАД к пище : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Владивосток, 2006. — 26 с.

Хабиева А.Ю. Фармакокинетическое исследование различных лекарственных форм хондроитина сульфата : автореф. дис. ... канд. фарм. наук. — М., 2007. — 25 с.

Abdallah M.M., Fernandez N., Matias A.A., Bronze M.D.R. Hyaluronic acid and Chondroitin sulfate from marine and terrestrial sources: Extraction and purification methods // Carbohydr. Polym. — 2020. — Vol. 243. 116441. DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.116441.

Campo G.M., Avenoso A., Campo S. et al. Hyaluronic acid and chondroitin-4-sulphate treatment reduces damage in carbon tetrachloride-induced acute rat liver injury // Life Sci. — 2004. — Vol. 74(10). — P. 1289–1305. DOI: 10.1016/j.lfs.2003.08.010.

Elson L.A., Morgan W.T.J. A colorimetric method for the determination of glucosamine and chondrosamine // Biochem. J. — 1933. — Vol. 27. — P. 1824–1933.

Farndale R.W., Buttle D.J., Barrett A.J. Improved quantitation and discrimination of sulphated glycosaminoglycans by use of dimethylmethylene blue // Biochim. Biophys. Acta. — 1986. — Vol. 883, Iss. 2. — P. 173–177.

Gold E.W. A simple spectrophotometric method for estimating glycosaminoglycan concentrations // Anal. Biochem. — 1979. — Vol. 99. — P. 183–188.

Gui M., Song J., Zhang L. et al. Chemical characteristics and antithrombotic effect of chondroitin sulfates from sturgeon skull and sturgeon backbone // Carbohydr. Polym. — 2015. — Vol. 123. — P. 454–460. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.01.046.

Im A.R., Park Y., Kim Y.S. Isolation and characterization of chondroitin sulfates from sturgeon (*Acipenser sinensis*) and their effects on growth of fibroblasts // Biol. Pharm. Bull. — 2010. — Vol. 33(8). — P. 1268–1273. DOI: 10.1248/bpb.33.1268.

Immers J., Vasseur E. Influence of sugars and amines on the colorimetric hexosamine method of Elson and Morgan and its possible elimination // Nature. — 1950. — Vol. 165. — P. 898–899.

Jang J.H., Hia H.C., Ike M. et al. Acid hydrolysis and quantitative determination of total hexosamines of an exopolysaccharide produced by *Citrobacter* sp. // Biotechnol. Lett. — 2005. — Vol. 27. — P. 13–18. DOI: 10.1007/s10529-004-6305-y.

Jo J.-H., Park D.-Ch., Do J.-R. et al. Optimization of Skate (*Raja flavirostris*) Cartilage Hydrolysis for the Preparation of Chondroitin Sulfate // Food Sci. Biotechnol. — 2004. — Vol. 13, № 5. — P. 622–626.

Jo J.-H., Do J.-R., Kim Y.-M., Kim D.-S. Optimization of shark (*Squatina oculata*) cartilage hydrolysis for the preparation of chondroitin sulfate // The Food Science and Biotechnology. — 2005. — Vol. 14(5). — P. 651–655.

Krichen F., Volpi N., Sila A. et al. Purification, structural characterization and antiproliferative properties of chondroitinsulfate/dermatansulfate from Tunisian fish skins // Intern. Journ. Biological Macromolecules. — 2017. — Vol. 95. — P. 32–39. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2016.10.108.

Lauder R. Chondroitin sulphate: A complex molecule with potential impacts on a wide range of biological systems // Complementary Therapies in Medicine. — 2009. — Vol. 17, № 1. — P. 56–62. DOI: 10.1016/j.ctim.2008.08.004.

Lin N., Mo X., Yang Y., Zhang H. Purification and sequence characterization of chondroitin sulfate and dermatan sulfate from fishes // Glycoconjugate Journ. — 2017. — Vol. 34, Iss. 2. — P. 241–253. DOI: 10.1007/s10719-016-9759-y.

Maccari F., Galeotti F., Volpi N. Isolation and structural characterization of chondroitin sulfate from bony fishes // Carbohydr. Polym. — 2015. — Vol. 129. — P. 143–147. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.04.059.

Martins R.C.L., Werneck C.C., Rocha L.A.G. et al. Molecular size distribution analysis of human gingival glycosaminoglycans in cyclosporin and nifedipine induced overgrowths // J. Periodont. Res. — 2003. — Vol. 38. — P. 182–189. DOI: 10.1034/j.1600-0765.2003.02004.x.

Medeiros G.F., Mendes A., Castro R.A.B. et al. Distribution of sulfated glycosaminoglycans in the animal kingdom: widespread occurrence of heparin-like compounds in invertebrates // Biochimica et Biophysica Acta. — 2000. — Vol. 1475. — P. 287–294. DOI: 10.1016/S0304-4165(00)00079-9.

Panagos Ch.G., Thomson D., Moss C. et al. Characterisation of hyaluronic acid and chondroitin/dermatan sulfate from the lumpsucker fish, *C. lumpus* // Carbohydr. Polym. — 2014. — Vol. 106. — P. 25–33. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.01.090.

Reginster J.-Y., Dudler J., Blicharski T., Pavelka K. Pharmaceutical-grade Chondroitin sulfate is as effective as celecoxib and superior to placebo in symptomatic knee osteoarthritis: the ChONDroitin versus CElecoxib versus Placebo Trial (CONCEPT) // Ann. Rheum. Dis. — 2017. — Vol. 76(9). — P. 1537–1543. DOI: 10.1136/annrheumdis-2016-210860.

Silva T.H., Alves A., Ferreira B.M. et al. Materials of marine origin: a review on polymers and ceramics of biomedical interest // Int. Mater. Rev. — 2012. — Vol. 57(5). — P. 276–306. DOI: 10.1179/1743280412Y.0000000002.

Stone J.E., Akhtar N., Botchway S., Pennock C.A. Interaction of 1,9-dimethylmethylene blue with glycosaminoglycans // Ann. Clin. Biochem. — 1994. — № 31. — P. 147–152. DOI: 10.1177/000456329403100206.

Sundaresan G., Abraham R.J.J., Appa Rao V. et al. Established method of chondroitin sulphate extraction from buffalo (*Bubalus bubalis*) cartilages and its identification by FTIR // J. Food Sci. Technol. — 2018. — Vol. 55, Iss. 9. — P. 3439–3445. DOI: 10.1007/s13197-018-3253-4.

Tadashi E. Sodium chondroitin sulfate, chondroitin-sulfate-containing material and processes for producing the same : Pat. W0/2004/039994. — 13.05.2004.

Theocharis D.A., Papageorgacopoulou N., Vynios D.H. et al. Determination and structural characterisation of dermatan sulfate in the presence of other galactosaminoglycans // J. Chromatogr. B. Biomed. Sci Appl. — 2001. — Vol. 754(2). — P. 297–309. DOI: 10.1016/S0378-4347(00)00624-1.

Uebelhart D., Malaise M., Marcolongo R. et al. Intermittent treatment of knee osteoarthritis with oral chondroitin sulfate: a one-year, randomized, double-blind, multicenter study versus placebo // Osteoarthritis Cartilage. — 2004. — Vol. 12, Iss. 4. — P. 269–276. DOI: 10.1016/j.joca.2004.01.004.

Volpi N. (ed.) Chondroitin sulfate: structure, role and pharmacological activity. — San Diego : Elsevier, 2006. — 568 p.

Volpi N. Fractionation of heparin, dermatan sulfate, and chondroitin sulfate by sequential precipitation: A method to purify a single glycosaminoglycan species from a mixture // Anal. Biochem. — 1994. — Vol. 218(2). — P. 382–391. DOI: 10.1006/abio.1994.1196.

Volpi N. Purification of heparin, dermatan sulfate and chondroitin sulfate from mixtures by sequential precipitation with various organic solvents // J. Chromatogr. B. Biomed. Sci Appl. — 1996. — Vol. 685(1). — P. 27–34. DOI: 10.1016/0378-4347(96)00154-5.

Werneck C.C., Oliveira dos Santos A.J., Silva L.C.F. et al. Is there a glycosaminoglycan related heterogeneity of the thymic epithelium? // J. Cell. Physiol. — 2000. — Vol. 185. — P. 68–79.

References

Garmashov, S.Yu., The choice of optimal conditions of enzymatic hydrolysis of collagen-containing raw materials, *Vestn. KrasGAU*, 2018, no. 3, pp. 268–273.

Panasvuk, A.F. and Larionov, E.V., Chondroitin sulfates and their role in the metabolism of chondrocytes and the intercellular matrix of cartilage, *Nauchno-prakticheskaya revmatologiya*, 2000, no. 2, pp. 46–55.

- Vasyukov, S.E., Kiryanov, N.A., Lukina, I.V., Shulgin, A.A., and Zhivotov, G.P., Pat. RU 2061485, Method for isolating chondroitin sulfate from animal tissues, *Izobret., Polezn. Modeli*, 1996.
- Karlina, A.E., Chepkasova, A.I., Slutskaya, T.N., Yakush, E.V., Kuznetsov, Yu.N., and Bocharov, L.N., Pat. RU 2623738, Biologically active additive from marine hydrobionts — a source of chondroitin sulfate and a method for its preparation, *Izobret., Polezn. Modeli*, 2017.
- Pentin, Yu.A. and Vilkov, L.V., *Fizicheskiye metody issledovaniya v khimii* (Physical research methods in chemistry), Moscow: Mir, 2003.
- Sorokoumov, I.M., Ezhova, E.A., Bykova, V.M., Nemtsev, S.V., Schmidt, E.A., and Albulov, A.I., Chondroitin sulfate from fish cartilage, *Rybprom*, 2007, no. 3, pp. 18–22.
- Sukhoverkhova, G.Yu., Biochemical characteristics of the cartilaginous tissue of aquatic organisms and the technology of dietary supplements for food, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Tech.) Dissertation*, Vladivostok, 2006.
- Khabieva, A.Yu., Pharmacokinetic study of various dosage forms of chondroitin sulfate, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Pharm) Dissertation*, Moscow, 2007.
- Abdallah, M.M., Fernandez, N., Matias, A.A., and Bronze, M.D.R., Hyaluronic acid and Chondroitin sulfate from marine and terrestrial sources: Extraction and purification methods, *Carbohydr. Polym.*, 2020, vol. 243, 116441. doi 10.1016/j.carbpol.2020.116441
- Campo, G.M., Avenoso, A., Campo, S., Ferlazzo, A.M., Micali, C., Zanghi, L., and Calatron, A., Hyaluronic acid and chondroitin-4-sulphate treatment reduces damage in carbon tetrachloride-induced acute rat liver injury, *Life Sci.*, 2004, vol. 74, no. 10, pp. 1289–1305. doi 10.1016/j.lfs.2003.08.010
- Elson, L.A. and Morgan, W.T.J., A colorimetric method for the determination of glucosamine and chondrosamine, *Biochem. J.*, 1933, vol. 27, pp. 1824–1933.
- Farndale, R.W., Buttle, D.J., and Barrett, A.J., Improved quantitation and discrimination of sulphated glycosaminoglycans by use of dimethylmethylene blue, *Biochim. Biophys. Acta*, 1986, vol. 883, no. 2, pp. 173–177.
- Gold, E.W., A simple spectrophotometric method for estimating glycosaminoglycan concentrations, *Anal. Biochem.*, 1979, vol. 99, pp. 183–188.
- Gui, M., Song, J., Zhang, L., Wang, Sh., Wu, R., Ma, Ch., and Li, P., Chemical characteristics and antithrombotic effect of chondroitin sulfates from sturgeon skull and sturgeon backbone, *Carbohydr. Polym.*, 2015, vol. 123, pp. 454–460. doi 10.1016/j.carbpol.2015.01.046
- Im, A.R., Park, Y., and Kim, Y.S., Isolation and characterization of chondroitin sulfates from sturgeon (*Acipenser sinensis*) and their effects on growth of fibroblasts, *Biol. Pharm. Bull.*, 2010, vol. 33, no. 8, pp. 1268–1273. doi 10.1248/bpb.33.1268
- Immers, J. and Vasseur, E., Influence of sugars and amines on the colorimetric hexosamine method of Elson and Morgan and its possible elimination, *Nature*, 1950, vol. 165, pp. 898–899.
- Jang, J.H., Hia, H.C., Ike, M., Inoue, C., Fujita, M., and Yoshida, T., Acid hydrolysis and quantitative determination of total hexosamines of an exopolysaccharide produced by *Citrobacter* sp., *Biotechnol. Lett.*, 2005, vol. 27, pp. 13–18. doi 10.1007/s10529-004-6305-y
- Jo, J.-H., Park, D.-Ch., Do, J.-R., Kim, Yo.-M., Kim, D.-S., Park, Yo.-K., Lee, T.-K., and Cho, S.-M., Optimization of Skate (*Raja flavirostris*) Cartilage Hydrolysis for the Preparation of Chondroitin Sulfate, *Food Sci. Biotechnol.*, 2004, vol. 13, no. 5, pp. 622–626.
- Jo, J.-H., Do, J.-R., Kim, Y.-M., and Kim, D.-S., Optimization of shark (*Squatina oculata*) cartilage hydrolysis for the preparation of chondroitin sulfate, *The Food Science and Biotechnology*, 2005, vol. 14, no. 5, pp. 651–655.
- Krichen, F., Volpi, N., Sila, A., Maccari, F., Mantovani, V., Galeotti, F., Ellouz-Chaabouni, S., and Bougate, A., Purification, structural characterization and antiproliferative properties of chondroitinsulfate/dermatansulfate from Tunisian fish skins, *Intern. Journ. Biological Macromolecules*, 2017, vol. 95, pp. 32–39. doi 10.1016/j.ijbiomac.2016.10.108
- Lauder, R., Chondroitin sulphate: A complex molecule with potential impacts on a wide range of biological systems, *Complementary Therapies in Medicine*, 2009, vol. 17, no. 1, pp. 56–62. doi 10.1016/j.ctim.2008.08.004
- Lin, N., Mo, X., Yang, Y., and Zhang, H., Purification and sequence characterization of chondroitin sulfate and dermatan sulfate from fishes, *Glycoconjugate Journ.*, 2017, vol. 34, no. 2, pp. 241–253. doi 10.1007/s10719-016-9759-y
- Maccari, F., Galeotti, F., and Volpi, N., Isolation and structural characterization of chondroitin sulfate from bony fishes, *Carbohydr. Polym.*, 2015, vol. 129, pp. 143–147. doi 10.1016/j.carbpol.2015.04.059

Martins, R.C.L., Werneck, C.C., Rocha, L.A.G., Feres-Filho, E.J., and Silva, L.C.F., Molecular size distribution analysis of human gingival glycosaminoglycans in cyclosporin and nifedipine induced overgrowths, *J. Periodont. Res.*, 2003, vol. 38, pp. 182–189. doi 10.1034/j.1600-0765.2003.02004.x

Medeiros, G.F., Mendes, A., Castro, R.A.B., Bau, E.C., Nader, H.B., and Dietrich, C.P., Distribution of sulfated glycosaminoglycans in the animal kingdom: widespread occurrence of heparin-like compounds in invertebrates, *Biochim. Biophys. Acta*, 2000, vol. 1475, pp. 287–294. doi 10.1016/s0304-4165(00)00079-9

Panagos, Ch.G., Thomson, D., Moss, C., Bavington, Ch.D., Ólafsson, H.G., and Uhrin, D., Characterisation of hyaluronic acid and chondroitin/dermatan sulfate from the lumpsucker fish, *C. lumpus*, *Carbohydr. Polym.*, 2014, vol. 106, pp. 25–33. doi 10.1016/j.carbpol.2014.01.090

Reginster, J.-Y., Dudler, J., Blicharski, T., and Pavelka, K., Pharmaceutical-grade Chondroitin sulfate is as effective as celecoxib and superior to placebo in symptomatic knee osteoarthritis: the ChONDroitin versus CELEcoxib versus Placebo Trial (CONCEPT), *Ann. Rheum. Dis.*, 2017, vol. 76, no. 9, pp. 1537–1543. doi 10.1136/annrheumdis-2016-210860

Silva, T.H., Alves, A., Ferreira, B.M., Oliveira, J.M., Reys, L.L., Ferreira, R.J.F., Sousa, R.A., Silva, S.S., Mano, J.F., and Reis, R.L., Materials of marine origin: a review on polymers and ceramics of biomedical interest, *Int. Mater. Rev.*, 2012, vol. 57, no. 5, pp. 276–306. doi 10.1179/1743280412Y.0000000002

Stone, J.E., Akhtar, N., Botchway, S., and Pennock, C.A., Interaction of 1,9-dimethyl-methylene blue with glycosaminoglycans, *Ann. Clin. Biochem.*, 1994, no. 31, pp. 147–152. doi 10.1177/000456329403100206

Sundaresan, G., Abraham, R.J.J., Appa Rao, V., Babu, R.N., Govind, V., and Meti, M.F., Established method of chondroitin sulphate extraction from buffalo (*Bubalus bubalis*) cartilages and its identification by FTIR, *J. Food Sci. Technol.*, 2018, vol. 55, no. 9, pp. 3439–3445. doi 10.1007/s13197-018-3253-4

Tadashi, E., Patent W0/2004/039994, Sodium chondroitin sulfate, chondroitin-sulfate-containing material and processes for producing the same, 2004.

Theocharis, D.A., Papageorgacopoulou, N., Vynios, D.H., Anagnostides, S.Th., and Tsiganos, C.P., Determination and structural characterisation of dermatan sulfate in the presence of other galactosaminoglycans, *J. Chromatogr. B Biomed. Sci. Appl.*, 2001, vol. 754, no. 2, pp. 297–309. doi 10.1016/s0378-4347(00)00624-1

Uebelhart, D., Malaise, M., Marcolongo, R., DeVathaire, F., Piperno, M., Mailleux, E., Fioravanti, A., Matoso, L., and Vignon, E., Intermittent treatment of knee osteoarthritis with oral chondroitin sulfate: a one-year, randomized, double-blind, multicenter study versus placebo, *Osteoarthritis Cartilage*, 2004, vol. 12, no. 4, pp. 269–276. doi 10.1016/j.joca.2004.01.004

Volpi, N., Chondroitin sulfate: structure, role and pharmacological activity, San Diego: Elsevier, 2006.

Volpi, N., Fractionation of heparin, dermatan sulfate, and chondroitin sulfate by sequential precipitation: A method to purify a single glycosaminoglycan species from a mixture, *Anal. Biochem.*, 1994, vol. 218, no. 2, pp. 382–391. doi 10.1006/abio.1994.1196

Volpi, N., Purification of heparin, dermatan sulfate and chondroitin sulfate from mixtures by sequential precipitation with various organic solvents, *J. Chromatogr. B Biomed. Sci. Appl.*, 1996, vol. 685, no. 1, pp. 27–34. doi 10.1016/0378-4347(96)00154-5

Werneck, C.C., Oliveira dos Santos, A.J., Silva, L.C.F., Villa-Verde, D.M.S., Savino, W., and Mourão, P.A.S., Is there a glycosaminoglycan related heterogeneity of the thymic epithelium?, *J. Cell. Physiol.*, 2000, vol. 185, pp. 68–79.

Поступила в редакцию 11.10.2022 г.

После доработки 21.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 11.10.2022; approved after reviewing 21.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022

Научная статья

УДК 664.953:597.541

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-957-969

EDN: MTEOPV



ПИЩЕВАЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ПАШТЕТНЫХ КОНСЕРВОВ ИЗ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ САРДИНЫ *SARDINOPS MELANOSTICTUS*

Л.В. Шульгина, К.Г. Павел, Е.А. Солодова, Е.В. Якуш*

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

Аннотация. Исследованы пищевая и биологическая ценность и липидные индексы здоровья 2 вариантов паштетных консервов из дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus* (сардины иваси), в состав которых, кроме рыбы, входят овощи и вкусоароматические добавки. В консервы второго варианта дополнительно включено растительное масло, используемое для пассерования овощей. Установлено, что содержание белков в паштетных консервах составляет 13,7–15,5 %, жира — 14,3–17,4, углеводов — 4,6–4,8 %. Белки в консервах полноценные и сбалансированные по аминокислотному составу. Основным классом липидов в консервах из сардины иваси являются триацилглицериды, доля фосфолипидов — 6,0–6,4 %. В составе жирных кислот липидов наиболее многочисленной группой являются полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), которые в консервах из сардины иваси первого варианта составляют 38,80 % от общей суммы жирных кислот, второго варианта — 41,29 %. Количество ПНЖК в 100 г консервов — соответственно 5,86 и 7,05 г. В консервах первого варианта содержание ПНЖК омега-3 составляет 25,22 % от общего числа жирных кислот, омега-6 — 9,94 %. Содержание ПНЖК в консервах второго варианта — соответственно 18,60 и 20,53 %. В первом варианте доминирует эйкозапентаеновая кислота (ЭПК, 20:5 n-3) — 14,20 %, во втором преобладает линолевая кислота (18:2 n-6) — 19,57 %. Сумма ЭПК+ДГК (докозагексаеновая кислота) составляет в первом варианте 19,04 % от общего числа жирных кислот, в содержимом консервов — 3,14 г/100 г продукта. Во втором варианте количество ЭПК+ДГК — 14,11 % от общей суммы жирных кислот, или 2,40 г/100 г продукта. Для консервов определены липидные индексы здоровья («health lipid indices»), в основу расчета которых положены соотношения насыщенных и ненасыщенных жирных кислот. Индексы атерогенности и тромбогенности составляют для первого варианта продуктов соответственно 0,59 и 0,24, для второго — 0,41 и 0,24. Гипохолестеринэмический показатель липидного компонента паштетных консервов первого варианта — 2,26, второго — 3,49. Низкие значения индексов атерогенности и тромбогенности, а также высокое значение гипохолестеринэмических индексов характеризуют положительное влияние липидного профиля продуктов на холестериновый обмен и скорость тромбообразования в кровеносных сосудах человека.

* Шульгина Лидия Васильевна, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией, lvshulgina@mail.ru, ORCID 0000-0002-1767-0129; Павел Константин Геннадьевич, кандидат химических наук, ведущий специалист, kg.pavel@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1476-9577; Солодова Елена Афанасьевна, кандидат технических наук, ведущий специалист, elena.solodova@tinro-center.ru, ORCID 0000-0001-9847-413X; Якуш Евгений Валентинович, кандидат химических наук, первый заместитель руководителя филиала, evyakush@mail.ru, ORCID 0000-0001-7837-5943.

© Шульгина Л.В., Павел К.Г., Солодова Е.А., Якуш Е.В., 2022

Ключевые слова: паштетные консервы, дальневосточная сардина *Sardinops melanostictus*, пищевая ценность, ПНЖК, липидные индексы здоровья

Для цитирования: Шульгина Л.В., Павел К.Г., Солодова Е.А., Якуш Е.В. Пищевая и биологическая ценность паштетных консервов из дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus* // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 957–969. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-957-969. EDN: MTEOPV.

Original article

Nutritional and biological value of canned pate from japanese sardine *Sardinops melanostictus*

Lidia V. Shulgina*, Konstantin G. Pavel**, Elena A. Solodova***,
Evgeny V. Yakush****

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

* D.Biol., professor, head of laboratory, lvshulgina@mail.ru, ORCID 0000-0002-1767-0129

** Ph.D., leading specialist, kg.pavel@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1476-9577

*** Ph.D., leading specialist, elena.solodova@tinro-center.ru, ORCID 0000-0001-9847-413X

**** Ph.D., first deputy head of the branch, evyakush@mail.ru, ORCID 0000-0001-7837-5943

Abstract. Nutritional and biological value and the dietary lipid indices are determined for 2 recipes of pate canned food from japanese sardine *Sardinops melanostictus* (sardine-iwashi). The first recipe uses the fish and vegetable raw materials, but the second one includes additionally vegetable oil used for sautéing of the vegetables. The content of proteins in both products was 13.7–15.5 %, fat content — 14.3–17.4 %, carbohydrates — 4.6–4.8 %. The proteins were completed and balanced in terms of amino acid composition. The lipids were represented mainly by triacylglycerides, the portion of phospholipids was 6.0–6.4 %. Among fatty acids of the lipids, the most numerous group was PUFAs (38.8 % of the total amount of fatty acids for the 1st recipe, 41.3 % — for the 2nd recipe). The PUFAs amount in 100 g of canned food was 5.86 and 7.05 g, respectively. The content of omega-3 and omega-6 PUFA was 25.2 % and 9.9 % of the total number of fatty acids for the 1st recipe and 18.6 % and 20.5 % for the 2nd recipe. Among PUFAs, eicosapentaenoic acid (20:5 n-3) dominated in the pate of the 1st recipe (14.2 %) but linoleic acid (18:2 n-6) dominated for the 2nd one (19.6 %). The sum of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids was 19.0 % of total fatty acids or 3.14 g/100 g of the pate for the 1st recipe but 14.1 % or 2.40 g/100 g for the 2nd recipe. The dietary indices (or health lipid indices) were determined as the ratio of certain saturated and unsaturated fatty acids in the product. The indices of atherogenicity and thrombogenicity were 0.59 and 0.24 for the 1st recipe and 0.41 and 0.24 for the 2nd recipe, respectively. The hypocholesterolemic index was evaluated as 2.26 and 3.49 for the 1st and 2nd recipes, respectively. Low values of atherogenicity and thrombogenicity and high value of hypocholesterolemic index provide positive effect of the lipid profile on cholesterol metabolism and rate of thrombosis in the human blood vessels.

Keywords: canned pate, japanese sardine-iwashi, *Sardinops melanostictus*, nutritional value, PUFA, dietary lipid index

For citation: Shulgina L.V., Pavel K.G., Solodova T.A., Yakush E.V. Nutritional and biological value of canned pate from japanese sardine *Sardinops melanostictus*, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 957–969. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-957-969. EDN: MTEOPV.

Введение

Одной из основных причин роста и развития неинфекционных хронических заболеваний (атеросклероза, артериальной гипертензии, сахарного диабета, онкологической патологии и др.), снижающих физиологическую активность организма человека и сокращающих продолжительность жизни, являются дефициты макро- и микронутриентов [Тутельян и др., 2002; Челнакова, Позняковский, 2015; Сергеев и др., 2016]. Среди последних особое внимание привлекают эссенциальные липиды, а именно полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) семейства омега-3, которые играют важную роль в профилактике и лечении различных заболеваний [Mori, 2017; Плотникова и др., 2018; Mocellin et al., 2018].

Богатыми источниками ПНЖК являются морская рыба и рыбные продукты [Акулин и др., 1995; Gladyshev et al., 2007, 2009; Шульгина и др., 2019; Shulgina et al., 2020]. Однако их жиры в процессе обработки рыбы и хранения рыбных продуктов очень нестойки, быстро подвергаются гидролизу и окислению [Акулин, Первунинская, 1974]. Например, кулинарная обработка рыбы (жарка, варка, запекание, тушение и др.) осуществляется при температуре 160–240 °С в присутствии кислорода, что активизирует гидролитические и окислительные процессы в продукте. Высокотемпературное консервирование рыбы по сравнению с кулинарной обработкой является более щадящим способом в отношении липидов. Консервы традиционно стерилизуют в закрытых банках или пакетах под вакуумом при температуре 115–120 °С, что значительно ниже температуры кулинарной обработки. На примере сайры тихоокеанской показано, что при стерилизации жирных рыб снижение содержания ПНЖК за счет термогидролиза не превышает 5–7 % [Шульгина и др., 2017]. В консервах в герметично закрытой банке отсутствует кислород, поэтому при стерилизации и их хранении не происходит окислительных процессов, исключается накопление продуктов перекисного окисления липидов, а также потеря питательных веществ [Давлетшина и др., 2019]. Инактивация микроорганизмов и ферментов при стерилизации позволяет хранить рыбные консервы длительное время (до 3 лет) в нерегулируемых температурных условиях без изменения качества.

Однако при изготовлении натуральных рыбных консервов под действием высокой температуры происходит отделение от плотной части жира с бульоном до 50 % [Швидкая, 1992; Акулин и др., 1995]. Как правило, потребителем используется только плотная часть содержимого консервов, а отделившийся жир не употребляется. При изготовлении паштетных консервов рыба измельчается до фарша, в который добавляются вкусоароматические и (или) структурообразующие компоненты. При стерилизации паштетных консервов отделение бульона и жира практически не происходит.

При употреблении рыбных продуктов с высоким содержанием ПНЖК может проявляться их защитное действие на организм человека [Kaizer et al., 1989; Sampath, Ntambi, 2005; Кулина и др., 2012; Плотникова, Сухих, 2016; Васильев, Стрельцова, 2017; Пристром и др., 2017]. Для оценки диетической ценности липидов в пищевых продуктах исследователи [Ulbricht, Southgate, 1991; Fernandes et al., 2014; Chen, Liu, 2020; Gómez-Limia et al., 2020] предложили липидные индексы здоровья («health lipid indices»), в основу расчета которых положены соотношения между насыщенными и ненасыщенными жирными кислотами. Используя их, можно предположить положительное воздействие пищевого продукта при употреблении лицами из группы риска или при развитии у пациентов сердечно-сосудистых и других заболеваний.

Целью настоящей работы явилась оценка паштетных консервов из сардины иваси как специализированных продуктов для диетического питания на основе показателей биологической ценности и липидных индексов здоровья.

Материалы и методы

Для проведения исследований были использованы мороженная сардина иваси, а также изготовленные из нее паштетные консервы. Рыба была заморожена в блоках по 10 кг, срок хранения составлял не более 2 мес. при температуре минус 18 °С.

Размораживание и подготовку сардины иваси, материалов и тары, фасование, эксгаустирование и закатывание банок, стерилизацию и охлаждение, мойку и сушку консервов проводили по технологической инструкции по производству рыбных консервов*.

Разработку режима стерилизации консервов осуществляли в соответствии с РД 10.03.02-88 «Система технологической документации. Порядок разработки режимов

* Сборник технологических инструкций по производству консервов и пресервов из рыбы и нерыбных объектов. СПб.: Судостроение, 2012. Т. 2. 272 с.

стерилизации и пастеризации консервов и консервированных полуфабрикатов». Температуру и фактический стерилизующий эффект контролировали на приборе СТ-9004 фирмы «Эллаб» (Дания).

Подготовку проб к анализу и определение содержания воды, белков, жира и минеральных веществ осуществляли стандартными методами [ГОСТ 7636-85].

Элементный состав определяли с помощью оптической эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (модель Р400, Perkin Elmer, Шелтон, США) после кислотной обработки пробы и выпаривания.

Аминокислотный состав белков изучали с использованием автоматического аминокислотного анализатора L-8900 (Hitachi, Япония). Подготовку проб для анализа аминокислотного состава белков осуществляли методом кислотного гидролиза 6 N соляной кислотой. Сбалансированность белков оценивалась по индексам незаменимых аминокислот, представляющим отношение их фактического уровня в белках продукта к рекомендованному в стандартном белке FAO/WHO*.

Изучение фракционного состава липидов осуществляли методом тонкослойной хроматографии на аналитических пластинках «Sorbfil» («Сорбполимер», Россия) в системе растворителей гексан : диэтиловый эфир : уксусная кислота — 70 : 30 : 2 (по объему) в качестве элюента. Для проявления хроматограмм применяли 10 %-ный спиртовой раствор фосфорномолибденовой кислоты с последующим нагреванием пластинок при 110 °С. Идентификацию отдельных классов липидов проводили методом сравнения с нанесенными на пластинку стандартными соединениями. Для количественного определения применяли программное обеспечение ImageJ (National Institute of Health, США, v.1.47) [Schneider et al., 2012; Laggai et al., 2013].

Для изучения состава жирных кислот липиды переводили в метиловые эфиры жирных кислот [Cagreau, Dubacq, 1978], которые после очистки препаративной тонкослойной хроматографией анализировали на хроматографе Shimadzu GC-14B (Япония) с использованием капиллярной колонки SupelcowaxTM 10 (30,0 м x 0,32 мм, толщина пленки 0,25 мкм, Supelco, США) и пламенно-ионизационного детектора при температуре колонки 190 °С и инжектора и детектора 240 °С. В качестве газа-носителя использовали гелий со скоростью потока 1 мл/мин и делителем потока 1/60. Идентификацию жирных кислот проводили с использованием индексов эквивалентной длины цепи [Christie, 1988]. Содержание отдельных жирных кислот определяли по площадям пиков с помощью базы обработки данных Shimadzu Chromatopac C-R4A (Япония).

Диетическую значимость липидов устанавливали по специальным липидным индексам: атерогенности (IA), тромбогенности (IT) [Ulbricht, Southgate, 1991; Chen, Liu, 2020] — и гипохолестеринемическому показателю соотношения гипо- (ненасыщенных) и гиперхолестеринемических (насыщенных) жирных кислот (h/H) [Fernandes et al., 2014].

Все цифровые величины, использованные при построении таблиц, обрабатывали с помощью программы «Microsoft Excel» 2014. Статистическую обработку полученных результатов исследований проводили общепринятыми математическими методами с использованием компьютерных программ «Microsoft Excel» 2014. Результаты представляют собой средние значения и стандартное отклонение ($\pm$).

Результаты и их обсуждение

Для проведения исследований были изготовлены паштетные консервы, в составе которых доля филе сардины иваси составляла 65 %. Дополнительно в рецептуру консервов введены овощи (лук, морковь), молоко сухое, крахмал, вкусоароматические добавки (соль, пряности), которые способствовали улучшению органолептических

* Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. Rome: FAO, 2013. 66 p. Режим доступа: <http://www.fao.org/3/a-i3124e.pdf>.

показателей продуктов. Были изготовлены 2 варианта консервов, различие которых состояло в способе подготовки овощей. В рецептуру консервов второго варианта входило в количестве 3,1 % к массе нетто подсолнечное масло, используемое на пассерование овощей, что несколько изменило липидный профиль продуктов. Подготовку сырья и компонентов, а также отдельные технологические операции при изготовлении консервов осуществляли по технологическим инструкциям*.

Готовые консервы представляли собой рыборастворительный продукт с высокими органолептическими характеристиками: приятным вкусом и запахом, свойственными составляющим компонентам; нежной и сочной консистенцией. Масса продукта была однородная, структура равномерная. Отделения жира от плотной части продукта или наличие тонкой жировой пленки не отмечалось.

Исследования химического состава консервов показали (табл. 1), что образцы двух вариантов были близки по содержанию белков, углеводов и минеральных веществ. В образцах консервов второго варианта содержание воды было несколько ниже, чем в образцах первого варианта, что связано с испарением влаги из овощей при их пассеровании. Более высокое содержание жирового компонента в образцах консервов второго варианта обусловлено растительным маслом, используемым для пассерования овощей.

Таблица 1

Химический состав паштетных консервов из сардины иваси, %

Table 1

Chemical composition of canned pate from sardine-iwashi, %

Показатель	Варианты консервов	
	1	2
Вода	65,9 ± 2,5	62,7 ± 2,4
Белок	13,7 ± 0,6	13,5 ± 0,7
Жир	14,3 ± 0,8	17,4 ± 0,7
Углеводы	4,6 ± 0,6	4,8 ± 0,8
Минеральные вещества	1,5 ± 0,1	1,6 ± 0,2

Белки в паштетных консервах из сардины иваси содержат все незаменимые и заменимые аминокислоты (табл. 2). Количество серосодержащих аминокислот (Met+Cys) в продуктах несколько ниже, чем в шкале эталонного белка, но превышает их минимальный уровень (2,2 г/100 г белка), поддерживающий аминокислотную структуру белков в тканях**. Содержание триптофана в консервах также превышает его минимальное значение для поддержания аминокислотной структуры, которое составляет 0,6 г/100 г белка. Поэтому белки в паштетных консервах из сардины иваси являются сбалансированными и полноценными.

Состав липидов в разных вариантах паштетных консервов из сардины иваси практически одинаков (табл. 3). Основным классом липидов являются триацилглицериды, доля фосфолипидов составляет около 6 % от общего количества липидов (табл. 3). Известно, что фосфолипиды оказывают положительное влияние на липидный обмен в организме человека при риске заболеваний печени и сердечно-сосудистой системы и используются для их лечения [Плотникова, Сухих, 2016; Кубекина и др., 2017; Lordan et al., 2018]. Рекомендуемая суточная доза фосфолипидов для взрослого человека составляет 5,0–7,0 г***. Содержание фосфолипидов в 100 г паштетных консервов из сардин — около 1,0 г, или около 15,0–20,0 % от суточной потребности в них для взрослого человека. В связи с этим паштетные консервы из сардины иваси могут являться дополнительными источниками этих функциональных ингредиентов.

* Сборник... [2012].

** Dietary... [2013].

*** МР 2.3.1.1915-04. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. М.: РИК ГОУ ОГУ, 2004. 36 с.

Таблица 2
Аминокислотный состав белков в паштетных консервах из сардины иваси, г/100 г белка
Table 2

Amino acid composition of proteins in canned pate from sardine-iwashi, g/100 g

Незаменимая аминокислота	Эталонный белок*	Консервы		Заменимая аминокислота	Консервы	
		Вариант 1	Вариант 2		Вариант 1	Вариант 2
Val	4,9	5,8	5,8	Ala	6,3	6,1
Leu	7,5	8,1	8,2	Asp	9,2	9,5
Ile	3,5	4,2	4,2	Arg	5,4	5,0
Thr	4,2	4,7	4,6	Gly	5,3	5,5
Met+Cys	3,5	2,8	2,6	Glu	15,5	15,4
Phe+Tyr	7,3	8,3	8,0	Pro	6,5	7,0
Lys	7,3	8,0	8,3	Ser	4,7	4,6
Trp	1,2	1,0	1,0	Hys	4,2	4,6

* Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. Rome: FAO, 2013. 66 p. Режим доступа: <http://www.fao.org/3/a-i3124e.pdf>.

Таблица 3
Состав липидов в паштетных консервах из сардины иваси
Table 3

Lipid composition of canned pate from sardine-iwashi

Класс липидов	Варианты консервов			
	1		2	
	Доля от общей суммы липидов, %	Г/100 г продукта	Доля от общей суммы липидов, %	Г/100 г продукта
Триацилглицериды	84,7	13,13	85,1	14,98
Свободные жирные кислоты	4,2	0,65	4,1	0,72
Стерины	2,5	0,39	2,4	0,42
Диацилглицериды	1,2	0,19	1,2	0,21
Эфиры стерин	1,0	0,16	1,1	0,19
Полярные липиды (фосфолипиды)	6,4	1,00	6,0	1,05

Сравнительные данные по составу жирных кислот в образцах паштетных консервов из сардины иваси приведены в табл. 4.

