



ISSN 1606-9919

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ ТИНРО

2023. Том 203, вып. 1

Год основания 1928



Известиям ТИНРО 95 лет
IZVESTIYA TINRO

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

Импакт-фактор РИНЦ: 0,714

Периодичность: 4 раза в год

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ 3

Марченко С.Л. Горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmoni-
formes, Salmonidae) материкового побережья Охотского мо-
ря. Сообщение 2. Молодь 3

Бугаев А.В., Герлиц А.И. Характеристика нагульных миг-
раций заводской молоди тихоокеанских лососей в бассейне
Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана в осен-
не-зимний период (региональная идентификация, числен-
ность и распределение уловов, биологические показатели,
оценки смертности) 16

Макоедов А.Н., Макоедов А.А. Тихоокеанские лососи рос-
сийского происхождения: на какие уловы рассчитывать? 46

Ельников А.Н., Зелеников О.В. О состоянии промыслово-
го стада кеты *Oncorhynchus keta* и прогнозировании его чис-
ленности у острова Итуруп 58

Слизкин А.Г., Борилко О.Ю., Демин А.Н., Корнейчук
И.А. Краб-стригун Таннера *Chionoecetes tanneri* в северо-
западной части Берингова моря: критерии выбора оптималь-
ной промысловой меры 75

Кузин А.Е. Смертность щенков северного морского котика
(*Callorhinus ursinus*) на острове Тюленьем (Охотское море) 86

Буслов А.В. Закономерности роста дальневосточной наваги
Eleginus gracilis Tilesius (Gadidae) на первом году жизни 93

Великанов А.Я., Мухаметов И.Н., Шевченко Г.В., Цхай
Ж.Р., Частиков В.Н. Сезонная и межгодовая вариabельность
видового состава рыб из уловов донных сетей в российских
водах Кунаширского пролива 109

Соколенко Д.А., Седова Л.Г. Состав поселений и ресурсы
гребешка Свифта (*Chlamys swiftii*, Bivalvia) в прибрежье
Приморского края (Японское море) 127

Ким А.Ч., Ложкин Д.М. Некоторые биологические характерис-
тики тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793)
в лагуне Буссе (остров Сахалин) по данным 2010–2020 гг. 143

Ельников А.Н., Зелеников О.В. О кижуче *Oncorhynchus
kisutch* острова Итуруп 154

УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ ... 163

Петров Е.А., Купчинский А.Б. Влияние раннего разруше-
ния ледяного покрова и высокого уровня воды на функцио-
нирование берегового лежбища байкальской нерпы (*Pusa si-
birica* Gm.) на о. Долгом (оз. Байкал) по материалам 2020 г. ... 163

Кузнецова Н.А., Шебанова М.А. Питание минтая и его кор-
мовая база в Чукотском море в летне-осенний период 179

Коломейцев В.В., Горин С.Л. База данных по океанографии
восточной части Охотского моря 200

Маркина Ж.В., Огнистая А.В. Влияние цинка и железа на ди-
намику численности, морфологию и флуоресцентные характерис-
тики микроводоросли *Prorocentrum foraminosum* (Dinophyta) 214

ПРОМЫСЛОВОЕ 223

Симкин Л.М. Методика определения характера изменения
параметров канатно-сетной оболочки разноглубинного тра-
ла по его длине 223

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ 234

Дуленин А.А., Дуленина П.А., Свиридов В.В. Сравнение
двух разных методов расчета популяционной плодовитости
охотской сельди по результатам стандартной икорной съемки ... 234

BIOLOGICAL RESOURCES 3

Marchenko S.L. Pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Sal-
moniformes, Salmonidae) on the continental coast of the Okho-
tsk Sea. Communication 1. The juveniles 3

Bugaev A.V., Gerlits A.I. Characteristics of feeding migrations
of hatchery juveniles of pacific salmon in the basin of Okhotsk
Sea and adjacent Pacific waters in the autumn-winter period (re-
gional identification, abundance and distribution of catches, bio-
logical indices, estimates of mortality) 16

Makoevov A.N., Makoevov A.A. Pacific salmon of Russian
origin: what catches can we count on? 46

Elnikov A.N., Zelennikov O.V. On state of commercial herd
of chum salmon *Oncorhynchus keta* and forecasting its abun-
dance at Iturup Island 58

Slizkin A.G., Borilko O.Yu., Deminov A.N., Korneychuk
I.A. Grooved tanner crab *Chionoecetes tanneri* in the north-
western Bering Sea: criteria for choosing the optimal fishing
measure 75

Kuzin A.E. Mortality of puppies of northern fur seal (*Callorhi-
nus ursinus*) on Tyuleny Island (Okhotsk Sea) 86

Buslov A.V. Growth patterns of saffron cod *Eleginus gracilis*
Tilesius (Gadidae) in the first year of life 93

Velikanov A.Ya., Mukhametov I.N., Shevchenko G.V., Tshay
Z.R., Chastikov V.N. Seasonal and interannual variability of fish
species composition in catches of bottom nets in the Russian wa-
ters of the Kunashir Strait 109

Sokolenko D.A., Sedova L.G. Structure of settlements and re-
sources of swifts scallop (*Chlamys swiftii*, Bivalvia) at the coast
of Primorsky Region (Japan Sea) 127

Kim A.Ch., Lozhkin D.M. Some biological parameters of paci-
fic oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in the Busse La-
goon (Sakhalin Island) in 2010–2020 143

Elnikov A.N., Zelennikov O.V. On coho salmon *Oncorhynchus
kisutch* from Iturup Island 154

ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES 163

Petrov E.A., Kupchinsky A.B. Influence of early melting of the ice
cover and high water level on functioning of the coastal rookery
for baikal seal (*Pusa sibirica* Gm.) on Dolgiy Island (Lake Bai-
kal), on materials of 2020 163

Kuznetsova N.A., Shebanova M.A. Feeding of walleye pollock
and its feeding base in the Chukchi Sea in summer-autumn period ... 179

Kolomeytsev V.V., Gorin S.L. The database on oceanography
of the eastern Okhotsk Sea 200

Markina Zh.V., Ognistaya A.V. Influence of zinc and iron on po-
pulation dynamics, morphology and fluorescent properties of *Pro-
rocentrum foraminosum* (Dinophyta) 214

INDUSTRIAL FISHERY 223

Simkin L.M. A method to determine patterns for changing
parameters of the rope-net shell of midwater trawl along its
length 223

METHODS OF INVESTIGATIONS 234

Dulenin A.A., Dulenina P.A., Sviridov V.V. Comparison on two
different methods for assessment of population fertility of the Ok-
hotsk herring on the data of standard roe survey 234

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. Байталоу, 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; Дэлин 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 03.03.2023 г. Формат 70х108/16.

Печ. л. 15,5. Уч.-изд. л. 14,4. Тираж 60 экз.

Заказ № 2. Цена 660 р.

Выход тома в свет 24.03.2023 г.

Отпечатано в издательстве ТИНРО

690091, Владивосток, ул. Западная, 10

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
BIOLOGICAL RESOURCES**

Научная статья

УДК 597.552.511–135(265.53)**DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-3-15****EDN: OGPCGB****ГОРБУША *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA*
(SALMONIFORMES, SALMONIDAE)
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 материалы по молоди горбуши материкового побережья Охотского моря за 1960–2010-е гг. Представлены сведения о сроках и динамике ее покатной миграции, по качественным показателям и питанию. Приведена краткая информация о раннем морском периоде жизни. Показано, что покатная миграция молоди горбуши приобретает массовый характер с прогревом речных вод до 2,5–4,0 °С. Из рек региона в морское побережье молодь скатывается круглосуточно. На протяжении покатной миграции линейно-весовые показатели, как правило, не претерпевают существенных изменений, но возрастает доля покатников, перешедших на внешнее питание. В многолетнем аспекте относительная численность молоди, перешедшей на внешнее питание в реках, выше в годы со слабо выраженным весенним половодьем.

Ключевые слова: горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*, покатная миграция, биологическая характеристика

Для цитирования: Марченко С.Л. Горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmoniformes, Salmonidae) материкового побережья Охотского моря. Сообщение 2. Молодь // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 3–15. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-3-15. EDN: OGPCGB.

Original article

**Pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmoniformes, Salmonidae)
on the continental coast of the Okhotsk Sea. Communication 2. The juveniles****Sergey L. Marchenko**

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

Abstract. Data on juvenile pink salmon from the continental coast of the Okhotsk Sea obtained in 1960s–2010s are summarized. The timing and dynamics of their downstream

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

migration are considered in terms of biological parameters and nutrition. Brief information on their early marine life is presented. The mass seaward migration of pink salmon begins when the river water is warmed to 2.5–4.0 °C. The juveniles migrate from rivers to the coastal marine waters diurnally. During the seaward migration, their body length and weight do not change significantly, as a rule, but a portion of fish with external feeding increases. Year-to-yearly, in the rivers the portion of juveniles switched to external feeding is higher in the years with mild spring flood.

Keywords: pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha*, downstream migration, biological parameter.

For citation: Marchenko S.L. Pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmoniformes, Salmonidae) on the continental coast of the Okhotsk Sea. Communication 2. The juveniles, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 3–15. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-3-15. EDN: OGPCGB.

Введение

Исследования покатной молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) на материковом побережье Охотского моря на постоянной основе были начаты в 1960-е гг., а максимальное развитие получили в конце 1990-х — первой половине 2010-х гг., когда в мониторинговую сеть была включена большая часть крупнейших по запасу горбуши рек региона. В середине 2000-х — первой половине 2010-х гг. на модельных полигонах Тауйской губы были организованы исследования раннего морского периода жизни молоди.

Несмотря на более чем 60-летний период наблюдений, результаты исследований молоди горбуши в литературе освещены фрагментарно [Голованов, 1982; Фроленко, 1983; Волобуев, Марченко, 2011; Островский, 2011; Канзепарова и др., 2015; Марченко и др., 2017].

Цель настоящей статьи — обобщить многолетние материалы по молоди горбуши 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).

Работы по учету покатной молоди выполняли с конца апреля 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 на р. Танон (правобережный приток р. Ола). С 1970-х гг. учет покатной молоди горбуши, как правило, проводили на гидрологических створах методом, предложенным А.Я. Таранцом [1939]. В этом случае покатную молодь облавливали мягкой ловушкой длиной 2 м с площадью входного отверстия 0,25 м², изготовленной из мельничного газа № 7 или безузелковой дели с ячейей 3 × 3 мм. Обловы выполняли либо каждую ночь, либо в режиме сутки через сутки. При постановке ловушки на лов длину ее оттяжек регулировали таким образом, чтобы она целиком находилась в приповерхностном слое речного потока. Стандартная экспозиция ловушки — 10 мин. В период массовой покатной миграции и высокой концентрации влекомых частиц в речном потоке допускалось сокращение экспозиции. При низкой интенсивности миграции молоди горбуши застой ловушки увеличивали.

При проведении учета покатной молоди горбуши измеряли уровень воды и ее температуру. Для измерения уровня воды устанавливали гидрологическую линейку, значения температуры воды определяли посредством гидрологического термометра. Замеры проводили трижды в сутки: в 08:00, 16:00 и 24:00. Кроме того, на учетных створах, имевших две и более станции, температуру воды измеряли на каждой станции во время выставления ловушки на лов.

Исследования раннего морского периода жизни горбуши проводили с конца мая — начала июня по начало — конец июля на литоральных и сублиторальных участках Тауйской

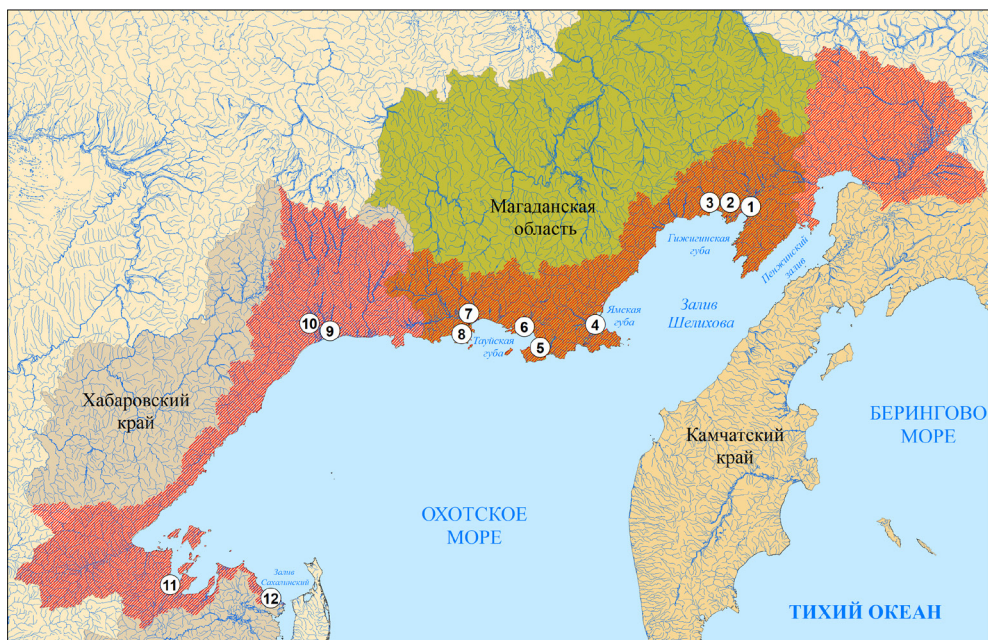


Рис. 1. Карта-схема района исследований покатной миграции молоди горбуши в реках материкового побережья Охотского моря: 1 — Гижига, 2 — Большая Гарманда, 3 — Наяхан, 4 — Яма, 5 — Кулькуты, 6 — Ола, 7 — Тауй, 8 — Мотыклейка, 9 — Кухтуй, 10 — Охота, 11 — Тугур, 12 — Иска

Fig. 1. Scheme of surveys on seaward migration of pink salmon on the continental coast of the Okhotsk Sea. The rivers: 1 — Gizhiga, 2 — Bolshaya Garmanda, 3 — Nayakhan, 4 — Yama, 5 — Kul'kuty, 6 — Ola, 7 — Tauj, 8 — Motyklejka, 9 — Kuhtuj, 10 — Okhota, 11 — Tugur, 12 — Iska

губы на удалении до 100 м от берега. Обловы выполняли с мотолодок, оборудованных подвесными моторами, и с берега. В качестве орудий лова применяли стандартный закидной равнокрылый безмотенный невод (длина — 12 м, ячея — 3 мм), закидной равнокрылый невод с мотней (длина — 70 м, ячея на крыльях — 10 мм и в мотне — 3 мм) и малый кошельковый невод (длина 55 м, ячея на крыльях — 10 и 5 мм, в сливной части — 3 мм).

Отловленную молодь фиксировали 4 %-ным раствором формалина. Собранный материал обрабатывали в камеральных условиях. Пробы объемом до 100 рыб группировали по пятидневкам. Перед биологическим анализом молодь отмачивали в холодной проточной воде в течение 12 ч. Биологический анализ включал измерение длины тела по Смитту, массы тела (общей и без внутренностей), а также массы 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.

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 горбуши, 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 соответствии с рекомендациями И.Ф. Правдина [1966] и Г.Ф. Лакина [1980] в электронных таблицах MS Excel. Визуализация данных на топооснове проведена в ArcGIS, графики построены в MS Excel.