Содержание насыщенных жирных кислот в паштетных консервах из сардины иваси 1-го варианта составило 26,41 % от общей суммы жирных кислот, в консервах 2-го варианта их было значительно меньше (21,81 % от суммы жирных кислот), что обусловлено большим содержанием в продукте растительного масла, использованного для пассерования лука и моркови. В растительном масле преобладают мононенасыщенные жирные кислоты [Химический состав..., 1987]. Среди насыщенных жирных кислот по количеству преобладала пальмитиновая кислота (16:0).

Не менее трети (33,43–35,47 %) всех жирных кислот в липидах консервов составляла группа мононенасыщенных жирных кислот. В зависимости от варианта паштетных консервов содержание их находилось в пределах 5,02–5,33 г/100 г продукта. В этой группе жирных кислот доминировала олеиновая кислота (18:1 n-9), что является закономерным для жира из морских рыб и растительного масла [Химический состав..., 1987]. Она используется человеком для поддержания нормального обмена веществ и энергии, а также для построения клеточного скелета [Титов и др., 2014].

Наиболее многочисленной группой жирных кислот в липидах паштетных консервов из сардины иваси явились ПНЖК. Их доля в липидах первого варианта паштетных консервов составляла 38,80 % от общей суммы жирных кислот (5,86 г/100 г продукта), во втором варианте — 41,29 % (7,05 г/100 г продукта). Однако в зависимости от варианта консервов содержание биологически значимых ПНЖК значительно различалось. В 1-м варианте паштетных консервов преобладали эйкозапентаеновая (ЭПК) (20:5 n-3)

Таблица 4

Состав жирных кислот в паштетных консервах из сардины иваси,
% от общей суммы жирных кислот

Table 4

Composition of fatty acids in canned pate from sardine-iwashi,
% of the total amount of fatty acids

Жирная кислота	Варианты консервов		Жирная кислота	Варианты консервов	
	1	2		1	2
12:0	0,49	0,47	16:2 n-4	1,09	0,75
14:0	6,09	4,36	16:4 n-1	1,94	1,31
i-15:0	0,22	0,13	18:2 n-9	0,11	0,10
15:0	0,39	0,23	18:2 n-6	9,01	19,57
16:0	15,36	12,79	18:2 n-4	0,25	0,18
i-17:0	0,27	0,20	18:3 n-6	0,24	0,19
ai-17:0	0,27	0,19	18:3 n-3	0,47	0,33
17:0	0,21	0,16	18:4 n-3	1,91	1,29
i-18:0	0,15	—	18:4 n-1	0,25	0,17
ai-18:0	0,10	—	20:2 n-9	—	—
18:0	2,48	2,65	20:2 n-6	0,12	0,15
20:0	0,16	0,19	20:3 n-6	0,13	—
22:0	0,22	0,33	20:4 n-6	0,44	0,33
24:0	—	0,11	20:4 n-3	0,80	0,52
Σ насыщенных	26,41	21,81	20:5 n-3	14,20	9,95
16:1 n-7	7,33	5,15	22:2	—	0,19
16:1 n-5	0,23	0,16	21:5 n-3	0,48	0,34
17:1 n-8	0,68	0,48	22:4 n-6	—	0,13
18:1 n-9	13,37	21,18	22:5 n-6	—	—
18:1 n-7	2,88	2,28	22:5 n-3	1,89	1,47
18:1 n-5	0,34	0,25	22:6 n-3	5,74	4,16
19:1 n-9	0,12	—	Σ полиненасыщенных	38,80	41,29
20:1 n-11	2,93	2,17	Σ жирных кислот n-3	25,22	18,06
20:1 n-9	1,50	1,20	Σ жирных кислот n-6	9,94	20,53
20:1 n-7	0,17	0,12	Σ n-3/Σ n-6	2,54	0,88
22:1 n-11	2,91	2,19	Σ ЭПК и ДГК	19,94	14,11
22:1 n-9	0,50	0,35			
24:1 n-9	0,46	0,34			
Σ мононенасыщенных	33,43	35,87			

и докозагексаеновая (ДГК) (22:6 n-3) жирные кислоты, их сумма составляла 19,94 % от общего числа жирных кислот (или 3,0 г/100 г продукта). ПНЖК липидов в консервах 2-го варианта в наибольшем количестве представлены линолевой кислотой (18:2 n-6) — 19,57 % от общей суммы жирных кислот, или 3,34 г/100 г продукта. Сумма ЭПК и ДГК во втором варианте консервов составляла 14,11 % от их общего числа (или 2,41 г/100 г продукта). Известно, что рекомендуемая суточная доза омега-3 жирных кислот, включая ЭПК и ДГК, для взрослого человека — 1,0–4,0 г*. Содержание ПНЖК омега-3 в 100 г паштетных консервов из сардины иваси позволяет полностью удовлетворить потребности здорового или больного человека в этих веществах.

Для оценки потенциального положительного эффекта липидного профиля паштетных консервов из сардины иваси были определены специальные индексы, рекомендованные для определения диетического действия жирных кислот в продуктах питания [Ulbricht, Southgate, 1991; Fernandes et al., 2014; Chen, Liu, 2020] (табл. 5).

* МР 2.3.1.1915-04... [2004].

Таблица 5

Липидные индексы здоровья паштетных консервов из сардины иваси

Table 5

Dietary lipid indices for canned pate from sardine-iwashi

Индекс	Варианты консервов	
	1	2
Атерогенность (IA)	0,59	0,41
Тромбогенность (IT)	0,24	0,24
Гипохолестеринемический показатель (h/H)	2,26	3,49

Индекс атерогенности (IA) показывает взаимосвязь между суммой насыщенных и ненасыщенных жирных кислот и характеризует атерогенный потенциал жирных кислот продукта [Ulbricht, Southgate, 1991; Chen, Liu, 2020]. Потребление продуктов с более низким значением IA способствует снижению холестерина низкой плотности в плазме человека. Для рыбы этот индекс находится в пределах 0,50–1,79, моллюсков — 0,20–1,17, мяса — 0,11–1,41. Нами установлено, что значения IA липидного профиля паштетных консервов из сардины иваси более низкие, чем у большинства рыбных и мясных продуктов. В первом варианте консервов значение IA составляет 0,59, во втором — 0,41. Различие в этих индексах и, по-видимому, антиатерогенных свойств липидов объясняется разным соотношением отдельных групп ПНЖК, в частности омега-6/омега-3. В консервах второго варианта содержание омега-6 значительно выше (20,53 % от суммы жирных кислот), чем в первом (9,94 %). Это обусловлено тем, что в состав консервов второго варианта входит подсолнечное масло, в котором 59,8 % жирных кислот представлены линолевой кислотой (18:2 n-6) [Химический состав..., 1987].

Индекс тромбогенности (IT) характеризует тромбогенный потенциал жирных кислот липидов в продуктах питания, т.е. их способность влиять на свертываемость крови и здоровье человека [Ulbricht, Southgate, 1991; Calabrò et al., 2015; Chen, Liu, 2020]. Известно, что протромбогенными являются насыщенные жирные кислоты (C12:0, C14:0 и C16:0), а антитромбогенными — мононенасыщенные и ПНЖК. Композиция этих жирных кислот в рационе питания характеризует склонность к образованию тромбов в крови сосудов человека: чем выше индекс, тем выше скорость тромбообразования. Более низкое значение IT характеризует положительное воздействие липидов за счет замедления скорости тромбообразования в сосудах. Установлено, что значения IT для рыбных продуктов составляют 0,14–0,87, для мясных — 0,39–1,69. Наши исследования показали, что для паштетных консервов из сардины иваси индексы одинаковые (0,24) и значительно ниже, чем у многих других пищевых продуктов.

Гипохолестеринемический показатель (h/H) рекомендован для оценки влияния липидного профиля продуктов на общий уровень холестерина в крови человека [Fernandes et al., 2014; Tonial et al., 2014; Paiva et al., 2016; Rincón-Cervera et al., 2020]. Он представляет собой соотношение ненасыщенных и насыщенных жирных кислот в липидах продуктов и предложен как показатель качества рациона питания и укрепления здоровья. Повышенное значение данного индекса характеризует высокую ценность жира в продуктах питания, а также способность их снизить риск развития нарушений липидного обмена в организме человека и при сердечно-сосудистых заболеваниях. Значение h/H для паштетных консервов из сардины иваси первого варианта составило 2,26, для второго — 3,49. Высокое значение этого показателя для паштетных консервов 2-го варианта, по-нашему мнению, обусловлено высоким содержанием ПНЖК как омега-3, так и омега-6, что выше, чем у некоторых других рыбных и мясных продуктов.

Выводы

Паштетные консервы из сардины иваси и растительного сырья характеризуются высокой биологической ценностью и являются источником эссенциальных липидов.

Исследованы два варианта паштетных консервов на основе сардины иваси, различающихся соотношением отдельных групп ПНЖК, в частности омега-3 и омега-6 жирных кислот. В состав консервов второго варианта входит растительное масло, в результате чего в липидах $\frac{1}{2}$ часть ПНЖК представлена омега-6 жирными кислотами (20,53 % от суммы жирных кислот). В образцах первого варианта количество ПНЖК омега-6 составляет всего 9,94 %.

Липидный профиль паштетных консервов из сардины иваси имеет низкие значения индексов IA (0,59 и 0,41) и IT (по 0,24), а также высокое значение показателя h/H (2,26 и 3,49), что обуславливает их высокие функциональные свойства за счет предполагаемого положительного влияния на холестеринный обмен и скорость тромбообразования в сосудах.

Более низким индексом IA (0,41) и высоким значением показателя h/H (3,49) характеризуется второй вариант консервов, в липидах которого по сравнению с консервами первого варианта содержится значительно больше ПНЖК омега-6 (20,53 %). Это характеризует липидный профиль продуктов наиболее физиологичным соотношением отдельных групп ПНЖК (омега-6 и омега-3).

Паштетные консервы из сардины иваси и овощей соответствуют требованиям, предъявляемым к специализированной продукции для диетического питания, как источники эссенциальных липидов. Введение в рацион питания лицам из группы риска или больным сердечно-сосудистыми заболеваниями паштетных консервов из сардины иваси с физиологичным соотношением жирных кислот будет способствовать снижению риска развития этих патологий.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность ведущему специалисту аналитической научно-испытательной лаборатории Тихоокеанского филиала ВНИРО (ТИНРО) Г.В. Самойленко за оказание помощи при изучении химического состава паштетных консервов и аминокислотного состава белков.

The authors are grateful to G.V. Samoylenko, leading specialist of the Analytical Research and Testing Laboratory of TINRO, for his assistance in chemical analyses.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования.
The study was funded by the state budget.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все приемлемые национальные, институциональные и международные этические принципы соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable national, institutional and international ethical guidelines are implemented. The authors declare that they have no conflict of interests.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Л.В. Шульгина — планирование работ, анализ результатов, написание статьи; К.Г. Павел — выполнение химических исследований, обработка данных; Е.А. Солодова — выполнение технологических исследований, обработка данных; Е.В. Якуш — планирование работ, обсуждение полученных данных.

L.V. Shulgina — the study planning and management, analysis of the results, writing the text; K.G. Pavel — chemical analyses and the data processing; E.A. Solodova — technological investigations and the data processing; E.V. Yakush — general supervision, discussing of the results.

Список литературы

- Акулин В.Н., Блинов Ю.Г., Швидкая З.П., Попков А.А.** Состав липидов натуральных консервов из некоторых видов рыб и беспозвоночных // Изв. ТИНРО. — 1995. — Т. 118. — С. 48–53.
- Акулин В.Н., Первунинская Т.А.** Жирнокислотный состав липидов некоторых видов тихоокеанских рыб // Исследования по технологии рыбных продуктов. — Владивосток : ТИНРО, 1974. — Вып. 5. — С. 39–42.
- Васильев А.П., Стрельцова Н.Н.** Омега-3-жирные кислоты в кардиологической практике // Consilium Medicum. — 2017. — Т. 19, № 10. — С. 96–104. DOI: 10.26442/2075-1753_19.10.96-104.
- Давлетшина Т.А., Долбнина Н.В., Солодова Е.А. и др.** Технология консервов // Энциклопедия «Пищевые технологии». Технологии рыбной промышленности. В 2 частях. — М. : ВНИРО, 2019. — Ч. 2. — С. 8–163.
- Кубекина М.В., Мясоедова В.А., Карагодин В.П., Орехов А.Н.** Фосфолипиды пищи: влияние на липидный обмен и факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний // Вопр. питания. — 2017. — Т. 86, № 3. — С. 6–18.
- Кулина Е.В., Смолина Ю.А., Османов И.М. и др.** Роль омега-3 жирных кислот при прогрессирующих заболеваниях почек // Рос. вестн. перинатологии и педиатрии. — 2012. — Т. 57, № 4-1. — С. 81–86.
- Плотникова Е.Ю., Синькова М.Н., Исаков Л.К.** Роль омега-3 ненасыщенных кислот в профилактике и лечении различных заболеваний // Лечащий врач. — 2018. — № 7. — С. 63–67.
- Плотникова Е.Ю., Сухих А.С.** Липиды: гепатопротекторы, точки приложения, фармакологические эффекты // Consilium Medicum. — 2016. — № 1. — С. 5–12.
- Пристром М.С., Семененков И.И., Олихвер Ю.А.** Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты: механизмы действия, доказательства пользы и новые перспективы применения в клинической практике // Мед. новости. — 2017. — № 3. — С. 13–16.
- Сергеев В.Н., Михайлов, В.И., Шестопалов, А.Е., Тарасова, Л.В.** Значение лечебно-профилактического питания в комплексном лечении заболеваний // Вестн. неврологии, психиатрии и нейрохирургии. — 2016. — № 8. — С. 70–74.
- Титов В.Н., Дыгай А.М., Котловский М.Ю. и др.** Пальмитиновая, олеиновая кислоты и их роль в патогенезе атеросклероза // Бюл. сибирской медицины. — 2014. — Т. 13, № 5. — С. 149–159. DOI: 10.20538/1682-0363-2014-5-149-159.
- Тутельян В.А., Спиричев В.Б., Суханов Б.П., Кудашева В.А.** Микронутриенты в питании здорового и больного человека : моногр. — М. : Колос, 2002. — 424 с.
- Химический состав пищевых продуктов. Справочник** / под ред. И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Агропромиздат, 1987. — 358 с.
- Челнакова Н.Г., Позняковский В.М.** Питание и здоровье современного человека : моногр. — Ростов н/Д: Старые русские, 2015. — 224 с.
- Швидкая З.П.** Консервы «Сельдь иваси натуральная» — источник ЭПК в питании человека // Экологические проблемы питания населения Украины : тез. докл. Междунар. конф. — Киев, 1992. — С. 109.
- Шульгина Л.В., Давлетшина Т.А., Павловский А.М. и др.** Консервы из сайры тихоокеанской — источник полиненасыщенных жирных кислот семейства омега-3 // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 191. — С. 235–242. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-191-235-242.
- Шульгина Л.В., Давлетшина Т.А., Павловский А.М. и др.** Состав липидов и жирных кислот в мышечной ткани японской скумбрии *Scomber japonicus* // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 196. — С. 193–203. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-193-203.
- Calabrò S., Cutrignelli M.I., Lo Presti V. et al.** Characterization and effect of year of harvest on the nutritional properties of three varieties of white lupine (*Lupinus albus* L.) // J. Sci. Food Agric. — 2015. — Vol. 95. — P. 3127–3136. DOI: 10.1002/jsfa.7049.
- Carreau J.P., Dubacq J.P.** Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts // J. Chromatogr. — 1978. — Vol. 151, Iss. 3. — P. 384–390. DOI: 10.1016/S0021-9673(00)88356-9.
- Chen J., Liu H.** Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review // Int. J. Mol. Sci. — 2020. — Vol. 21(16). 5695. DOI: 10.3390/ijms21165695.
- Christie W.W.** Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas-chromatography A reappraisal // J. Chromatogr. — 1988. — Vol. 447, Iss. 2. — P. 305–314. DOI: 10.1016/0021-9673(88)90040-4.
- Fernandes C.E., da Silva Vasconcelos M.A., de Almeida Ribeiro M. et al.** Nutritional and lipid profiles in marine fish species from Brazil // Food Chem. — 2014. — Vol. 160. — P. 67–71. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.03.055.

Gladyshev M.I., Sushchik N.N., Gubanenko G.A. et al. Effect of boiling and frying on the content of essential polyunsaturated fatty acids in muscle tissue of four fish species // *Food Chem.* — 2007. — Vol. 101. — P. 1694–1700. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.04.029.

Gladyshev M.I., Sushchik N.N., Makhutova O.N., Kalachova G.S. Content of essential polyunsaturated fatty acids in three canned fish species // *Int. J. Food Sci. Nutr.* — 2009. — Vol. 60, Iss. 3. — P. 224–230. DOI: 10.1080/09637480701664761.

Gómez-Limia L., Cobas N., Franco I., Martínez-Suárez S. Fatty acid profiles and lipid quality indices in canned European eels: Effects of processing steps, filling medium and storage // *Food Res. Int.* — 2020. — Vol. 136: 109601. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109601>.

Kaizer L., Boyd N.F., Krinkov V., Tritchler, D. Fish consumption and breast cancer risk: an ecological study // *Nutrition and Cancer.* — 1989. — Vol. 12. — P. 61–68.

Laggai S., Simon Y., Ransweiler T. et al. Rapid chromatographic method to decipher distinct alterations in lipid classes in NAFLD/NASH // *World J. Hepatol.* — 2013. — Vol. 5, Iss. 10. — P. 558–567. DOI: 10.4254/wjh.v5.i10.558.

Lordan R., Nasopoulou C., Tsoupras A., Zabetakis I. The Anti-inflammatory Properties of Food Polar Lipids // *Bioactive Molecules in Food.* — Springer, Cham., 2018. — P. 1–34. DOI: 10.1007/978-3-319-54528-8_95-1.

Mocellin M.C., Fernandes R., Chagas T.R., Trindade E.B. A meta-analysis of n-3 polyunsaturated fatty acids effects on circulating acute-phase protein and cytokines in gastric cancer // *Clinical Nutrition.* — 2018. — Vol. 37(3). — P. 840–850.

Mori T.A. Marine OMEGA-3 fatty acids in the prevention of cardiovascular disease // *Fitoterapia.* — 2017. — Vol. 123. — P. 51–58. DOI: 10.1016/j.fitote.2017.09.015.

Paiva L., Lima E., Neto A.I. et al. Health-promoting ingredients from four selected Azorean macroalgae // *Food Res. Int.* — 2016. — Vol. 89. — P. 432–438. DOI: 10.1016/j.foodres.2016.08.007.

Rincón-Cervera M.Á., González-Barriga V., Romero J. et al. Quantification and distribution of omega-3 fatty acids in south pacific fish and shellfish species // *Foods.* — 2020. — Vol. 9(2). — P. 233. DOI: 10.3390/foods9020233.

Sampath H., Ntambi J.M. Polyunsaturated fatty acid regulation of genes of lipid metabolism // *Annu. Rev. Nutr.* — 2005. — Vol. 25(1). — P. 317–340. DOI: 10.1146/annurev.nutr.25.051804.101917.

Schneider C.A., Rasband W.S., Eliceiri K.W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis // *Nat. Methods.* — 2012. — Vol. 9, № 7. — P. 671–675.

Shulgina L.V., Davletshina T.A., Pavlovskii A.M., Pavel K.G. Lipid and Fatty-Acid Compositions of Muscle Tissue from *Sardinops melanostictus* // *Chemistry of Natural Compounds.* — 2020. — Vol. 56, Iss. 2. — P. 305–308. DOI: 10.1007/s10600-020-03014-1.

Tonial I.B., Oliveira D.F., Coelho A.R. et al. Quantification of essential fatty acids and assessment of the nutritional quality indexes of lipids in tilapia alevins and juvenile tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) // *J. Food Res.* — 2014. — Vol. 3. — P. 105–114. DOI: 10.5539/jfr.v3n3p105.

Ulbricht T.L.V., Southgate D.A.T. Coronary heart disease: seven dietary factors // *The Lancet.* — 1991. — Vol. 338(8773). — P. 985–992. DOI: 10.1016/0140-6736(91)91846-m.

References

Akulin, V.N., Blinov, Yu.G., Shvidkaya, Z.P., and Popkov, A.A., Lipid composition of natural canned products from several species of fish and invertebrates, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1995, vol. 118, pp. 48–53.

Akulin, V.N. and Pervuninskaya T.A., Fatty acid composition of lipids of some Pacific species, in *Issledovaniya po tekhnologii rybnikh produktov* (Investigations on the Technology of Fish Products), Vladivostok: TINRO, 1974, no. 5, pp. 39–42.

Vasilev, A.P. and Streltsova, N.N., Omega-3 fatty acids in cardiology practice, *Consilium Medicum*, 2017, vol. 19, no. 10, pp. 96–104. doi 10.26442/2075-1753_19.10.96-104

Davletshina, T.A., Dolbnina, N.V., Solodova, E.A., Shvidkaya, Z.P., Shulgina, L.V., and Yakush, E.V., Canned Food Technology, in *Entsiklopediya «Pishchevyie tekhnologii»*. *Tekhnologii rybnoy promyshlennosti* (Encyclopedia “Food Technologies”. Technologies of the fishing industry), Moscow: VNIRO, 2019, vol. 2, pp. 8–163.

Kubekina, M.V., Myasoedova, V.A., Karagodin, V.P., and Orekhov, A.N., Dietary phospholipids: lipid metabolism and risk factors for cardiovascular diseases, *Vopr. Pitaniya*, 2017, vol. 86, no. 6, pp. 6–18.

Kulina, E.V., Smolina, Yu.A., Osmanov, I.M., Sukhorukov, V.S., Mamedov, I.S., and Zolkina, I.V., Role of omega-3 fatty acids in progressive renal diseases, *Russian bulletin of perinatology and pediatrics*, 2012, vol. 57, no. 4(1), pp. 81–86.

Plotnikova, E.Yu., Sinkova, M.N., and Isakov, L.K., Role of omega-3 unsaturated acids in prevention and treatment of different diseases, *Lechashchiy vrach*, 2018, no. 7, pp. 63–67.

Plotnikova, E.Yu. and Sukhikh, A.S., Lipids: hepatoprotectors, the point of application, the pharmacological effects, *Consilium Medicum*, 2016, no. 1, pp. 5–12.

Pristrom, M.S., Semenkov, I.I., Olikhver, Yu.A., Omega-3 polyunsaturated fatty acids: mechanisms of action, evidence of benefits and new prospects for use in clinical practice, *Meditinskije novosti*, 2017, no. 3, pp. 13–16.

Sergeev, V.N., Mikhailov, V.I., Shestopalov, A.E., and Tarasova, L.V., Importance of healthful and dietary meals in complex treatment of the diseases, *Bulletin of neurology, psychiatry and neurosurgery*, 2016, no. 8, pp. 70–74.

Titov, V.N., Dygai, A.M., Kotlovskiy, M.Yu., Kurdoyak, Y.V., Yakimenko, A.V., Yakimovich I., Yu., Aksyutina, N.V., and Kotlovskiy, Yu.V., Palmitic and oleic acids and their role in pathogenesis of atherosclerosis, *Bulletin of Siberian Medicine*, 2014, vol. 13, no. 5, pp. 149–159. doi 10.20538/1682-0363-2014-5-149-159

Tutelyan, V.A., Spirichev, V.B., Sukhanov, B.P., and Kudasheva, V.A., *Mikronutriyenty v pitanii zdorovogo i bol'nogo cheloveka* (Micronutrients in the nutrition of a healthy and sick person), Moscow: Kolos, 2002.

Khimicheskij sostav pishchevykh produktov. Spravochnik (The chemical composition of food), Skurikhin, I.M., Volgarev, M.N., eds, Moscow: Agropromizdat, 1987.

Chelnakova, N.G. and Poznyakovskiy, V.M., *Pitanie i zdorov'e sovremennogo cheloveka* (Nutrition and health of modern man), Rostov-na-Donu: Staryye russkiye, 2015.

Shvidkaya, Z.P., Canned “Natural Ivasi herring”, a source of EPA in human nutrition, in *Tezisy dokl. Mezhdunar. konf. “Ekologicheskie problemy pitaniya naseleniya Ukrainy”* (Proc. Int. Conf. “Ecological Problems of Nutrition of the Population of Ukraine”), Kiev, 1992, pp. 109.

Shulgina, L.V., Davletshina, T.A., Pavlovsky, A.M., Solodova, E.A., Pavel', K.G., and Yakush, E.V., Canned goods from pacific saury — a source of polyunsaturated fatty acids of the omega-3 family, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 191, pp. 235–242. doi 10.26428/1606-9919-2017-191-235-242

Shulgina, L.V., Davletshina, T.A., Pavlovsky, A.M., Solodova, E.A., and Pavel, K.G., Composition of lipids and fatty acids in muscle tissue of chub mackerel *Scomber japonicus*, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 196, no. 1, pp. 193–203. doi 10.26428/1606-9919-2019-196-193-203

Calabrò, S., Cutrignelli, M.I., Lo Presti, V., Tudisco, R., Chiofalo, V., Grossi, M., Infascelli, F., and Chiofalo, B., Characterization and effect of year of harvest on the nutritional properties of three varieties of white lupine (*Lupinus albus* L.), *J. Sci. Food Agric.*, 2015, vol. 95, no. 15, pp. 3127–3136. doi 10.1002/jsfa.7049

Carreau, J.P. and Dubacq, J.P., Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts, *J. Chromatogr.*, 1978, vol. 151, no. 3, pp. 384–390. doi 10.1016/S0021-9673(00)88356-9

Chen, J. and Liu, H., Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review, *Int. J. Mol. Sci.*, 2020, vol. 21, no. 16, 5695. doi 10.3390/ijms21165695

Christie, W.W., Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas-chromatography A reappraisal, *J. Chromatogr.*, 1988, vol. 447, no. 2, pp. 305–314. doi 10.1016/0021-9673(88)90040-4

Fernandes, C.E., da Silva Vasconcelos, M.A., de Almeida Ribeiro, M., Sarubbo, L.A., Andrade, S.A.C., and de Melo Filho, A.B., Nutritional and lipid profiles in marine fish species from Brazil, *Food Chem.*, 2014, vol. 160, pp. 67–71. doi 10.1016/j.foodchem.2014.03.055

Gladyshev, M.I., Sushchik, N.N., Gubanenko, G.A., Demirchieva, S.M., and Kalachova, G.S., Effect of boiling and frying on the content of essential polyunsaturated fatty acids in muscle tissue of four fish species, *Food Chem.*, 2007, vol. 101, pp. 1694–1700. doi 10.1016/j.foodchem.2006.04.029

Gladyshev, M.I., Sushchik, N.N., Makhutova, O.N., and Kalachova, G.S., Content of essential polyunsaturated fatty acids in three canned fish species, *Int. J. Food Sci Nutr*, 2009, vol. 60, no. 3, pp. 224–230. doi 10.1080/09637480701664761

Gómez-Limia, L., Cobas, N., Franco, I., Martínez-Suárez, S., Fatty acid profiles and lipid quality indices in canned European eels: Effects of processing steps, filling medium and storage, *Food Res. Int.*, 2020, vol. 136, 109601. doi 10.1016/j.foodres.2020.109601

Kaizer, L., Boyd, N.F., Krinkov, V., and Tritchler, D., Fish consumption and breast cancer risk: an ecological study, *Nutrition and Cancer*, 1989, vol. 12, pp. 61–68.

Laggai, S., Simon, Y., Ransweiler, T., Kiemer, A.K., and Kessler, S.M., Rapid chromatographic method to decipher distinct alterations in lipid classes in NAFLD/NASH, *World J. Hepatol.*, 2013, vol. 5, no. 10, pp. 558–567. doi 10.4254/wjh.v5.i10.558

Lordan, R., Nasopoulou, C., Tsoupras, A., and Zabetakis, I., The Anti-inflammatory Properties of Food Polar Lipids, *Bioactive Molecules in Food*, Mérillon, J.M., Ramawat, K., eds, Springer, Cham., 2018, pp. 1–34. doi 10.1007/978-3-319-54528-8_95-1

Mocellin, M.C., Fernandes, R., Chagas, T.R., and Trindade, E.B., A meta-analysis of n-3 polyunsaturated fatty acids effects on circulating acute-phase protein and cytokines in gastric cancer, *Clin. Nutr.*, 2018, vol. 37, no. 3, pp. 840–850.

Mori, T.A., Marine OMEGA-3 fatty acids in the prevention of cardiovascular disease, *Fito-terapia*, 2017, vol. 123, pp. 51–58. doi 10.1016/j.fitote.2017.09.015

Paiva, L., Lima, E., Neto, A.I., Marcone, M., and Baptista, J., Health-promoting ingredients from four selected Azorean macroalgae, *Food Res. Int.*, 2016, vol. 89, pp. 432–438. doi 10.1016/j.foodres.2016.08.007

Rincón-Cervera, M.Á., González-Barriga, V., Romero, J., Rojas, R., and López-Arana, S., Quantification and distribution of omega-3 fatty acids in south pacific fish and shellfish species, *Foods*, 2020, vol. 9, no. 2, pp. 233. doi 10.3390/foods9020233

Sampath, H. and Ntambi, J.M., Polyunsaturated fatty acid regulation of genes of lipid metabolism, *Annu. Rev. Nutr.*, 2005, vol. 25, no. 1, pp. 317–340. doi 10.1146/annurev.nutr.25.051804.101917

Schneider, C.A., Rasband, W.S., and Eliceiri, K.W., NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis, *Nat. Methods*, 2012, vol. 9, no. 7, pp. 671–675.

Shulgina, L.V., Davletshina, T.A., Pavlovskii, A.M., and Pavel, K.G., Lipid and Fatty-Acid Compositions of Muscle Tissue from *Sardinops melanostictus*, *Chemistry of Natural Compounds*, 2020, vol. 56, no. 2, pp. 305–308. doi 10.1007/s10600-020-03014-1

Tonial, I.B., Oliveira, D.F., Coelho, A.R., Matsushita, M., Coró, F.A.G., De Souza, N.E., and Visentainer, J.V., Quantification of essential fatty acids and assessment of the nutritional quality indexes of lipids in tilapia alevins and juvenile tilapia fish (*Oreochromis niloticus*), *J. Food Res.*, 2014, vol. 3, pp. 105–114. doi 10.5539/jfr.v3n3p105

Ulbricht, T.L.V. and Southgate, D.A.T., Coronary heart disease: seven dietary factors, *The Lancet*, 1991, vol. 338, no. 8773, pp. 985–992. doi 10.1016/0140-6736(91)91846-m

Sbornik tekhnologicheskikh instruktsiy po proizvodstvu konservov i preservov iz ryby i nerybnykh ob'yektov (Collection of technological instructions for the production of canned food and preserves from fish and non-fish objects), St. Petersburg: Sudostroyeniye, 2012, vol. 2.

Dietary protein quality evaluation in human nutrition, Report of an FAO Expert Consultation, Rome: FAO, 2013, <http://www.fao.org/3/a-i3124e.pdf>.

MR 2.3.1.1915-04. Rekomenduyemye urovni potrebleniya pishchevykh i biologicheskii aktivnykh veshchestv (Recommended levels of consumption of food and biologically active substances), Moscow: RIK GOU OGU, 2004.

Поступила в редакцию 18.10.2022 г.

После доработки 21.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 18.10.2022; approved after reviewing 21.11.2022;

accepted for publication 21.11.2022

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ECONOMIC STUDIES**

Научная статья

УДК 574.5:/330.5:639.2/**DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-970-991****EDN: KMOSOP****ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ БИОРЕСУРСОВ
СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКИ И СТРАТЕГИИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ****И.В. Волвенко***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Это очередная попытка ответить на вопросы: Какие водные биоресурсы (ВБР) и в каком количестве находятся в дальневосточных морях и северной Пацифике? Что из них и сколько добывают на Дальнем Востоке? Рационально ли в России распоряжаются ВБР? Почему все именно так и может ли быть лучше? По данным траловых съемок создана геоинформационная система (ГИС) с картами распределения ВБР с делением их на реально промышляемые, потенциально промысловые и непромысловые. Для Чукотского, Берингова, Охотского, Японского морей и тихоокеанских вод сделаны оценки биомассы ВБР, возможного выхода продукции и ее стоимости. Водоемы ранжированы по их ценности для рыболовства. Полученные оценки сопоставлены со сведениями о вылове, экспорте, импорте и потреблении рыбных продуктов в РФ. Показано, что в каждом водоеме можно ловить намного больше по биомассе и ассортименту. В одном только Охотском море можно поймать больше, чем 5,2 млн т («стратегический потолок» всего российского рыболовства, названный в «Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 года»). На всей акватории можно ежегодно изымать в 3,5–4,7 раза больше этой величины, а если расширить ассортимент добываемых ВБР, задействовав потенциально промысловые виды, то и в 5,6 раза. Анализ динамики вылова, перераспределения и потребления ВБР позволил определить не биологические, а социально-экономические причины того, почему РФ до сих пор столько не добывает, и предложить ряд мер для исправления положения. Область практического применения результатов: совершенствование управления РХК, рациональное использование ВБР, продовольственная безопасность РФ, охрана природы, бонитировка с определением стоимости биоресурсов различных акваторий и оценка ущерба, наносимых природе выбросом загрязняющих веществ, строительством гидротехнических сооружений, добычей нефти и газа, авариями танкеров и атомных электростанций.

Ключевые слова: водные биологические ресурсы, биомасса, возможный выход продукции, минимальная суммарная стоимость, средняя цена, рациональное природопользование, реально и потенциально промысловые объекты

Для цитирования: Волвенко И.В. Эколого-экономические оценки биоресурсов северной Пацифики и стратегии их использования // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 970–991. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-970-991. EDN: KMOSOP.

* Волвенко Игорь Валентинович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, oknevlov@gmail.com, ORCID 0000-0003-0369-4039.

© Волвенко И.В., 2022

Original article

Ecological and economic assessments of biological resources in the North Pacific and strategies for their use

Igor V. Volvenko

Pacific branch of VNIRO (TINRO),

4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

D.Biol., principal researcher, oknevlov@gmail.com, ORCID 0000-0003-0369-4039

Abstract. New attempt to answer the questions: 1) what aquatic biological resources are possessed in the Russian Far-Eastern Seas and North Pacific and what is their quantity? 2) which of them and how many are caught annually? 3) are these resources managed rationally in Russia? 4) and what is the reason for current situation and can it be improved? Based on the data of trawl surveys, a GIS is created with maps of the biological resources distribution, separately for actually harvested, potentially commercial, and non-commercial ones. The biomass, potential yield and its cost are calculated for the Chukchi, Bering, Okhotsk, and Japan Seas and North-West Pacific. These water bodies are ranked by their value for commercial fisheries. The obtained estimates are compared with the data on annual catch, export, import, and consumption of fish products in Russia. Possibility of larger landing is concluded for each water body, in terms of the harvested species biomass. The harvest from the Okhotsk Sea alone can reach more than 5.2 million tons that exceeds the level of «strategic ceiling» for the entire Russian fishery proposed in «Strategy for development of the fisheries complex of Russian Federation for the period to 2030». For the whole water area under consideration, this level can be exceeded by 3.5–4.7 times, or even by 5.6 times if the potentially commercial species will be exploited. Dynamics of domestic catch, trade and consumption of the biological resources are analyzed. The conclusion is that socio-economic conditions rather than the state of biological resources are the reason that Russia still does not harvest so much. Some measures are proposed to improve the management of the Russian fishery industry. The obtained results can also be used for maintenance rational use of the biological resources, food security, and nature protection, including evaluation of cost for biological resources in certain water bodies and assessment of damage caused to the nature and biological resources by pollution, construction, oil and gas production, or technogenic accidents.

Keywords: aquatic biological resources, biomass, yield, minimal retail cost, average price, environmental management, sustainable fishery, commercial species

For citation: Volvenko I.V. Ecological and economic assessments of biological resources in the North Pacific and strategies for their use, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 970–991. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-970-991. EDN: KMOSOP.

Введение

Российская Федерация (РФ) — одна из крупнейших стран в мире по вылову водных биоресурсов (ВБР), более 2/3 которых добывается нашими рыбаками в дальневосточных морях и северо-западной части Тихого океана [Шунтов и др., 2007а, б; Шунтов, 2013; FishNews, 2014–2017, 2019–2022*; Состояние промысловых ресурсов..., 2020, 2021**]. Но вот парадокс: на рыбных рынках и в рыбных магазинах наших ближайших соседей по АТР (Южная Корея, Китай, Япония, Таиланд, Сингапур, Вьетнам и т.д.) глаза разбегаются от изобилия и разнообразия деликатесов. Все свежайшее. Можно

* FishNews. 2014. <http://fishnews.ru/news/22709>; то же 2015. <http://fishnews.ru/news/25568>; то же 2016. <http://fishnews.ru/news/29891>; то же 2017. <http://fishnews.ru/news/30334>; то же 2019. <https://fishnews.ru/news/35550>; то же 2020. <https://fishnews.ru/news/38316>; то же 2021. <https://fishnews.ru/news/40839>; то же 2022. <https://fishnews.ru/news/43545>.

** Состояние промысловых ресурсов Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна. Прогноз общего вылова гидробионтов на 2020 г. (краткая версия). Владивосток: ТИНРО, 2020. 501 с.; Состояние промысловых ресурсов Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна — 2021 г. Владивосток: ТИНРО, 2021. 455 с.

купить живой товар, продавцы могут его убить и разделать, могут там же приготовить и накормить покупателя (рис. 1).