Результаты и их обсуждение

Сроки и динамика покатной миграции. Покатная миграция горбуши в реках материкового побережья Охотского моря начинается при температуре воды, близкой к 0°C , в конце апреля — начале мая, т.е. за две-три недели до весеннего паводка. Массовый характер она приобретает с началом весеннего половодья и прогревом воды до $2,5\text{--}4,0^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура воды, при которой в реках материкового побережья Охотского моря была отмечена покатная молодь горбуши, — $13,4^{\circ}\text{C}$. Завершается покатная миграция в конце июля. Основная часть покатников горбуши мигрирует из рек региона со второй половины мая по конец июня (рис. 2).

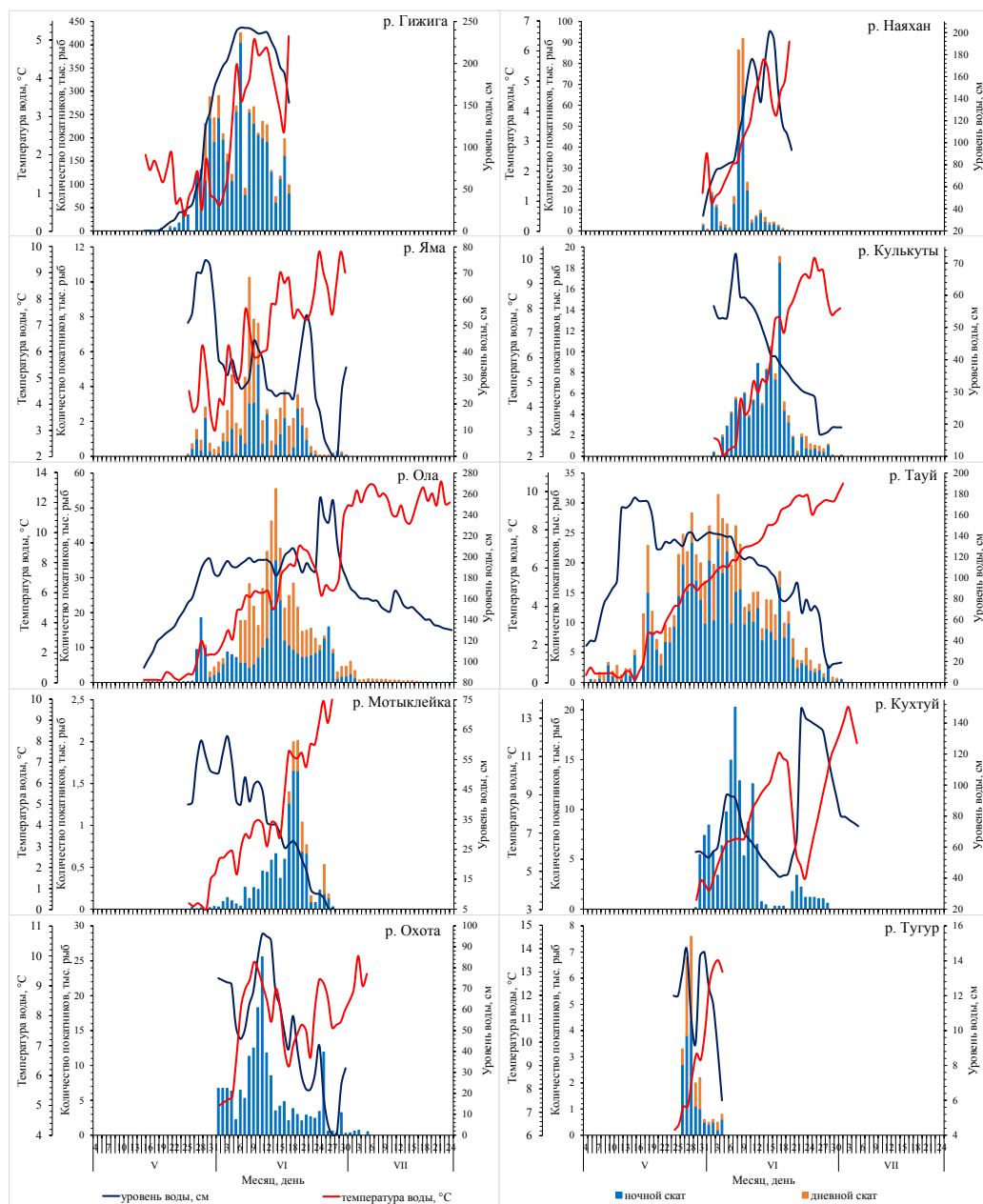


Рис. 2. Динамика уровня, температуры воды и покатной миграции молоди горбуши в реках материкового побережья Охотского моря

Fig. 2. Dynamics of water level, water temperature, and rate of pink salmon seaward migration in the rivers of the continental coast of the Okhotsk Sea

Массовый выход мальков горбуши из рек в морское побережье сопряжен с весенним половодьем (рис. 2). Для покатников характерна пассивная миграция из рек в морское побережье. Большая их часть (54,2–75,0 %) держится в стрежневой части реки в приповерхностном слое и ориентирована головой против течения. Скорость миграции равна скорости течения. Иными словами, покатники горбуши используют транспортную силу потока для достижения в кратчайшие сроки и с минимальными затратами собственной энергии низовий рек, где начинают активно питаться. При этом установлено [Павлов и др., 2019], что реализация пассивной покатной миграции происходит за счет комплекса врожденных поведенческих реакций.

В условиях слабо выраженного половодья интенсивность покатной миграции молоди горбуши в реках региона снижается. В том числе она распределяется по сечению рек, а в стрежневой части скатывается до трети покатников. В отличие от р. Амур, а также рек европейского Севера и Сахалина [Бакштанский, 1970; Новомодный, 2003; Антонов, Ким, 2011; Веселов и др., 2016], в реках региона молодь горбуши на длительное время не задерживается.

Ряд исследователей [Таранец, 1939; Pritchard, 1944; Семко, 1954; Neave, 1955; McDonald, 1960; Есаулов, Федорова, 1963; Воловик, 1967; Иванков, 1968; Бакштанский, 1970; Чупахин, 1973; Пушкарева, 1975; Голованов, 1982; Канзепарова и др., 2015] отмечают, что суточная динамика покатной миграции горбуши зависит от освещенности и прозрачности воды. Так, по их данным выход молоди горбуши в поток начинается с наступлением вечерних сумерек и заканчивается с рассветом. Пик ската приходится на наиболее темное время суток.

В реках материкового побережья Охотского моря суточный пик покатной миграции молоди горбуши также приходится на наиболее темное время суток — с 0:00 до 04:00 час. Однако и в крупных (Гижига, Наяхан, Яма, Ола, Тауй, Кухтуй, Тугур), и в средних (Кулькuty и Мотыклейка) реках молодь продолжает миграцию и в светлое время суток (рис. 2). При этом интенсивность ее миграции в среднем снижается в 1,6–2,7 раза.

Соотношение численности покатников, мигрирующих в разные годы из рек региона днем и ночью, варьирует в значительных пределах. Например, из р. Ола в 1963 и 1965 гг. более 85 % покатников скатывались в темное время суток, а в 1973, 1986, 1988 и 1999 гг. от $\frac{2}{3}$ до $\frac{3}{4}$ мигрантов выходили из реки в светлое время суток. Из р. Тауй в 2004–2014 гг. в светлое время суток скатывалось от 45,8 до 82,8 %, а из р. Кухтуй в 2003 и 2004 гг. по данным В.В. Китова [2005] — около 54–76 % покатников горбуши.

В целом за 60-летний период наблюдений соотношение молоди горбуши, мигрировавшей из рек региона на нагул в море в светлое и темное время суток, примерно равное — 51 : 49 %. В ряду четных лет была выше доля рыб, скатывавшихся в светлое время суток (57 : 43 %), а в ряду нечетных лет — в темное время суток (45 : 55 %).

Биологические показатели. Длина и масса тела покатной молоди горбуши в реках материкового побережья Охотского моря варьирует соответственно от 23,4 до 41,0 (в среднем — от 29,7 до 32,6) мм и от 64,6 до 520,0 (в среднем — от 169,3 до 209,9) мг (табл. 1). Вариационные ряды длины тела имеют распределение, близкое к нормальному, а их мода равна 32–34 мм (рис. 3).

Среди покатников средняя доля особей с остаточным желточным мешком изменяется от 13,0 до 76,0 %. Средняя масса желточного мешка составляет 0,7–8,7 % от массы тела (табл. 1). На протяжении покатной миграции доля покатников с остаточным желточным мешком снижается с 86,0–90,9 до 0–8,0 %, а масса остаточного желточного мешка — с 28,99–35,41 до 0,01–2,65 % от массы тела.

За время покатной миграции прирост средних показателей длины и массы тела незначителен и составляет соответственно 0,9–2,2 мм и 16,2–44,0 мг. Исключение — молодь горбуши, скатывающейся из р. Тугур, у которой прирост длины и массы тела от начала к концу покатной миграции составляет соответственно 4,7 мм и 120,1 мг (рис. 4).

Таблица 1

Биологические показатели молоди горбуши, мигрирующей из рек
материкового побережья Охотского моря

Table 1

Biological parameters of migratory pink salmon fry in the rivers
of the continental coast of the Okhotsk Sea

Водоем	Длина тела по Смиуту, мм	Масса тела, мг	Доля массы желточного мешка от массы тела, %	ИНЖ, ‰	Доля рыб, %		N, экз.
					С желточным мешком	Питав- шихся	
Гижига	$30,99 \pm 0,08$ 26,00–34,00	$197,0 \pm 1,3$ 126,0–259,0	$3,79 \pm 0,26$ 0,41–23,35	0,50	70,2	1,1	285
Большая Гарманда	$29,74 \pm 0,37$ 27,30–31,40	$194,3 \pm 9,3$ 139,0–243,0	$8,72 \pm 0,22$ 8,19–9,25	–	16,7	–	12
Наяхан	$31,15 \pm 0,03$ 25,00–41,00	$183,1 \pm 1,0$ 64,6–520,0	$3,40 \pm 0,08$ 0,01–35,41	2,64	65,2	4,1	2460
Яма	$31,86 \pm 0,02$ 27,00–40,00	$181,9 \pm 0,6$ 82,0–464,8	$1,32 \pm 0,03$ 0,04–14,29	0,42	30,9	0,7	2692
Кулькуты	$30,82 \pm 0,02$ 25,00–40,00	$181,2 \pm 0,5$ 87,7–414,5	$1,82 \pm 0,05$ 0,05–27,36	1,08	39,8	1,2	3497
Ола	$31,71 \pm 0,02$ 26,00–39,00	$187,7 \pm 0,4$ 90,0–380,0	$1,99 \pm 0,04$ 0,01–28,99	19,50	35,4	26,5	3224
Тауй	$31,56 \pm 0,02$ 26,00–41,00	$174,2 \pm 0,5$ 68,5–429,0	$2,39 \pm 0,04$ 0,05–28,69	20,21	38,4	19,9	4024
Мотыклейка	$30,72 \pm 0,01$ 25,00–37,00	$169,3 \pm 0,3$ 86,0–297,0	$3,04 \pm 0,04$ 0,39–34,07	4,95	29,3	5,4	7745
Кухтуй	$32,58 \pm 0,08$ 30,00–36,00	$209,9 \pm 1,6$ 144,0–290,0	$0,74 \pm 0,07$ 0,35–5,43	12,35	13,0	20,0	200
Тугур	$31,47 \pm 0,08$ 23,40–36,50	$171,0 \pm 1,5$ 100,0–350,0	–	–	–	–	312
Иска*	$31,80 \pm 0,10$ 29,20–35,80	$163,0 \pm 1,1$ 118,0–262,0	$2,39 \pm 0,16$ 0,52–14,81	–	76,0	–	274
Общее	$31,20 \pm 0,01$ 23,40–41,00	$177,7 \pm 0,2$ 64,6–520,0	$2,52 \pm 0,02$ 0,01–35,41	8,03	36,9	9,3	24755

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

* Сведения по молоди горбуши р. Иска приведены по работе А.Н. Канзепаровой с соавторами [2015].

Слабые приросты размеров тела связаны с тем, что в период покатной миграции молодь, как правило, не питается или питается слабо. В среднемноголетнем плане доля рыб, перешедших на внешнее питание до выхода в море, варьирует от 0,7 до 26,5 % (табл. 1). При этом покатники горбуши с пищей в желудках отмечены как в реках, имеющих значительную протяженность и большой бассейн (например, Гижига, Яма, Ола, Тауй, Кухтуй), так и в небольших реках (например, Кулькуты). Ежегодно от начала к концу миграции доля молоди, перешедшей на внешнее питание в реках, увеличивается с 0–4,3 до 39,1–43,0 %, а средний ИНЖ возрастает с 0–4,66 до 38,33–46,04 ‰.

В годы со слабо развитым весенним половодьем до выхода в морское побережье на внешнее питание переходит до 74–98 % покатников, но это не сопровождается значительным приростом длины и массы тела молоди горбуши (табл. 2). Данная особенность, с одной стороны, по-видимому, объясняется использованием молодь горбуши речного потока для достижения морского побережья, а с другой — тем, что скорость течения является фактором, лимитирующим ее пищедобывательную активность. Так,

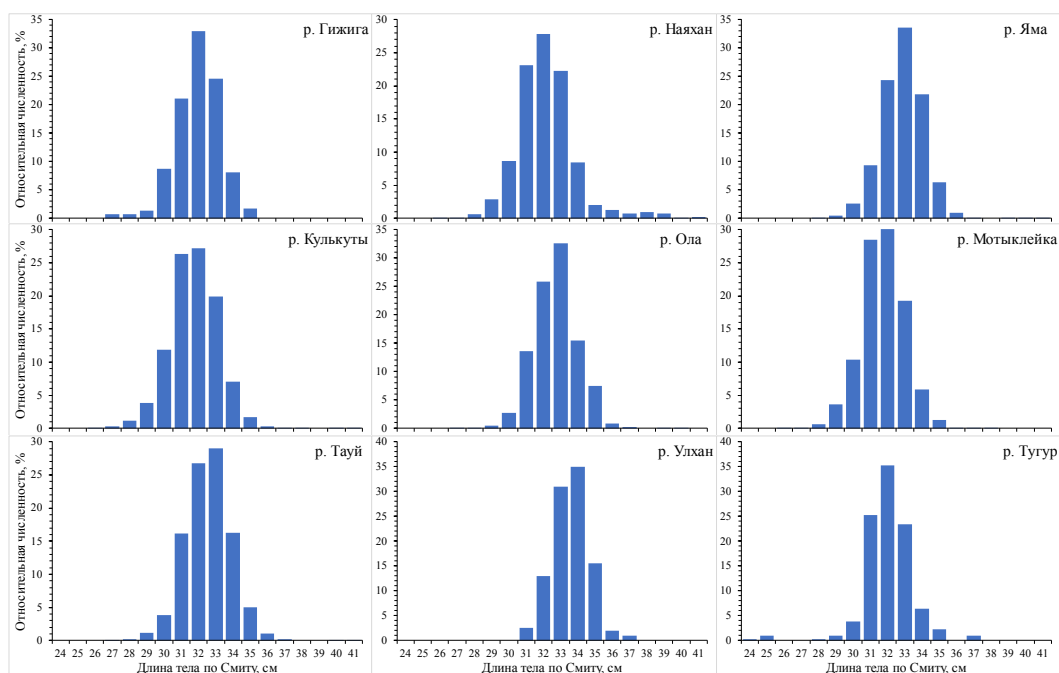


Рис. 3. Вариационные ряды длины тела молоди горбуши в реках материкового побережья Охотского моря

Fig. 3. Variation series of body length for pink salmon fry in the rivers of the continental coast of the Okhotsk Sea