Рис. 1. Фотографии с рыбного рынка Чагалчи портового южнокорейского г. Пусан
Fig. 1. Jagalchi fish market in Busan, South Korea

У нас же в аналогичных торговых точках ассортимент рыб и других морепродуктов невелик. Вседохлое, замороженное, засушенное, часто прогорклое или тухлое [см. напр.: <https://ast-news.ru/node/v-gorodke-prodavali-prosrochennuyu-rybu/?ysclid=l65ve802ur843283649>, <https://primamedia.ru/news/368577/?ysclid=l65vbwbff336274301>, <https://primpress.ru/article/20731?ysclid=l65vdmcyj739424108>,

<https://roscontrol.com/journal/tests/krasnaya-ikra-v-chernom-spiske-itogi-testa>, <https://news.myseldon.com/ru/news/index/171818138>, https://www.gazeta.ru/business/news/2017/06/20/n_10199945.shtml, <https://www.forbes.ru/biznes/367079-indeks-kuricy-pochemu-v-rossii-ne-edyat-rybu?ysclid=l65ut6n7je31114188>, <https://newstracker.ru/news/society/05-12-2019/prosrochennuyu-rybu-postavlyali-v-bolnitsu-na-stavropolie>, https://www.rospotrebnadzor.ru/about/info/news/news_details.php?ELEMENT_ID=15424&ysclid=l65v6lqoon586032296, <http://fishkamchatka.ru/articles/russia/37444/>, https://ivteleradio.ru/news/2020/10/05/4_2_tonny_prosrochennoy_ryby_ne_dopustili_k_prodazhe_v_ivanove?ysclid=l65vc61v6b653277859, <https://news.1777.ru/72686-v-stavropole-predprinimatel-prodaval-prosrochennuyu-rybu?ysclid=l65vcivtjk504510397>, <https://udm-info.ru/news/society/16-09-2020/bole-7-tonn-prosrochennoy-ryby-iz-yali-iz-torgovli-v-izhevsk>, <https://iz.ru/1239023/dmitrii-alekseev/v-mutnoi-vode-89-rossiiskikh-rybnikh-konservov-sochli-nekachestvennymi>, https://oblast45.ru/publication/40690?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop], особенно в последнее время (рис. 2). Это порождает ряд вопросов. Чего и сколько живет на Дальнем Востоке? Чего и сколько там ловят? Рационально ли мы распоряжаемся ВБР? Почему все именно так и может ли быть лучше? Первый из них из области экологии, второй — экономики, третий — экологии и экономики, последний — экологии, экономики, государственного управления и геополитики. Отсюда и название настоящей статьи.



Рис. 2. Фотографии с рыбных рынков и магазинов, типичных для дальневосточных городов России

Fig. 2. Fish markets and shops typical for the Russian cities in the Far East

Ранее для ответа на эти вопросы [Волвенко, 2015а]* данные траловых съемок ТИН-РО в западной части Берингова моря были сопоставлены с официальными сведениями о вылове ВБР в этом районе. Оказалось, что из года в год здесь давалось разрешение на вылов 4–7 % имеющихся ВБР (0,588–1,132 млн т), осваивалось от 61 до 80 % этой квоты (0,406–0,686 млн т), что составляет лишь 3–4 % величины сырьевой базы в ее весовом эквиваленте**. При этом структура вылова долгие годы не соответствует структуре запасов ВБР. Селективность вылова очень велика в отношении минтая и крабов, а запасы макруросов, сайки, мойвы, наваги, командорского кальмара, креветок и морских ежей явно недоиспользуются. Многие объекты вообще игнорируются. Как следствие,

* Видеозапись доклада на эту тему размещена на YouTube-канале ВНИРО и доступна по ссылке <http://www.youtube.com/watch?v=K0NvG0e4DbU&spfreload=10>.

** Разумеется, нельзя ловить 100 %, но 3–4 % — это слишком мало. Теоретически можно было бы добывать примерно 15–20 %.

пространственное распределение интенсивности промысла абсолютно не совпадает с величиной запасов ВБР на конкретных участках акватории. Соответственно, и нагрузка на экосистему распределена по акватории чрезвычайно неравномерно. С позиций же рационального природопользования и экосистемного подхода к управлению биологическими ресурсами промысловое изъятие не должно акцентироваться на отдельных коммерчески выгодных объектах. Оно должно распространяться на возможно большее количество компонентов биоты экосистем в соответствии с их запасами и продукцией. Очевидно, что это было бы полезно государству (охрана природы и устойчивое развитие рыболовства) и потребителям (расширение ассортимента морепродуктов), но невыгодно рыбопромышленникам, заинтересованным в избирательном изъятии «валютных» объектов и минимизации затрат на их вылов.

Далее для уточнения результатов и расширения исследований в этом направлении по траловым съемкам ТИНРО, проведенным в дальневосточных морях и северной части Тихого океана за последние 40 лет, был опубликован [Volvenko et al., 2019, 2020]* список всех пойманных там видов рыб, круглоротых и беспозвоночных (более 1500 видов) с латинскими, русскими и английскими названиями, указаниями, в каком море каждый из них встречается, имеет ли реальную или потенциальную промысловую значимость, каковы возможный выход из него продукции (ее доля от массы сырья) и минимальные оптовые цены в USD (\$) за тонну. Предполагалось, что такая информация будет полезна не только ученым, но и рыбакам, рыболовам, бизнесменам, экономистам, чиновникам, управляющим эксплуатацией ресурсов, рыбной и пищевой промышленностью, охраной природы, геополитикам и др. При этом было показано, что 13 приоритетных объектов российского промысла составляют ничтожные доли от числа видов (объектов), реально добываемых в РФ (2,6 %), всех промысловых (1,8 %) и тем более от всех видов, которые ловятся тралами (0,8 %) (при том что тралами ловится только 23 % видов гидробионтов, обитающих на обследованной акватории). Один из главных выводов этой работы — то, что самым массовым промысловым видам данного региона свойственны значительные естественные флуктуации запасов, а потому устойчивое рыболовство может обеспечить только расширение ассортимента добываемых биоресурсов. Сырьевая база дальневосточных морей и северной части Тихого океана предоставляет нам такую возможность, чем давно уже пользуются все наши соседи по АТР (см. рис. 1).

Настоящая публикация — очередная попытка найти ответы на ключевые вопросы, заданные в начале, с использованием большого массива новых данных и усовершенствованного алгоритма их обработки.

Материалы и методы

Подавляющее большинство промысловых видов относятся к траловой макрофауне. Этим термином называются все животные с размерами тела от 1 см до нескольких метров и массой тела от граммов до сотен килограммов, которые попадают в донные и разноглубинные тралы с мелкой вставкой в кутце из 10–12-миллиметровой дели. Потому для расчетов использованы базы данных траловой макрофауны [Волвенко, Кулик, 2011; Волвенко, 2014], созданные в ТИНРО и дополненные материалами новых рейсов. Они содержат информацию об уловах с почти 35 тыс. пелагических и более 40 тыс. донных траловых станций (табл. 1), выполненных научно-исследовательскими судами с 1977 по 2018 г. в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне. В выборки включена информация только из отборных научных рейсов, где работали опытные ихтиологи и гидробиологи, которые обеспечивали учет всех рыб и беспозвоночных в каждом улове; представителей каждого вида подсчитывали, взвешивали и промеря-

* Презентация доклада на эту тему на русском языке размещена на сайте ВНИРО и доступна по ссылке http://www.vniro.ru/files/rybokhosyajstvennaya_shkola/2018/sch_3_volvenko.pdf.

ли, а неопределенные образцы почти всегда фиксировали и передавали на берег для идентификации специалистами по таксономическим группам.

Таблица 1

Характеристики выборок для разных объектов исследования и водоемов

Table 1

Samples parameters for different objects of study and water bodies

Объект	Выборка	Чукотское море	Берингово море	Охотское море	Японское море	Тихий океан	Всего
Рыбы и беспозвоночные пелагиали	Кол-во станций	157	5370	12529	2645	14249	34950
	Площадь, тыс. км ²	29	2072	3565	844	8014	14525
	Годы	2003–2014	1982–2018	1980–2018	1981–2018	1979–2018	1979–2018
	Глубины, м	0–35	0–920	0–2200	0–720	0–1230	0–2200
Донные рыбы	Кол-во станций	201	10056	11297	12018	6501	40073
	Площадь, тыс. км ²	14	948	867	616	1506	3951
	Годы	1977–2018	1977–2018	1977–2018	1978–2018	1977–2018	1977–2018
	Глубины, м	13–64	1–1400	4–2000	5–935	10–1860	1–2000
Донные беспозвоночные	Кол-во станций	142	6075	8339	8104	3448	26108
	Площадь, тыс. км ²	6	537	591	346	645	2125
	Годы	1995–2018	1977–2018	1977–2018	1978–2018	1977–2018	1977–2018
	Глубины, м	13–64	1–1400	5–2000	5–935	10–1860	1–2000

Нужно отметить, что по техническим причинам подавляющее большинство тралений сделано на глубинах до 1000 м. Большие глубины обследовались редко и нерегулярно. Кроме того, слабо охвачена наблюдениями внутренняя часть шельфа с глубинами менее 20–30 м, поскольку съемки в основном выполнялись со средне- и крупнотоннажных судов, вооруженных тралами с большим вертикальным раскрытием. Таким образом почти вне учетов оказались глубоководная и прибрежная (неритическая) зоны и их обитатели.

В соответствии с методиками, подробно описанными ранее [Атлас..., 2003–2006; Волвенко, 2015а, б], создана геоинформационная система (ГИС), где по одноградусным трапециям с центрами в точках пересечения меридианов и параллелей обобщены данные уловов всех видов траловой макрофауны. Для этого площадным методом рассчитана плотность каждого вида (кг/км²) в каждой трапеции. Абсолютная биомасса (тыс. т) найдена произведением плотности на площадь поверхности воды для пелагиали и площадь поверхности дна в одноградусной трапеции для бентали. Возможный выход продукции (тыс. т) и ее минимальная оптовая стоимость (млн \$) найдены произведением биомассы вида на соответствующие множители из вышеупомянутого списка [Volvenko et al., 2019, 2020]. Отметим, что в этих работах даны минимальные оптовые цены на рыбопродукцию, более актуальные для рыбаков и рыбопромышленников, чем для потребителей: естественно, они многократно ниже розничных из продуктовых магазинов и тем более ресторанов. Минимальные цены соответствуют ценам на замороженные целые тушки рыб и беспозвоночных. Выход продукции при этом максимален*. Если же рассматривать продукцию более глубокой переработки, то выход продукции будет

* Бассейновые нормы выхода готовой продукции переработки беспозвоночных и водорослей Дальневосточного бассейна. М., 2013. 29 с.; Бассейновые нормы отходов и потерь, выхода готовой продукции и расхода сырья при производстве мороженой и кормовой продукции из рыб Дальнего Востока. М., 2014. 107 с.

меньшим, но и цены на нее, и ее стоимость окажутся значительно выше минимальных. Это следует иметь ввиду при рассмотрении полученных результатов. Оценка упомянутой разницы в выходе, ценах, стоимости и обсуждение рентабельности глубокой переработки рыбопродукции требуют привлечения множества дополнительных данных и выходят за рамки темы настоящей статьи.

Все вычисления выполнены отдельно для трех групп ВБР: 1) рыбы и беспозвоночные пелагиали (из уловов разноглубинных тралов); 2) донные беспозвоночные; 3) демерсальные рыбы (из уловов донных тралов), поскольку для них использовались разные выборки. Для построения карт результаты расчетов по всем видам просуммированы по одноградусным трапециям, а в итоговых таблицах — по водоемам и по всей обследованной акватории*.

Кроме того, все ВБР разделены на 3 промысловые группы:

1) реально промышляемые — те виды, которые реально ловят рыбаки РФ по сведениям из Отраслевой системы мониторинга ВБР (судовые суточные донесения и официальная отчетность предприятий) за 2008–2022 гг. [<https://cfmc.ru/>];

2) потенциально промысловые — те, что раньше ловили российские рыбаки или ловят рыбаки соседних стран (а), есть в официальных российских перечнях промысловых видов**, но наши рыбаки в настоящее время их не ловят (б), и они отсутствуют в этом списке, но являются потенциально промысловыми объектами, пригодными в пищу, на корм скоту, для изготовления удобрений, лекарств и т.п. (в)***;

3) непромысловые — ни на что не пригодные (даже на изготовление рыбной муки или рыбьего жира) при современном развитии науки и техники****.

Для расчета показателей по двум первым группам из данных предварительно исключены записи об уловах мелких (личинки) и средних (молодь) особей промысловых и потенциально промысловых видов, поскольку они не подлежат вылову и пока не годятся для производства продукции (см. Правила рыболовства [<https://fish.gov.ru/otraslevaya-deyatelnost/organizacziya-rybolovstva/pravila-rybolovstva/?ysclid=l662rldyg2597828766>], где есть промысловая мера на многие виды ВБР).

Средние цены на тонну готовой продукции и тонну сырья (\$/т) найдены делением стоимости продукции соответственно на массу ее выхода и на исходную биомассу сырья.

* ГИС содержит отдельные карты для каждой группы и суммарные по всем трем группам. В настоящей статье для экономии места показаны только суммарные карты для всех рыб и беспозвоночных пелагиали и бентали.

** Согласно приказам: Приказ Федерального агентства по рыболовству РФ от 15 апреля 2009 г. № 313 «Об утверждении перечней видов водных биоресурсов, отнесенных к объектам промышленного рыболовства и прибрежного рыболовства» (в ред. приказов Росрыболовства от 23.09.2009 № 851, от 09.03.2010 № 151, от 20.05.2010 № 476, от 09.02.2011 N 82); Приказ Федеральной службы государственной статистики Министерства экономического развития РФ от 28 мая 2012 г. № 324 «Об утверждении статистического инструментария для организации Федеральным агентством по рыболовству федерального статистического наблюдения за уловом рыбы, добычей других водных биоресурсов и производством рыбной продукции»; Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 16 октября 2012 г. № 548 «Об утверждении перечней видов водных биоресурсов, в отношении которых осуществляются промышленное рыболовство и прибрежное рыболовство»; Приказ Федеральной службы государственной статистики (РОССТАТ) РФ от 16 января 2015 г. «Об утверждении статистического инструментария для организации Федеральным агентством по рыболовству федерального статистического наблюдения за уловом рыбы, добычей других водных биоресурсов и производством рыбной и иной продукции из них, производством продукции товарной аквакультуры (товарного рыбоводства)».

*** ГИС содержит отдельные карты по всем трем подгруппам, но в настоящей статье для экономии места показаны только суммарные по группе «потенциально промысловые» (а+б+в).

**** Например: круглоперы, липаровые, планктонные кальмары, пелагические осьминоги, крылоногие моллюски, пелагические оболочники, гребневики, морские звезды, офиуры, морские перья и лилии, губки, мшанки и мн. др.

Сведения о фактическом вылове, экспорте и импорте ВБР за 2016–2020 гг. взяты на сайте Федерального агентства по рыболовству РФ [<https://fish.gov.ru/video/ekonomika-otrasli/2014/11/05/statistika-i-analitika>]. Сведения о потреблении рыбопродукции населением РФ за эту пятилетку опубликованы на сайте Федеральной службы государственной статистики РФ в нескольких вариантах, противоречащих друг другу. Потребление рыбы и рыбопродуктов в домашних хозяйствах [<https://rosstat.gov.ru/folder/11110/document/13292>] в это время неуклонно росло и увеличилось с 21,5 до 22,2 кг/чел./год. Вместе с тем личное потребление (тыс. т/год) рыбы и рыбопродуктов по РФ [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/bal_8.xls] за этот период снижалось, и если разделить его на среднегодовую численность населения [<https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13284>] (млн чел.), то уменьшилось с 22,3 до 20,0 кг/чел./год. Последний вариант более правдоподобен. Он применяется во ВНИРО [см. напр.: Колончин и др., 2022] и использован в настоящей статье.

Другая проблема в том, что в последнее время согласно официальной методологии этот показатель рассчитывается в массе сырца, т.е. сырой целой рыбы с частями, не употребляемыми в пищу. Это искажает действительную ситуацию, скрывая фактическое потребление населением рыбы, что создает ложную видимость благополучия в этой области и может стать причиной необоснованных управленческих решений на разных уровнях власти [Сергеев, 2019*; Рагозина, 2020; Рыжкова, Кручинина, 2020; Скульская, Широкова, 2022]. Поэтому для нахождения истинных величин этого показателя продовольственной безопасности необходим коэффициент перевода массы сырца в массу продукции, готовой к употреблению в пищу. Сопоставление данных Федеральной службы государственной статистики о потреблении продуктов питания в домашних хозяйствах за 2011 и 2012 гг. (они даны в статистических бюллетенях в двух вариантах — и в весе готовой продукции, и в весе сырца) дает две величины — соответственно 72 и 69 %. Однако в литературе встречаются как большие, так и меньшие величины: 70–75 % [Сергеев, 2019*; Рыжкова, Кручинина, 2020], 70 [Рагозина, 2020], 63–72** , 50 [Скульская, Широкова, 2022], 30 % [Колончин и др., 2022]. Чтобы избежать неминуемых противоречий, в настоящей статье расчет потребления выполнен в двух крайних вариантах — 75 и 30 % — оптимистичном и пессимистичном. Таким образом, найден интервал, внутри которого находится истинное значение потребления, если верен хотя бы один из перечисленных коэффициентов.

Результаты и их обсуждение

Впервые для северо-западной части Тихого океана построены карты распределения ВБР, аналогичные тем, что ранее сделаны [Волвенко, 2015а] для западной части Берингова моря, но с делением биоресурсов на реально промысловые, потенциально промысловые и непромысловые (рис. 3, 4). Области их практического применения: управление ВБР, охрана природы, бонитировка с определением стоимости биоресурсов различных акваторий и оценка ущербов, наносимых природе выбросом загрязняющих веществ, строительством гидротехнических сооружений, добычей нефти и газа, авариями танкеров и атомных электростанций.

Анализ пространственного распределения по обследованной акватории показанных на рис. 3, 4 характеристик — предмет отдельной публикации. Для настоящей статьи более актуальна итоговая информация по ним: суммарная — для биомассы, возможного выхода продукции, ее стоимости — и осредненная — для цен. Поэтому

* Сергеев М. Росстат кормит россиян чешуей и хвостами. Статистика приукрашивает рыбный рацион населения // Независимая газета. 28.08.2019. http://www.ng.ru/economics/2019-08-28/1_7661_fish.html.

** Балашов В.В. Достигнет ли потребление рыбы в России уровня африканских стран? // Рыба Камчатского края. 30.09.2019. <http://fishkamchatka.ru/articles/exclusive/31572>; Балашов В.В. Рыбный стол от правительства России // Regnum. 08.03.2021. <https://regnum.ru/news/economy/3209128.html>.

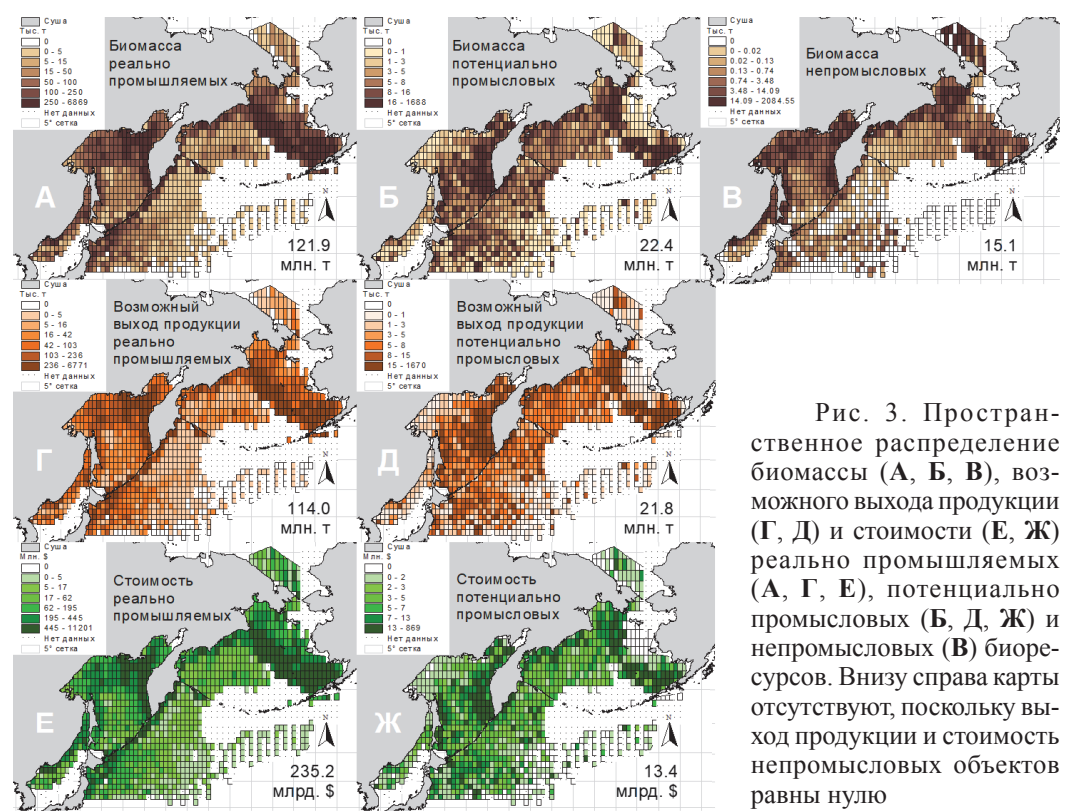


Рис. 3. Пространственное распределение биомассы (А, Б, В), возможного выхода продукции (Г, Д) и стоимости (Е, Ж) реально промысловых (А, Г, Е), потенциально промысловых (Б, Д, Ж) и непромысловых (В) биоресурсов. Внизу справа карты отсутствуют, поскольку выход продукции и стоимость непромысловых объектов равны нулю

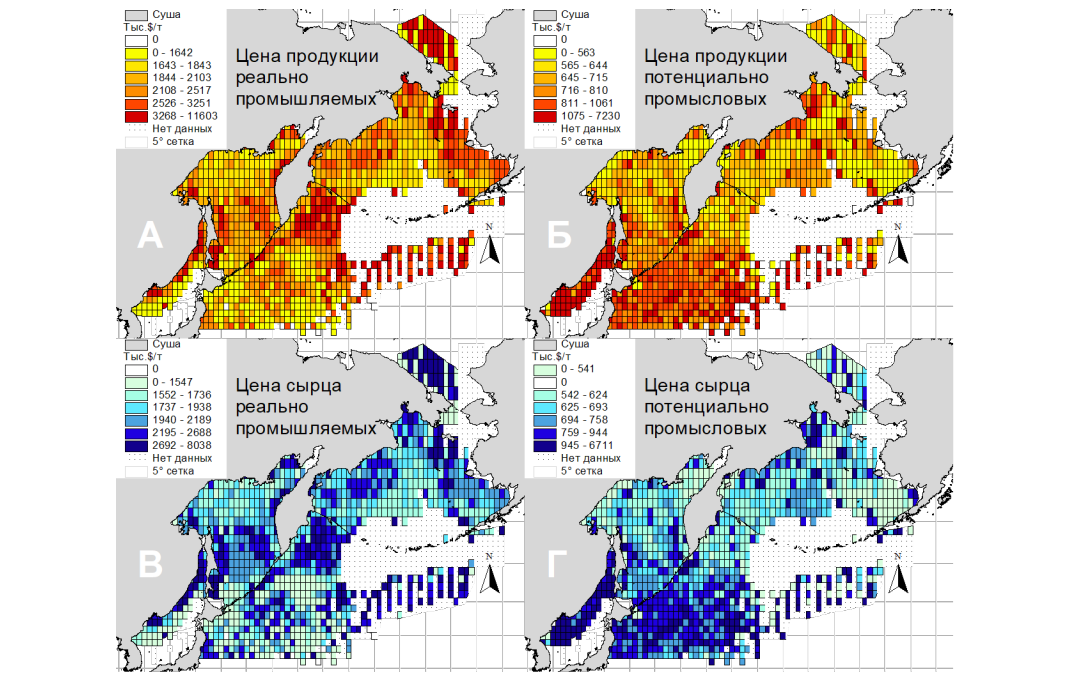


Рис. 4. Пространственное распределение средней цены продукции (А, Б) и сырья (В, Г) реально промысловых (А, В) и потенциально промысловых (Б, Г) биоресурсов

Fig. 4. Spatial distribution of average price for production (А, Б) and raw biomass (В, Г) of actually harvested (А, В) and potentially commercial (Б, Г) bioresources

в сводной табл. 2 данные одноградусных трапеций, показанных на картах, обобщены по каждому водоему и всей обследованной акватории.

Таблица 2

Общая биомасса, возможный выход продукции, минимальные оптовые стоимость и цена ВБР дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана

Table 2

Total biomass, possible product yield, minimum wholesale cost and price of bioresources in the Far-Eastern Seas and North-West Pacific

Группа ВБР	Водоем	Биомасса ВБР, тыс. т	Возможный выход продукции, тыс. т	Стоимость продукции, млн \$	Средняя цена продукции, \$/т	Средняя цена сырца, \$/т
Только реально промышляемые	Чукотское море	1 356 ± 781	1 219 ± 772	3 061 ± 723	2 512 ± 676	2 257 ± 194
	Берингово море	57 864 ± 7 067	53 057 ± 6 991	108 348 ± 11 584	2 042 ± 170	1 872 ± 13
	Охотское море	33 890 ± 1 018	32 414 ± 940	65 379 ± 2 378	2 017 ± 47	1 929 ± 1
	Японское море	5 834 ± 376	5 381 ± 357	14 031 ± 656	2 607 ± 81	2 405 ± 3
	Тихий океан	22 995 ± 1 198	21 874 ± 1 172	44 345 ± 2 173	2 027 ± 73	1 928 ± 3
	Всего	121 939 ± 7 292	113 945 ± 7 200	235 165 ± 12 063	2 064 ± 81	1 929 ± 3
Промышляемые с потенциально промысловыми	Чукотское море	1 460 ± 782	1 314 ± 772	3 132 ± 723	2 384 ± 631	2 146 ± 170
	Берингово море	71 745 ± 7 530	66 692 ± 7 449	115 852 ± 11 661	1 737 ± 150	1 615 ± 11
	Охотское море	37 751 ± 1 095	36 100 ± 1 018	68 021 ± 2 392	1 884 ± 45	1 802 ± 1
	Японское море	6 079 ± 379	5 603 ± 360	14 263 ± 657	2 546 ± 79	2 346 ± 3
	Тихий океан	27 315 ± 1 350	26 016 ± 1 322	47 331 ± 2 199	1 819 ± 69	1 733 ± 2
	Всего	144 349 ± 7 777	135 725 ± 7 681	248 599 ± 12 145	1 832 ± 75	1 722 ± 3

По биомассе ВБР, возможному выходу продукции и ее стоимости на первом месте оказывается Берингово море (к сожалению, наиболее богатая с рыбопромысловой точки зрения северо-восточная часть этого моря находится в исключительной экономзоне США), на втором — Охотское (самое продуктивное из российских морей), на третьем — северо-западная часть океана, на четвертом — Японское и на последнем — Чукотское море. Общая суммарная биомасса промысловых ВБР всей обследованной акватории составляет почти 122 млн т, возможный выход продукции — около 114 млн т на сумму не менее 235 млрд \$ при средней цене, близкой к 2 тыс. \$/т.

В нижней половине табл. 2 даны те же показатели ценности водоемов при учете не только реально промышляемых, но абсолютно всех промысловых видов. Суммарная прибавка при этом составляет около 22 млн т и более 13 млрд \$. Возникает она за счет не востребуемых промыслом серебрянки и других бати-мезопелагических рыб, акул, тунцов, колюшек, спинорогов, гипероглифов, морских собачек, бельдюг, удильщиков, рыб-фугу, макрелей, зубатки, саргана, миног, медуз, кальмаров и каракатиц, многих видов креветок, крабов, раков-богомолов, голотурий, двустворчатых моллюсков и пр.

Еще раз нужно уточнить, что разовое изъятие всех 100 % этих биоресурсов невозможно и нецелесообразно. Поэтому для планирования промысла более актуально пересчитать данные табл. 2 с учетом возможного 20 %-ного вылова ВБР (табл. 3).

Чтобы понять, много это или мало, обратимся к официальной статистике вылова за последние годы (рис. 5). Пика он достиг в 2018 г. Об этом в Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 года [<http://static.government.ru/media/files/hgCKyG0XzZeAiRsLTtMgVIJh5vQLsMpg.pdf>] сказано, что в 2018 г. при планируемом значении показателя «объем добычи (вылова) ВБР» около 4,5 млн т фактическое значение этого показателя составило более 5,1 млн т, или 103,2 % (4,9 млн т), к уровню 2017 г. — рекордный показатель за последние 26 лет. Верхняя (синяя) точка на графике поставлена в соответствии с этим же документом, где во 2-м разделе сказано, что ресурсная база отечественного рыболовства обладает значительным потенциалом по наращиванию объемов добычи (вылова) ВБР; по данным отраслевой науки, сырьевая

Таблица 3

Возможные годовой вылов, выход продукции и ее стоимость при 20 %-ном изъятии ВБР дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана

Table 3

Possible annual catch, product yield and its minimum wholesale cost for a case of 20 % withdrawal of bioresources in the Far-Eastern Seas and North-West Pacific

Группа ВБР	Водоем	Возможный вылов, тыс. т	Возможный выход продукции, тыс. т	Стоимость продукции, млн \$
Только реально промышляемые	Чукотское море	271 ± 156	244 ± 154	612 ± 145
	Берингово море	11 573 ± 1 413	10 611 ± 1 398	21 670 ± 2 317
	Охотское море	6 778 ± 204	6 483 ± 188	13 076 ± 476
	Японское море	1 167 ± 75	1 076 ± 71	2 806 ± 131
	Тихий океан	4 599 ± 240	4 375 ± 234	8 869 ± 435
	Всего	24 388 ± 1 458	22 789 ± 1 440	47 033 ± 2 413
Промышляемые с потенциально промысловыми	Чукотское море	292 ± 156	263 ± 154	626 ± 145
	Берингово море	14 349 ± 1 506	13 338 ± 1 490	23 170 ± 2 332
	Охотское море	7 550 ± 219	7 220 ± 204	13 604 ± 478
	Японское море	1 216 ± 76	1 121 ± 72	2 853 ± 131
	Тихий океан	5 463 ± 270	5 203 ± 264	9 466 ± 440
	Всего	28 870 ± 1 555	27 145 ± 1 536	49 720 ± 2 429

Примечание. Цены при пересчете не изменяются, остаются как в табл. 2.

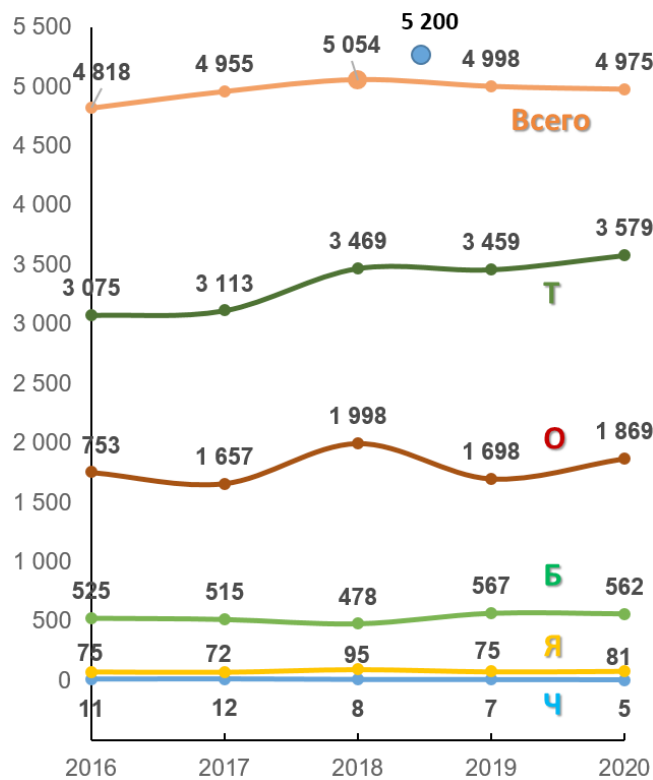


Рис. 5. Вылов водных биоресурсов в западной части Чукотского моря (Ч), Охотском (О), северо-западной части Японского (Я), западной части Берингова моря (Б), северо-западной части Тихого океана (Т), а также российский вылов во всех водоемах вместе с объектами аквакультуры (Всего) за последние пять лет, тыс. т. Верхняя синяя точка соответствует стратегическому максимуму отечественного рыболовства до 2030 г.

Fig. 5. Catch of aquatic biological resources, 10³ t, in the western Chukchi Sea (Ч), Okhotsk Sea (О), northwestern Japan Sea (Я), western Bering Sea (Б), North-West Pacific (Т), and the summary Russian catch in all water bodies, including aquaculture (Всего) in the last 5 years. The upper blue dot corresponds to the target level for the Russian fisheries until 2030

база отечественного рыболовства оценивается в 5,2 млн т. Можно считать, что это — стратегический «потолок» российского рыболовства до 2030 г.

Сопоставление современного реального вылова (рис. 5) с возможным (табл. 3) показывает, что в каждом водоеме можно ловить намного больше. В одном только Охотском море можно поймать больше, чем предписывает «стратегический потолок», а на всей акватории можно изымать в 4,7 раза больше ВБР. Если же расширить ассортимент добываемых ВБР, задействовав потенциально промысловые виды, то и в 5,6 раза*. И это еще без учета глубоководных и прибрежных неритических видов, и только траловая макрофауна.

Даже по самым скромным подсчетам (табл. 4), если исходить из 15, а не 20 %-ного изъятия ВБР, и только тех, что реально промышляются нашими рыбаками (без учета потенциально промысловых видов), возможный съем урожая с обследованной акватории превышает «стратегический потолок» примерно в 3,5 раза.

Таблица 4

Возможные годовой вылов, выход продукции и ее стоимость при 15 %-ном изъятии ВБР дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана без учета потенциально промысловых объектов

Table 4

Possible annual catch, product yield and its minimum wholesale cost for a case of 15 % withdrawal of bioresources in the Far-Eastern Seas and North-West Pacific, without potentially commercial objects

Водоем	Возможный вылов, тыс. т	Возможный выход продукции, тыс. т	Стоимость продукции, млн \$
Чукотское море	203 ± 117	183 ± 116	459 ± 108
Берингово море	8 680 ± 1 060	7 959 ± 1 049	16 252 ± 1 738
Охотское море	5 083 ± 153	4 862 ± 141	9 807 ± 357
Японское море	875 ± 56	807 ± 54	2 105 ± 98
Тихий океан	3 449 ± 180	3 281 ± 176	6 652 ± 326
Всего	18 291 ± 1 094	17 092 ± 1 080	35 275 ± 1 810

Почему же РФ не добывает хотя бы столько, сколько показано в табл. 4? Био- и рыбопродуктивность дальневосточных вод всегда существенно занижалась и недоиспользовалась [Шунтов, 1985а–в, 1986, 1987, 1988, 1994, 2013, 2016; Шунтов и др., 2010]. Причины этого явно не биологические, а социально-экономические. Может быть нет спроса, склады переполнены, а население пресыщено рыбой и другими морепродуктами?

Нет. Это не так (табл. 5). Достижения рыбаков никак не отражаются на потреблении рыбы населением страны, ведь они работают на экспорт, т.е. поставляют продукцию российских морей на столы китайцев, корейцев, японцев, американцев или европейцев (в основном жителей недружественных стран). При этом даже обычные «кошачьи» сорта рыбы обходятся отечественным потребителям дороже мяса. Поэтому и съедают россияне рыбы в среднем значительно меньше медицинской нормы [Балашов, 2019**; Сергеев, 2019***; Мнацаканян и др., 2021; Волвенко, наст. том; Скульская, Широкова, 2022].

* Наверное, чуть меньше, поскольку в расчеты включены ВБР восточной части Берингова моря, но самые массовые их представители совершают ежегодные нагульные миграции в западную часть моря и потому доступны российскому промыслу.

** Балашов В.В. Достигнет ли потребление рыбы в России уровня африканских стран? // Рыба Камчатского края. 30.09.2019. <http://fishkamchatka.ru/articles/exclusive/31572>.

*** Сергеев М. Росстат кормит россиян чешуей и хвостами. Статистика приукрашивает рыбный рацион населения // Независимая газета. 28.08.2019. http://www.ng.ru/economics/2019-08-28/1_7661_fish.html.

Динамика вылова, экспорта, импорта и потребления рыбы и рыбопродукции в России
в 2016–2020 гг.

Table 5

Dynamics of annual catch, export, import, and consumption of fish and fish products
in Russia in 2016–2020

Год	Вылов, тыс. т	Экспорт				Импорт				Потребление, кг/чел./год	
		Тыс. т	Доля вылова, %	Млн \$	Тыс. \$/т	Тыс. т	Доля вылова, %	Млн \$	Тыс. \$/т	В живом весе	В товарном весе*
2016	4818	1912	40	3754	1964	512	11	1619	3162	22,3	6,7–16,7
2017	4955	2141	43	4410	2059	599	12	1929	3220	22,9	6,9–17,2
2018	5054	2236	44	5174	2313	599	12	2199	3670	20,2	6,1–15,2
2019	4998	2100	42	5361	2553	640	13	2178	3403	21,1	6,3–15,9
2020	4975	2237	45	5287	2364	599	12	2055	3431	20,0	6,0–15,0

* 30–75 % массы сырца.

Согласно распоряжению правительства РФ от 17.04.2012 г. № 559-р «Об утверждении Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности РФ на период до 2020 года» [<http://static.government.ru/media/files/5SEWu4kH5Zar985mZYhwg0jbMspj9uAv.pdf>], которое подписал В.В. Путин, в 2012 г. ежегодное потребление рыбных продуктов должно было достигнуть 28 кг на каждого жителя России. Минздрав в 2016 г. для укрепления здоровья населения установил отвечающий современным требованиям здорового питания для развитых стран минимальный объем потребления рыбных продуктов в 22 кг/чел./год в товарном весе. Этот нормативный уровень потребления рыбной продукции в 2020 г. был закреплён Доктриной продовольственной безопасности* как стратегический показатель развития рыбохозяйственного комплекса (РХК) и социальной политики, проводимой государством.

На самом деле (табл. 5) в 2020 г. потребление рыбопродуктов гражданами РФ даже в живом весе не превысило 20 кг/чел./год, а в товарном весе в лучшем случае достигло только 15, в худшем — 6 кг/чел./год. Это рекордно малые величины за рассматриваемый период. Парадоксально, но Минсельхоз, недолго думая, в ответ предложил еще увеличить к 2024 г. российский экспорт рыбной продукции в 2 раза — тоже своеобразный рекорд [Сергеев, 2019**; Балашов, 2021***]. И эта коллизия возникла при том, что, учитывая большое значение рыбных пищевых продуктов в формировании здоровья человека, в 2021 г. Роспотребнадзор снова повысил нормы их потребления с 22 до 28 кг/чел./год на основании методических рекомендаций****, утвержденных Главным государственным санитарным врачом РФ.

Подобная курьезная ситуация — не единственный случай. Вся пятилетняя статистика (табл. 5) показывает, что с ростом вылова рыбы и морепродуктов их потребление в РФ катастрофически сокращается, а экспорт и валютная выручка от него при этом растут, и такая тенденция поощряется на разных уровнях государственного

* Указ Президента РФ от 21.01.2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности РФ» доступен на сайте <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106>.

** Сергеев М. Росстат кормит россиян чешуей и хвостами. Статистика приукрашивает рыбный рацион населения // Независимая газета. 28.08.2019. http://www.ng.ru/economics/2019-08-28/1_7661_fish.html.

*** Балашов В.В. Рыбный стол от правительства России // Regnum. 08.03.2021. <https://regnum.ru/news/economy/3209128.html>.

**** МР 2.3.1.0253–21. Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ. М., 2021. https://www.rosпотребнадзор.ru/upload/iblock/789/1.-mr-2.3.1.0253_21-normy-pishchevykh-veshchestv.pdf.

управления*. Фактически чем больше вылавливается, тем больше продается за границу в ущерб собственной продовольственной безопасности, и, что интересно, в то же время для внутреннего рынка последовательно наращиваются поставки иностранной рыбной продукции. К тому же все эти годы РФ покупала за границей рыбу дороже, чем продавала за границу свою**. Какой в этом смысл?

Частично объясняет происходящее сопоставление информации о природопользовании, бизнесе и госрегулировании в РФ. При этом возникает следующая картина.

Мелкий и средний «рыбный» бизнес, который заинтересован в расширении ассортимента продукции и ориентирован на внутренний рынок, у нас не развит, в отличие от Японии, Китая, Южной Кореи, Вьетнама, Таиланда и других стран АТР. Крупные рыбопромышленники ориентированы на экспорт «валютеемких» объектов (в основном в виде сырья) в богатые страны. Это максимизирует их прибыль «здесь и сейчас». Нарастив вылов и расширять ассортимент они не могут из-за недостатка мощностей, поскольку их увеличение требует долгосрочных вложений, и не хотят, чтобы не «сбивать» цены и т.д. В итоге на внутренний рынок идет брак и «некондиция», которую отказываются покупать развитые страны. Уже поэтому в продаже у нас мало ВБР и они самого низкого качества. Коммерсанты, торгующие рыбопродукцией, тоже стараются максимизировать свою прибыль, завышая цены на внутреннем рынке, где рыночные механизмы конкуренции и ценообразования не работают. Покупательная способность населения низкая, продажи тоже. Продукты портятся, их выбрасывают, но цены не снижают, а часто и не выбрасывают — дорого продолжают продавать тухлый и прогорклый товар.

Вспомним по этому поводу классиков политэкономии и государственного управления. Карл Маркс в одной из глав «Капитала» процитировал слова британского деятеля профсоюзного движения и публициста XIX века Томаса Даннинга: «Капитал боится отсутствия прибыли или слишком маленькой прибыли, как природа боится пустоты. Но раз имеется в наличии достаточная прибыль, капитал становится смелым. Обеспечьте 10 %, и капитал согласен на всякое применение, при 20 % он становится оживленным, при 50 % положительно готов сломать себе голову, при 100 % он попирает все человеческие законы, при 300 % нет такого преступления, на которое он не рискнул бы, хотя бы под страхом виселицы». Не удивительно, что и рыбопромышленниками, и ритейлерами рыбопродукции во главу угла ставится максимальное получение прибыли любой ценой [Скульская, Широкова, 2022].

Может ли и должно ли государство бороться с этим? Опять вспомним классику, слова В.И. Ленина, что государство — это машина для поддержания господства одного класса над другим. Это аппарат насилия правящего меньшинства по отношению к народному большинству, т.е. государство по определению есть инструмент правящего класса и по определению управляет страной в интересах правящего класса — при капитализме в интересах крупных бизнесменов и олигархов. В таком случае ответ на вопрос отрицательный.

* Экспортерам рыбы и морепродуктов оказываются различные финансовые и нефинансовые меры поддержки в виде субсидий, грантов, строительства производственной инфраструктуры, кредитования и страхования, организации выставок и ярмарок [Азжеурова, 2020], в частности в рамках нацпроекта «Международная кооперация и экспорт» [<http://government.ru/info/35564>], а на Камчатке уже стал традиционным конкурс «Экспортер года», в котором побеждает тот, кто больше всех вывез сырья за рубеж [<https://rg.ru/2021/08/04/rossiia-narashchivaet-eksport-rybnoj-produkcii.html>].

** Опрос населения [<https://fishnews.ru/rubric/krupnyim-planom/12564>] показал, что увеличению потребления рыбопродукции населением РФ кроме чрезмерного экспорта препятствуют еще как минимум три фактора: на первом месте ее высокая стоимость, на втором — низкое качество, на третьем — скудный ассортимент. Второе и третье, вероятно, обусловлено тем, что все лучшее уходит на экспорт.

Но это было написано в начале XX века. Более современные взгляды, в частности, зафиксированные в «Стратегии национальной безопасности РФ» [<http://www.kremlin.ru/acts/bank/47046/print>], подразумевают, что государство должно защищать интересы всего народа. Однако роль государства как регулятора у нас пока сводится на нет лоббированием интересов крупного бизнеса. Дело в том, что многие годы в РФ в целом и в РХК в частности опрометчиво делалась ставка на крупный бизнес [Бобылов, 2007*; Дубинина и др., 2018], которым якобы легче управлять. Однако чем он крупнее, тем меньше склонен быть управляемым и тем больше у него желания и возможностей самому управлять экономической ситуацией, используя давление на государство — механизм лоббирования, различные формы политического влияния, вплоть до проникновения во властные структуры [Осадчая, Осадчий, 2007**; Матвеев, 2019]. Это позволяет крупному российскому бизнесу играть активную, а не подчиненную роль в отношениях с государством и не столько воплощать в жизнь государственные задачи, сколько использовать государство в своих интересах [Матвеев, 2019].

Так, рыбная отрасль стала самой высокорентабельной в российской экономике, поскольку в течение ряда лет уникальные условия для монетизации и присвоения рыбопромысловой ренты компаниями отрасли масштабно поддерживались со стороны власти. Немаловажными причинами экономического благополучия рыбной отрасли в этот период стали поощрение экспорта государством, ощутимое снижение налоговой нагрузки и отмена экспортных пошлин. Это оказало неблагоприятное влияние на внутренний рынок, на благосостояние потребителей, равно как и на устойчивость самой отрасли в долгосрочной перспективе с экономической, экологической и социальной точек зрения. Реализуемая в последние годы в рыбной отрасли политика, способствующая массированному присвоению рыбной ренты отдельными представителями крупного бизнеса, может рассматриваться как предпосылка, вызывающая у людей чувство социальной несправедливости, ведущая к усилению социальной розни и расколу в обществе [Мнацаканян и др., 2021].

Может быть, лучше прекратить административное влияние на РХК и дожидаться пока «невидимая рука рынка» сама приведет все в надлежащее равновесие?

В литературе нет единого мнения о роли государства в экономике. До сих пор предметами острой дискуссии являются методы государственного воздействия, место и степень такого вмешательства вплоть до полного его отрицания [Штиль, 2000; Думная, 2009; Борисова, 2012; Карпенко, 2013; Хрусталева, Рыбасова, 2013; и мн. др.]. Однако мировая практика показывает, что рыночная экономика автоматически равновесия не поддерживает и не обеспечивает социальной справедливости. Напротив, многие ее механизмы действуют в противоположную сторону. Она стихийно организует монополии и устраивает грубое неравновесие, когда концентрация богатства переходит допустимые границы и порождает социальные взрывы [Думная, 2009; Хрусталева, Рыбасова, 2013]. Только если государство, исходя из соображений долговременного общественного блага, при помощи своих органов и инструментов противодействует монополиям для защиты конкуренции, можно длительное время сохранять социальное рыночное хозяйство [Борисова, 2012]. Поэтому реальная рыночная экономика никогда, даже при ее становлении, не обходилась без вмешательства государства [Карпенко, 2013], а в периоды кризисов государство берет под больший контроль экономические процессы и может зайти достаточно далеко, подавляя рыночный механизм с целью его налаживания [Думная, 2009].

* Бобылов Ю.А. О создании сверхкрупных интегрированных корпоративных структур в рыбном хозяйстве России // FishNews. Новости рыболовства. Вып. 5(7) от 20.10.2007 г. <https://fishnews.ru/mag/articles/3245?ysclid=l5hrwzqebw925462204>.

** Осадчая И.М, Осадчий Н.М. Становление крупных бизнес-структур в России и их взаимоотношения с государством // Наука и жизнь. 2007. № 2. <https://www.nkj.ru/archive/articles/9018>.

Падение производства в российской экономике не имеет аналогов в мировой истории развития рыночного хозяйства. В результате перейдены границы устойчивости макроэкономической системы. Исторический опыт свидетельствует о том, что при этом необходимо усиление государственного регулирования экономики [Борисова, 2012]. Однако оно должно изменить вектор своего влияния: как минимум

- ввести льготы и беспроцентные кредиты для развития малого и среднего бизнеса;
- развивать прибрежный лов и ориентировать рынок на реализацию улова непосредственно в день его вылова, что сейчас сделать трудно из-за большого количества бюрократических препон;
- позволить продавать продукцию за границу только после выполнения норм поставки ВБР на внутренний рынок (ведь ВБР — национальное достояние)* и сделать экспорт переработанного сырья менее выгодным, чем экспорт готовых продуктов;
- приоритетно стимулировать не вылов ВБР, а их искусственное воспроизводство и переработку, например часть прибыли от добычи ресурсов (сырья) обязать вкладывать в развитие производства (от добычи ВБР — в воспроизводство ВБР, т.е. в аквакультуру);
- субсидировать комплексное использование ВБР, в частности производство удобрений и кормовых продуктов из гидробионтов в растениеводстве, животноводстве, птицеводстве и аквакультуре, а также производство из них технической, косметической и фармацевтической продукции;
- контролировать качество и цены на ВБР на внутреннем рынке, не допуская монополизма, сговора, гиперинфляции;
- приравнять продажу испорченных продуктов питания (опасных для жизни и здоровья потребителей) к диверсионной деятельности против граждан РФ.

Это обеспечило бы продовольственную безопасность страны, здоровье и прирост населения. Но этого до сих пор нет, хотя почти все перечисленные меры уже давно обсуждаются на самом высоком уровне**.

Похоже, что медлить с реформами дальше нельзя, ведь в целом сложившаяся система наносит вред природе и обществу, поскольку налицо:

- нерациональное природопользование;
- неэффективная ресурсозависимая экономика (ресурсы за границу, прибыль обычно тоже), огромная инфляция и обнищание населения;
- некачественное питание — снижение здоровья, работоспособности, продолжительности жизни, рождаемости, хронический стресс и агрессивность граждан;
- социальное напряжение и утрата веры в светлое будущее.

Одним из самых наглядных индикаторов положительных перемен в состоянии РХК РФ (очевидных не только для чиновников, но и для всего населения страны) станет изменение состояния прилавков рыбных рынков и магазинов с того, что мы видим на рис. 2, на то, что показано на рис. 1.

Выводы

Резюмируя сказанное в настоящей статье в свете современных политических реалий, необходимо обратить внимание на следующее.

* Изменить правила экспортной деятельности или сделать это требование необходимым условием получения квот при следующем перераспределении долей между пользователями ВБР.

** См. напр.: Совещание Правительства о перспективах развития рыбохозяйственного комплекса. 07.09.2012 [<http://government.ru/news/5018>]; Заседание президиума Госсовета по вопросам развития рыбохозяйственного комплекса. 19.10.2015 [<http://www.kremlin.ru/events/state-council/50524>]; Заседание Правительственной комиссии по вопросам развития рыбохозяйственного комплекса. 04.02.2021 [<http://government.ru/news/41463>]; Заседание Правительственной комиссии по вопросам развития малого и среднего предпринимательства. 01.12.2021 [<http://government.ru/news/43965>].

ВБР Дальнего Востока РФ огромны, разнообразны и более чем достаточны для обеспечения продовольственной безопасности и здорового питания населения.

В отличие от нефти, газа, золота, это возобновимые ресурсы. Они самовоспроизводятся без нашего участия, т.е. по большому счету бесценны.

В настоящее время они используются далеко не полно и совсем не рационально.

Причины этого не биологические и не технические, а социально-экономические.

Парадокс, но богатство РФ ресурсами (не только ВБР, но и лесом, газом, нефтью) — одна из причин того, что у нас до сих пор развивалось не производство (как, например, в Японии, Китае, Южной Корее), а перекачка сырья за рубеж.

По всем признакам сейчас Россия — сырьевой придаток мировой экономики, и все правительства мира (кроме российского) заинтересованы в неизменности этого положения.

Страны с сырьевой экономикой (кроме ОАЭ) имеют много социальных проблем*. Поэтому правительству РФ нельзя медлить с экономическими реформами, которые назрели давно и стали особенно актуальными в последнее время в связи с санкциями, ограничивающими или блокирующими внешнеторговые отношения — экспорт и импорт.

Больше нельзя покупать все производимое в мире в обмен на природные ресурсы. Пора стать самодостаточными и начинать производить все самим для внутреннего потребления. Это гарантия государственной, экономической, продовольственной и социальной безопасности РФ.

Приоритетом для промышленности должно быть насыщение внутреннего рынка высококачественными товарами, и экспорту должны подлежать в первую очередь результаты их перепроизводства, а не сырье для их производства.

На первый взгляд может показаться, что несколько последних положений выйдут за рамки темы настоящей статьи. Однако эффективные реформы одной отдельно взятой отрасли (РХК) невозможны в отрыве от экономики всей страны — системы общественного производства, исторически сложившейся на территории РФ.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

За обсуждение рукописи настоящей статьи и докладов ее материалов на отчетных сессиях ТИНРО и ВНИРО автор искренне благодарен д-ру биол. наук, профессору В.П. Шунтову, докторам биологических наук А.И. Буяновскому, А.Ф. Волкову, А.В. Гебруку, М.Г. Карпинскому, А.М. Орлову, С.Е. Позднякову, канд. техн. наук Е.В. Осипову, кандидатам биологических наук В.Н. Акулину, А.В. Буслову, О.Н. Катугину, В.В. Кулику, канд. эконом. наук А.А. Курмазову и В.В. Цыгиру. Их ценные замечания были учтены при подготовке рукописи к печати по мере возможности, поскольку иногда противоречили друг другу (например, одни полагали, что траловые научные съемки завышают запасы ВБР, другие — что занижают; одни предлагали сократить обсуждение, другие — увеличить). Однако все они убедили автора в необходимости обнародования настоящей работы, в чем он до последнего сомневался.

The author is sincerely grateful to Prof. V.P. Shuntov and Drs. A.I. Buyanovsky, A.F. Volkov, A.V. Gebruk, A.M. Orlov, S.E. Pozdnyakov, E.V. Osipov, V.N. Akulin, A.V. Buslov, O.N. Katugin, V.V. Kulik, A.A. Kurmazov, and V.V. Tsygir for discussions of the manuscript and its materials. Their valuable comments were taken into account, as far as possible, except some contradictive ones (as overestimation vs underestimation of the stocks by scientific trawl surveys, or shortening vs widening of the Discussion section). These discussions convinced the author to publish the results of this study, although he had doubts until the very end.

* В частности, по итогам ежегодного отчета «Global Wealth Report» [<https://svpressa.ru/economy/article/302231>] в 2020 г. РФ вошла в первую пятерку стран по масштабу и скорости падения благосостояния населения среди крупнейших экономик мира, т.е. богатая ресурсами Россия сейчас стала жить хуже, чем Албания.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена по личной инициативе без дополнительного финансирования.
The study was done on a personal initiative, without additional funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые этические нормы соблюдены.
All applicable ethical standards are met.

Список литературы

- Азжеурова М.В.** Экспорт российской продукции АПК: состояние и перспективы развития // Тр. ВНИРО. — 2020. — Т. 182. — С. 166–173. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-182-166-173.
- Атлас количественного распределения nekтона в западной части Берингова моря** / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — М. : Нац. рыб. ресурсы, 2006. — 1072 с.
- Атлас количественного распределения nekтона в Охотском море** / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — М. : Нац. рыб. ресурсы, 2003. — 1040 с.
- Атлас количественного распределения nekтона в северо-западной части Тихого океана** / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — М. : Нац. рыб. ресурсы, 2005. — 1082 с.
- Атлас количественного распределения nekтона в северо-западной части Японского моря** / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — М. : Нац. ресурсы, 2004. — 988 с.
- Борисова В.Д.** Определение роли государства в экономическом развитии страны // Изв. ПГПУ им. В.Г. Белинского. — 2012. — № 28. — С. 235–238.
- Волвенко И.В.** Информационное обеспечение комплексных исследований водных биоресурсов северо-западной Пацифики. Часть 3. ГИС, атласы, справочники, новые перспективы // Тр. ВНИРО. — 2015а. — Т. 157. — С. 100–126.
- Волвенко И.В.** Информационное обеспечение комплексных исследований водных биоресурсов Северо-Западной Пацифики. Часть 2. Базы данных, базы знаний, автоматизированные рабочие места // Тр. ВНИРО. — 2015б. — Т. 157. — С. 71–99.
- Волвенко И.В.** Новая база данных донных траловых станций, выполненных в дальневосточных морях и северной части Тихого океана в 1977–2010 гг. // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 177. — С. 3–24. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-177-3-24.
- Волвенко И.В.** Полувекровая динамика российского вылова, импорта, экспорта и потребления рыбопродукции // Науч. том. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-992-1001.
- Волвенко И.В., Кулик В.В.** Обновленная и дополненная база данных пелагических траловых станций, выполненных в дальневосточных морях и северной части Тихого океана в 1979–2009 гг. // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 164. — С. 3–26.
- Дубинина Н.А., Карлина Е.П., Мичурина О.Ю.** Оценка конкурентных позиций предприятий рыбохозяйственного комплекса Астраханской области // Вестн. Пермского университета. Серия: «Экономика». — 2018. — Т. 13, № 1. — С. 106–120. DOI: 10.17072/1994-9960-2018-1-106-120.
- Думная Н.Н.** Еще раз о государстве и рынке // Мир новой экономики. — 2009. — № 2. — С. 27–34.
- Карпенко Г.Г.** Государственное регулирование экономики: эволюционный аспект // Государственное управление. Электронный вестник. — 2013. — № 37. — С. 15–31.
- Колончин К.В., Серегин С.Н., Горбунова М.А.** Возможные направления решения проблемы обеспечения новых требований потребления рыбной продукции // Тр. ВНИРО. — 2022. — Т. 187. — С. 170–179. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-187-170-179.
- Матвеев И.А.** Крупный бизнес в путинской России: старые и новые источники влияния на власть // Мир России. — 2019. — Т. 28, № 1. — С. 54–74. DOI: 10.17323/1811-038X-2019-28-1-54-74.
- Мнацаканян А.Г., Карлов А.М., Кузин В.И., Харин А.Г.** О некоторых особенностях развития российского рыбного хозяйства в 2010–2019 гг. // Тр. ВНИРО. — 2021. — Т. 183. — С. 127–139. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-183-127-139.
- Рагозина Н.Н.** Роль рыбохозяйственного комплекса в обеспечении продовольственной безопасности // Науч. тр. Дальрыбвтуза. — 2020. — Т. 52, № 2. — С. 81–88.
- Рыжкова С.М., Кручинина В.М.** Тенденции потребления рыбы и продуктов ее переработки в России // Вестн. ВГУИТ. — 2020. — Т. 82, № 2. — С. 181–189. DOI: 10.20914/2310-1202-2020-2-181-189.

Скульская Л.В., Широкова Т.К. О проблемах рыбохозяйственного комплекса России // Экономика и бизнес: теория и практика. — 2022. — Т. 1-1(83). — С. 193–203. DOI: 10.24412/2411-0450-2022-1-183-193-203.

Хрусталеv Е.Ю., Рыбасова М.В. Роль государства в экономике: институционально-эволюционный анализ // Экономический анализ: теория и практика. — 2013. — № 21(324). — С. 2–9.

Штиль Х.П. Государство и экономика: сотрудничество и конфронтация // Проблемы теории и практики управления. — 2000. — № 5. — С. 36–39.

Шунтов В.П. Биологические ресурсы дальневосточных морей и перспективы их промыслового использования // Тез. докл. Всесоюз. конф. «Экономика освоения океана». — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1985а. — С. 8–9.

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

Шунтов В.П. Изучение рыбных ресурсов дальневосточных морей // Проблемы дальневосточной рыбохозяйственной науки. — М. : Агропромиздат, 1985в. — С. 5–13.

Шунтов В.П. Биологические ресурсы дальневосточных морей: перспективы изучения и освоения // Биол. моря. — 1988. — Т. 14, № 3. — С. 3–14.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России. Т. 2 : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — 604 с.

Шунтов В.П. Зигзаги рыбохозяйственной науки : моногр. — Владивосток : ТИНРО, 1994. — 368 с.

Шунтов В.П. Несвоевременные заметки о положении в рыбном хозяйстве и рыбохозяйственной науке в современной России // Бюл. № 8 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2013. — С. 226–235.

Шунтов В.П. О рыбопродуктивности дальневосточных морей // Вопр. ихтиол. — 1987. — Т. 27, вып. 5. — С. 747–754.

Шунтов В.П. Структура биологических ресурсов и динамика вылова в дальневосточной экономической зоне СССР // Рыб. хоз-во. — 1986. — № 12. — С. 14–18.

Шунтов В.П., Бочаров Л.Н., Волвенко И.В. и др. Экосистемное изучение биологических ресурсов дальневосточных морских вод России: некоторые результаты исследований в конце 20 — начале 21-го столетия // ТИНРО—85. Итоги десятилетней деятельности. 2000–2010 гг. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2010. — С. 25–78.

Шунтов В.П., Дулепова Е.П., Волвенко И.В. и др. Современный статус, структура и рыбопродуктивность пелагических и донных макроэкосистем дальневосточных морей // Дальневосточные моря России. Кн. 2 : Исследования морских экосистем и биоресурсов. — М. : Наука, 2007а. — С. 502–518.

Шунтов В.П., Дулепова Е.П., Темных О.С. и др. Состояние биологических ресурсов в связи с динамикой макроэкосистем в дальневосточной российской экономической зоне // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. — Владивосток : Дальнаука, 2007б. — С. 75–176.

Volvenko I.V., Gebruk A.V., Katugin O.N. et al. Commercial value of trawl macrofauna of the North Pacific and adjacent seas // Environmental Reviews. — 2020. — Vol. 28, № 3. — P. 269–283. DOI: 10.1139/er-2019-0073.

Volvenko I.V., Orlov A.M., Gebruk A.V. et al. Trawl macrofauna of the Far-Eastern Seas and North Pacific: proportion of commercial species, potential product yield, and price range // Earth Syst. Sci. Data. Discuss. [preprint]. — 2019. DOI: 10.5194/essd-2019-92.

References

Azzheurova, M.V., Export of Russian agricultural products: state and prospects of development, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 182, pp. 166–173. doi 10.36038/2307-3497-2020-182-166-173

Atlas kolichestvennogo raspredeleniya nektona v zapadnoi chasti Beringova morya (Atlas of Nekton Species Quantitative Distribution in the Western Part of the Bering Sea), Shuntov, V.P. and Bocharov, L.N., eds, Moscow: Natsionalnye Rybnye Resursy, 2006.

Atlas kolichestvennogo raspredeleniya nektona v Okhotskom more (Atlas of Quantitative Distribution of Nekton Species in the Okhotsk Sea), Shuntov, V.P. and Bocharov, L.N., eds, Moscow: Natsionalnye Rybnye Resursy, 2003.

Atlas kolichestvennogo raspredeleniya nektona v severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana (Atlas of Nekton Species Quantitative Distribution in the North-Western Part of the Pacific Ocean), Shuntov, V.P. and Bocharov, L.N., eds, Moscow: Natsionalnye Rybnye Resursy, 2005.

Atlas kolichestvennogo raspredeleniya nektona v severo-zapadnoi chasti Yaponskogo morya (Atlas of Nekton Species Quantitative Distribution in the North-Western Part of the Japan Sea), Shuntov, V.P. and Bocharov, L.N., eds, Moscow: Natsionalnye Rybnye Resursy, 2004.

Borisova, V.D., Definition of the role of the state in the economic development of the country, *Izv. Penz. Gos. Pedagog. Univ. im. V.G. Belinskogo*, 2012, no. 28, pp. 235–238.

Volvenko, I.V., Dataware support of comprehensive studies of Northwestern Pacific aquatic biological resources. Part 3. GIS, atlases, reference books, further prospects of the concept, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 157, pp. 100–126.

Volvenko, I.V., Dataware support of comprehensive studies of Northwestern Pacific aquatic biological resources. Part 2. Databases, knowledge bases, automated workplaces, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 157, pp. 71–99.

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

Volvenko, I.V., Semi-century dynamics of the Russian catch, import, export, and consumption of fish products, present issue. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-992-1001

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

Dubinina, N.A., Karlina, E.P., and Michurina, O.Y., Competitiveness estimation of fishery complex enterprises of Astrakhan region, *Vestn. Permskogo universiteta. Seriya: «Ekonomika»*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 106–120. doi 10.17072/1994-9960-2018-1-106-120

Dumnaya, N.N., Once again about state and market, *Mir novoy ekonomiki*, 2009, no. 2, pp. 27–34.

Karpenko, G.G., State regulation of the economy: evolutionary aspect, *Gosudarstvennoye upravleniye. Elektronnyy vestnik*, 2013, no. 37, pp. 15–31.

Kolonchin, K.V., Seregin, S.N., and Gorbunova, M.A., Possible ways of solving the problem of providing new requirements for the consumption of fish products, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 187, pp. 170–179. doi 10.36038/2307-3497-2022-187-170-179

Matveev, I., Large Business in Putin's Russia: Old and New Sources of Power and influence, *Mir Rossii*, 2019, vol. 28, no. 1, pp. 54–74. doi 10.17323/1811-038X-2019-28-1-54-74

Mnatsakanyan, A.G., Karlov, A.M., Kuzin, V.I., and Kharin, A.G., Some features of the development of Russian fisheries in 2010–2019, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 183, pp. 127–139. doi 10.36038/2307-3497-2021-183-127-139

Ragozina, N.N., Role of fishing complex in food security, *Nauchn. Tr. Dal'rybvtuza*, 2020, vol. 52, no. 2, pp. 81–88.

Ryzhkova, S.M. and Kruchinina, V.M., Trends in the consumption of fish and fish products in Russia, *Vestn. Voronezh. Gos. Univ. Inzh. Technol.*, 2020, vol. 82, no. 2, pp. 181–189. doi 10.20914/2310-1202-2020-2-181-189

Skulskaya, L.V. and Shirokova, T.K., About the problems of the fisheries complex of Russia, *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*, 2022, vol. 1-1, no. 83, pp. 193–203. doi 10.24412/2411-0450-2022-1-183-193-203

Khrustalev, E.Y. and Rybasova, M.V., Role of state in economy: institutional-evolutionary analysis, *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika*, 2013, no. 21(324), pp. 2–9.

Shtil, H.P., State and economy: cooperation and confrontation, *Problemy teorii i praktiki upravleniya*, 2000, no. 5, pp. 36–39.

Shuntov, V.P., Biological resources of the Far Eastern seas and prospects for their commercial use, in *Tezisy dokl. Vsesoyuz. konf. "Ekonomika osvoyeniya okeana"* (Proc. Rep. All-Union Conf. "Economics of Ocean Development"), Vladivostok: DVNTS AN SSSR, 1985, pp. 8–9.

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

Shuntov, V.P., The study of fish resources of the Far Eastern seas, in *Problemy dal'nevostochnoy rybokhozyaystvennoy nauki* (Problems of the Far Eastern fishery science), Moscow: Agropromizdat, 1985, pp. 5–13.

Shuntov, V.P., Biological resources of far-eastern seas: perspectives of research and exploitation, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1988, vol. 14, no. 3, pp. 3–14.

Shuntov, V.P., *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016, vol. 2.

Shuntov, V.P., *Zigzagi rybokhozyaystvennoy nauki* (Zigzags of fishery science), Vladivostok: TINRO, 1994.

Shuntov, V.P., Untimely notices of the state of fisheries and fisheries science, in *Byulleten' no. 8 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bulletin No. 8 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2013, pp. 226–235.

Shuntov, V.P., On the fish productivity of the Far Eastern seas, *Vopr. Ikhtiol.*, 1987, vol. 27, no. 5, pp. 747–754.

Shuntov, V.P., Structure of biological resources and catch dynamics in the Far Eastern economic zones of the USSR, *Rybn. Khoz.*, 1986, no. 12, pp. 14–18.

Shuntov, V.P., Bocharov, L.N., Volvenko, I.V., Ivanov, O.A., Sukhanov, V.V., Kolpakov, N.V., Dolganova, N.T., Dulepova, E.P., and Gorbatenko, K.M., The ecosystem study of biological resources in Far Eastern marine waters of Russia: some results of the studies in the late 20th and the early 21st century, *TINRO-85. Itogi desyatiletnei deyatel'nosti. 2000–2010 gg.* (TINRO-85. Results of the One-Decade Activity. 2000–2010.), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2010a, pp. 25–78.

Shuntov, V.P., Dulepova, E.P., Volvenko, I.V., Temnykh, O.S., Ivanov, O.A., and Glebov, I.I., The current status, structure, and fish capacity of pelagic and benthic macroecosystems of the Far Eastern seas, *Dal'nevostochnye morya Rossii. Kn. 2: Issledovaniya morskikh ekosistem i bioresurov* (Far Eastern Seas of Russia, Book 2: Studies of Marine Ecosystems and Bioresources), Moscow: Nauka, 2007a, pp. 502–518.

Shuntov, V.P., Dulepova, E.P., Temnykh, O.S., Volkov, A.F., Naidenko, S.V., Chuchukalo, V.I., and Volvenko, I.V., The status of biological resources in connection with dynamics of macroecosystems in the Far Eastern economic zone of Russia, in *Dinamika morskikh ekosistem i sovremennye problemy sokhraneniya bioresurnogo potentsiala morei Rossii* (Dynamics of Marine Ecosystems and the Current Problems of Conservation of the Bioresource Potential of the Russian Seas), Vladivostok: Dal'nauka, 2007, pp. 75–176.

Volvenko, I.V., Gebruk, A.V., Katugin, O.N., Ogorodnikova, A.A., Vinogradov, G.M., Maznikova, O.A., and Orlov, A.M., Commercial value of trawl macrofauna of the North Pacific and adjacent seas, *Environmental Reviews*, 2020, vol. 28, no. 3, pp. 269–283. doi 10.1139/er-2019-0073

Volvenko, I.V., Orlov, A.M., Gebruk, A.V., Katugin, O.N., Ogorodnikova, A.A., Vinogradov, G.M., and Maznikova, O.A., Trawl macrofauna of the Far-Eastern Seas and North Pacific: proportion of commercial species, potential product yield, and price range, *Earth Syst. Sci. Data Discuss.*, preprint, 2019. doi 10.5194/essd-2019-92

FishNews. 2014. <http://fishnews.ru/news/22709>. Cited August 2, 2022.

FishNews. 2015. <http://fishnews.ru/news/25568>. Cited August 2, 2022.

FishNews. 2016. <http://fishnews.ru/news/29891>. Cited August 2, 2022.

FishNews. 2017. <http://fishnews.ru/news/30334>. Cited August 2, 2022.

FishNews. 2019. <https://fishnews.ru/news/35550>. Cited August 2, 2022.

FishNews. 2020. <https://fishnews.ru/news/38316>. Cited August 2, 2022.

FishNews. 2021. <https://fishnews.ru/news/40839>. Cited August 2, 2022.

FishNews. 2022. <https://fishnews.ru/news/43545>. Cited August 2, 2022.

Sostoyaniye promyslovykh resursov Dal'nevostochnogo rybokhozyaystvennogo basseyna. Prognoz obshchego vylova gidrobiontov na 2020 g. (kratkaya versiya) (The state of the fishery resources of the Far Eastern fishery basin. Forecast of the total catch of aquatic organisms for 2020 (short version)), Vladivostok: TINRO, 2020.

Sostoyaniye promyslovykh resursov Dal'nevostochnogo rybokhozyaystvennogo basseyna — 2021 (State of commercial resources of the Far East fishery basin — 2021), Vladivostok: TINRO, 2021.

Basseyinovyye normy vykhoda gotovoy produktsii pererabotki bespozvonochnykh i vodorosley Dal'nevostochnogo basseyna (Basin norms for the output of finished products from the processing of invertebrates and algae in the Far East basin), Moscow, 2013.

Basseyinovyye normy otkhodov i poter', vykhoda gotovoy produktsii i raskhoda syr'ya pri proizvodstve morozhennoy i kormovoy produktsii iz ryb Dal'nego Vostoka (Basin norms of waste and losses, output of finished products and consumption of raw materials in the production of frozen and feed products from fish of the Far East), Moscow, 2014.

Sergeev, M., Rosstat feeds Russians with scales and tails. Statistics embellish the fish diet of the population, *Nezavisimaya Gazeta*, 28.08.2019. http://www.ng.ru/economics/2019-08-28/1_7661_fish.html. Cited August 2, 2022.

Balashov, V.V., Will fish consumption in Russia reach the level of African countries?, *Ryba Kamchatskogo kraya*, 30.09.2019. <http://fishkamchatka.ru/articles/exclusive/31572>. Cited August 2, 2022.

Balashov, V.V., Fish table from the Russian government, *Regnum*, 08.03.2021. <https://regnum.ru/news/economy/3209128.html>. Cited August 2, 2022.

MR 2.3.1.0253–21. *Gigiyena pitaniya. Ratsional'noye pitaniye. Normy fiziologicheskikh potreb-nostey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya RF* (MR 2.3.1.0253–21. Food hygiene. Balanced diet. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation). Moscow, 2021. https://www.rosпотреbnadzor.ru/upload/iblock/789/1.-mr-2.3.1.0253_21-normy-pishchevykh-veshchestv.pdf. Cited August 7, 2022.

Kostyuchenko, F., Russia is increasing the export of fish products, *Rossiyskaya Gazeta*, 08.04.2021. <https://rg.ru/2021/08/04/rossiia-narashchivaet-eksport-rybnoj-produkcii.html>. Cited August 2, 2022.

Lim, A., Do Russians dream of a fish day, *Fishnews. Novosti rybolovstva*, 2021. <https://fishnews.ru/rubric/krupnyim-planom/12564>. Cited August 2, 2022.

Bobylov, Yu.A., On the creation of super-large integrated corporate structures in the Russian fish industry, *Fishnews. Novosti rybolovstva*, 20.10.2007, no. 5(7). <https://fishnews.ru/mag/articles/3245?ysclid=l5hrwzqebw925462204>. Cited August 2, 2022.

Osadchaya I.M., Osadchiy N.M. Formation of large business structures in Russia and their relationship with the state, *Nauka i zhizn'*, 2007, no. 2. <https://www.nkj.ru/archive/articles/9018>. Cited August 2, 2022.

Soveshchaniye Pravitel'stva o perspektivakh razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa (Meeting of the Government on the prospects for the development of the fishery complex), 07.09.2012 [<http://government.ru/news/5018>]. Cited August 2, 2022.

Zasedaniye prezidiuma Gossoveta po voprosam razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa (Meeting of the Presidium of the State Council on the development of the fishery complex), 19.10.2015 [<http://www.kremlin.ru/events/state-council/50524>]. Cited August 2, 2022.

Zasedaniye Pravitel'stvennoy komissii po voprosam razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa (Jamming of the Government Commission on the development of the fishery complex), 04.02.2021 [<http://government.ru/news/41463>]. Cited August 2, 2022.

Zasedaniye Pravitel'stvennoy komissii po voprosam razvitiya malogo i srednego predprinimatel'stva (Meeting of the Government Commission on the development of small and medium-sized businesses), 01.12.2021 [<http://government.ru/news/43965>]. Cited August 2, 2022.

Поступила в редакцию 24.10.2022 г.

После доработки 11.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 24.10.2022; approved after reviewing 11.11.2022; accepted for publication 21.11.2022 г.

Научная статья

УДК 639.2/.3:/338.439+339.5/**DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-992-1001****EDN: KGIBBP****ПОЛУВЕКОВАЯ ДИНАМИКА РОССИЙСКОГО ВЫЛОВА,
ИМПОРТА, ЭКСПОРТА И ПОТРЕБЛЕНИЯ РЫБОПРОДУКЦИИ****И.В. Волвенко***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. По данным Росстата проанализированы вылов, импорт, экспорт и потребление рыбопродукции с 1970 по 2020 г. Несмотря на устойчивый рост вылова с 2004 г., потребление до сих пор не достигает ни нормы, закрепленной Доктриной продовольственной безопасности, ни нормы, установленной Роспотребнадзором, ни уровня 1970, 1980, 1990 гг. Не спасает ситуацию и импорт (12–47 % вылова в разные годы). Дело в том, что с увеличением вылова экспоненциально возрастает экспорт рыбопродукции (с 31 % вылова в 2000 г. до 61 % в 2020 г.). После 2013 г., когда доход от экспорта стал превышать 3,5 млрд \$/год, он начал статистически достоверно резко отрицательно сказываться на внутреннем потреблении. Фактически в последнее время, чем больше вылавливается рыбопродукции, тем больше ее продается за границу, преимущественно в недружественные страны, участвующие в санкционной войне с Россией, в ущерб собственной продовольственной безопасности. Предлагается изменить правила внешней торговли: позволить продавать пищевую продукцию за границу только после выполнения норм ее поставки на внутренний рынок.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, рыбопродукция, отечественный вылов, внутреннее потребление, импорт и экспорт

Для цитирования: Волвенко И.В. Полувековая динамика российского вылова, импорта, экспорта и потребления рыбопродукции // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 992–1001. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-992-1001. EDN: KGIBBP.