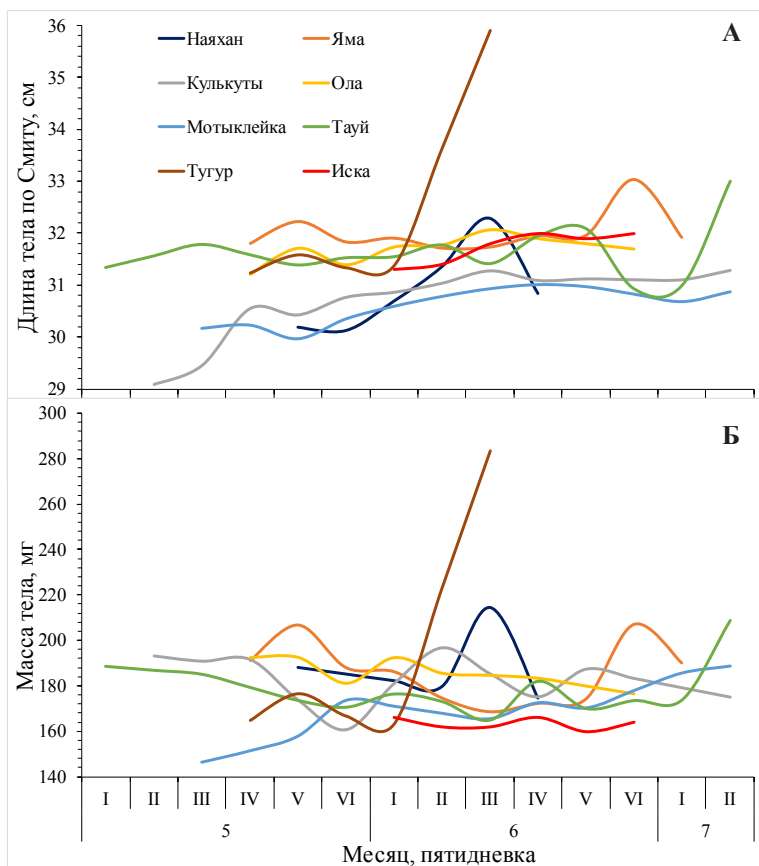


Рис. 4. Динамика средней длины (А) и массы (Б) тела покатной молоди горбуши материкового побережья Охотского моря. Данные по р. Иска приведены по работе А.Н. Канзепаровой с соавторами [2015]

Fig. 4. Dynamics of average body length (А) and weight (Б) for pink salmon fry on the continental coast of the Okhotsk Sea migrating seaward. Cited data from Kanzeperova et al. [2015] are presented for the Iska River

Таблица 2

Изменения размерного состава молоди горбуши р. Ола (длина тела, мм) в мае-июне 2004 г., характеризовавшегося слабо выраженным половодьем, %

Table 2

Dynamics of size composition (% body length, mm) for juvenile pink salmon in the Ola River in May-June of the year 2004 with mild spring flood

Длина, мм	Месяц, пятидневка							
	Май			Июнь				
	IV	V	VI	I	II	III	IV	VI
28	2,0	–	2,0	–	1,0	1,0	1,0	–
29	7,0	3,0	2,0	8,0	5,0	5,0	1,0	2,0
30	15,0	23,0	22,2	21,0	14,0	20,0	15,0	11,2
31	51,0	34,0	29,3	24,0	32,0	36,0	34,0	35,7
32	14,0	23,0	31,3	35,0	27,0	21,0	35,0	27,6
33	11,0	15,0	8,1	11,0	17,0	15,0	11,0	18,4
34	–	1,0	5,1	–	3,0	1,0	2,0	1,0
35	–	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0	3,1
36	–	–	–	–	–	–	–	1,0
37	–	1,0	–	–	–	–	–	–
Средняя длина по Смитту, мм	31,0	31,3	31,3	31,2	31,5	31,3	31,5	31,7

Бейли с соавторами [Bailey et al., 1975] показали, что молодь горбуши не питается при скорости течения более 0,199 м/с. Его ослабление до 0,108–0,198 м/с сопровождается ростом пищедобывательной активности покатников, а при скорости течения ниже 0,108 м/с интенсивно питается вся молодь.

Не исключено, что значительный прирост линейно-весовых показателей молоди горбуши р. Тугур в конце покатной миграции связан с тем, что река в нижнем течении имеет равнинный характер русла: замедленный сток создает благоприятные условия для нагула молоди до перехода в морское побережье.

Спектр питания. В целом по региону в пищевом коме молоди горбуши обнаружены 16 кормовых объектов, в отдельных реках их число варьировало от 3 до 10. Основу питания составляли личинки амфибиотических насекомых. Главными компонентами пищевого комка были представители отрядов Diptera (сем. Chironomidae), Plecoptera и Ephemeroptera (табл. 3). В реках, которые в приустьевой части имеют равнинный характер русла и развитую придаточную систему с многочисленными озерами (например, Иска), в питании молоди горбуши наряду с объектами бентоса присутствует зоопланктон [Канзепарова и др., 2015]. Кроме того, наряду с пищевыми объектами у 9,4 % мальков в желудках отмечены песчинки и у 44,4 % — фрагменты растительности.

Ранний морской период жизни. Для молоди горбуши характерна ранняя смолтификация [Зуева, 1965; Weisbart, 1968; Варнавский, 1990; Gallagher et al., 2013], что позволяет ей откочевывать в морское побережье сразу после выхода из рек [Levy, Northcote, 1982; Фроленко, 1983; Добрынина и др., 1988].

С начала июня до середины июля молодь горбуши в Тауйской губе держится на акваториях, прогретых до 10–12 °С. Спектр питания зависит от биотопа, в котором она нагуливается. В приустьевых зонах рек основу питания составляют личинки, куколки и имаго амфибиотических насекомых. По мере откочевки в морские воды в питании увеличивается роль морских ракообразных, а также икры и личинок рыб. В морском побережье средний ИНЖ молоди горбуши составляет 154,9–169,2 ‰, а при откочевке в более мористые районы он возрастает в 2,0–2,2 раза.

За время обитания в прибрежных водах средняя длина и масса тела молоди горбуши достигает соответственно 45,7 мм и 0,82 г. Во второй половине июля молодь горбуши уже встречается на удалении до 25 морских миль от берега.

Таблица 3

Спектр питания покатной молоди горбуши в реках материкового побережья Охотского моря

Table 3

Food spectrum for pink salmon fry migrating seaward in the rivers of the continental coast of the Okhotsk Sea

Объект питания	Река																							
	Наяхан			Яма			Ола			Тай														
	2008			2004			2007			2004			2007			2008								
	Частота встречаемости, %	Значение в пище, % от всего кол-ва экз.	Среднее число для одной особи	Частота встречаемости, %	Значение в пище, % от всего кол-ва экз.	Среднее число для одной особи	Частота встречаемости, %	Значение в пище, % от всего кол-ва экз.	Среднее число для одной особи	Частота встречаемости, %	Значение в пище, % от всего кол-ва экз.	Среднее число для одной особи	Частота встречаемости, %	Значение в пище, % от всего кол-ва экз.	Среднее число для одной особи	Частота встречаемости, %	Значение в пище, % от всего кол-ва экз.	Среднее число для одной особи						
Класс Oligochaeta — Малоцетинковые	—	—	—	0,6	1,6	0,006	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
	Tun Annelida — Кольчатые черви																							
	Tun Arthropoda — Членистоногие																							
	Класс Crustacea — Ракообразные																							
	Класс Insecta — Насекомые																							
	Отр. Ephemeroptera — Поденки	Larvae	20,0	32,4	0,367	9,9	70,5	0,250	8,00	40,54	0,100	4,2	13,3	0,063	6,0	37,7	0,426	50,0	81,2	5,280	6,7	42,9	0,200	
	Отр. Plecoptera — Веснянки	Larvae	3,3	2,9	0,033	0,6	1,6	0,006	—	—	—	0,8	1,8	0,008	—	—	—	—	4,0	1,2	0,080	—	—	
	Отр. Heteroptera — Клопы	Larvae	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,4	0,9	0,004	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Отр. Trichoptera — Ручейники	Larvae	3,3	2,9	0,033	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Отр. Diptera — Двукрылые	Pupae	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,8	1,8	0,008	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Сем. Limoniidae — Комары-болотницы	Imago	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,7	3,5	0,017	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Imago	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,8	1,8	0,008	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Larvae	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12,0	1,85	0,120	—	—	—	
	Larvae	—	—	—	—	—	—	—	2,00	16,22	0,040	2,1	7,1	0,033	1,9	33,2	0,375	—	—	—	—	—	—	
	Larvae	10,0	17,6	0,200	2,3	21,3	0,076	1,33	32,43	0,080	7,9	54,0	0,255	9,3	26,2	0,296	22,0	7,7	0,500	6,7	28,6	0,133		
	Сем. Chironomidae — Хирономиды	Pupae	10,0	41,2	0,467	1,2	4,9	0,017	—	—	—	2,5	15,0	0,071	0,9	2,0	0,023	18,0	7,4	0,480	5,0	28,6	0,133	
	Imago	—	—	—	—	—	—	—	2,00	10,81	0,027	—	—	—	0,5	0,4	0,005	2,0	0,3	0,020	—	—	—	
	Terrastriel insect	Larvae	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,4	0,9	0,004	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Подотряд Psyllinea — Листоблошки	Imago	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	0,4	0,005	—	—	—	—	—	—	—