Original article

**Semi-century dynamics of the Russian catch, import, export,
and consumption of fish products****Igor V. Volvenko**Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia
D.Biol., principal researcher, oknevlov@gmail.com, ORCID 0000-0003-0369-4039

Abstract. Dynamics of catch, import, export, and consumption of fish products are analyzed for 1970–2020 on the data of Russian Federal State Statistics Service. Despite steady increasing of the annual catch since 2004, the consumption still does not reach neither the target

* Волвенко Игорь Валентинович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, oknevlov@gmail.com, ORCID 0000-0003-0369-4039.

© Волвенко И.В., 2022

level claimed by the Food Security Doctrine, nor the norm established by Federal Service for supervision of the consumer rights protection and human welfare, nor even its volume before 1990. The import of fish products (12–47 % of the domestic catch, by years) does not save the situation, because of exponential increase of the export with the catch increasing (from 31 % of the catch in 2000 to 61 % in 2020). This effect made a statistically significant negative impact on the domestic consumption since 2013, when the export exceeded US\$ 3.5 billion per year. Now the more fish products are caught, the more they are sold abroad, mainly to unfriendly countries participated in the sanction war against Russia, with detriment to national food security. It is proposed to change the rules of foreign trade: to allow the fish products export abroad only after fulfillment of the norms for their delivery to the domestic market.

Keywords: food security, fish products, domestic catch, fish products consumption, import, export

For citation: Volvenko I.V. Semi-century dynamics of the Russian catch, import, export, and consumption of fish products, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 992–1001. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-992-1001. EDN: KGIBBP.

Четыре фонтана дано. Обширный дан водоем.
За сутки первый фонтан до краев его наполняет.
Два дня и две ночи второй над тем же должен работать.
Третий втрое, чем первый, слабей.
В четверо суток последний за ним поспевает.
Ответьте мне, скоро ли будет он полон,
Если во время одно все их открыть?
Герон Александрийский (1-й век до н.э.)

Введение

Фактически наши тела строятся из того, что мы едим. Поэтому от питания зависят наше здоровье, работоспособность и долголетие (как минимум на 50 % [Колончин и др., 2022]). В связи с этим обратим внимание на то, что рыба, другие гидробионты и сделанные из них продукты (далее для краткости все это «рыбопродукция») — высококачественная еда, которая содержит легкоусвояемые белки, ненасыщенные жирные кислоты, витамины и минеральные вещества. Как следствие, рыбная промышленность относится к основным источникам обеспечения населения биологически полноценной пищей [Николаева и др., 2017; Колончин и др., 2022], а среди индикаторов продовольственной безопасности важную роль играет среднедушевое потребление рыбопродукции [Рагозина, 2020].

Ярким примером этого служит Япония, где потребление рыбы и морепродуктов достигает рекордных 180 кг/год на человека [Николаева и др., 2017]. Соответственно, и средняя продолжительность жизни в стране восходящего солнца бьет мировые рекорды: ожидается, что к 2030 г. каждый второй японский пенсионер будет старше 100 лет [<https://ojapan.ru/srednyaya-prodolzhitelnost-zhizni-v-yaponii>]. Нам пока, к сожалению, до этого далеко, даже несмотря на то что по площади морской рыболовной (исключительной экономической) зоны Россия занимает четвертое место в мире, а Япония — только восьмое.

Для выяснения причин сложившейся ситуации и возможности ее исправления в настоящей статье проанализирована полувековая динамика российского потребления рыбопродукции в связи с другими важными показателями — ее отечественным выловом, импортом и экспортом.

Материалы и методы

Официальные данные о вылове, импорте, экспорте и потреблении рыбопродукции с 1970 по 2020 г. (см. таблицу) взяты с сайта Федеральной службы государственной

Исходные данные для расчетов и построения графиков, использованные в статье
Data used for calculations and plots

Год	Вылов, тыс. т	Импорт, тыс. т	Импорт, % вылова	Экспорт, тыс. т	Экспорт, % вылова	Экспорт, млн дол. США	Потребление, кг/чел/год
1970	5520	—	—	—	—	—	18,6
1980	6834	—	—	—	—	—	22,5
1990	7879	—	—	—	—	—	20,4
1995	3936	—	—	—	—	—	9,5
2000	3776	469	12	1164	31	1573	10,4
2001	3621	607	17	1213	34	1574	11,0
2002	3258	604	19	1253	38	1446	11,0
2003	3285	710	22	1260	38	1528	11,0
2004	2965	830	28	1225	41	1555	12,0
2005	3212	973	30	1361	42	1988	12,6
2006	3264	870	27	1362	42	2162	13,1
2007	3417	1082	32	1327	39	2421	13,8
2008	3333	1112	33	1374	41	2689	14,5
2009	3728	955	26	1377	37	2370	14,9
2010	4028	993	25	1648	41	2708	15,6
2011	4402	1889	43	1763	40	3322	16,6
2012	4484	2020	45	2400	54	3050	17,1
2013	4522	2121	47	2694	60	3356	17,4
2014	4419	1979	45	2491	56	3619	18,6
2015	4493	1055	23	2086	46	3502	16,0
2016	4812	1055	22	2234	46	3710	16,6
2017	4951	1139	23	2612	53	4351	15,6
2018	5110	1214	24	3132	61	5105	14,1
2019	5133	1250	24	2967	58	5309	14,8
2020	5143	1204	23	3142	61	5204	14,0

Примечание. Жирным шрифтом выделены данные, взятые с первого сайта, обычным — со второго, курсивом — рассчитанные по ним данные.

статистики (Росстата) [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/bal_8.xls], из российских статистических ежегодников* и кратких статистических сборников**, доступных в оцифрованном виде [<https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12994>]. Отсутствующие в них с 2013 по 2020 г. данные о потреблении рыбопродукции в товарном весе найдены по имеющимся данным о ее потреблении в живом весе исходя из 70 %-ного выхода пищевой продукции из массы сырья.

Связи между анализируемыми показателями аппроксимированы простейшими регрессионными моделями (линейной $y = a + bx$, логарифмической $y = a + b \ln(x)$, экспоненциальной $y = \exp(a + bx)$ и степенной $y = ax^b$), параметры которых найдены методом наименьших квадратов [Дрейпер, Смит, 1986, 1987]. Все связи, обсуждаемые в этой статье, статистически достоверны на стандартном 95 %-ном доверительном уровне ($p < 0,05$), а половина из них и на высшем — 99,99 %-ном ($p < 0,0001$). Направления и силы связей оценены коэффициентами парной корреляции Пирсона (r).

* Российский статистический ежегодник. 2007: стат. сб. М., 2007. 825 с.; то же 2008. 847 с.; то же 2009. 795 с.; то же 2010. 813 с.; то же 2011. 795 с.; то же 2012. 786 с.; то же 2013. 717 с.; то же 2014. 693 с.; то же 2021. 692 с.

** Россия в цифрах. 2017: крат. стат. сб. М., 2017. 511 с.; то же 2018. 522 с.; то же 2019. 549 с.; то же 2020. 550 с.

Результаты и их обсуждение

Вылов и потребление рыбной продукции (рис. 1) в советское время неуклонно росли и достигли абсолютного максимума в 1980-е гг. Резко упали они в «лихие» 1990-е гг., после развала СССР, перехода от социализма к капитализму и связанного с этим экономического кризиса. Снижение вылова продолжалось до 2004 г., после которого оно сменилось устойчивым ростом. Вместе с тем потребление начало возрастать уже с 1995 г. и достигло нового локального максимума в 2014 г.

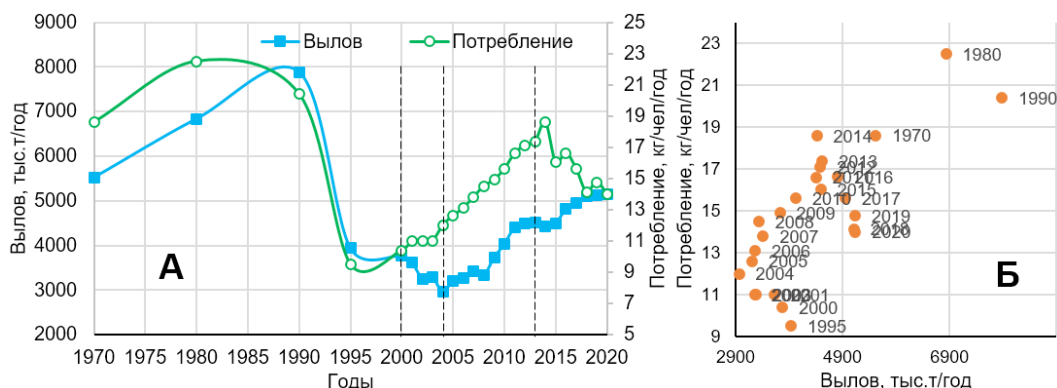


Рис. 1. Многолетняя динамика вылова и потребления рыбопродукции (А) и корреляция между ними (Б). Пунктирными линиями на левом графике обозначены переломные моменты, когда корреляция между процессами меняет знак. Пояснения в тексте

Fig. 1. Long-term dynamics of catch and consumption of fish products (А) and correlation between them (Б). The correlation sign changes are shown by dotted lines on the left plot. See explanations in the text

Обнадеженный этим Минздрав в 2016 г. установил отвечающий современным требованиям здорового питания для развитых стран минимальный объем потребления рыбных продуктов в 22 кг/чел./год в товарном весе*. Этот нормативный уровень в 2020 г. был закреплён Доктриной продовольственной безопасности РФ ** как стратегический показатель развития рыбохозяйственного комплекса и социальной политики, проводимой государством. В 2021 г. Роспотребнадзор повысил норму до 28 кг/чел./год, согласно оптимистичному Распоряжению правительства 2012 г. «Об утверждении Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности»*** и на основании методических рекомендаций****, утвержденных главным государственным санитарным врачом.

Однако реальное потребление до сих пор не достигло ни установленных норм, ни уровня 1970-, 1980-, 1990-х гг., поскольку с 2014 г. оно стало падать с большей скоростью, чем росло до этого.

Взаимосвязь между выловом и потреблением оказалась неоднозначной: переломные моменты, когда корреляция между процессами меняла знак с «+» на «-»

* Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания: Приказ Министерства здравоохранения РФ от 19.08.2016 г. № 614. <https://docs.cntd.ru/document/420374878>.

** Указ Президента РФ от 21.01.2020 № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности РФ». <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106>.

*** Распоряжение правительства РФ от 17.04.2012. № 559-р «Об утверждении Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности РФ на период до 2020 года». <http://static.government.ru/media/files/5SEWu4kH5Zar985mZYhwg0jbMspj9uAv.pdf>.

**** МР 2.3.1.0253–21. Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ. М., 2021. https://www.rosпотребнадзор.ru/upload/iblock/789/1.-mr-2.3.1.0253_21-normy-pishchevykh-veshchestv.pdf.

и обратно, обозначились в 2000, 2004 и 2013 гг. (рис. 2). В норме потребление зависит от вылова положительно — чем больше ловим, тем больше едим. Так было в периоды 1970–2000 гг. (рис. 2, А) и 2004–2013 гг. (рис. 2, В). В 2000–2004 гг. все было наоборот (рис. 2, Б), поскольку уловы снижались, а потребление не уменьшалось, вероятно, благодаря социальной политике государства. В 2013–2020 гг. уловы росли, а потребление вопреки этому падало (рис. 2, Г): чем больше был вылов, тем меньшая его часть доставалась населению России.

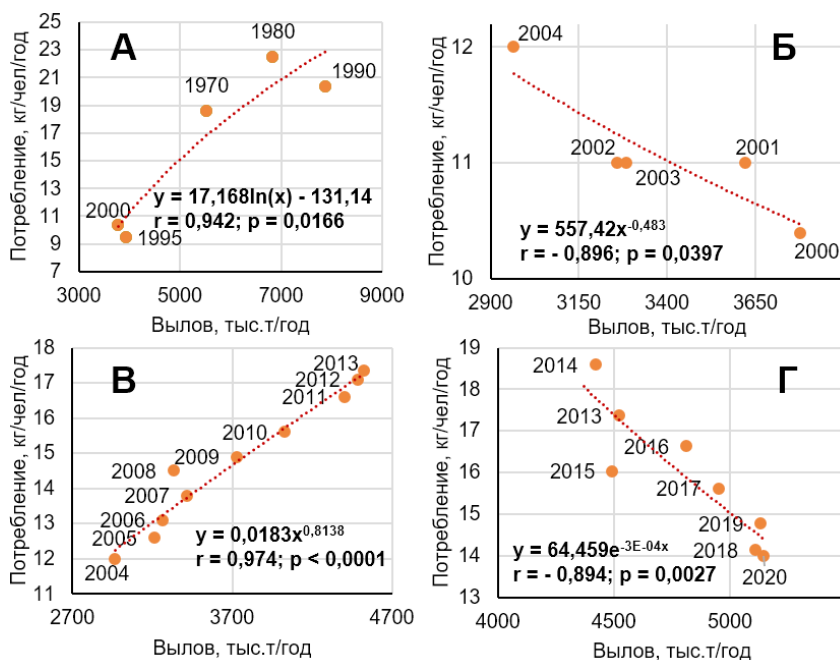


Рис. 2. Корреляция между выловом и потреблением рыбопродукции в разные периоды — 1970–2000 (А), 2000–2004 (Б), 2004–2013 (В), 2013–2020 гг. (Г)

Fig. 2. Correlation between catch and consumption of fish products for the periods: 1970–2000 (А), 2000–2004 (Б), 2004–2013 (В), and 2013–2020 (Г)

Как ни странно, ничего не было предпринято для исправления ситуации. Более того, Росстат стал скрывать фактическое потребление населением рыбопродукции, с 2013 г. начав рассчитывать его не в товарном весе, как прежде, а в массе сырца, т.е. живых целых гидробионтов с несъедобными частями: чешуей, плавниками, костями, панцирями, раковинами и потрохами. Такой подход создал ложную видимость благополучия, что и могло стать причиной необоснованных управленческих решений или бездействия на разных уровнях власти [Сергеев, 2019*; Рагозина, 2020; Рыжкова, Кручинина, 2020; Скульская, Широкова, 2022].

Очевидно, что потребление зависит не только от вылова, а также от импорта и экспорта рыбопродукции. Наглядно представить это можно, воспользовавшись аналогией из школьной задачи о бассейне и трех трубах (рис. 3). По двум из них вода поступает в бассейн (вылов и импорт рыбопродукции), по третьей — из него вытекает (экспорт). Остаток воды олицетворяет то, что остается для внутреннего потребления.

В реальности импорт положительно влияет на потребление (рис. 4), поскольку он и предназначен для внутреннего использования, но не спасает ситуацию, хотя он и составлял от 12 до 47 % вылова в разные годы (см. таблицу). Дело в том, что с увеличением вылова экспоненциально возрастал противоположный процесс — экспорт

* Сергеев М. Росстат кормит россиян чешуей и хвостами. Статистика приукрашивает рыбный рацион населения // Независимая газета. 28.08.2019. http://www.ng.ru/economics/2019-08-28/1_7661_fish.html.

Рис. 3. Классическая школьная задача (возрастом более 20 веков) о бассейне и трех трубах — аналог системы взаимных связей между выловом, импортом, экспортом и тем, что остается для внутреннего потребления

Fig. 3. Scheme for a system of mutual relations between catch, import, export, and remains for domestic consumption illustrated as the classic school task with more than twenty centuries history about a pool and three pipes

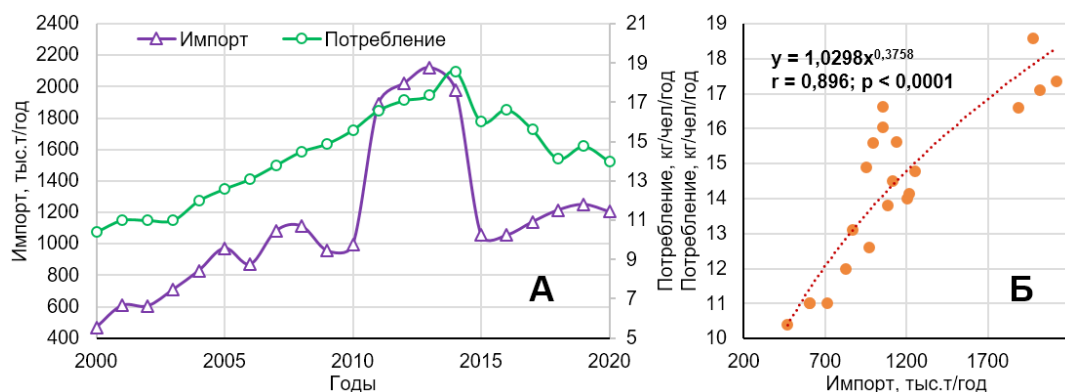
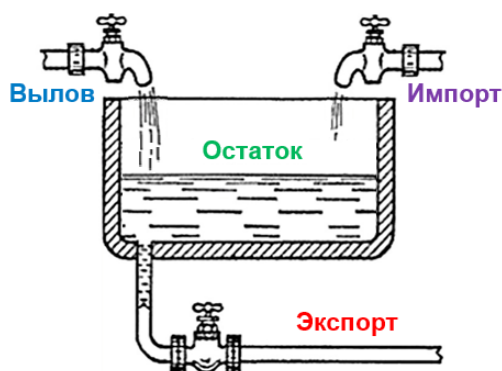


Рис. 4. Динамика импорта и потребления рыбопродукции (А) и корреляция между ними (Б)
Fig. 4. Dynamics of import and consumption of fish products (A) and correlation between them (B)

рыбопродукции (рис. 5). И он вырос намного заметнее — с 31 % от массы вылова в 2000 г. до 61 % в 2020 г. (см. таблицу).

После 2013 г., когда были приняты меры господдержки для экспортеров [Азжеурова, 2020; Костюченко, 2021*; Мнацаканян и др., 2021] и доход от экспорта стал превышать 3,5 млрд дол. США в год, он начал статистически достоверно резко отрицательно сказываться на внутреннем потреблении (рис. 6). Фактически в последнее время чем

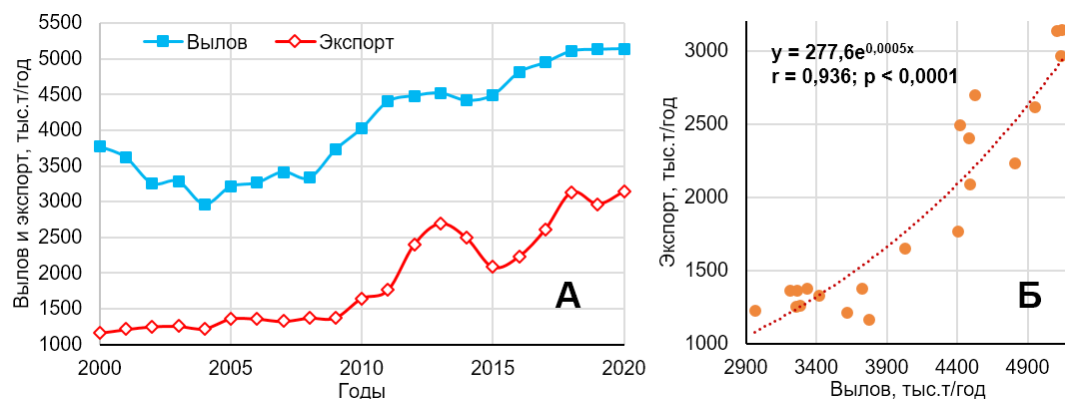


Рис. 5. Динамика вылова и экспорта рыбопродукции (А) и корреляция между ними (Б)
Fig. 5. Dynamics of catch and export of fish products (A) and correlation between them (Б)

* Костюченко Ф. Россия наращивает экспорт рыбной продукции // Российская газета. 04.08.2021. <https://rg.ru/2021/08/04/rossiia-narashchivaet-eksport-rybnoj-produkcii.html>.

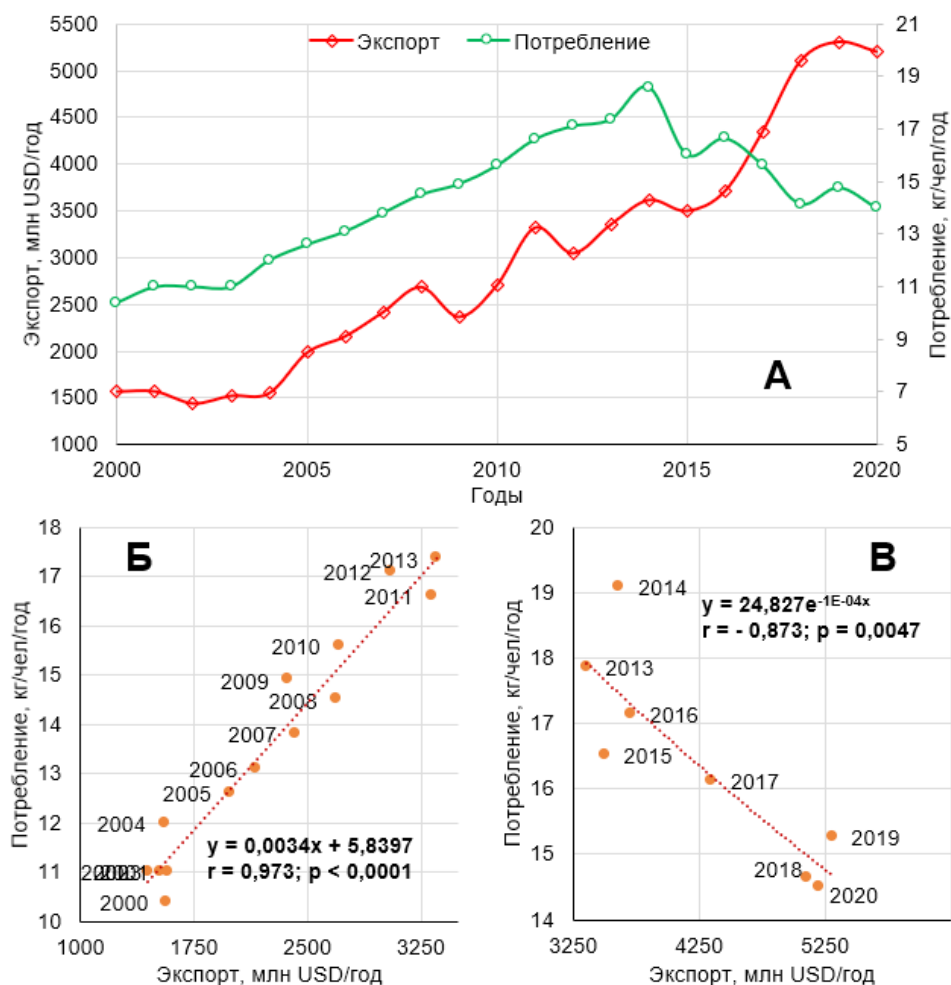


Рис. 6. Динамика внутреннего потребления рыбопродукции и валютного дохода от ее экспорта (А) и корреляция между ними в 2000–2013 (Б) и 2013–2020 гг. (В)

Fig. 6. Dynamics of domestic consumption and monetary income from export of fish products (А) and correlation between them for 2000–2013 (Б) and 2013–2020 (В)

больше вылавливается рыбопродукции, тем больше ее продается за границу в ущерб собственной продовольственной безопасности.

Сложившаяся практика похожа на действия хозяина сада-огорода, где трудится его большая семья, который вместо того, чтобы накормить домочадцев, сделать запасы на зиму, а излишки продать на базаре, продает весь урожай и складывает всю прибыль себе в сундук, оставляя жену, детей, стариков и прочих родственников без пропитания.

По другой вышеописанной аналогии (см. рис. 3) «невидимый сантехник» открыл сливной кран до отказа, а потому уровень воды в бассейне непрерывно снижается, ее потребители уже страдают от жажды, и если ничего не делать, то бассейн в скором времени полностью пересохнет.

Заключение

Российский вылов способен полностью удовлетворять внутренние потребности населения, обеспечивая обоснованные здравоохранением и законодательно закреплённые нормы потребления рыбопродукции. Однако в последние годы отечественные рыбопромышленники работают в основном на экспорт, т.е. поставляют продукцию российских морей и континентальных водоемов на столы китайцев, корейцев, японцев,

американцев или европейцев — преимущественно жителей недружественных стран — в ущерб продовольственной безопасности России.

По определению бизнес не склонен ни к альтруизму, ни к патриотизму, его не может интересовать ничего, кроме прибыли; но с точки зрения государственного управления приоритетом для рыбной промышленности должно быть насыщение внутреннего рынка, а экспорту подлежат только избытки рыбопродукции. Для этого следует изменить правила внешней торговли: позволить продавать пищевую продукцию за границу только после выполнения норм ее поставки на внутренний рынок.

Используя аналогию с бассейном, можно сказать, что предлагаемое решение соответствует переносу сливной трубы со дна на его стенку (рис. 7), на тот уровень, ниже которого всегда будет оставаться вода, благодаря чему потребители никогда не будут страдать от ее недостатка.

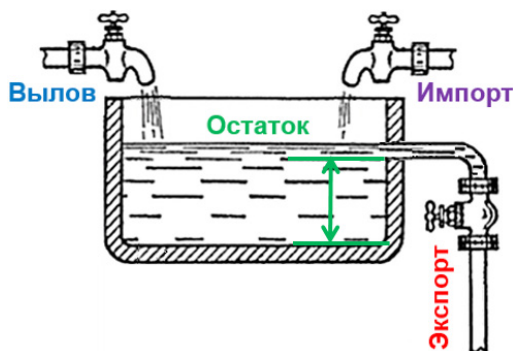


Рис. 7. Конструкция бассейна, показанного на рис. 3, модифицированная так, что из него может сливаться только избыток воды

Fig. 7. New design of the pool shown at Fig. 3, where only excess water can be drained

В заключение необходимо отметить, что если обсуждаемая здесь проблема будет когда-нибудь решена, то на первый план выйдут три следующие:

Во-первых, в контроле нуждается не только количество потребляемой населением рыбопродукции, но и ее состав. Ведь килограмм, например, минтая по своей пищевой ценности не сопоставим с килограммом креветок или крабов, устриц или гребешков, красной или черной икры, дальневосточного трепанга и т.д.

Во-вторых, в усилении контроля остро нуждается качество рыбопродукции*. Ведь некондиционная, бракованная, просроченная, тухлая и прогорклая рыбопродукция наносит потребителям больше вреда, чем пользы. Она просто опасна для жизни и здоровья.

В-третьих, завышенные розничные цены на рыбопродукцию не должны делать ее недоступной для большей части населения России. Иначе все усилия по насыщению ею рынка потеряют свой смысл. Ведь станет недостижима основная цель упомянутых в настоящей статье нормативно-правовых актов — обеспечение продовольственной безопасности нашей Родины.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор благодарен анонимным рецензентам за рецензии.

The author is grateful to anonymous reviewers for their reviews.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена по личной инициативе без дополнительного финансирования.

The work was done on a personal initiative without additional funding.

* О масштабах и причинах распространения некачественной продукции на внутреннем рынке упоминается в недавно опубликованной статье [Волвенко, наст. том].

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые этические нормы соблюдены.

All applicable ethical standards are met.

Список литературы

- Азжеурова М.В.** Экспорт российской продукции АПК: состояние и перспективы развития // Тр. ВНИРО. — 2020. — Т. 182. — С. 166–173. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-182-166-173.
- Волвенко И.В.** Эколого-экономические оценки биоресурсов северной Пацифики и стратегии их использования // Наст. том. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-970-991
- Дрейпер Н., Смит Г.** Прикладной регрессионный анализ. Т. 1 : моногр. — М. : Финансы и статистика, 1986. — 366 с.
- Дрейпер Н., Смит Г.** Прикладной регрессионный анализ. Т. 2 : моногр. — М. : Финансы и статистика, 1987. — 351 с.
- Колончин К.В., Серегин С.Н., Горбунова М.А.** Возможные направления решения проблемы обеспечения новых требований потребления рыбной продукции // Тр. ВНИРО. — 2022. — Т. 187. — С. 170–179. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-187-170-179.
- Мнацаканян А.Г., Карлов А.М., Кузин В.И., Харин А.Г.** О некоторых особенностях развития российского рыбного хозяйства в 2010–2019 гг. // Тр. ВНИРО. — 2021. — Т. 183. — С. 127–139. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-183-127-139.
- Николаева М.А., Клещевский Ю.Н., Рязанова О.А.** Роль внешней торговли в развитии рынка рыбных товаров в России // Российский внешнеэкономический вестник. — 2017. — № 10. — С. 94–107.
- Рагозина Н.Н.** Роль рыбохозяйственного комплекса в обеспечении продовольственной безопасности // Науч. тр. Дальрыбвтуза. — 2020. — Т. 52, № 2. — С. 81–88.
- Рыжкова С.М., Кручинина В.М.** Тенденции потребления рыбы и продуктов ее переработки в России // Вестн. ВГУИТ. — 2020. — Т. 82, № 2. — С. 181–189. DOI: 10.20914/2310-1202-2020-2-181-189.
- Скульская Л.В., Широкова Т.К.** О проблемах рыбохозяйственного комплекса России // Экономика и бизнес: теория и практика. — 2022. — Т. 1-1(83). — С. 193–203. DOI: 10.24412/2411-0450-2022-1-183-193-203.

References

- Azzheurova, M.V.**, Export of Russian agricultural products: state and prospects of development, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 182, pp. 166–173. doi 10.36038/2307-3497-2020-182-166-173
- Volvenko, I.V.**, Ecological and economic assessments of biological resources in the North Pacific and strategies for their use, present issue. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-970-991
- Draper, N.R. and Smith, H.**, *Applied Regression Analysis*, New York: Wiley, 1966.
- Kolonchin, K.V., Seregin, S.N., and Gorbunova, M.A.**, Possible ways of solving the problem of providing new requirements for the consumption of fish products, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 187, pp. 170–179. doi 10.36038/2307-3497-2022-187-170-179
- Mnatsakanyan, A.G., Karlov, A.M., Kuzin, V.I., and Kharin, A.G.**, Some features of the development of Russian fisheries in 2010–2019, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 183, pp. 127–139. doi 10.36038/2307-3497-2021-183-127-139
- Nikolaeva, M.A., Kleshchevsky, Yu.N., and Ryazanova, O.A.**, The role of foreign trade in the development of Russia's fish goods market, *Rossiyskiy vneshneekonomicheskiy vestnik*, 2017, no. 10, pp. 94–107.
- Ragozina, N.N.**, Role of fishing complex in food security, *Nauchn. Tr. Dal'rybvтуza*, 2020, vol. 52, no. 2, pp. 81–88.
- Ryzhkova, S.M. and Kruchinina, V.M.**, Trends in the consumption of fish and fish products in Russia, *Vestn. Voronezh. Gos. Univ. Inzh. Technol.*, 2020, vol. 82, no. 2, pp. 181–189. doi 10.20914/2310-1202-2020-2-181-189
- Skulskaaya, L.V. and Shirokova, T.K.**, About the problems of the fisheries complex of Russia, 2022, *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*, 2022, vol. 1-1, no. 83, pp. 193–203. doi 10.24412/2411-0450-2022-1-183-193-203
- Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik. 2007* (Russian statistical yearbook. 2007), Moscow, 2007.

- Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik. 2008* (Russian statistical yearbook. 2008), Moscow, 2008.
Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik. 2009 (Russian statistical yearbook. 2009), Moscow, 2009.
Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik. 2010 (Russian statistical yearbook. 2010), Moscow, 2010.
Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik. 2011 (Russian statistical yearbook. 2011), Moscow, 2011.
Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik. 2012 (Russian statistical yearbook. 2012), Moscow, 2012.
Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik. 2013 (Russian statistical yearbook. 2013), Moscow, 2013.
Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik. 2014 (Russian statistical yearbook. 2014), Moscow, 2014.
Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik. 2021 (Russian statistical yearbook. 2021), Moscow, 2021.
Rossiya v tsifrakh. 2017 (Russia in numbers. 2017), Moscow, 2017.
Rossiya v tsifrakh. 2018 (Russia in numbers. 2018), Moscow, 2018.
Rossiya v tsifrakh. 2019 (Russia in numbers. 2019), Moscow, 2019.
Rossiya v tsifrakh. 2020 (Russia in numbers. 2020), Moscow, 2020.
Ukaz Prezidenta RF ot 21.01.2020 g. № 20 «Ob utverzhdenii Doktriny prodovol'stvennoy bezopasnosti RF» (Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2020 No. 20 "On Approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation"). <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106>. Cited August 27, 2022.
Rasporyazheniye pravitel'stva RF ot 17.04.2012 g. № 559-r «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti RF na period do 2020 goda» (Decree of the Government of the Russian Federation of April 17, 2012 No. 559-r "On approval of the Strategy for the development of the food and processing industry of the Russian Federation for the period up to 2020"). <http://static.government.ru/media/files/5SEWu4kH5Zar985mZYhwg0jbMspj9uAv.pdf>. Cited August 27, 2022.
MR 2.3.1.0253–21. Gigiyena pitaniya. Ratsional'noye pitaniye. Normy fiziologicheskikh potreb-nostey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya RF (MR 2.3.1.0253–21. Food hygiene. Balanced diet. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation). Moscow, 2021. https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/789/1.-mr-2.3.1.0253_21-normy-pishchevykh-veshchestv.pdf. Cited August 27, 2022.
Sergeev, M., Rosstat feeds Russians with scales and tails. Statistics embellish the fish diet of the population, *Nezavisimaya Gazeta*, 08.28.2019. http://www.ng.ru/economics/2019-08-28/1_7661_fish.html. Cited August 27, 2022.
Kostyuchenko, F., Russia is increasing the export of fish products, *Rossiyskaya Gazeta*, 08.04.2021. <https://rg.ru/2021/08/04/rossiia-narashchivaet-eksport-rybnoj-produkcii.html>. Cited August 27, 2022.

Поступила в редакцию 24.10.2022 г.

После доработки 11.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

*The article was submitted 24.10.2022; approved after reviewing 11.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022*

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ
METHODS OF INVESTIGATIONS**

Научная статья

УДК [639.2.053.7:519](265.5)**DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-1002-1014****EDN: IAVNBZ****ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
ДЛЯ ОЦЕНКИ БИОМАССЫ ТРЕСКИ В СЕВЕРО-КУРИЛЬСКОЙ ЗОНЕ****В.В. Кулик, М.И. Горюнов***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Исследуются уловы тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* на промысле и в научной съемке с целью найти относительную биомассу трески и ее неопределенность в Северо-Курильской зоне в 2021 и 2022 гг. с использованием многофакторного подхода. Используется вся доступная в ТИНРО информация за эти годы для проведения сравнительного анализа посредством метода машинного обучения — ансамблевого метода случайного леса (Random forest) в процедуре множественного заполнения пропусков последовательными уравнениями — Multiple Imputation by Chained Equations (MICE). Коэффициент детерминации относительно тестовых данных превышал 0,8 при использовании данных научной съемки 2021 г., а при использовании промысловых данных он превышал 0,5. Тем не менее относительно исходной дисперсии: таковая в MICE была ниже более чем на 82 % по данным научной съемки. Выявлено, что биомасса трески осталась на прежнем уровне в 2022 г. относительно 2021 г. Предлагается расширить район исследований и список наблюдаемых орудий лова из-за их пространственной сегрегации для снижения вероятности искажения оценок в связи с большой площадью экстраполяции.

Ключевые слова: биомасса, тихоокеанская треска, Северо-Курильская зона, случайный лес, MICE

Для цитирования: Кулик В.В., Горюнов М.И. Применение метода машинного обучения для оценки биомассы трески в Северо-Курильской зоне // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 1002–1014. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-1002-1014. EDN: IAVNBZ.

Original article

**Application of the machine learning method to estimate the biomass of pacific cod
in the North Kuril zone****Vladimir V. Kulik*, Mikhail I. Goryunov****

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

* Ph.D., head of laboratory, vladimir.kulik@tinro-center.ru, ORCID 0000-0003-0920-5312

** leading specialist, mikhail.goryunov@tinro-center.ru

Abstract. The biomass of pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the North Kuril fishing zone is estimated using a multifactorial approach, with evaluation of uncertainty. For this

* Кулик Владимир Владимирович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, vladimir.kulik@tinro-center.ru, ORCID 0000-0003-0920-5312; Горюнов Михаил Игоревич, ведущий специалист, mikhail.goryunov@tinro-center.ru.

© Кулик В.В., Горюнов М.И., 2022

purpose, the density of fish over entire zone is restored using the data on density obtained in 2022 compared with the data of previous surveys and fishery data obtained in 2021 and earlier, converted to the same scale, with application of the machine learning method, as the random forest in the multiple imputation by chained equations procedure (MICE). The coefficient of the restored data determination with out-of-bag (test set) data was > 0.8 with the data of scientific survey in 2021 and > 0.5 with the data of Danish seine observations. The cod density variance in MICE data was in 82 % lower than in the data of the scientific survey; therefore the biomass estimation with MICE data has lower uncertainty than that one calculated just from the mean density in survey. The study showed insignificant difference of the cod biomass in 2021 and 2022. Spatial segregation is revealed for fishing gears used for the pacific cod fishery. There is proposed to extend the list of fishing gears and to expand the study area for reducing possible bias in the biomass estimation due to large area of extrapolation.

Keywords: biomass, pacific cod, North Kuril fishing zone, random forest, MICE

For citation: Kulik V.V., Goryunov M.I. Application of the machine learning method to estimate the biomass of pacific cod in the North Kuril zone, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 1002–1014. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-1002-1014. EDN: IAVNBZ.

Введение

Северо-Курильская промысловая зона характеризуется сложным рельефом дна, что препятствует выполнению научных съемок донными тралами (ДТ) с охватом всей ее акватории. Научные съемки ДТ по сетке станций проводятся там редко и только в доступной для тралений части. Последняя была проведена в 2021 г. на НИС «Дмитрий Песков». ТИНРО отправил в 2022 г. наблюдателя на снюрреводный промысел в Северо-Курильскую зону. Следовательно, необходимо разработать метод, позволяющий сравнить биомассы 2021 и 2022 гг., полученные из различных источников информации.

Доминирующим видом из придонных рыб в наблюдаемых уловах 2022 г. была тихоокеанская треска *Gadus macrocephalus*, поэтому мы выбрали ее в качестве объекта исследования.

Целью данной работы стало определение значимости изменения биомассы трески в Северо-Курильской зоне с использованием всей доступной нам информации за 2021 и 2022 гг.

Абсолютные биомассы в научных съемках рассчитываются с учетом коэффициента уловистости (КУ). Однако для снюрреводов КУ нам неизвестен, поэтому мы не будем использовать его в расчетах по данным 2021 и 2022 гг., а станем оперировать относительными биомассами.

Мы предлагаем использовать робастный метод, позволяющий моделировать наблюдения вне зависимости от их распределения и без смещения. Таковым является ансамблевый метод случайного леса (Random forest или RF) [Breiman, 2001]. Он уже позволил выявить верную тенденцию в динамике биомассы сайры в районе Курильских островов без использования данных научных съемок [Kulik et al., 2022]. Сайра совершает более протяженные миграции, чем треска, но для нее были доступны суточные лагранжевы характеристики на поверхности Тихого океана, отражающие динамику вод верхнего слоя воды, а треска обитает у дна. Это значит, что использованный ранее метод необходимо усовершенствовать с учетом известных нам важных факторов для трески по всей акватории Северо-Курильской зоны.

Материалы и методы

Сбор новых материалов проведен М.И. Горюновым на борту судна СТР-420 «Ветровой» в Северо-Курильской зоне за 37 судно-суток лова с конца мая по июнь 2022 г. В качестве вспомогательной информации мы привлекли всю доступную в ТИНРО промысловую статистику за это же время года в 2021–2022 гг. Информация о промысловых операциях получена из отраслевой системы мониторинга (ОСМ) Росрыболовства, которая ведется в Центре системы мониторинга рыболовства и связи [<http://cfmc.ru/>] и

сохраняется в ТИНРО при помощи сотрудников Института космических исследований РАН. Материалы научной съемки 2021 г. также служили в качестве входной информации по распределению относительной биомассы трески.

Важной константой, определяющей величину относительной биомассы (кг/км²), в научных съемках донными тралами является горизонтальное раскрытие трала. Оно может быть пересчитано от длины верхней подборки через коэффициент, равный 0,55 [Волвенко, 2013]. Такой коэффициент использовался в обобщениях по выбранному району исследований [Макрофауна..., 2014а, б], но не в рейсовых отчетах и не в материалах общего допустимого улова (ОДУ), где среднее горизонтальное раскрытие равнялось 16 м для стандартного ДТ с длиной верхней подборки, равной 27,1 м (ДТ 27,1/24,4), а не $27,1 \times 0,55 = 14,9$ м. Известно, что на шельфе западной части Берингова моря горизонтальное раскрытие у этого трала больше 16 м (16,4 м) [Захаров, Емелин, 2016]. Инструментальные наблюдения горизонтального раскрытия показали, что они не равны 16 м в 68 % случаев [Захаров и др., 2013]. Более того, горизонтальное раскрытие увеличивается с глубиной донного траления и длиной вытравленных ваеров нелинейно. Так, при длине ваеров 900 м оно составит уже 20,1 м [Захаров, Емелин, 2016]. Поэтому мы пересчитали горизонтальное раскрытие научных тралений ДТ 27,1 по опубликованным зависимостям в программе, разработанной авторами, которые их обнаружили [Захаров и др., 2019], а для остальных ДТ в ОСМ горизонтальное раскрытие получено через 0,55 длины верхней подборки [Волвенко, 2013].

Наблюдения ДТ сохранены в ТИНРО в базе данных (БД) «Морская биология»*. Из нее же мы получили описания грунтов в каждом ДТ. Грунты кодировались 2 цифрами. Разбив этот составной код, мы составили список из уникальных значений в каждой страте, добавив буквы «gr» в начале, чтобы было проще использовать их как названия переменных (прил. А табл. А.1)**. К сожалению, не все участники научных рейсов придерживались кодификатора грунтов, некоторые обозначали их буквами, но эти аббревиатуры мы перевели в цифровые коды сами.

Вспомогательными слоями для интерполяции служили также данные о придонной температуре, солёности, скорости течений, нитратах, фосфатах, силикатах, растворенном кислороде, железе, хлорофилле, фитопланктоне, первичной продукции и интенсивности света у дна (они получены из системы Bio-ORACLE с разрешением в 5' [Tyberghein et al., 2012; Assis et al., 2018]), а также данные о физических особенностях дна: восточно-западная и северно-южная составляющие экспозиции, наклона, вогнутость морского дна, кривизна в плане и профиле и расстояние от берега получены из системы MARSPEC с разрешением в 30'' [Sbrocco, Barber, 2013]. С еще более высоким разрешением в сетке с ячейкой 100 × 100 м рассчитана морфометрия дна из цифровой модели рельефа GEBCO [<https://doi.org/10.5285/a29c5465-b138-234de053-6c86abc040b9>] с разрешением в 15'' после низкочастотного сглаживания радиусом до 2 км для исключения артефактов глубины из-за различий в ее источниках и билинейной интерполяции. Новая морфометрия рассчитана в геоинформационной системе (ГИС) SAGA версии 7.8.2 и показана на рис. Б.1–Б.7 в приложении Б. Зональная статистика со всех растров собрана взвешенно по площади снятия ячеек при помощи специально разработанного с этой целью пакета `exactextractr` [<https://CRAN.R-project.org/package=exactextractr>]. Площадь дна (прил. Б рис. Б.8), как и в наших прежних работах [Макрофауна..., 2014а, б], рассчитана в модуле ГИС SAGA*** на основе цифровой модели рельефа. Сетка агрегирования всех значений образована ромбами шириной 4 км, высотой 5 км и площадью 10 км² в конформной конической проекции

* Свидетельство № 6394 от 01.08.2000 г. о регистрации в Государственном регистре баз данных за № 0220006765.

** Все приложения размещены на странице статьи на сайте журнала [<http://izvestiya.tinro-center.ru>] как дополнительный файл.

*** Olaya V. Module Real Surface Area, SAGA-GIS, 2004.

Ламберта с опорными параллелями 48° и 50° с.ш. и центральным меридианом 155° в.д. Коррекция искажения площади поверхности из-за проецирования рассчитана в ГИС QGIS Desktop версии 3.26 (прил. Б рис. Б.9).

Основными слоями для интерполяции были наблюдения на промысле снюрреводом в 2022 г. Постановки снюрревода начинались со сброса буя за борт. Далее судно проходило по маршруту, совершало один разворот. Затем за борт опускался сам мешок снюрревода, после чего судно возвращалось за бумом, произведя еще один разворот. Таким образом, зона облова походила на четырехугольник со средней площадью 0,832 км². Мы использовали уникальную площадь каждого такого четырехугольника, рассчитанную в ГИС QGIS на сфероиде всемирной геодезической системы, а не среднюю. Процесс обмета осуществлялся за 20–25 мин. Затем снюрревод протягивали за судном для облова обнаруженной рыбы, что в зависимости от скорости хода судна и силы течения занимало от 30 до 60 мин. После этого начинался подъем снюрревода с уловом на борт, на что уходило около 30–40 мин. В зависимости от величины улова данный процесс мог занять от 10 до 25 мин. Таким образом, один зачет снюрревода с момента сброса буя с грузом до подъема мешка с уловом занимал от 1 ч 30 мин до 2 ч 30 мин. Этот способ ведения лова может представлять научный интерес из-за его скоротечности и легко рассчитываемой площади облова.

Использованный метод многомерной аппроксимации базируется на RF, реализованном в пакете ranger [Wright, Ziegler, 2017] для языка программирования R [<https://www.R-project.org/>]. Восстановление вероятных плотностей гидробионтов (кг/км²) после логарифмической трансформации проведено многократным перезапуском (15 раз) по 100 наборам, которые каждый пропуск моделировали по всем имеющимся данным в случайном порядке в итерационной процедуре с удержанием общего математического ожидания (mean match). Такой подход называется Multiple Imputation by Chained Equations (MICE), что можно перевести как «множественное заполнение пропусков последовательными уравнениями» [<https://github.com/FarrellDay/miceRanger>]. Отличие от оригинальных установок ranger в MICE здесь заключалось в увеличении числа деревьев до 1000 (с 500) и глубины их роста (параметр mtry) до 100 (с 10). Оригинальные установки позволяют выполнять аналогичные расчеты быстрее, но менее точно.

Заметы снюрревода судном с наблюдателем в 2022 г. располагались кучно, что сильно затрудняет интерполяционную задачу. Поэтому мы привлекли всю доступную информацию из ОСМ по всем операциям в Северо-Курильской зоне в мае-июне 2020 и 2021 гг. В случае проблематичности расчета площади облова некоторых орудий лова в ОСМ мы использовали за единицу усилия часы застоя или 1000 крючков. Таким образом, получено еще 23 вспомогательные переменные (прил. А табл. А.2).

Привлечение промысловой статистики позволило заметно расширить акваторию, насыщенную хоть какой-то информацией (рис. 1).

Использование только наблюденных снюрреводов оставит для модели слишком много свободы в районах, где научных наблюдений на промысле не было. В связи со случайными цепочками, образующимися в каждом наборе (из 100), на каждой итерации (из 15), в каждом дереве (из 1000) можно установить условные и многомерные, интервальные связи между орудиями лова и содержать экстраполяцию плотности из наблюденных постановок снюрревода по плотностям уловов из других орудий лова. Использование среднеголетних долей и уловов на единицу усилия из БД «Ярусный промысел»* и БД «Морская биология» помогало решить эту задачу.

Все плотности из БД в ТИНРО были подвергнуты логарифмической трансформации для настройки и экспоненциальному инвертированию при обобщении результатов специальными функциями из языка R: $\log1p$ и $\expm1$, которые лучше работают со значениями, близкими к пределу машинной точности, чем простые преобразования $\ln(x+1)$ и $\exp(x)-1$ (прил. А табл. А.3). Такое преобразование необходимо потому, что

* Свидетельство № 2017620882 от 11.08.2017 г. о Государственной регистрации базы данных «Ярусный промысел».

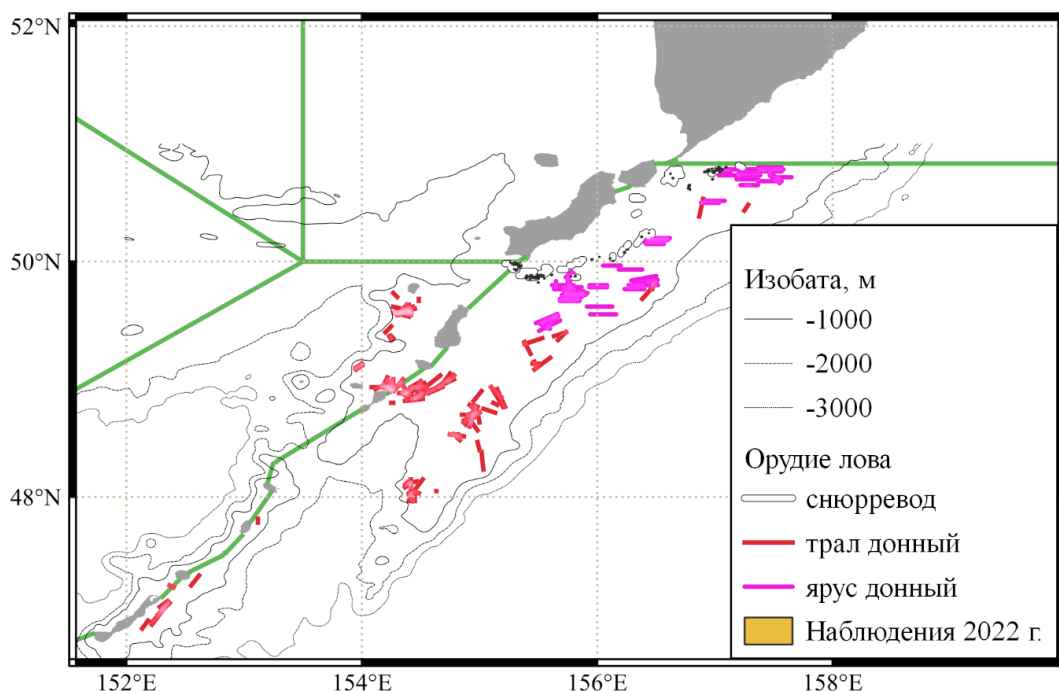


Рис. 1. Положения промысловых операций из ОСМ в Северо-Курильской зоне с мая по июнь 2020–2022 гг.

Fig. 1. Location of fishing operations in the North Kuril fishing zone in May-June of 2020–2022 obtained from the fishery monitoring system

распределение рыб не является нормальным, оно определяется условиями среды, наличием корма и т.д., поэтому в общем случае не может моделироваться нормальным законом, а средний арифметический улов, особенно при небольшом количестве станций облова, может содержать значительную случайную погрешность и оказаться неэффективной оценкой среднего улова. Следовательно, получение наиболее эффективной оценки величины популяции рыб и определения точности полученного результата зависит от закономерности распределения уловов [Аксютин, 1970а, б].

Сотрудники ТИНРО давно обращали внимание на эту проблему, отмечая, что склонность рыб к образованию скоплений с более или менее пустыми пространствами между ними ведет к тому, что большие уловы встречаются значительно реже, чем малые. Как следствие, данные траловой съемки явно не соответствуют нормальному распределению. Поэтому применение нормальных (параметрических) статистических процедур, даже таких элементарных, как расчет среднего и его стандартной ошибки, даст искаженные результаты [Волвенко, 1998].

В результате поиска путей решения проблемы ненормальности плотностей в траловых съемках многократно предлагалось логарифмическое преобразование $y = \lg(x+1)$, где x — исходные, а y — преобразованные данные [Аксютин, 1968]. Логарифмическое преобразование обеспечивает удовлетворительную нормализацию, следовательно, плотности гидробионтов имеют логнормальное распределение [Волвенко, 1998].

Промысловые уловы же в связи с отсутствием нулевых уловов при добыче целевого вида и примерно постоянными его плотностями, находимыми акустическими приборами и иными способами, наоборот, близки к нормальным при стратификации по орудиям лова. Нестабильность промысловых уловов может быть связана со множеством причин, одна из которых — истощение запаса. Наблюдаемое на промысле истощение запаса позволяет восстановить начальную численность рыб в районе промысла, например методом Лесли и де Лури с модификацией Рикера [Ricker, 1975]. Мы испытали эти

методы, прежде чем приступить к использованию метода машинного обучения — RF. Программная реализация методов Лесли и де Лури доступна в пакете FSA для языка R [<https://github.com/fishR-Core-Team/FSA>].

Результаты и их обсуждение

Видовой состав при снюрреводном промысле СТР-420 «Ветровой» в Северо-Курильской зоне в 2022 г. был представлен 34 видами рыб, 4 видами крабов, 1 видом осьминога и 1 видом кальмара (см. таблицу). Доминировал в уловах минтай *Gadus chalcogrammus*, а треска и двухлинейная камбала *Lepidopsetta polyxystra* были субдоминантами.

В связи с тем что минтай обитает у дна непостоянно и может встречаться по всей толще воды, мы не использовали его плотность как возможный фактор, определяющий вероятность поимки трески в MICE, а плотность другого придонного субдоминанта (двухлинейной камбалы) использовали.

Анализ динамики плотности рыб с применением методов истощения Лесли и де Лури с модификацией Рикера показал, что ни в целом, ни в отдельности по трем подрайонам (у южной, центральной и северной частях о. Парамушир) данные методы применять невозможно. Их выводы между собой не различались, поэтому приводятся результаты по методу де Лури (прил. В).

Наклон прямой истощения трески был либо положительным, что приводило к отрицательной начальной численности (прил. В рис. В.1 и рис. В.2), либо статистически незначимым ($p < 0,05$) (прил. В рис. В.3). В последнем случае оценка численности трески у северной части о. Парамушир, найденная методом де Лури, составила около $6,566 \pm 5,921$ тыс. экз. в пределах стандартной ошибки. У центральной части острова наблюдений было недостаточно, чтобы сделать хоть какое-то заключение.

Таким образом, применение методов истощения оказалось безуспешным. Применение метода машинного обучения — случайного леса — в MICE оказалось более надежным.

Качество (Q) восстановления в MICE плотности трески (kggad) в 2022 г. было выше, чем в 2021 г. (gad), как показано на рис. 2.

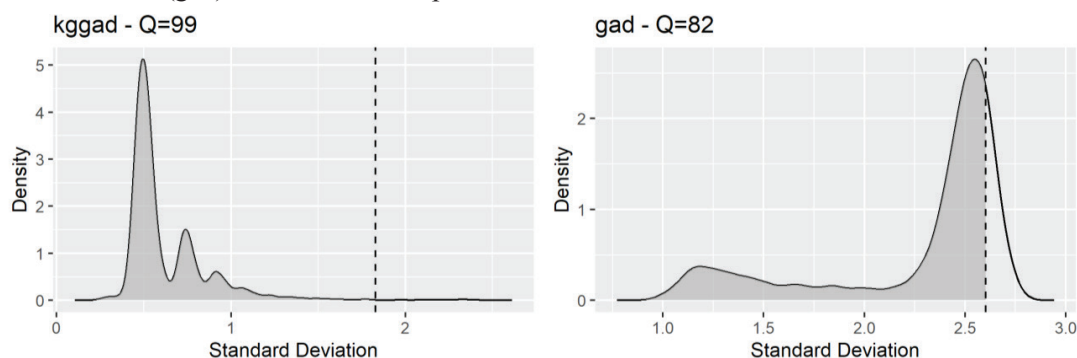


Рис. 2. Качество (Q) настройки: доля стандартного отклонения (Standard Deviation — SD) модельных данных ниже оригинального SD, отмеченного вертикальным пунктиром, %. Density — плотность распределения

Fig. 2. Quality (Q) of tuning: Percentage of the model samples with standard deviation (SD) below SD of observed data (vertical dashed line)

Коэффициент детерминации (R^2) модельных плотностей относительно наблюдаемых, но исключенных (OOB — out of bag) из тренировки RF, а затем включенных в тестирование, был выше для научных ДТ в 2021 г., чем для снюрреводных постановок в 2022 г. (рис. 3). Из этого можно сделать важный вывод — данные из научной съемки 2021 г., обладая более высокой дисперсией и, следовательно, меньшей определенностью, одновременно обладают большей обобщающей способностью и более пригодны для экстраполяции, чем данные наблюдений на снюрреводном промысле. При этом в последние годы оценки биомасс по всем 100 наборам были устойчивы, так как их

Наблюдаемый видовой состав уловов при снюрреводном промысле
в Северо-Курильской зоне в мае-июне 2022 г.
Species composition of the Danish seine catches in the North Kuril fishing zone in May-June 2022

Вид	Встре- чаемость, %	Длина, см		Сред- няя масса, г	Средний улов на судо-сутки		Доля от общего улова, % от массы
		От	До		Кол-во особей, экз.	Масса, кг	
<i>Gadus chalcogrammus</i>	99,17	21	67	431	49701	21404,78	73,19
<i>Lepidopsetta polyxystra</i>	94,21	17	47	328	5122	1680,71	6,05
<i>Gadus macrocephalus</i>	85,95	15	84,9	476	6968	3315,28	13,08
<i>Gymnocanthus detrisus</i>	58,68	15	38	203	673	136,77	0,79
<i>Erimacrus isenbeckii</i>	58,68	8	13	703	15	10,83	0,063
<i>Chionoecetes opilio</i>	57,85	4	18	313	73	22,91	0,134
<i>Hemilepidotus jordani</i>	55,37	18	51	859	413	354,45	2,171
<i>Pleurogrammus monopterygius</i>	42,15	21	49	599	523	313,25	2,520
<i>Hippoglossus stenolepis</i>	23,14	30	126	813	19	15,66	0,229
<i>Hexagrammos lagocephalus</i>	21,49	28	57	1761	34	59,61	0,941
<i>Myoxocephalus polyacanthocephalus</i>	19,83	21	75	694	18	12,65	0,216
<i>Limanda aspera</i>	14,05	20	42	465	15	6,84	0,165
<i>Hippoglossoides robustus</i>	12,40	17	45	436	12	5,14	0,141
<i>Paralithodes brevipes</i>	12,40	3	16	152	1	0,19	0,0053
<i>Paralithodes camtschaticus</i>	6,61	18	23	3210	0,025	0,08	0,0041
<i>Bathyraja parmifera</i>	4,96	59	83	1445	0,096	0,138	0,0095
<i>Hemilepidotus gilberti</i>	3,31	27	33	427	1,97	0,842	0,0864
<i>Eleginus gracilis</i>	3,31	37	41	391	1,22	0,477	0,0489
<i>Hemitripteris villosus</i>	3,31	39	51	2540	0,0056	0,0141	0,0014
<i>Berryteuthis magister</i>	3,31	22	26	448	0,0056	0,00249	0,00026
<i>Liparis ochotensis</i>	3,31	38	52	1283	0,0056	0,0071	0,00073
<i>Pleuronectes quadrituberculatus</i>	2,48	35	48	1176	0,39	0,458	0,0627
<i>Enophrys diceraus</i>	2,48	23	30	414	0,234	0,097	0,0133
<i>Eumicrotremus asperrimus</i>	2,48	8	9	101	0,023	0,0023	0,00032
<i>Podothecus sturioides</i>	2,48	19	31	150	0,0031	0,00047	0,000064
<i>Sebastes glaucus</i>	1,65	40	53	1211	0,096	0,116	0,0238
<i>Bathyraja aleutica</i>	1,65	105	122	10055	0,00139	0,014	0,00287
<i>Lycodes brunneofasciatus</i>	1,65	56	57	930	0,00139	0,00129	0,00027
<i>Percis japonica</i>	1,65	31	38	310	0,00139	0,00043	0,000088
<i>Triglops forficatus</i>	1,65	23	28	85	0,087	0,0074	0,00151
<i>Careproctus rastrinus</i>	0,83	26	33	527	0,184	0,097	0,04
<i>Icelus spiniger</i>	0,83	17	20	56	0,173	0,01	0,004
<i>Limanda sakhalinensis</i>	0,83	24	24	191	0,0118	0,0023	0,00093
<i>Bathyraja maculata</i>	0,83	63	63	1640	0,00035	0,00057	0,00023
<i>Aptocyclus ventricosus</i>	0,83	24	24	1540	0,00035	0,00053	0,00022
<i>Oncorhynchus</i> sp.	0,83	57	57	1900	0,00035	0,00066	0,00027
<i>Octopus conispadiceus</i>	0,83	–	–	950	0,00035	0,00033	0,00014
<i>Myzopsetta proboscidea</i>	0,83	36	36	530	0,00035	0,00018	0,000076
<i>Clupea pallasii</i>	0,83	30	30	200	0,00035	0,000069	0,000029
<i>Glyptocephalus stelleri</i>	0,83	33	33	200	0,00035	0,000069	0,000029

ошибки не проявили заметных сдвигов и тенденций между итерациями и случайными подвыборками данных, а доверительные интервалы были достаточно узкими для заключения о значимости или незначительности изменений относительной биомассы трески с 2021 по 2022 г.

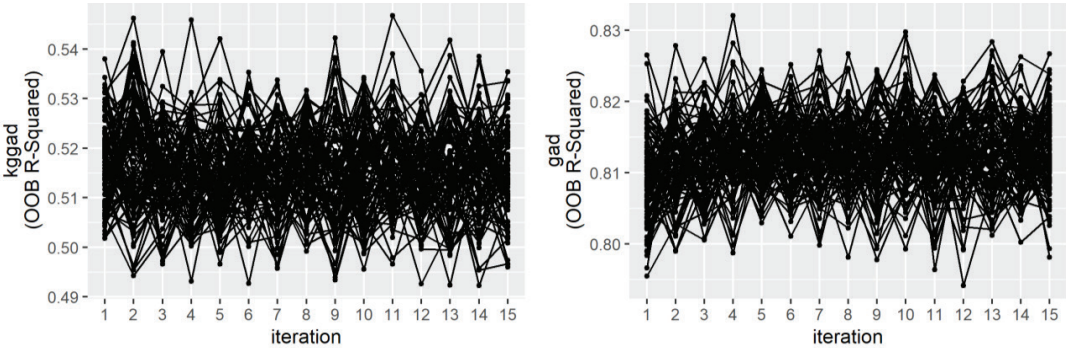


Рис. 3. Коэффициент детерминации (R-Squared) относительно тестовых данных, исключенных из настройки

Fig. 3. Coefficient of determination (R^2) of the model data relative to the observed data excluded multiple times from the tuning (at each iteration in each of 100 data sets)

Анализ динамики плотности трески относительно научных уловов ДТ 27,1 в 2021 г., которые использовались в MICE для заполнения пропусков в многомерном пространстве в 2022 г., показал, что биомасса трески значительно не изменилась. Медианы ее 100 оценок находились на уровне 27,8 тыс. т в 2021 г. и 27,1 тыс. т в 2022 г. Эта биомасса не является абсолютной в связи с тем, что в данном расчете КУ не применялись. Нам важнее межгодовые изменения и их 95 %-ные доверительные интервалы. Последние находились в пределах от 26,7 до 28,7 тыс. т в 2021 г. и от 26,6 до 27,7 тыс. т в 2022 г. Таким образом, мы можем утверждать, что биомасса трески в Северо-Курильской зоне не претерпела больших изменений в 2022 г. относительно 2021 г.

Картина распределения биомассы трески показана на рис. 4. Необходимо обратить внимание на важность научных наблюдений на промысле. Например, доля трески в уловах ярусами по историческим данным ТИНРО (рис. 5) сильно отличается по месту от таковой из аппроксимации по данным ОСМ (рис. 6).

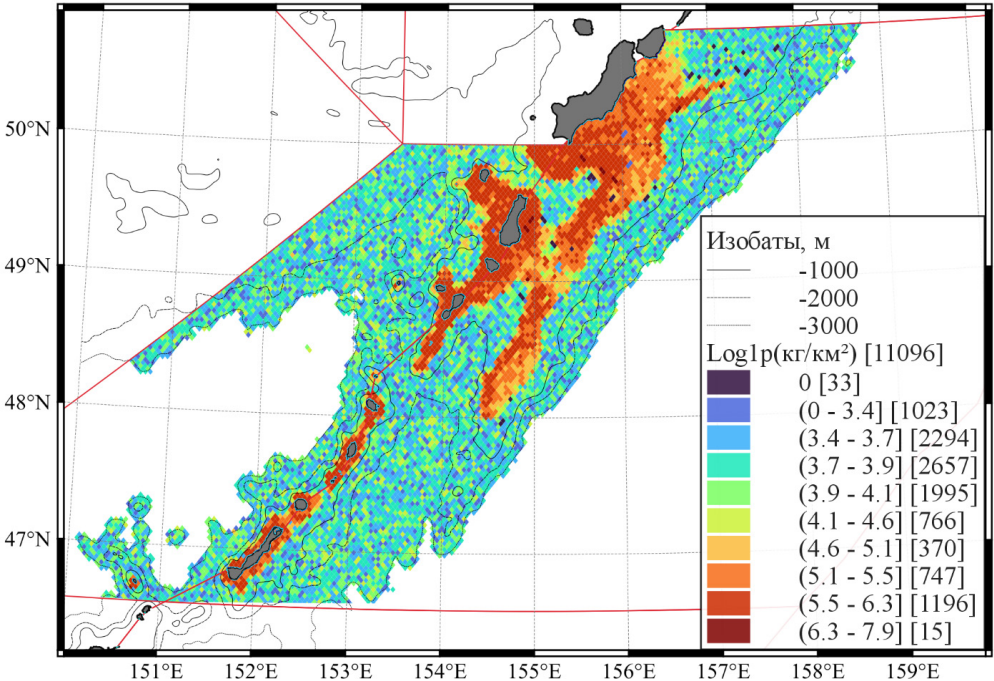


Рис. 4. Плотность трески в Северо-Курильской зоне по данным 2022 г.
Fig. 4. Observed data on the pacific cod density in the North Kuril fishing zone in 2022

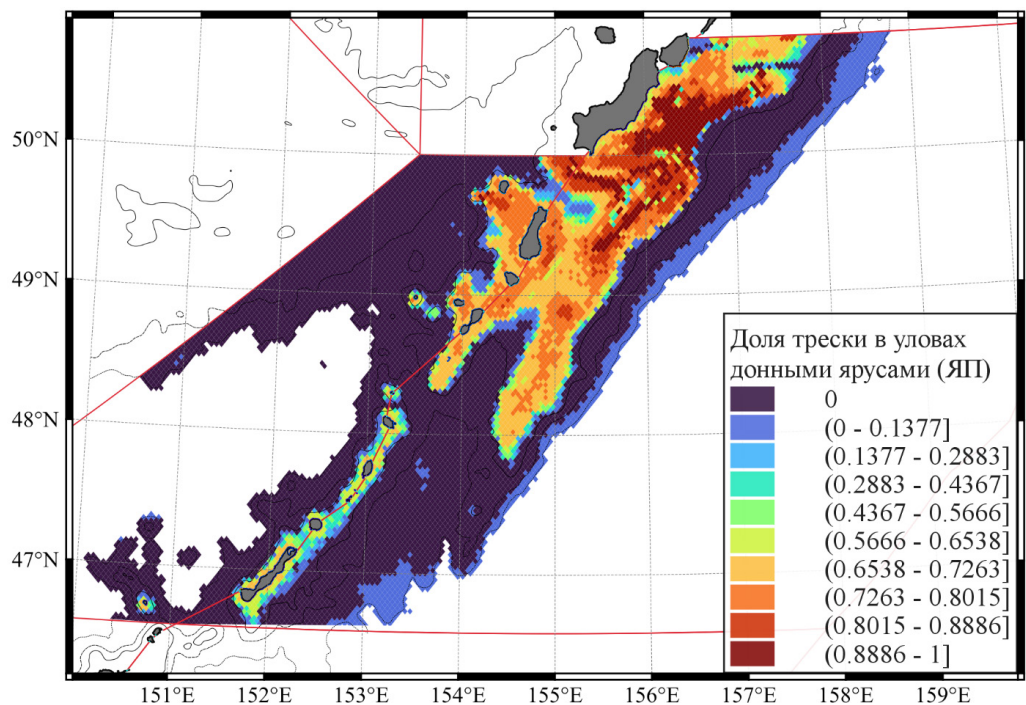


Рис. 5. Среднегодовная доля трески в ярусных уловах из БД ЯП
Fig. 5. The long-term average portion of pacific cod in the longline catches

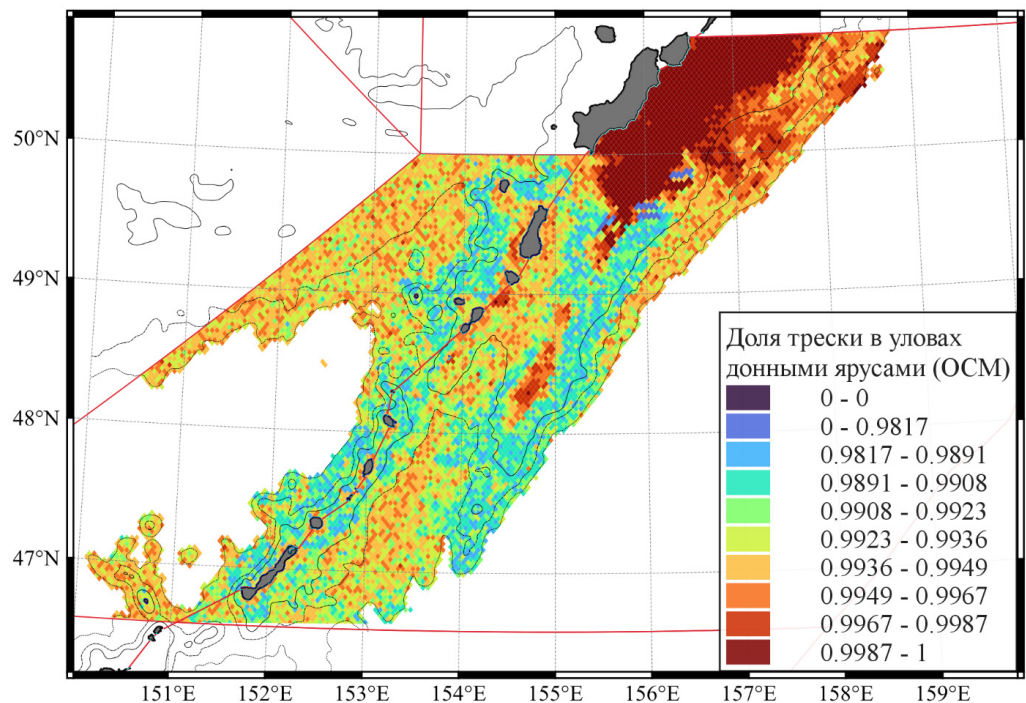


Рис. 6. Доля трески в ярусных уловах из ОСМ с мая по июнь в 2020–2022 гг.
Fig. 6. Portion of pacific cod in the longline catches in May-June of 2020–2022 (data of the fishery monitoring system)

Очевидно, что данные, интерполированные из научных наблюдений (в донных тралениях и на ярусном промысле), между собой хорошо сходятся, а с официальной статистикой (ОСМ) — не сходятся. Необходимо отметить, что промысловые данные

из ОСМ не позволяют должным образом учесть эффект глубины. В результате этого экстраполяция высокой плотности трески распространяется на глубины, где она не должна встречаться. Отсутствие там научных наблюдений вело к тому, что настройка RF такие сочетания диапазонов параметров не штрафовала, поэтому следует признать их артефактами экстраполяции. Следовательно, делать выводы о том, что на ярусном промысле трески приловы остальных видов незначительны по данным ОСМ, — преждевременно. В связи с этим мы можем утверждать следующее: нам необходимо расширить район исследований и список наблюдаемых орудий лова, если мы хотим снизить искажения оценок, которые сейчас возникают в связи с большой площадью экстраполяции.

Заключение

Простые методы истощения запасов Лесли и де Лури (с коррекцией по Рикеру) давали либо абсурдные (отрицательные) оценки начальной численности, либо неопределенные (с огромной ошибкой). Это может быть связано с коротким периодом наблюдений (менее 2 мес.), малым покрытием наблюдателями (всего 1) или положительным эффектом промыслового воздействия, которое лишь способствовало увеличению эффективности лова в мае-июне.

Метод машинного обучения — случайного леса, — запущенный в процедуре MICE, сработал значительно лучше простых средних и имел высокий коэффициент детерминации в тестовых прогонах. Огромное количество вспомогательных слоев информации (состав грунтов, морфометрия дна, придонные характеристики воды, вся информация из БД «Морская биология» и «Ярусный промысел», а также из ОСМ), доступной в каждой ячейке для интер- и экстраполяции, не помогло удержать оценки высоких плотностей в диапазонах глубин обитания трески при интерполировании промысловых данных из ОСМ. Это связано с тем, что промысловые операции недостаточно контрастны по признакам внешней среды в связи с их проведением на скоплениях рыб. В отличие от научных съемок, они не проводятся там, где рыбы не образуют достаточные для эффективного промысла концентрации. Так, глубина промысловых операций теряет роль определяющей распределение вида в пространстве при использовании в MICE.

В итоге мы все же можем с большой уверенностью допустить, что биомасса трески в 2022 г. осталась на уровне 2021 г., так как ее 95 %-ные доверительные интервалы в относительном масштабе (без КУ) почти полностью совпадали (от 26,7 до 28,7 тыс. т в 2021 г. и от 26,6 до 27,7 тыс. т в 2022 г.). Если отнести эти оценки к представленным Ким Сен Током в Сахалинском филиале ВНИРО в виде прогноза нерестового запаса в 2021 г. (85,93 тыс. т) и в 2022 г. (75,17 тыс. т) в Материалах ОДУ на 2022 г., то максимальный КУ для перевода относительной биомассы из MICE в абсолютную мог бы находиться в пределах от 0,33 до 0,36. Это очень близко к $KU = 0,4$ для взрослой трески [Макрофауна..., 2014а, б]. Наш вывод о незначительности изменения биомассы трески в Северо-Курильской зоне в 2022 г. соответствует прогнозу Ким Сен Тока, который ранее допускал, что формирование основы стада тремя доминирующими поколениями (2016–2018 годов рождения) позволит запасу сохраниться на стабильном уровне. Таким образом, наш вывод не противоречит прогнозу ответственного за подготовку материалов ОДУ трески в данном районе. Наш вывод получен иным методом: посредством MICE. Мы предлагаем этот метод не вместо традиционных, а в качестве дополнительного источника информации в условиях ее дефицита.

С целью снижения неопределенности в наших оценках потребуется расширить район исследований и список наблюдаемых орудий лова из-за их пространственной сегрегации. Расширение списка наблюдаемых орудий лова уже приводило к улучшению моделей распределения видов в восточной части Тихого океана [Thompson et al., 2022], поэтому мы надеемся на аналогичный эффект и в западной его части.

Необходимо помнить, что по наблюдениям в Северо-Курильской зоне на промысле снюрреводами в 2022 г. определенность значительно ниже (R^2 ООВ от 0,49 до 0,56), чем по данным научных ДТ в 2021 г. (R^2 ООВ от 0,80 до 0,85). При этом наращивание числа наблюдений на промысле не заставит рыбодобытчиков умышленно вести операции в зонах с низкой концентрацией рыб, а именно такие наблюдения крайне важны для более точной работы рассмотренного метода машинного обучения и любого другого метода моделирования распределения видов.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают признательность всем участникам научных рейсов и наблюдателям на промысле, чьи материалы использованы для настройки моделей. Отдельная благодарность сотрудникам Центра системы мониторинга рыболовства и связи (ЦСМС) и Института космических исследований РАН (ИКИ РАН) за ведение базы данных ОСМ и предоставление доступа к ним.

The authors are thankful to all members of scientific cruises and observers whose materials were used to adjust the models. Special thanks to the staff of the Center for Fisheries Monitoring System and Communications and the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IKI RAS) for maintaining the OSM database and providing access to them.

Финансирование работы (FUNDING)

Материалы собраны и обработаны по договору на выполнение научно-исследовательских работ № 40–22 с АО «СК БСФ» от 13 апреля 2022 г.