Заключение

Молодь горбуши скатывается из рек материкового побережья Охотского моря с конца апреля по конец июля как в темное, так и в светлое время суток. Соотношение покатной молоди, мигрирующей в море в светлое и темное время суток, неодинаково в разных реках и варьирует из года в год. Миграция носит пассивный характер. Массовый выход покатников горбуши в морское побережье приурочен к половодью.

На протяжении покатной миграции средние размеры молоди горбуши увеличиваются незначительно — от 29,7 до 32,6 мм и от 169,3 до 209,9 мг. Прирост длины и массы тела в пресной воде, по-видимому, обусловлен переходом части особей на внешнее питание уже во время покатной миграции вследствие повышения температуры воды в реках и снижения скорости течения. Доля рыб с остаточным желточным мешком от начала покатной миграции к ее завершению снижается, а относительная численность особей, перешедших на внешнее питание, — увеличивается. Кроме того, возрастает их ИНЖ.

Средние значения длины и массы тела молоди горбуши в течение периода покатной миграции изменяются от 29,7 до 32,6 мм и от 169,3 до 209,9 мг. Доля рыб с желточным мешком среди покатников горбуши варьирует от 13,0 до 76,0 %. Средний ИНЖ — 0–4,66 в начале миграции и 38,33–46,04 ‰ в ее конце. В реках основу питания покатной молоди горбуши составляют представители отрядов Diptera (сем. Chironomidae), Plecoptera и Ephemeroptera.

В морском побережье молодь горбуши присутствует как минимум до конца июля. В приустьевой части рек основу ее питания формируют амфибиотические насекомые, а по мере откочевки в морские воды в рационе возрастает доля морских ракообразных.

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 горбуши 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 regional department of the Federal Agency of Fishery, and Institute of Biological Problems of the North FEB RAS who participated in the data collection for pink salmon fry on the continental coast of the Okhotsk Sea and kindly submitted their own data for this study.

The author appreciates valuable advices and remarks given by S.E. Kulbachny (KhabarovskNIRO) and E.A. Kirillova (KamchatNIRO, IPEE RAS) while working on 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.

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

Список литературы

- Антонов А.А., Ким Хе Юн.** Питание и пищевые взаимоотношения молоди лососей рода *Oncorhynchus* в реке Кура залива Анива (о. Сахалин) // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Тр. Сах-НИРО. — 2011. — Т. 12. — С. 3–15.
- Бакштанский Э.Л.** Скат молоди горбуши и кеты и причина его задержки в реках Кольского полуострова // Тр. ВНИРО. — 1970. — Т. 74. — С. 129–143.
- Варнавский В.С.** Смолтификация лососевых : моногр. — Владивосток : ДВО РАН, 1990. — 180 с.
- Веселов А.Е., Павлов Д.С., Барышев И.А. и др.** Полиморфизм покатной молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в реке Индера (Кольский полуостров) // Вопр. ихтиол. — 2016. — Т. 56, № 5. — С. 571–576. DOI: 10.7868/S0042875216040196.
- 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.
- Воловик С.П.** Методы учета и некоторые особенности поведения покатной молоди горбуши в реках Сахалина // Изв. ТИНРО. — 1967. — Т. 61. — С. 104–117.
- Голованов И.С.** О естественном воспроизводстве горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) (Salmonidae) на северном побережье Охотского моря // Вопр. ихтиол. — 1982. — Т. 22, № 4. — С. 568–575.
- Добрынина М.В., Горшков С.А., Кинас Н.М.** Влияние плотности концентрации скатывающейся молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* на выедание ее хищными рыбами в р. Утка (Камчатка) // Вопр. ихтиол. — 1988. — Т. 28, вып. 6. — С. 971–977.
- Есаулов Н.П., Федорова Л.Н.** Некоторые особенности ската молоди лососей в реках Сахалина // Рыб. хоз-во. — 1963. — № 12. — С. 18–20.
- Зуева К.Д.** Наличие процесса смолтификации у горбуши — *Oncorhynchus gorbuscha* (Walb.) при отсутствии стадии «рагг» // Вопр. ихтиол. — 1965. — Т. 5, № 2(35). — С. 324–330.
- Иванков В.Н.** Тихоокеанские лососи острова Итуруп // Изв. ТИНРО. — 1968. — Т. 65. — С. 49–74.
- Канзепарова А.Н., Золотухин С.Ф., Балускин В.А.** Молодь горбуши и кеты р. Иска (Сахалинский залив, Охотское море) в пресноводный период // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 182. — С. 55–68. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-182-55-68.
- Китов В.В.** Особенности ската молоди рыб в реке Кухтуй (Охотский район, Хабаровский край) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2005. — Вып. 3. — С. 629–635.
- Лакин Г.Ф.** Биометрия : учеб. пособие. — М. : Высш. шк., 1980. — 292 с.
- Марченко С.Л., Волобуев М.В., Хаменкова Е.В., Поспехов В.В.** Особенности покатной миграции молоди горбуши и кеты реки Тауй // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование : мат-лы 8-й Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию рыбохозяйственного образования на Камчатке. — Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2017. — Ч. 1. — С. 148–153.
- Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях** / отв. ред. Е.В. Боруцкий. — М. : Наука, 1974. — 254 с.
- Новомодный Г.В.** О направлениях миграций лососей рода *Oncorhynchus* в Амурском лимане // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2003. — Вып. 2. — С. 484–499.
- Островский В.И.** Факторы, определяющие численность покатной молоди горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) р. Иска // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 166. — С. 88–102.
- Павлов Д.С., Михеев В.Н., Костин В.В.** Миграции молоди рыб в зарегулированных реках. Роль экологических барьеров // Вопр. ихтиол. — 2019. — Т. 59, вып. 2. — С. 204–215. DOI: 10.1134/S0042875219020188.
- Правдин И.Ф.** Руководство по изучению рыб. — М. : Пищ. пром-сть, 1966. — 376 с.
- Пушкарева Н.Ф.** Основные черты биологии приморской горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha* Walb.) // Изв. ТИНРО. — 1975. — Т. 96. — С. 167–174.
- Руководство по изучению питания рыб в естественных условиях** / отв. ред. Е.Н. Павловский. — М. : АН СССР, 1961. — 263 с.
- Семко Р.С.** Запасы западнокамчатских лососей и их промысловое использование // Изв. ТИНРО. — 1954. — Т. 41. — С. 3–109.

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

Фроленко Л.А. Влияние паводка на подготовленность молоди кеты и горбуши к жизни в море // Тез. докл. 10-го Всесоюз. симпози. «Биологические проблемы Севера». — Магадан, 1983. — Ч. 2. — С. 220–221.