The materials for the study were collected and processed under the contract for the performance of research work No. 40-22 with JSC «IC BSF» dated April 13, 2022.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed. The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования, подготовка слоев для ГИС, настройка случайного леса, написание текста, редакторская правка — В.В. Кулик; сбор и обработка материалов исследований на снюрреводном промысле, перекодирование типов грунтов, написание введения и частично других разделов — М.И. Горюнов. Совместно обсуждены полученные результаты.

Research concept, data preparation for GIS, random forest tuning, text writing, editing — V.V. Kulik; collection and processing of the Danish seine data, recoding of the ground types, writing of introduction and partially other sections — M.I. Goryunov; all results were discussed jointly.

Список литературы

Аксютин З.М. Количественная оценка скопления рыб методом изолиний // Тр. ВНИРО. — 1970а. — Т. 71. — С. 302–308.

Аксютин З.М. Об использовании электронных вычислительных машин для анализа распределения и количественной оценки популяции рыб // Тр. ВНИРО. — 1970б. — Т. 71. — С. 309–318.

Аксютин З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1968. — 288 с.

Волвенко И.В. Проблемы количественной оценки обилия рыб по данным траловых съемок // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 473–500.

Волвенко И.В. Технические проблемы адекватной интерпретации результатов траловых съемок и пути их решения // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 172. — С. 282–293.

Захаров Е.А., Емелин П.О. Актуальность использования аппаратуры контроля орудий лова для снижения погрешности в оценке численности гидробионтов // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 186. — С. 198–206. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-186-198-206.

Захаров Е.А., Кручинин О.Н., Мизюркин М.А., Сафронов В.А. Геометрические параметры донного трала 27,1/24,4 и возможные погрешности в оценке численности гидробионтов // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 174. — С. 284–292.

Захаров Е.А., Кручинин О.Н., Шабельский Д.Л. Разработка и апробирование алгоритма расчета рабочих параметров траловых систем // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 198. — С. 221–229. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-221-229.

Макрофауна бентали Охотского моря: таблицы встречаемости, численности и биомассы. 1977–2010 / В.П. Шунтов, И.В. Волвенко, В.В. Кулик, Л.Н. Бочаров ; под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2014а. — 1052 с.

Макрофауна бентали северо-западной части Тихого океана: таблицы встречаемости, численности и биомассы. 1977–2008 / В.П. Шунтов, И.В. Волвенко, В.В. Кулик, Л.Н. Бочаров; под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2014б. — 554 с.

Assis J., Tyberghein L., Bosch S. et al. Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling // Global Ecology and Biogeography. — 2018. — V. 27, Iss. 3. — P. 277–284. DOI: 10.1111/geb.12693.

Breiman L. Random forests // Mach. Learn. — 2001. — Vol. 45, Iss. 1. — P. 5–32. DOI: 10.1023/A:1010933404324.

Kulik V.V., Prants S.V., Uleysky M.Yu., Budyansky M.V. Lagrangian characteristics in the western North Pacific help to explain variability in Pacific saury fishery // Fish. Res. — 2022. — Vol. 252. — 106361. DOI: 10.1016/j.fishres.2022.106361.

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

Sbrocco E.J., Barber P.H. MARSPEC: ocean climate layers for marine spatial ecology // Ecology. — 2013. — Vol. 94, Iss. 4. — P. 979. DOI: 10.1890/12-1358.1.

Thompson P.L., Anderson S.C., Nephin J. et al. Integrating trawl and longline surveys across British Columbia improves groundfish distribution predictions // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 2022. DOI: 10.1139/cjfas-2022-0108

Tyberghein L., Verbruggen H., Pauly K. et al. Bio-ORACLE: a global environmental dataset for marine species distribution modeling // Global Ecology and Biogeography. — 2012. — Vol. 21, Iss. 2. — P. 272–281. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2011.00656.x.

Wright M.N., Ziegler A. ranger : A Fast Implementation of Random Forests for High Dimensional Data in C++ and R // J. Stat. Softw. — 2017. — Vol. 77, № 1. — P. 1–17. DOI: 10.18637/jss.v077.i01.

References

Aksyutina, Z.M., Quantitative assessment of fish aggregations by the method of contour lines, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1970, vol. 71, pp. 302–308.

Aksyutina, Z.M., On the use of electronic computers for the analysis of the distribution and quantification of fish populations // *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1970, vol. 71, pp. 309–318.

Aksyutina, Z.M., *Elementy matematicheskoi otsenki rezul'tatov nablyudenii v biologicheskikh i rybokhozyaistvennykh issledovaniyakh* (Elements of Mathematical Evaluation of the Results of Observations in Biological and Fishery Research), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1968.

Volvenko, I.V., Problems in quantitative estimation of fish abundance by trawl sampling, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 124, pp. 473–500.

Volvenko, I.V., Technical problems of adequate interpretation the results of trawl surveys and ways to solve them, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 172, pp. 282–293.

Zakharov, E.A. and Emelin, P.O., Relevance of using the equipment for control of fishing gear to reduce inaccuracy in evaluation of marine organisms abundance, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 186, pp. 198–206. doi 10.26428/1606-9919-2016-186-198-206

Zakharov, E.A., Kruchinin, O.N., Mizurkin, M.A., and Safronov, V.A., Geometric parameters of the bottom trawl 27.1/24.4, and its possible errors in assessment of number of marine organisms, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 174, pp. 284–292.

Zakharov, E.A., Kruchinin, O.N., and Shabelsky, D.L., Development and testing of algorithm for calculation of operating parameters of trawling systems, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 198, pp. 221–229. doi 10.26428/1606-9919-2019-198-221-229

Shuntov, V.P., Volvenko, I.V., Kulik, V.V., and Bocharov, L.N., *Makrofauna bentali Okhotskogo morya: tablitsy vstrechaemosti, chislennosti i biomassy. 1977–2010* (Benthic Macrofauna of the Okhotsk Sea: Occurrence, Abundance, and Biomass. 1977–2010), Shuntov, V.P. and Bocharov, L.N., eds, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2014.

Shuntov, V.P., Volvenko, I.V., Kulik, V.V., and Bocharov, L.N., *Makrofauna bentali severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana: tablitsy vstrechaemosti, chislennosti i biomassy. 1977–2008* (Benthic Macrofauna of the Northwestern Pacific: Occurrence, Abundance, and Biomass. 1977–2008), Shuntov, V.P. and Bocharov, L.N., eds, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2014.

Assis, J., Tyberghein, L., Bosch, S., Verbruggen, H., Serrão, E.A., and De Clerck, O., Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling, *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2018, vol. 27, no. 3, pp. 277–284. doi 10.1111/geb.12693

Breiman, L., Random forests, *Mach. Learn.*, 2001, vol. 45, no. 1, pp. 5–32. doi 10.1023/A:1010933404324

Kulik, V.V., Prants, S.V., Uleysky, M.Yu., and Budyansky, M.V., Lagrangian characteristics in the western North Pacific help to explain variability in Pacific saury fishery, *Fish. Res.*, 2022, vol. 252, 106361. doi 10.1016/j.fishres.2022.106361

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

Sbrocco, E.J. and Barber, P.H., MARSPEC: ocean climate layers for marine spatial ecology, *Ecology*, 2013, vol. 94, no. 4, p. 979. doi 10.1890/12-1358.1

Thompson, P.L., Anderson, S.C., Nephin, J., Robb, C.K., Proudfoot, B., Park, A.E., Hagarty, D.R., and Rubidge, E., Integrating trawl and longline surveys across British Columbia improves groundfish distribution predictions, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2022. doi 10.1139/cjfas-2022-0108

Tyberghein, L., Verbruggen, H., Pauly, K., Troupin, C., Mineur, F., and De Clerck, O., Bio-ORACLE: a global environmental dataset for marine species distribution modelling, *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2012, vol. 21, no. 2, pp. 272–281. doi 10.1111/j.1466-8238.2011.00656.x

Wright, M.N. and Ziegler, A., ranger: A Fast Implementation of Random Forests for High Dimensional Data in C++ and R, *J. Stat. Softw.*, 2017, vol. 77, no. 1, pp. 1–17. doi 10.18637/jss.v077.i01

Svidetel'stvo № 6394 ot 01.08.2000 g. o registratsii v Gosudarstvennom registre bazy dannykh za № 0220006765 «Morskaja biologiya» (Certificate No. 6394 dated August 1, 2000 on registration in the State Register of the database No. 0220006765 “Marine biology”).

GEBCO Bathymetric Compilation Group 2020. The GEBCO_2020 Grid — a continuous terrain model of the global oceans and land, British Oceanographic Data Centre, National Oceanography Centre, NERC, UK. <https://doi.org/10.5285/a29c5465-b138-234d-e053-6c86abc040b9>. Cited July 20, 2022.

Baston, D., *exactextractr: Fast Extraction from Raster Datasets using Polygons*, R package version 0.7.2, 2021. <https://CRAN.R-project.org/package=exactextractr>. Cited January 27, 2022.

Olaya, V., *Module Real Surface Area*, SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.1.3), 2004. *R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria, 2022, version 4.2.1. <https://www.R-project.org/>. Cited July 20, 2022.

Svidetel'stvo № 2017620882 ot 11.08.2017 g. o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh «Yarusnyy promysel» (Certificate No. 2017620882 dated August 11, 2017 on state registration of the “Longline Fishery” database).

Ogle, D.H., Doll J.C., Wheeler P., and Dinno A., *FSA: Fisheries Stock Analysis*, R package version 0.9.3. <https://github.com/fishR-Core-Team/FSA>. Cited July 26, 2022.

Поступила в редакцию 27.07.2022 г.

После доработки 11.10.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 27.07.2022; approved after reviewing 11.10.2022; accepted for publication 21.11.2022

Научная статья

УДК 597.552.511:57.087.3

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031

EDN: JULFRV



МОДИФИКАЦИИ БЕСПИЛОТНОГО УЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ В РЕКАХ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ И ХАБАРОВСКОГО КРАЯ

В.В. Свиридов¹, Е.В. Подорожнюк¹, В.Д. Никитин², А.В. Скорик^{2*}¹ Хабаровский филиал ВНИРО (ХабаровскНИРО),

680038, г. Хабаровск, Амурский бульвар, 13а;

² Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),

693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196

Аннотация. Оценены различные модификации беспилотного учета производителей тихоокеанских лососей в ряде рек Сахалина и Хабаровского края. Проведена маршрутная беспилотная съемка для оценки пригодности такого варианта учета численности в преднерестовых и нерестовых скоплениях. Показана малая пригодность такого подхода для ряда обследованных рек Сахалина и Хабаровского края. Для рек, мало подходящих для маршрутного беспилотного учета, предложен альтернативный подход к оценке численности производителей тихоокеанских лососей. Рекомендовано применение на них беспилотной видеосъемки над контрастным фоном, являющейся модификацией учета с наблюдательских вышек, широко используемой североамериканскими рыбохозяйственными организациями. Даны подробные технические рекомендации по организации беспилотного учета на створе, показаны ограничения данного подхода. Юг Сахалина имеет все предпосылки для широкого внедрения такого учета благодаря сочетанию пространственной компактности, транспортной доступности и жилой инфраструктуры. Маршрутный беспилотный учет, в отличие от учета на створе, позволяет проводить инвентаризацию нерестилищ лососей, оценивать эффективность их нереста. Беспилотный учет на створе нацелен на оценку пропуска для оперативного регулирования промысла, т.е. решает более узкую задачу.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, учетный створ, видеорегистрация, оценка численности, тихоокеанские лососи, Сахалин, Хабаровский край

Для цитирования: Свиридов В.В., Подорожнюк Е.В., Никитин В.Д., Скорик А.В. Модификации беспилотного учета производителей тихоокеанских лососей в реках Сахалинской области и Хабаровского края // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 1015–1031. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031. EDN: JULFRV.

* Свиридов Владимир Владимирович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, vladimir.sviridov.1974@yandex.ru, ORCID 0000-0002-6060-1532; Подорожнюк Елена Владимировна, заведующая лабораторией, podorozhnyuk-tinro@yandex.ru, ORCID 0000-0001-9545-6796; Никитин Виталий Дмитриевич, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, v.nikitin@sakhniro.ru, ORCID 0000-0002-4685-1228; Скорик Андрей Васильевич, специалист, andrey.prosto.skorik@mail.ru, ORCID 0000-0002-0922-0697.

© Свиридов В.В., Подорожнюк Е.В., Никитин В.Д., Скорик А.В., 2022

Modifications of unmanned aerial survey on spawners of pacific salmon in the rivers of Sakhalin and Khabarovsk Regions

Vladimir V. Sviridov*, Elena V. Podorozhnyuk**, Vitaly D. Nikitin***,
Andrey V. Skorik****

*, ** Khabarovsk branch of VNIRO (KhabarovskNIRO),
13a, Amursky Boulevard, Khabarovsk, 680038, Russia

, * Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO),
196, Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia

* Ph.D., leading researcher, vladimir.sviridov.1974@yandex.ru, ORCID 0000-0002-6060-1532

** head of laboratory, podorozhnyuk-tinro@yandex.ru, ORCID 0000-0001-9545-6796

*** Ph.D., head of laboratory, v.nikitin@sakhniro.ru, ORCID 0000-0002-4685-1228

**** specialist, andrey.prosto.skorik@mail.ru, ORCID 0000-0002-0922-0697

Abstract. Two modifications of unmanned aerial vehicle (UAV) survey on spawners of pacific salmon are examined for certain rivers in Sakhalin and Khabarovsk Regions. The route survey along the rivers was tested to evaluate its applicability for the salmon counting in prespawning and spawning aggregations. Poor suitability of such approach was found for some of surveyed rivers. For these rivers, an alternative approach was proposed, as a localized UAV survey with shooting video over contrast background, like tower videocounts widely used in North America. This kind of survey can be easily adopted for many rivers of southern Sakhalin due to their spatial proximity, transport accessibility, and rather dense population in this area. Detailed technical recommendations for the UAV counting on observation transects are provided and limitations for this approach are shown. The route UAV survey allows to make inventory of the salmon spawning grounds and to evaluate the spawning efficiency, whereas the local UAV survey solves a narrower task for operative fishery regulation as counting the spawners escapement to rivers.

Keywords: unmanned aerial vehicle, observation transect, video survey, spawners abundance, pacific salmon, Sakhalin, Khabarovsk Region

For citation: Sviridov V.V., Podorozhnyuk E.V., Nikitin V.D., Skorik A.V. Modifications of unmanned aerial survey on spawners of pacific salmon in the rivers of Sakhalin and Khabarovsk Regions, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 1015–1031. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031. EDN: JULFRV.

Введение

Аэровизуальные методы учета производителей тихоокеанских лососей в нерестовых водотоках широко применяются в России и за рубежом [Фадеев и др., 2019]. В последние годы благодаря снижению стоимости и повышению технических возможностей беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) происходит дополнение или частичное замещение аэровизуального учета беспилотным, который зачастую более экономичен, точен и доказателен [Запорожец, Запорожец, 2017; Свиридов, Золотухин, 2020; Свиридов и др., 2022]. Это является частью общей тенденции по все более активному использованию беспилотников в исследованиях различных водных биоресурсов (ВБР) [Joyce et al., 2018; Harris et al., 2019; Дуленин и др., 2021].

К сожалению, проведение беспилотной аэрофотосъемки водотоков большой протяженности сопряжено со значительными техническими, логистическими, финансовыми и кадровыми сложностями. Так, беспилотники потребительского класса сравнительно недороги, просты в освоении и эксплуатации, однако способны отснять за сутки не более нескольких десятков километров водотока, т.е. не могут в короткие сроки обеспечить околототальную съемку целевого бассейна, что необходимо для оперативного ведения лососевой путины. Даже для сравнительно небольших рек тотальный учет потребителем БПЛА зачастую невозможен из-за ограниченного (несколько километров) полетного расстояния беспилотника и транспортной недоступности отдельных участков для самого оператора. Промышленные дроны имеют большое

полетное расстояние, поэтому могут покрывать аэрофотосъемкой сотни километров в день, благодаря хорошей грузоподъемности их можно оборудовать профессиональной съемочной аппаратурой и получать фотографии повышенного качества. Однако в настоящее время они весьма дороги, сложны в эксплуатации, их обслуживание требует высокой технической квалификации.

Технические ограничения БПЛА могут усугубляться особенностями некоторых обследуемых водотоков, осложняющими получение качественных фотографий с хорошо просматриваемыми производителями: сниженной прозрачностью воды, турбулентностью, большой глубиной, смыканием береговой растительности, сильным обрастанием дна. В таких проблемных реках даже БПЛА промышленного класса не позволяют качественно учесть производителей лососей.

По предварительной оценке, ряд рек Сахалина, а также Амурского лимана и Сахалинского залива Хабаровского края мало подходит для беспилотного учета производителей из-за вышеперечисленных причин. Однако утверждать это однозначно нельзя, требуется проведение полевых испытаний различных БПЛА на данных реках, что и входило в задачи настоящей работы.

Помимо оценки возможности учета численности в данных реках посредством маршрутного (т.е. пространственного, вдоль водотоков) беспилотного учета, была поставлена задача предложить для таких рек альтернативный способ учета посредством БПЛА. Таковым является беспилотный учет на створе, представляющий собой нашу модификацию наблюдений с вышек — «tower counts» [Johnson et al., 2007]. Концептуально эти варианты оценки численности различны: маршрутный учет предполагает получение одномоментной пространственной картины по всему обследуемому бассейну, учет на створе — оценку временной динамики пропуска. Решение двух вышеперечисленных задач (анализ эффективности маршрутного беспилотного учета в ряде отобранных рек, а также отработка альтернативного способа оценки пропуска) было направлено на достижение главной цели работы — тонкую адаптацию (т.е. модификацию) беспилотного учета под специфические условия обследуемых водотоков.

Методика подсчета численности с установленных на берегу вышек активно применяется в Северной Америке с 1990-х гг. для оценки числа производителей, мигрирующих через размещенный на дне светлый (т.е. контрастный) фон. Улучшенная визуализация производителей достигается высокой контрастностью между их окраской и установленным светлым фоном. Существует модификация метода, при которой наблюдатель заменяется видеокамерами, установленными на береговой вышке или натянутом через реку тросе, записывающими видео, используемое для подсчета рыб [Hatch et al., 1994]. Как отмечают некоторые авторы, этот метод учета зачастую может служить качественной и экономичной альтернативой другим видам оценки численности производителей, например гидроакустическому, аэровизуальному и посредством рыбоучетных заграждений (РУЗ) [Johnson et al., 2007; Шевляков и др., 2013; Volk, Munro, 2015; Глубоковский и др., 2017]. В последнее десятилетие системы видеорегистрации над контрастным фоном прочно вошли в систему мониторинга и прогнозирования запасов лососей на небольших (до 15–20 м), неглубоких (до 1 м), сравнительно прозрачных североамериканских реках [Johnson et al., 2007]. Однако публикации, в которых бы упоминалось применение БПЛА вместо подвесных видеокамер, нам не известны.

В России данный подход до настоящего времени не получил должного распространения, в том числе из-за логистических и технических сложностей. Однако в 2012–2014 гг. специалисты ХабаровскНИРО провели тестовые работы на реках Искра и Коль по учету производителей горбуши и кеты посредством подвесных видеокамер над контрастным фоном [Состояние запасов..., 2014].

Предпосылками для модификации существующего метода наблюдений над контрастным фоном, вывода его на более высокий технологический уровень с помощью применения беспилотников стали значительный прогресс в технических возможностях БПЛА, их удешевление и снижение требований к навыкам операторов, отмечаемые в

последние годы. Расчет был на упрощение и удешевление методики учета посредством использования БПЛА вместо видеокамер или наблюдателя на вышке, тестирование ее на реках Сахалина, а также Амурского лимана и Сахалинского залива Хабаровского края.

Материалы и методы

Для оценки эффективности маршрутного беспилотного учета производителей в реках Сахалина и Хабаровского края провели аэрофотосъемку потребительскими и промышленными БПЛА в основном течении и нерестовых притоках ряда рек. Съемки выполняли в 2020–2022 гг. в реках юга Сахалина (Бачинская, Вознесенка, Долинка, Жуковка, Игровая, Кура, Лазовая, Островка, Очепуха, Пугачевка, Таранай, Урюм, Фирсовка), Амурского лимана (Мы, Тыми, Хузи), Сахалинского залива (Коль, Иса, Лонгари, Тывлинка), бассейна Амура (Ануй, Хор, Урми, Гера, Амгунь с притоками Дуки, Им, Керби, Нилан и Нимелен) и Охотского района (Охота, Кухтуй, Урак) Хабаровского края в период массового хода производителей горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *O. keta* (рис. 1). При организации работ использовали ранее опубликованную методику беспилотного учета производителей лососей [Свиридов и др., 2022].

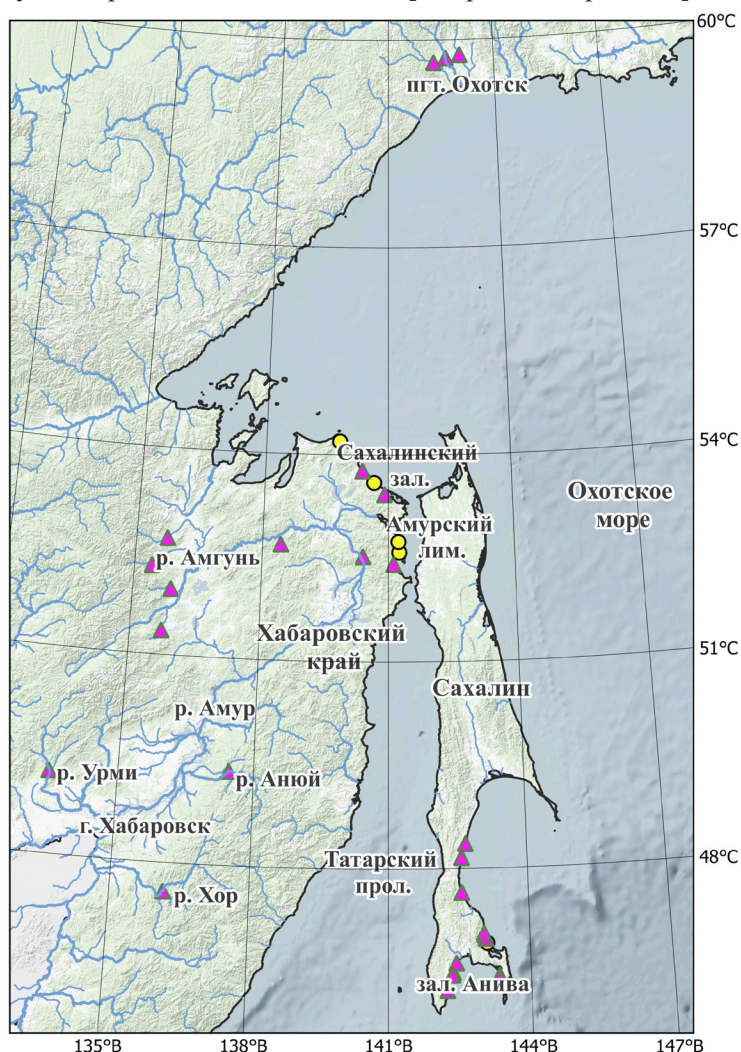


Рис. 1. Карта района работ: треугольниками обозначены места маршрутного беспилотного учета, кружками — на створе

Fig. 1. Scheme of research activities of unmanned aerial vehicles (UAV): triangles — route UAV surveys, circles — local UAV surveys on observation transectroute over observation section

Использовали БПЛА следующих моделей: DJI Phantom 4 Pro V2.0, DJI Mavic 2 Pro, DJI Mini 2, DJI Matrice 200 (с камерой Zenmuse X4S) и DJI Matrice 300 (с камерой Zenmuse P1). Выполняли пролеты вдоль основного русла с интервальной фотосъемкой в полетном ПО (Map Pilot Pro, DJI Pilot, DJI GO 4, DJI Fly). Фотограмметрическую обработку отснятых фотоматериалов проводили в ПО Agisoft Metashape. Полученные ортофотопланы анализировались в настольной геоинформационной системе NextGIS QGIS на предмет пригодности для подсчета производителей, оценивались качество визуализации и анализировались препятствия для оценки численности.

Для оценки пригодности ряда рек для беспилотного учета на створе использовали БПЛА тех же моделей, за исключением серии Matrice ввиду ее повышенной стоимости и неудобства для подобных работ. Съемки выполняли в 2020–2022 гг. в реках юга Сахалина (Очепуха), Амурского лимана (Мы, Хузи) и Сахалинского залива Хабаровского края (Коль, Лонгари) в период массового хода производителей горбуши и кеты (рис. 1). С целью тестирования эффективности разных подходов на реках Мы, Хузи и Коль помимо беспилотников использовали видеокамеры, закрепленные на кабеле над контрастным фоном.

В качестве контрастного фона использовали 1 ряд полипропиленовых мешков размером 55×105 см, наполовину заполненных галькой, выложенных перпендикулярно основному руслу, впритык к обоим берегам. По собственным наблюдениям, а также по опубликованным сведениям [Johnson et al., 2007] правильная выкладка мешков на нужной глубине совершенно не препятствует ходу производителей. На мелководных участках для гарантированной фиксации пересечения створа реки рыбами использовали светлые брезентовые баннеры или мелкочейную капроновую дель, закрепленные колышками из арматуры или грунтовыми анкерами.

Для установки контрастного фона отбирали поперечные участки русла глубиной не более 0,5–1,0 м (в зависимости от мутности) минимальной ширины, по возможности без древесной береговой растительности (для устранения теней на фоне и снижения его освещенности), турбулентности и создающих рябь регулярных сильных ветров. Чтобы избежать недоучета, отбирались участки в нижнем течении рек, без многорукавности, до отхождения основных притоков. По возможности для снижения расходов предпочтение отдавалось рекам с хорошей транспортной доступностью и присутствующей жилой инфраструктурой.

Оператор БПЛА проводил круглосуточную видеосъемку в разрешении 4K, в основном по 20 мин (ресурс 1 батареи) каждые 2 ч. В процессе съемки беспилотник направлялся оператором к центру контрастного фона и фиксировался на такой высоте, чтобы в кадр, помимо реки, попадало немного обоих берегов в подтверждение полного охвата водотока (обычно на 20–40 м в зависимости от ширины реки и от модели БПЛА). Корректировка положения БПЛА над створом в процессе съемки требовалась лишь изредка и не требовала от оператора значительных усилий. Даже при умеренном ветре дрон практически не менял положение и видео, передаваемое в реальном времени на пульт управления, было стабильно.

Избегали съемки с избыточной высоты, так как это приводит к уменьшению разрешения видео на местности и, соответственно, сложностям с подсчетом производителей. Для снижения бликования на видеоматериалах угол тангажа камеры выставляли с учетом положения солнца. Тангаж камеры обычно был в положении в надири, и лишь при солнце около зенита требовалось небольшое отклонение от перпендикуляра. Для предотвращения снижения разрешения видео на местности угол рыскания беспилотника выставляли так, чтобы широкая сторона кадра была параллельна створу.

В темное время суток для обеспечения нужной видимости производителей по возможности применяли непрерывно работающие береговые прожекторные подсветки на треноге, направленные на контрастный фон. Иногда оператор проводил съемку над фоном со значительного удаления (вплоть до 1,5 км). Это позволяло экономить рабочее время при размещении створа на удалении от места базирования операторов.

Для поштучного подсчета количества производителей, прошедших через учетный створ вверх по течению, отснятые видеофайлы просматривались в медиаплеере VLC media player на компьютере с монитором разрешением не менее Full HD и дискретной видеокартой. В случае миграции производителей вниз по течению их количество вычитали из учетного. При малой интенсивности хода применяли ускоренное воспроизведение видео, при большой — замедленное. Сведения вносились в табличный редактор MS Excel, в котором для получения тотальных оценок пересчитывали количество, учетное для отснятых отрезков времени, на весь период работ. Для суток, выпавших из наблюдений ввиду метеорологических или технических причин, значения пропуска получали посредством интерполяции.

Результаты и их обсуждение

Маршрутный беспилотный учет. Результаты маршрутного беспилотного учета указывают на значительные сложности в применении данного метода для получения точных оценок числа производителей в ряде обследованных рек. Это характерно для большей части обследованных рек юга Сахалина, а также Амурского лимана и Сахалинского залива Хабаровского края. Для обследованных притоков Амура установлены малые возможности маршрутного беспилотного учета для летней кеты и горбуши.

В данных водотоках проведение маршрутной беспилотной аэрофотосъемки на значительной части основного русла и главных притоков существенно осложнено сниженной прозрачностью воды, обилием участков с чрезмерными глубиной или турбулентностью, частым смыканием растительности. Известно, что при нерестовой миграции лосося часто предпочитают участки, закрытые нависающей растительностью, более глубокие, что делает реки с такими характеристиками особо проблемными для маршрутного беспилотного учета. Наглядные примеры сниженного качества материалов беспилотной фотосъемки на обследованных реках приведены ниже (рис. 2).

Однако стоит отметить, что обследованные реки Охотского района Хабаровского края согласно нашим наблюдениям в большинстве случаев хорошо подходят для маршрутного беспилотного учета благодаря отсутствию вышеописанных проблем. Хорошие возможности маршрутного беспилотного учета также установлены для осенней кеты в обследованных притоках Амура (рис. 3). Значимость и эффективность маршрутного беспилотного учета производителей тихоокеанских лососей на подходящих водотоках, а также особенности его технического обеспечения подробно описаны нами ранее [Свиридов и др., 2022]. Данная модификация беспилотной съемки позволяет оперативно получать качественные сведения о характеристиках нерестилищ и преднерестовых скоплений, необходимые для управления запасами лососей.

Хорошим способом предварительной оценки пригодности реки для маршрутного беспилотного учета может быть анализ космоснимков высокого разрешения, находящихся в свободном доступе в интернете. Было обнаружено, что космоснимки хорошо соотносятся с получаемыми для той же территории ортофотопланами, хотя различаются намного меньшим пространственным разрешением. Эти снимки позволяют оценить пригодность водотока для маршрутного беспилотного учета. По космоснимкам можно приблизительно оценить смыкание растительности над водотоком, соответствие требованиям к прозрачности и глубине и провести заблаговременную выбраковку рек, не подходящих для маршрутного беспилотного учета. Так, подходящие для маршрутного беспилотного учета водотоки характеризуются частым присутствием на космоснимках участков с просматриваемым дном, что свидетельствует о не слишком большой глубине и достаточной прозрачности. Если же на космоснимке водоток преимущественно темный, то это признак чрезмерной глубины и/или мутности, препятствующих отражению света от дна и, соответственно, подсчету производителей на фотоматериалах беспилотника (рис. 4).

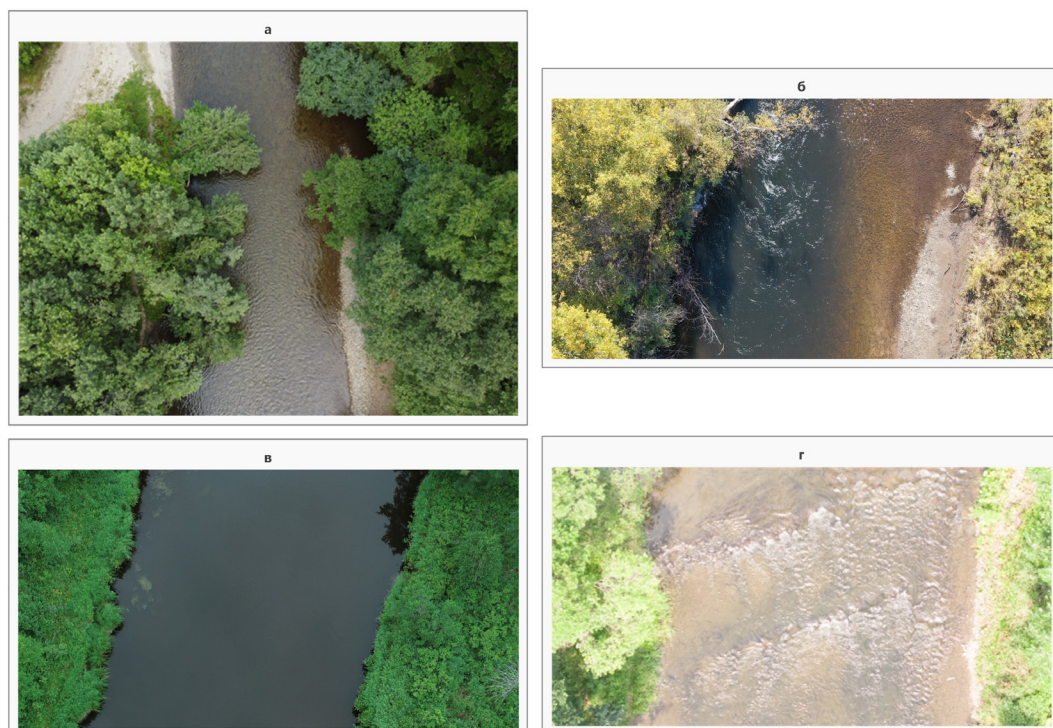


Рис. 2. Примеры ухудшения качества материалов беспилотной фотосъемки обследованных рек ввиду ряда негативных факторов: облесенность — р. Очепуха, Сахалин, 19.08.2022 г. (**а**); глубина — р. Мы, Хабаровский край, 25.09.2021 г. (**б**); мутность — р. Тывлинка, Хабаровский край, 06.08.2022 г. (**в**); турбулентность — р. Таранай, Сахалин, 18.08.2022 г. (**г**)

Fig. 2. Examples of low quality materials of route UAV surveys because of certain negative factors: **а** — dense vegetation (Ochepukha, Sakhalin, 19.08.2022); **б** — depth (My, Khabarovsk Region, 25.09.2021); **в** — low water transparency (Tivlinka, Khabarovsk Region, 06.08.2022); **г** — high turbulence (Taranay, Sakhalin, 18.08.2022)

Беспилотный учет на створе. Практика наших работ показала, что обустройство учетного створа для беспилотного учета, равно как и проведение видеосъемки, весьма просто и может проводиться как рядовыми работниками рыбохозяйственного НИИ, так и обученными сторонними исполнителями. Примеры створов для беспилотного учета наглядно показывают преимущество, которое дает контрастный фон для учета количества проходящих производителей (рис. 5). Очевидно, что точность учета производителей напрямую связана с качеством их визуализации на материалах беспилотной съемки. Сама же визуализация тем лучше, чем больше света отражается от дна или от самих рыб. Благодаря тому, что обычно от выложенного светлого фона отражается значительно больше света, чем от гораздо более темного дна, визуализация производителей на таком створе намного лучше, а подсчет легче и точнее, чем на фотоматериалах маршрутной беспилотной съемки. Производители над контрастным фоном видны намного лучше, чем над прилегающими участками дна, особенно в условиях плохого освещения и повышенной мутности. По этой причине за очень редкими исключениями беспилотный учет на створе неэффективен без контрастного фона, особенно при сниженном освещении и ночью.

Проведенные работы показали, что в обследованных реках производители тихоокеанских лососей уверенно опознаются над контрастным фоном, в том числе в ночной период при достаточной подсветке, и эффективно подсчитываются оператором на снятом видео. Качество видео позволяло уверенно разделять и учитывать отдельно горбушу и кету. В подавляющем большинстве случаев даже при интенсивном ходе



Рис. 3. Примеры условий съемки, благоприятных для проведения маршрутного беспилотного учета: кижуч в р. Охота, Охотский район, 30.09.2022 г. (а); кета в р. Дуки, притоке р. Амгунь, 19.10.2021 г. (б)

Fig. 3. Examples of conditions favorable for route UAV surveys: **a** — coho salmon counting in the Okhota, Okhotsk district on September 30, 2022; **б** — chum salmon counting in the Duky, tributary of the Amgun River, on October 19, 2021

производителей их подсчет не составлял труда благодаря возможности замедленного воспроизведения в медиаплеере. Так, на р. Очепуха интенсивность хода в светлое время суток 19.08.2022 г. была весьма высока — в среднем около 1650 экз./ч, но это не вызвало у оператора, просматривавшего видео на компьютере, проблем с подсчетом

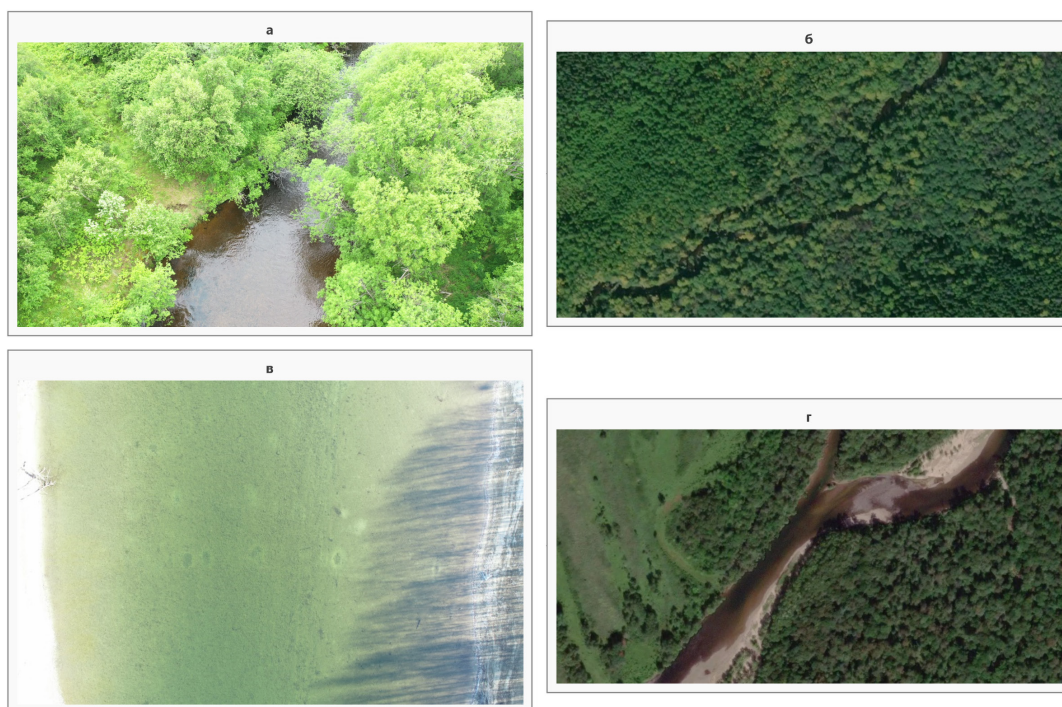


Рис. 4. Иллюстрация хорошей связи между материалами беспилотной и спутниковой съемки: р. Хузи с сильным смыканием растительности, сниженной прозрачностью и глубокими участками на фото с БПЛА, 06.07.2020 г. (а) и на космоснимке Mapbox (б); р. Урми с открытой водной поверхностью, высокой прозрачностью и умеренной глубиной на фото с БПЛА, 02.11.2021 г. (в) и на космоснимке Mapbox (г)

Fig. 4. Examples of good correspondence between images made from unmanned aerial vehicle and Mapbox satellite: а, б — the Khuzy River with dense vegetation, low water transparency and deep-water parts (06.07.2020); в, г — the Urmi River with open water surface, high water transparency and moderate depth (02.11.2021)

производителей. Для увеличения оперативности учета в случае невысокой интенсивности миграции оператор может подсчитывать производителей в процессе съемки, просматривая на планшете видео, передаваемое с беспилотника в режиме реального времени.

Приведем ряд рекомендаций по организации беспилотного учета на створе, которые, по полученному нами опыту, облегчают и повышают точность оценки численности производителей. При использовании БПЛА потребительского класса, обычно оборудованных камерами невысокого разрешения и светосилы, для оптимизации качества видео съемку необходимо вести в ручном, а не в автоматическом режиме. При хорошем естественном освещении рекомендуется использовать наименьшую светочувствительность (ISO 100) и максимально открытую диафрагму (f/2,8). Наименьшая светочувствительность минимизирует оптические шумы, а максимальное открытие диафрагмы увеличит количество света, попадающего на матрицу камеры, что улучшит качество видео. Предельное открытие диафрагмы снижает глубину резкости, но, как показывают наши наблюдения, на использованных моделях БПЛА это не ухудшает резкость видео с учетом использованной высоты съемки.

Выдержка подбирается с учетом освещенности водотока при текущих погодных условиях, выставляется в полетном ПО на основе изображения, передаваемого с БПЛА. В условиях сниженного освещения приходится значительно удлинять выдержку, чтобы добиться нужного высветления видео. Однако при сильном снижении освещенности этого недостаточно и приходится также повышать светочувствительность для вы-

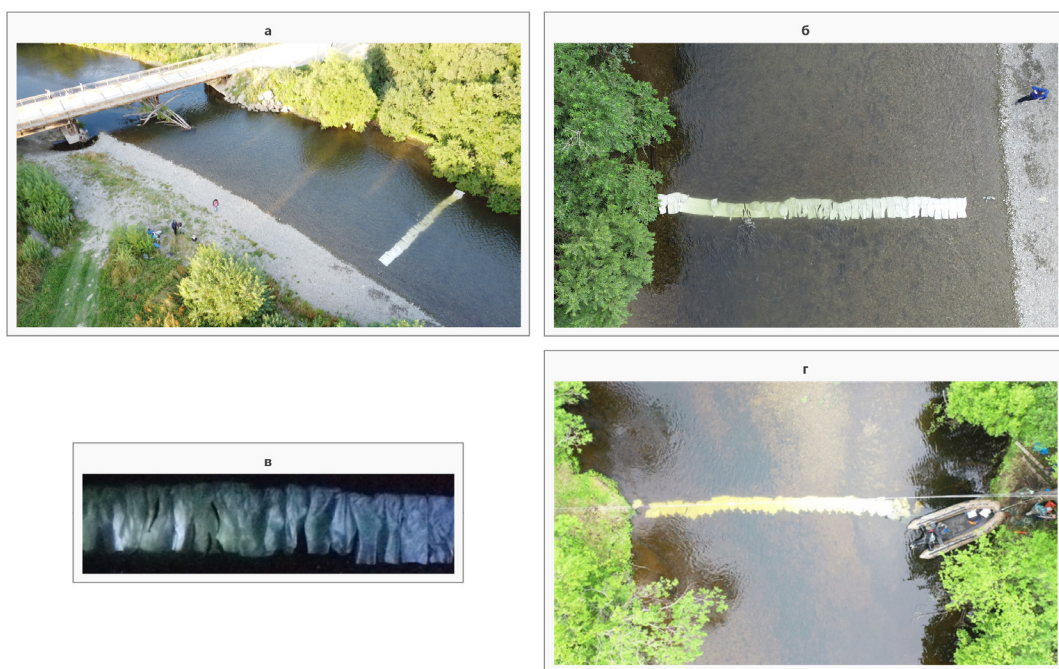


Рис. 5. Примеры контрастного фона для беспилотного учета на створе: р. Очепуха, 1,1 км от устья, ширина створа 15 м, 19.08.2022 г., высота зависания беспилотника 25 м (а); р. Очепуха, высота 12 м (б); р. Очепуха, вид фрагмента створа в ночное время при береговом освещении (в); р. Хузи, ширина 20 м, высота 16 м, 06.07.2020 г. (г)

Fig. 5. Examples of contrast background installations for localized counting by unmanned aerial vehicle (UAV) over observation transects: а — the Ochepukha, 1,1 km upstream from estuary, transect of 15 m width, UAV height 25 m, 19.08.2022; б — same place and date, UAV height 12 m; в — same place at night, with shore lighting; г — the Khuzy, transect of 20 m width, UAV height 16 m, 06.07.2020 over observation section

светления видео. Повышение светочувствительности не панацея, так как приводит к появлению на видео избыточных оптических шумов и деградации качества видео. Однако такой подход позволяет расширить период съемки, когда не требуется береговое освещение.

При съемке важно записывать субтитры, включающие ряд параметров (координаты, высота, светочувствительность, выдержка, диафрагма и т.д.), полезных при анализе возможных проблем с видеоматериалами. Для удобства желательно использовать противобликовые козырьки и планшеты с крупным ярким экраном, облегчающие оператору оценку качества снимаемого видео и при необходимости подсчет производителей.

Ежедневная съемка позволяет отслеживать временную динамику подходов с суточной дискретностью (рис. 6). Суммарная численность производителей горбуши и кеты, зашедших в р. Хузи (Амурский лиман), по данным учета подвесными видеокамерами над контрастным фоном в июле-августе 2020 г. составила 50,3 тыс. экз. Определенный недоучет в данном случае был связан с поздним началом работ. Благодаря возможности посуточных оценок величин пропуска беспилотный учет на створе особенно актуален в Сахалинской области для предотвращения переполнения нерестилищ и развития заморных явлений.

Беспилотный учет на створе при всех своих положительных сторонах, подобно другим подходам к оценке пропуска, не лишен ограничений и недостатков. Его невозможно реализовать в ряде случаев, например на реках со значительными глубинами: обычно при глубине более 1 м производители уже не видны над фоном. Этот способ

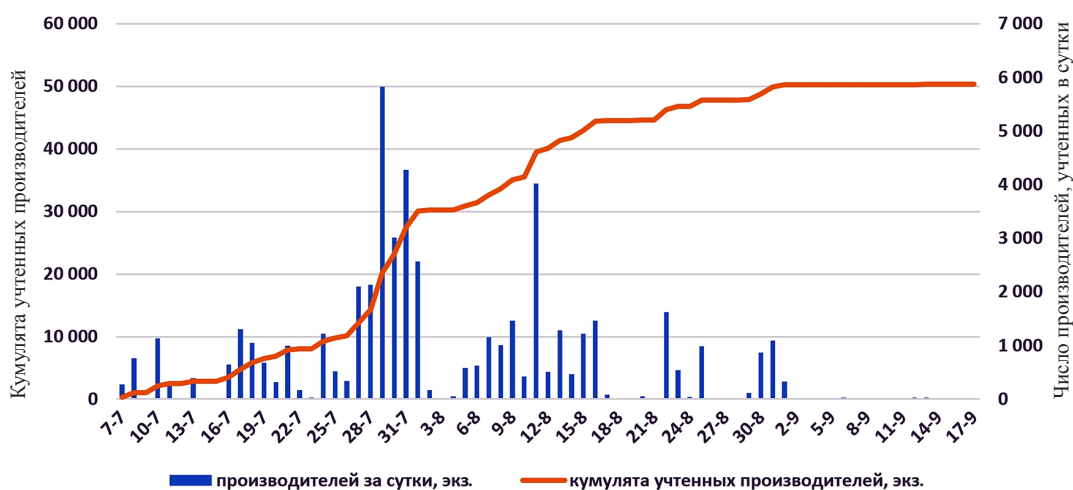


Рис. 6. Динамика нерестового хода производителей горбуши и кеты в р. Хузи по данным учета подвесными видеокамерами над контрастным фоном в июле-августе 2020 г.

Fig. 6. Dynamics of the pink and chum salmon runs in the Khuzy River on the data of localized survey by video camera suspended over the contrast background at observation transect in July-August, 2020. Abscissa — date, right ordinate — number of the counted salmon spawners per day (ind.), left ordinate — cumulative number of the counted spawners suspended

учета также неэффективен на реках с крупными притоками в нижнем течении и много-рукавностью, при плохой транспортной доступности и дороговизне обеспечения при-сутствия на месте работ.

Ранее в отношении практики учета с наблюдательских вышек в реках США и Канады отмечалась низкая эффективность таковой на реках с широким руслом и большой глубиной [Дубынин и др., 2021]. Заметим, что в случае использования дрона ширина реки не будет критичной. БПЛА может зависать в любой точке учетного створа, поэтому даже при неполном пространственном охвате всей ширины русла общую оценку можно получить путем пересчета. Реки о. Сахалин, а также Амурского лимана и Сахалинского залива Хабаровского края зачастую сравнительно неглубокие и неширокие, что делает их перспективными для беспилотного учета на створе.

Наши работы показали, что основной сложностью при беспилотном учете на створе является повышение уровня и мутности воды при обильных продолжительных осадках, приводящее к резкому падению различимости производителей на видео (рис. 7, а). В североамериканских публикациях также отмечается значимость этой проблемы [Johnson et al., 2007]. Однако данные авторы не считают это критичным и предлагают использовать интерполяцию по смежным дням для получения оценок для выпавших из наблюдений периодов. Решением, апробированным нами при учете на р. Коль, может быть оперативная установка второго и даже третьего слоя мешков поверх первого, что приведет к уменьшению расстояния до поверхности воды и нормальной различимости производителей. Разумеется, очень важно на протяжении всего периода работ контролировать наличие нужного пространства для беспрепятственного прохода рыбы и убирать мешки по окончании учета.

Большинство потребительских беспилотников не предназначено для съемки при дожде, поэтому для обеспечения непрерывности учета можно использовать водозащищенные модели беспилотников, например SwellPro SplashDrone 4. При отсутствии осадков подходят все упомянутые модели БПЛА от DJI, включая самые бюджетные из серии Mini, и даже более дешевые аналоги от компаний Hubsan и Xiaomi с матрицей от 12 Мп, способные снимать 4К-видео. Наш опыт показывает, что потребительские дроны компании DJI могут успешно проводить однократные сеансы съемки в

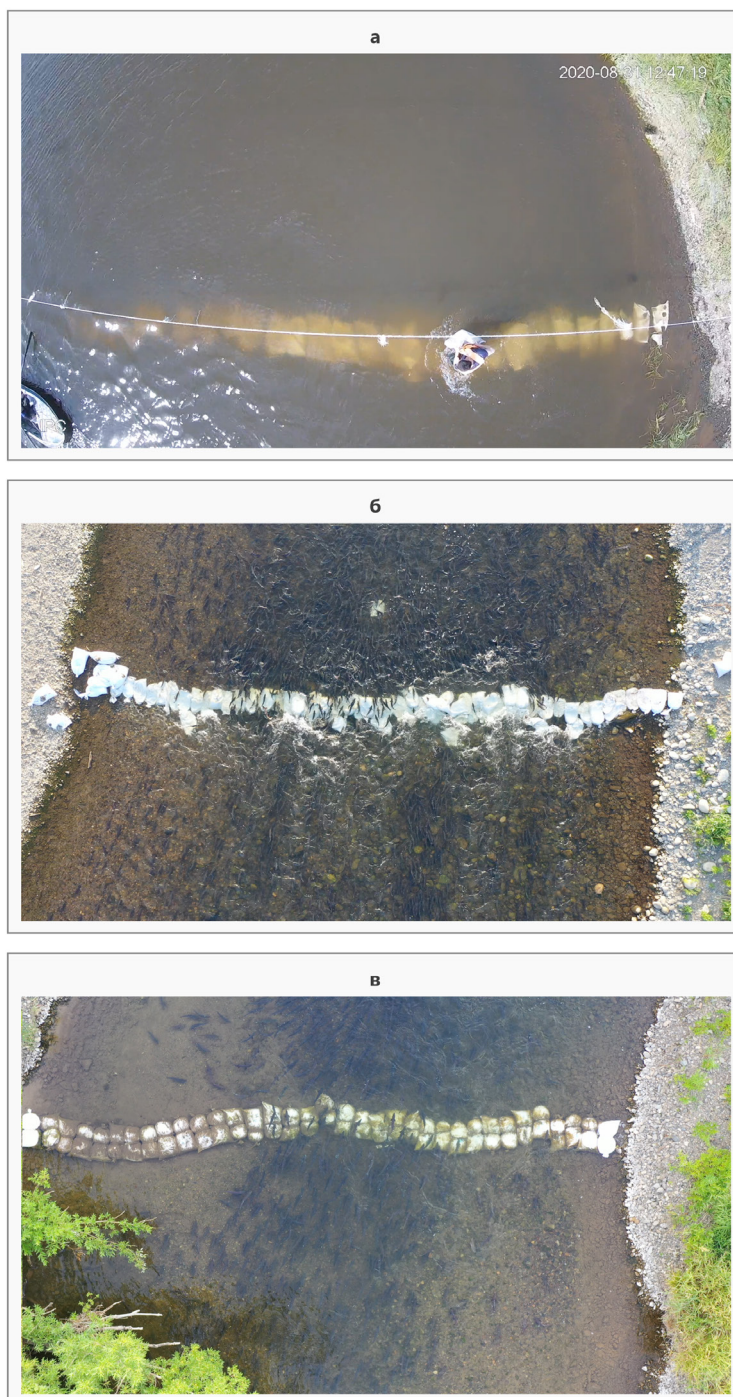


Рис. 7. Сложности, возникающие при беспилотном учете на створе: продолжительные интенсивные осадки на р. Коль, вызвавшие ухудшение видимости фона, 31.08.2020 г. (**а**); слабая выраженность и разнонаправленность перемещений производителей горбуши над фоном ввиду адаптации к пресной воде на р. Лонгари, 09.08.2021 г. (**б**); загрязнение фона на р. Лонгари на 15-е сут после выкладки мешков, 25.08.2021 г. (**в**)

Fig. 7. Examples of difficulties in counting over observation transect from unmanned aerial vehicles: **а** — long and intensive raining over the area of Kol River (August 31, 2020); **б** — inactive and chaotic movements of salmon spawners over observation transect during their adaptation to freshwater in the Longary River (August 9, 2021); **в** — pollution of the background at observation transect after 15 days of its installation in the Longary River (August 25, 2021) over observation section

условиях умеренного дождя при оперативной просушке сразу после подобных работ. Также существуют специальные водоотталкивающие чехлы для обеспечения работы при дожде. Однако подобная эксплуатация беспилотной техники сопряжена с повышенными рисками и сокращением срока ее службы.

Контрастный фон для учета на створе должен располагаться так, чтобы влияние приливно-отливных явлений отсутствовало. В противном случае прилив сделает лососей неразличимыми из-за увеличения глубины над фоном. Подобная проблема была отмечена при работах на р. Коль в 2020 г., когда из-за слабого перепада высот приливно-отливные явления отмечались на створе в 3 км от устья.

Установка контрастного фона вблизи устья плоха еще и тем, что на таких участках лососи приспосабливаются к пресной воде, передвигаясь хаотично. При этом производители могут подолгу находиться над фоном и даже скатываться обратно после прохода через створ, что затрудняет учет. Подобная проблема была отмечена при расположении учетного створа на р. Лонгари в 2020 г. (рис. 7, б). Определенные сложности создает загрязнение светлого фона осадками и обрастаниями, но оно легко устраняется регулярной чисткой (рис. 7, в).

Сравнение способов учета и перспективы их развития. Беспилотный учет на створе, несмотря на вышеописанные сложности, имеет ряд преимуществ не только перед маршрутными беспилотными оценками на некоторых реках, но и перед наблюдением с вышек или видеорегистрацией на подвесные камеры. Его выгодно отличают сниженные трудозатраты по сравнению со стационарной видеорегистрацией, наблюдательскими вышками и особенно РУЗ.

Полученный опыт показал, что благодаря простоте съемки потребителями беспилотниками требования к технической грамотности стороннего исполнителя минимальны и обучение занимает не более нескольких часов. Маршрутный беспилотный учет выдвигает повышенные требования к навыкам оператора БПЛА, а также к техническим характеристикам беспилотника.

В отличие от наблюдателя на вышке или РУЗ, беспилотник создает электронную копию данных, что обеспечивает доказательность и проверяемость оценок численности. Полученный нами опыт показал, что стационарная видеорегистрация по сравнению с беспилотным учетом на створе выдвигает повышенные требования к квалификации исполнителей и более затратна. Ситуативная корректировка ракурса съемки беспилотником и эффективная стабилизация его камеры позволяют получать намного более качественные видео, нежели от видеокамер, зафиксированных над створом. Появление в последние годы все более высокотехнологичных и доступных моделей БПЛА открывает новые перспективы для упрощения и удешевления беспилотной видеосъемки над контрастным фоном.

Использование беспилотного учета на створе сопряжено с минимальными рисками для сохранности дрона, так как, в отличие от маршрутного учета, БПЛА все время находится в непосредственной близости от оператора, быстро реагирующего на возможные угрозы для беспилотника (птицы, ухудшение метеобстановки и т.п.). Беспилотный учет на створе легче маршрутного еще и с точки зрения согласования полетов. Российское законодательство не требует согласования полетов БПЛА при условии проведения в пределах прямой видимости, на высоте до 150 м, вне бесполетных зон [Постановление правительства..., 2019, 2022]*, что и характерно для беспилотной съемки на створе, за исключением ночного периода работ.

* Постановление Правительства Российской Федерации от 25.05.2019 г. № 658 «Об утверждении Правил учета беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлетной массой от 0,25 килограмма до 30 килограммов, ввезенных в Российскую Федерацию или произведенных в Российской Федерации». 8 с.; Постановление Правительства Российской Федерации от 19.03.2022 г. № 415 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 25 мая 2019 г. № 658». 1 с.

Предлагаемая схема беспилотного учета на створе не является законченной. Она будет уточняться при дальнейшей реализации на практике и анализе собираемых данных. Например, при высокой внутрисуточной изменчивости интенсивности хода может потребоваться корректировка интервальности видеосъемки: 10 или 20 мин каждый час вместо использованных нами двадцати минут каждые 2 ч. Североамериканские исследователи при учете с наблюдательских вышек рекомендуют именно такую, более частую периодичность [Johnson et al., 2007].

Однако, если анализ временной динамики хода на определенной реке будет свидетельствовать об его относительной временной стабильности, то в целях экономии возможен отказ от ежедневной съемки с последующим восстановлением посредством интерполяции выпавших дней. Технический работник может приезжать с запланированной периодичностью на место выкладки контрастного фона, чтобы отработать сутки, а затем переместиться на учетный створ следующей реки. Если соотношение между дневными и ночными оценками относительно стабильно по наблюдениям на определенной реке, то дальнейшие работы можно проводить экономичнее, ограничиваясь светлым временем, рассчитывая ночные оценки по дневным.

В ходе дальнейшего совершенствования беспилотного учета на створе перспективна адаптация методов искусственного интеллекта (ИИ) для автоматизации подсчета на видео производителей, проходящих через учетный створ. Повышенное, в сравнении с подвесными видеокамерами, качество материалов съемки беспилотником позволяет говорить об их большей пригодности для обработки в программах ИИ с целью автоматического подсчета прошедших через белый фон производителей. Применение ИИ актуально для всех модификаций беспилотного учета, так как при съемке дронами собираются очень большие объемы видео и фотоматериалов, ручная обработка которых весьма трудозатратна.

Заключение

Предложенный в настоящей работе подход к организации беспилотной видеосъемки над контрастным фоном в ряде обследованных рек Сахалина и Хабаровского края позволяет получать локальные оценки пропуска производителей тихоокеанских лососей. Юг о. Сахалин, характеризующийся компактностью, хорошей транспортной доступностью низовий нерестовых рек, присутствием на них многих десятков ЛРЗ и охранных постов, а также рыбодобывающих предприятий в устьевой части, имеет все предпосылки для широкого внедрения такого способа учета. Конечно, данное сочетание пространственной компактности, транспортной доступности и жилой инфраструктуры является редким явлением для лососевых рек Дальнего Востока, что весьма ограничивает применимость беспилотного учета на створе в российских реалиях.

Вышесказанное не является основанием для полного отказа от маршрутной беспилотной съемки в обследованных реках. В ряде случаев она безальтернативна, например, когда из-за низкой транспортной доступности и отсутствия инфраструктуры организация учета на створе слишком затратна на определенной реке. К тому же маршрутный беспилотный учет дополняет сведения учета на створе, позволяя оценить численность после воздействия браконьерского промысла, зачастую значительного на поздних этапах миграции. Маршрутный беспилотный учет, в отличие от учета на створе, позволяет проводить инвентаризацию нерестилищ лососей, важную для рациональной эксплуатации запасов этих видов, оценивать эффективность их нереста. Беспилотный учет на створе нацелен на оценку пропуска для оперативного регулирования промысла, что является более узкой задачей.

Беспилотный учет на створе может использоваться для получения высокоточных оценок пропуска и сопоставления их с результатами маршрутного беспилотного обследования этого же водотока. Сравнительный анализ оценок численности этими двумя способами позволит оценить степень недоучета при маршрутном варианте

обследования и предложить корректировочные коэффициенты на случай, если учет по определенной реке будет проводиться лишь таким образом. Выбор того или иного варианта реализации беспилотного учета производителей должен основываться на комплексном анализе особенностей обследуемых водотоков, а также специфики и стоимости организации работ на них.

В перспективе представляется возможным использование беспилотного учета на створе по другим видам рыб, совершающих нерестовые миграции в сравнительно прозрачных и неглубоких реках. Показанная в настоящей работе возможность модификации беспилотных технологий под специфические условия учета ВБР иллюстрирует функциональную пластичность БПЛА, свидетельствует о потенциале гибкой настройки данного класса техники для решения разнообразнейших задач рыбохозяйственной науки.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы глубоко благодарны руководителю Хабаровского филиала ВНИРО (ХабаровскНИРО), к.б.н. Д.В. Коцюку и руководителю Сахалинского филиала ВНИРО (СахНИРО), д.б.н. Н.В. Колпакову за ценные советы и замечания при выполнении работ и написании статьи, а также выражают благодарность сотрудникам Сахалинского и Хабаровского филиалов ВНИРО за участие в сборе материалов.

Authors are deeply grateful to Ph.D. D.V. Kotsyuk, director of Khabarovsk branch of VNIRO (KhabarovskNIRO) and D.Sc. N.V. Kolpakov, director of Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO) for their valuable recommendations and comments during researches and the manuscript preparation. The authors are thankful to employees of KhabarovskNIRO and SakhNIRO for collecting materials for this study.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования.

The study has budget funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все приемлемые национальные, институциональные и международные этические принципы соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable national, institutional and international ethical guidelines are implemented. The authors declare that they have no conflict of interests.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования — В.В. Свиридов, Е.В. Подорожнюк, В.Д. Никитин; сбор и обработка материала — В.В. Свиридов, Е.В. Подорожнюк, А.В. Скорик; написание текста — В.В. Свиридов.

Concept of the study — V.V. Sviridov, E.V. Podorozhnyuk, V.D. Nikitin; collection and processing the material — V.V. Sviridov, E.V. Podorozhnyuk, A.V. Skorik; writing the text — V.V. Sviridov.

Список литературы

Глубоковский М.К., Марченко С.Л., Темных О.С., Шевляков Е.А. Методические рекомендации по исследованию тихоокеанских лососей. — М. : ВНИРО, 2017. — 79 с.

Дубынин В.А., Лепская Е.В., Кириллова Е.А. Методика визуального учета производителей нерки, заходящих на нерест в озеро Курильское (Камчатка) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2021. — Вып. 63. — С. 73–81. DOI: 10.15853/2072-8212.2021.63.73-81.

Дуленин А.А., Дуленина П.А., Коцюк Д.В., Свиридов В.В. Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях // Тр. ВНИРО. — 2021. — Т. 185. — С. 134–151.

Запорожец О.М., Запорожец Г.В. Использование фото- и видеофиксации для оценки количества производителей тихоокеанских лососей на нерестилищах и путях их миграций: некоторые методические подходы // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2017. — Вып. 47. — С. 77–90.

Свиридов В.В., Золотухин С.Ф. Методы ГИС для инвентаризации нерестилищ тихоокеанских лососей р. Амур // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 3. — С. 730–746. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-730-746.

Свиридов В.В., Коцюк Д.В., Подорожнюк Е.В. Беспилотный фотограмметрический учет тихоокеанских лососей посредством БПЛА потребительского класса // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 2. — С. 429–449. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-429-449.

Состояние запасов, биология и распределение тихоокеанских лососей в реках материкового побережья Охотского моря в пределах Тугуро-Чумиканского района и Сахалинского залива : отчет о НИР (промежуточ.) / А.Н. Канзепарова, В.А. Балushкин, С.Ф. Золотухин и др. / ХфТИНРО. № ГР 01201457203. Инв. № 1811. — Хабаровск, 2014. — 52 с.

Фадеев Е.С., Шевляков Е.А., Фельдман М.Г. Комплексный мониторинг пропуска производителей тихоокеанских лососей р. Камчатка в режиме реального времени // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 197. — С. 3–20. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-197-3-20.

Шевляков Е.А., Шубкин С.В., Дубынин В.А. и др. Методики учета производителей тихоокеанских лососей на нерестилищах и путях миграции к ним // Бюл. № 8 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2013. — С. 36–57.

Harris J.M., Nelson J.A., Rieucan G., Broussard W.P. Use of unmanned aircraft systems in fishery science // Trans. Am. Fish. Soc. — 2019. — Vol. 148, Iss. 4. — P. 687–697. DOI: 10.1002/tafs.10168.

Hatch D.R., Schwartzberg M., Mundy P.R. Estimation of Pacific salmon escapement with a time-lapse video recording technique // North Am. J. Fish. Manag. — 1994. — Vol. 14, Iss. 3. — P. 626–635. DOI: 10.1577/1548-8675(1994)014<0626:EOPSEW>2.3.CO;2.

Johnson D.H., Shrier B.M., O'Neal J.S. et al. Salmonid Field Protocols Handbook. Techniques for Assessing Status and Trends in Salmon and Trout Populations. — Bethesda : American Fisheries Society, 2007. — 478 p.

Joyce K.E., Duce S., Leahy S.M. et al. Principles and practice of acquiring drone-based image data in marine environments // Mar. Freshw. Res. — 2018. — Vol. 70, № 7. — P. 952–963. DOI: 10.1071/MF17380.

Volk E.C., Munro A.R. Pacific salmon escapement estimation methods and data for Alaska: NPAFC. — 2015. — Doc. 1588. — 22 p.

References

Glubokovsky, M.K., Marchenko, S.L., Temnykh, O.S., and Shevlyakov, E.A., *Metodicheskiye rekomendatsii po issledovaniyu tikhookeanskikh lososey* (Guidelines for the study of Pacific salmon), Moscow: VNIRO, 2017.

Dubynin, V.A., Lepskaya, E.V., and Kirillova, E.A., Method of quantitative visual assessment of abundance of sockeye salmon spawners running to Kurile Lake (Kamchatka) for reproduction, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, , *Issledovaniye vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana*, 2021, vol. 63, pp. 73–81. doi: 10.15853/2072-8212.2021.63.73-81

Dulenin, A.A., Dulenina, P.A., Kotsyuk, D.V., and Sviridov, V.V., Experience and perspectives of small unmanned aerial vehicles application for marine coastal biological studies, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol.185, pp. 134–151. doi 10.36038/2307-3497-2021-185-134-151

Zaporozhets, O.M. and Zaporozhets, G.V., Using the photo- and video records for assessment of pacific salmon escapement on migration routes and spawning grounds: some of methodical approaches, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2017, no. 47, pp. 77–90.

Sviridov, V.V. and Zolotukhin, S.F., GIS methods for inventory of pacific salmon spawning grounds in the Amur River, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 3, pp. 730–746. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-730-746

Sviridov, V.V., Kotsyuk, D.V., and Podorozhnyuk, E.V., Photogrammetric counts of pacific salmon by means of unmanned aerial vehicles of consumer grade, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 2, pp. 429–449. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-429-449

Kanzeparova, A.N., Balushkin, V.A., Zolotukhin, S.F., Zakharov, Yu.S., and Kiyashko, K.A., *Sostoyaniye zapasov, biologiya i pribytiye tikhookeanskikh lososey v reku materikovogo*

poberezh'ya Okhotskogo morya v predelakh Tuguro-Chumikanskogo rayona i Sakhalinskogo zaliva: promezhutochnyi otchet (Res. Rep. Status of stocks, biology and arrival of Pacific salmon in the river of the mainland coast of the Sea of Okhotsk within the Tuguro-Chumikansky region and Sakhalin Bay), Available from KhfTINRO, 2014, Khabarovsk, no. GR 01201457203. no. 1811.

Fadeev, E.S., Shevlyakov, E.A., and Feldman, M.G., Complex monitoring of salmon spawners escapement to the Kamchatka River in real time regime, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 197, no. 2, pp. 3–20. doi 10.26428/1606-9919-2019-197-3-20

Shevlyakov, E.A., Shubkin, S.V., Dubynin, V.A., Malykh, K.M., Golub, E.V., Golub, A.P., Kaev, A.M., and Koval, M.V., Methods for accounting for spawners of Pacific salmon in spawning grounds and migration routes to them, in *Byull. no. 8 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 8 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsent, 2013, pp. 36–57.

Harris, J.M., Nelson, J.A., Rieucan, G., and Broussard, W.P., Use of unmanned aircraft systems in fishery science, *Trans. Am. Fish. Soc.*, 2019, vol. 148, no. 4, pp. 687–697. doi 10.1002/tafs.10168

Hatch, D.R., Schwartzberg, M., and Mundy, P.R., Estimation of Pacific salmon escapement with a time-lapse video recording technique, *North Am. J. Fish. Manag.*, 1994, vol. 14, no. 3, pp. 626–635. doi 10.1577/1548-8675(1994)014<0626:EOPSEW>2.3.CO;2

Johnson, D.H., Shrier, B.M., O'Neal, J.S., Knutzen, J.A., Augerot, X., O'Neal, T.A., and Pearsons, T.N., *Salmonid Field Protocols Handbook. Techniques for Assessing Status and Trends in Salmon and Trout Populations*, Bethesda: American Fisheries Society, 2007.

Joyce, K.E., Duce, S., Leahy, S.M., Leon, J., and Maier, S.W., Principles and practice of acquiring drone-based image data in marine environments, *Mar. Freshw. Res.*, 2018., vol. 70, no. 7, pp. 952–963. doi 10.1071/MF17380

Volk, E.C. and Munro, A.R., Pacific salmon escapement estimation methods and data for Alaska, *NPAFC*, 2015, doc. 1588.

Postanovleniye pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 25.05.2019 g. № 658 «Ob utver-zhdenii Pravil uchota bespilotnykh vozdukhnykh sudov s povyshennoy vzletnoy massoy ot 0,25 kilogramma do 30 kilogrammov, vvezennykh v Rossiyskuyu Federatsiyu ili proizvedennykh v Rossiyskoy Federatsii». 8 p.

Postanovleniye pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 19.03.2022 g. № 415 «O vnesenii izmeneniy v organy vlasti Rossiyskoy Federatsii ot 25 maya 2019 g. № 658». 1 p.

Поступила в редакцию 31.10.2022 г.

После доработки 7.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 31.10.2022; approved after reviewing 7.11.2022; accepted for publication 21.11.2022

Редакционная коллегия и редакция журнала «Известия ТИНРО» выражают признательность и благодарность рецензентам, которые в 2022 г. помогли отобрать лучшие рукописи для публикации. Мы ценим эту поддержку и надеемся на дальнейшее сотрудничество.

С нами работали:

Аминина Наталья Михайловна, канд. техн. наук, ТИНРО
Андреев Андрей Григорьевич, д-р геогр. наук, ТОИ ДВО РАН
Антонов Николай Парамонович, д-р биол. наук, ВНИРО
Архипова Елена Анатольевна, канд. биол. наук, КамчатНИРО
Асеева Надежда Леонидовна, канд. биол. наук, ТИНРО
Бадаев Олег Зинурович, канд. биол. наук, ТИНРО
Барабанщиков Евгений Иванович, канд. биол. наук, ТИНРО
Баштовой Александр Николаевич, канд. техн. наук, ТИНРО
Бугаев Александр Викторович, д-р биол. наук, КамчатНИРО
Буяновский Алексей Ильич, д-р биол. наук, ВНИРО
Валова Вера Николаевна, канд. биол. наук, ТИНРО
Варкентин Александр Иванович, канд. биол. наук, КамчатНИРО
Васильев Дмитрий Александрович, д-р техн. наук, ВНИРО
Волвенко Игорь Валентинович, д-р биол. наук, ТИНРО
Волков Анатолий Федорович, д-р биол. наук, ТИНРО
Глебова Светлана Юрьевна, канд. геогр. наук, ТИНРО
Голованов Игорь Станиславович, МагаданНИРО
Голубь Елена Владиславовна, канд. биол. наук, ТИНРО
Датский Андрей Валерьевич, канд. биол. наук, ВНИРО
Долганов Владимир Николаевич, д-р биол. наук, Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН
Дмитриев Василий Васильевич,
Дударев Виталий Андреевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Дулупова Елена Петровна, д-р биол. наук, ТИНРО
Дьяков Юрий Петрович, д-р биол. наук, КамчатНИРО
Евсеева Наталья Викторовна, канд. биол. наук, ВНИРО
Жарников Вячеслав Сергеевич, канд. биол. наук, Ин-т биол. проблем Севера ДВО РАН
Запорожец Олег Михайлович, д-р биол. наук, КамчатНИРО
Зверева Любовь Васильевна, канд. биол. наук, Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН
Зеленников Олег Владимирович, д-р биол. наук, Санкт-Петербургский ун-т
Золотов Александр Олегович, канд. биол. наук, ТИНРО
Золотухин Сергей Федорович, канд. биол. наук, ХабаровскНИРО
Зуенко Юрий Иванович, д-р геогр. наук, ТИНРО
Иванов Олег Альбертович, д-р биол. наук, ТИНРО
Измятинский Денис Владимирович, канд. биол. наук, ТИНРО
Ильин Олег Игоревич, канд. ф.-м. наук, КамчатНИРО
Каев Александр Михайлович, д-р биол. наук, СахНИРО
Кавун Виктор Яковлевич, канд. биол. наук, ИБМ ДВО РАН
Кальченко Елена Ивановна, канд. биол. наук, КамчатНИРО
Канзепарова Альбина Назиповна, канд. биол. наук, ВНИРО
Каплуненко Дмитрий Дмитриевич, канд. геогр. наук, ТОИ ДВО РАН
Карпенко Владимир Илларионович, д-р биол. наук, Камчатский ГТУ
Касьянов Сергей Павлович, канд. биол. наук, Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН
Кириллова Елизавета Алексеевна, канд. биол. наук, КамчатНИРО
Ковалев Николай Николаевич, д-р биол. наук, Дальрыбвтуз
Колпаков Николай Викторович, д-р биол. наук, СахНИРО

Коцюк Денис Владимирович, канд. биол. наук, ХабаровскНИРО
Кузнецов Юрий Николаевич, канд. техн. наук, ТИНРО
Кулепанов Владимир Николаевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Кулик Владимир Владимирович, канд. биол. наук, ТИНРО
Курганский Геннадий Николаевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Кучко Тамара Юрьевна, канд. биол. наук, Петрозаводской государственный университет
Лучин Владимир Александрович, д-р геогр. наук, ТОИ ДВО РАН
Мазникова Ольга Александровна, канд. биол. наук, ВНИРО
Максимова Светлана Николаевна, д-р техн. наук, Дальрыбвтуз
Марченко Сергей Леонидович, канд. биол. наук, ВНИРО
Мельников Игорь Владимирович, канд. биол. наук, ТИНРО
Поздняков Сергей Ефимович, д-р биол. наук, ТИНРО
Полещук Денис Владимирович, канд. техн. наук, Дальрыбвтуз
Пугачев Олег Николаевич, д-р биол. наук, ЗИН РАН
Радченко Владимир Иванович, канд. биол. наук, НРАФС
Русяев Сергей Михайлович, канд. биол. наук, МагаданНИРО
Савельев Павел Александрович, канд. биол. наук, Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН
Савенко Алла Витальевна, канд. геогр. наук, МГУ
Савин Андрей Борисович, канд. биол. наук, ТИНРО
Светашев Василий Иванович, д-р биол. наук, Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН
Селин Николай Иванович, канд. биол. наук, Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН
Симоконь Михаил Васильевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Слуцкая Татьяна Ноевна, д-р техн. наук, ТИНРО
Соколенко Дмитрий Анатольевич, ТИНРО
Соломатов Сергей Федорович, канд. биол. наук, ТИНРО
Степаненко Михаил Антонович, канд. биол. наук, ТИНРО
Сухин Игорь Юрьевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Токранов Алексей Михайлович, д-р биол. наук, Камчатский филиал ТИГ ДВО РАН
Чебанова Виктория Васильевна, канд. биол. наук, ВНИРО
Черниенко Игорь Сергеевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Чингизова Екатерина Александровна, канд. биол. наук, ТИБОХ
Шевляков Евгений Александрович, канд. биол. наук, ТИНРО
Шунтов Вячеслав Петрович, д-р биол. наук, ТИНРО
Ясакова Ольга Николаевна, канд. биол. наук, ЮНЦ РАН
Freshwater Cameron, д-р биол. наук, Fisheries and Oceans Canada