Чупахин В.М. К характеристике естественного воспроизводства горбуши на о. Итуруп // Изв. ТИНРО. — 1973. — Т. 91. — С. 55–67.

Bailey J.E., Wing B.L., Mattson C.R. Zooplankton abundance and feeding habits of fry of pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha* and chum salmon, *Oncorhynchus keta*, in Traitors Cove, Alaska, with speculations on the carrying capacities of the area // Fish. Bull. — 1975. — Vol. 73, № 4. — P. 846–861.

Gallagher Z.S., Bystrinsky J.S., Farrell A.P., Brauner C.J. A novel pattern of smoltification in the most anadromous salmonid: pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 2013. — Vol. 70, № 3. — P. 349–357. DOI: 10.1139/cjfas-2012-0390.

Levy D.A., Northcote T.G. Juvenile salmon residency in a marsh area of the Fraser River Estuary // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1982. — Vol. 39. — P. 270–276.

McDonald J. The behavior of Pacific salmon fry during their downstream migration to freshwater and saltwater nursery areas // J. Fish. Res. Board Can. — 1960. — Vol. 17, № 5. — P. 655–676. DOI: 10.1139/f60-051.

Neave F. Notes on the seaward migration of pink and chum salmon fry // J. Fish. Res. Board Can. — 1955. — Vol. 12, № 3. — P. 369–374.

Pritchard A.L. Physical characteristics and behavior of pink salmon fry at McClinton Creek, B.C. // J. Fish. Res. Board Can. — 1944. — Vol. 6, № 3. — P. 217–227 DOI: 10.1139/f42-026.

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.

References

Antonov, A.A. and Kim, Khe Yun, Nutrition and feeding relationships of juvenile salmon of the genus *Oncorhynchus* in the Kura River of Aniva Bay (Sakhalin Island), *Water life biology, resources status and condition of inhabitation in Sakhalin-Kuril region and adjoining water areas: Transactions of the Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography*, 2011, vol. 12, pp. 3–15.

Bakstansky, E.L., Downstream migrations of pink and red salmon and causes of their delay in the streams of the Kola Peninsula, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1970, vol. 74, pp. 129–143.

Varnavsky, V.S., *Smoltifikatsiya lososevykh* (Smoltification of salmonid fishes), Vladivostok: Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 1990.

Veselov, A.E., Baryshev, I.A., Efremov, D.A., Ruchiev, M.A., Pavlov, D.S., and Potutkin, A.G., Polymorphism of smolts of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in the Indera River (Kola Peninsula), *J. Ichthyol.*, 2016, vol. 56, no. 5, pp. 738–743. doi 10.1134/S0032945216040159

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.

Volovik, S.P., Methods of accounting and some features of the behavior of downstream pink salmon juveniles in the Sakhalin rivers, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1967, vol. 61, pp. 104–117.

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.

Dobrynina, M.V., Gorshkov, S.A., and Kinas, N.M., Influence of the concentration density of the migration juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* on its predation by predatory fish in the river Duck (Kamchatka), *Vopr. Ikhtiol.*, 1988, vol. 28, no. 6, pp. 971–977.

Esaulov, N.P. and Fedorova, L.N., Patterns of seaward migration of salmonid fish juveniles in the rivers of Sakhalin, *Rybn. Khoz.*, 1963, no. 12, pp. 18–20.

Zueva, K.D., Smoltification in humpback salmon (*Oncorhynchus gorbuscha* Walb.) without parr stage, *Vopr. Ikhtiol.*, 1965, vol. 5, no. 2(35), pp. 324–330.

Ivankov, V.N., Pacific salmon of Iturup Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1968, vol. 65, pp. 49–74.

Kanzeperova, A.N., Zolotukhin, S.F., and Balushkin, V.A., Juveniles of pink and chum salmon in the Iska River (Sakhalin Bay, Okhotsk Sea) in the fresh-water period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 182, pp. 55–68. doi 10.26428/1606-9919-2015-182-55-68

Kitov, V.V., Quality of the seaward migration of the juvenile fishes to the Kuchtuy River (Okhotsk district, Khabarovsk territory), in Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings, Vladivostok: Dal'nauka, 2005, vol. 3, pp. 629–635.

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

Marchenko, S.L., Volobuev, M.V., Khamenkova, E.V., and Pospelkov, V.V., Features of downstream migration of juvenile pink salmon and chum salmon of the Tau River, in *Tezisy dokladov 8-y Vseros. nauchn.-prakt. konf., posvyashchennaya 75-letiyu rybokhozyaystvennogo obrazovaniya na Kamchatke "Prirodnyye resursy, ikh sovremennoye sostoyaniye, okhrana, promyslovoye i tekhnicheskoye ispol'zovaniye"* (Proc. 8th All-Russ. Sci.-Pract. Conf., Commem. 75th Anniversary of Fisheries Education in Kamchatka "Natural resources, their current status, protection, commercial and technical use"), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatskii Gos. Tekh. Univ., 2017, part 1, pp. 148–153.

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.

Novomodnyi, G.V., Migration directions of salmonid (genus *Oncorhynchus*) within the Amur River estuary, in Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings, Vladivostok: Dal'nauka, 2003, vol. 2, pp. 484–499.

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.

Pavlov, D.S., Mikheev, V.N., and Kostin, V.V., Migrations of Fish Juveniles in Dammed Rivers: the Role of Ecological Barriers, *J. Ichthyol.*, 2019, vol. 59, no. 2, pp. 234–245. doi 10.1134/S0032945219020140

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

Pushkareva, N.F., The main features characteristics of the biology of *Oncorhynchus gorbuscha* Walb., *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1975, vol. 96, pp. 167–174.

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.

Semko, R.S., Stocks of West Kamchatka salmon and their commercial use, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1954, vol. 41, pp. 3–109.

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.

Frolenko, L.A., Influence of floods on the readiness of chum salmon and pink salmon fry for marine life, in *Tezisy dokl. 10 Vses. simp. "Biologicheskoye problemy Severa"* (Proc. 10th All-Union Symp. "Biological problems of the North"), Magadan, 1983, part 2, pp. 220–221.

Chupakhin, V.M., To the characteristics of the natural reproduction of pink salmon on about Iturup, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1973, vol. 91, pp. 55–67.

Bailey, J.E., Wing, B.L., and Mattson, C.R., Zooplankton abundance and feeding habits of fry of pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha* and chum salmon, *Oncorhynchus keta*, in Traitors Cove, Alaska, with speculations on the carrying capacities of the area, *Fish. Bull.*, 1975, vol. 73, no. 4, pp. 846–861.

Gallagher, Z.S., Bystriansky, J.S., Farrell, A.P., and Brauner, C.J., A novel pattern of smoltification in the most anadromous salmonid: pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*), *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2013, vol. 70, no. 3, pp. 349–357. doi 10.1139/cjfas-2012-0390

Levy, D.A. and Northcote, T.G., Juvenile salmon residency in a marsh area of the Fraser River Estuary, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1982, vol. 39, pp. 270–276.

McDonald, J., The behavior of Pacific salmon fry during their downstream migration to fresh-water and saltwater nursery areas, *J. Fish. Res. Board Can.*, 1960, vol. 17, no. 5, pp. 655–676. doi 10.1139/f60-051

Neave, F., Notes on the seaward migration of pink and chum salmon fry, *J. Fish. Res. Board Can.*, 1955, vol. 12, no. 3, pp. 369–374.

Pritchard, A.L., Physical characteristics and behavior of pink salmon fry at McClinton Creek, B.C., *J. Fish. Res. Board Can.*, 1944, vol. 6, no. 3, pp. 217–227. doi 10.1139/f42-026

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.

Поступила в редакцию 8.12.2022 г.

После доработки 19.12.2022 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

The article was submitted 8.12.2022; approved after reviewing 19.12.2022;
accepted for publication 3.03.2023 г.

Научная статья

УДК 597.552.511–154.343(265.5)

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-16-45

EDN: QCEING



**ХАРАКТЕРИСТИКА НАГУЛЬНЫХ МИГРАЦИЙ ЗАВОДСКОЙ МОЛОДИ
ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ В БАСЕЙНЕ ОХОТСКОГО МОРЯ
И ПРИЛЕГАЮЩИХ ВОДАХ ТИХОГО ОКЕАНА В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ
ПЕРИОД (РЕГИОНАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ, ЧИСЛЕННОСТЬ
И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЛОВОВ, БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ,
ОЦЕНКИ СМЕРТНОСТИ)**

А.В. Бугаев, А.И. Герлиц*

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

Аннотация. Представлены обобщенные многолетние (2011–2021 гг.) данные о нагульных миграциях тихоокеанских лососей (горбуши и кеты) заводского происхождения в бассейне Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана в осенне-зимний период. Работа выполнена на основе материалов (образцы отолиров, биологические показатели), собранных при проведении учетных траловых съемок ТИНРО, а также данных международной статистики по выпуску и маркированию тихоокеанских лососей на лососевых рыбоводных заводах России и Японии. В результате проведенных исследований определены основные многолетние закономерности, отражающие внутривидовую структуру, пути миграций, распределение и численность уловов, а также размерно-массовые показатели рыб различного регионального происхождения. Впервые на системном уровне получены оценки естественной смертности молоди на этапе откочевки из прибрежной зоны в открытые морские воды Охотского моря.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, заводская молодь, нагульные миграции, охотоморский бассейн, отолитное маркирование, лососевые рыбоводные заводы, внутривидовая идентификация региона происхождения, оценки смертности

Для цитирования: Бугаев А.В., Герлиц А.И. Характеристика нагульных миграций заводской молоди тихоокеанских лососей в бассейне Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана в осенне-зимний период (региональная идентификация, численность и распределение уловов, биологические показатели, оценки смертности) // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 16–45. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-16-45. EDN: QCEING.

* Бугаев Александр Викторович, доктор биологических наук, заместитель руководителя, *bugaev.a.v@kamniro.ru*, ORCID 0000-0003-0782-6131; Герлиц Александра Игоревна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, *chistyakova.a.i@kamniro.ru*, ORCID 0000-0001-9670-6224.

© Бугаев А.В., Герлиц А.И., 2023

Original article

Characteristics of feeding migrations of hatchery juveniles of pacific salmon in the basin of Okhotsk Sea and adjacent Pacific waters in the autumn-winter period (regional identification, abundance and distribution of catches, biological indices, estimates of mortality)

Alexander V. Bugaev*, Alexandra I. Gerlits**

***, ** Kamchatka branch of VNIRO (KamchatNIRO),**

18, Naberezhnaya Street, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia

* D.Biol., deputy director, bugaev.a.v@kamniro.ru, ORCID 0000-0003-0782-6131

** Ph.D., leading researcher, chistyakova.a.i@kamniro.ru, ORCID 0000-0001-9670-6224

Abstract. Long-term data on feeding migrations of hatchery pacific salmon (pink and chum salmon) in the Okhotsk Sea and adjacent Pacific waters in the autumn-winter of 2011–2021 are generalized. The study is based on materials (otolith samples, biological indices) collected in the trawl surveys conducted by TINRO, as well as on international statistics on releases and tagging of pacific salmon at the Russian and Japanese hatcheries. The main patterns of intraspecific structure, migration routes, spatial distribution, and volumes of catch are determined for these species, as well as the size-weight parameters of fish originated from different regions. Natural mortality of salmon juveniles at the stage of migration from the coastal zone to the open sea is estimated at systemic level for the first time.

Keywords: pacific salmon, hatchery juveniles, feeding migration, Okhotsk Sea, otolith marking, salmon hatchery, intraspecific structure, identification of origin, mortality estimation

For citation: Bugaev A.V., Gerlits A.I. Characteristics of feeding migrations of hatchery juveniles of pacific salmon in the basin of Okhotsk Sea and adjacent Pacific waters in the autumn-winter period (regional identification, abundance and distribution of catches, biological indices, estimates of mortality), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 16–45. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-16-45. EDN: QCEING.

Введение

Искусственное воспроизводство тихоокеанских лососей является неотъемлемой частью развития рыбохозяйственных комплексов стран Северной Пацифики, где формируются их промысловые запасы. По данным международной Комиссии по анадромным рыбам северной части Тихого океана (НПАФК — North Anadromous Fish Commission (NPAFC), www.npafc.org) ежегодный выпуск молоди с лососевых рыбоводных заводов (ЛРЗ) всех стран (США, Канада, Россия, Япония, Республика Корея) достигает порядка 5 млрд экз. Общий вклад стран Азиатско-Тихоокеанского региона в указанный объем выпуска составляет около 60 % (~ до 3 млрд экз.). При этом практически 100 % этого объема выпуска приходится на две страны — Японию (~ до 2 млрд экз.) и Россию (~ до 1 млрд экз.).

По данным 2022 г. в пределах Дальнего Востока России функционируют 99 ЛРЗ (Сахалинская область — 71, Хабаровский край — 15, Магаданская область — 4, Камчатский край — 5, Приморский край — 4), из которых около 40 ЛРЗ осуществляют маркирование выпускаемой молоди тихоокеанских лососей. По имеющимся данным в Японии сейчас действуют 246 ЛРЗ (Хоккайдо — 108, Хонсю — 138) [Urawa et al., 2018]. При этом только около 50 японских ЛРЗ выпускают маркированную молодь.

Следует уточнить, что количество ЛРЗ, на которых метят тихоокеанских лососей, ежегодно изменяется. Причем далеко не все ЛРЗ проводят маркирование на уровне 100 %. Зачастую маркируют не более 30–40 % выпускаемых рыб. Тем не менее общий уровень количества маркированных лососей, выпускаемых ЛРЗ России и Японии, достаточно высок. Это позволило развить направление исследований по изучению нагульных миграций заводских тихоокеанских лососей в Дальневосточных морях и сопредельных тихоокеанских водах.

На Дальнем Востоке России данные исследования в основном проводятся специалистами КамчатНИРО. Ранее неоднократно публиковались результаты исследований миграций заводских тихоокеанских лососей в бассейне Охотского моря [Чистякова, Бугаев, 2013, 2016; Чистякова и др., 2015, 2018; Шевляков, Чистякова, 2017; Бугаев и др., 2020]. Представленная статья является тематическим продолжением указанного цикла научно-исследовательских работ. Помимо обобщения многолетних данных, впервые приводятся данные по идентификации заводских маркированных тихоокеанских лососей в осенний период в бассейне Охотского моря в 2018–2021 гг., а также в зимний период в прикурильских водах Охотского моря и Тихого океана в 2021 г. Исследования дополнены анализом биологических показателей заводской молоди, имеющей различное региональное происхождение. Кроме того, получены оценки естественной смертности молоди в период от выпуска с ЛРЗ до формирования нагульных скоплений в открытых водах охотоморского бассейна.

Цель исследований — обобщение многолетних материалов, включающих характеристику тихоокеанских лососей заводского происхождения (региональная идентификация, численность и распределение уловов, биологические показатели, оценки смертности) в период нагульных миграций в бассейне Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана.

Материалы и методы

В качестве материалов, положенных в основу исследований, использованы отолитные пробы и биологические данные сеголеток горбуши и кеты, собранные из траловых уловов во время проведения комплексных учетных съемок в бассейне Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана в осенний (2011–2021 гг.) и зимний (2021 г.) периоды (рис. 1). Отметим, что доля других видов лососей (нерка, кижуч, сима, чавыча) в искусственном воспроизводстве обеих стран составляет менее 1 %. Поэтому они в настоящей работе не рассматриваются. Работы выполнены на научно-исследовательских судах (НИС), осуществляющих работу по программам ТИНРО с участием специалистов КамчатНИРО. Общая информация о собранном биологическом

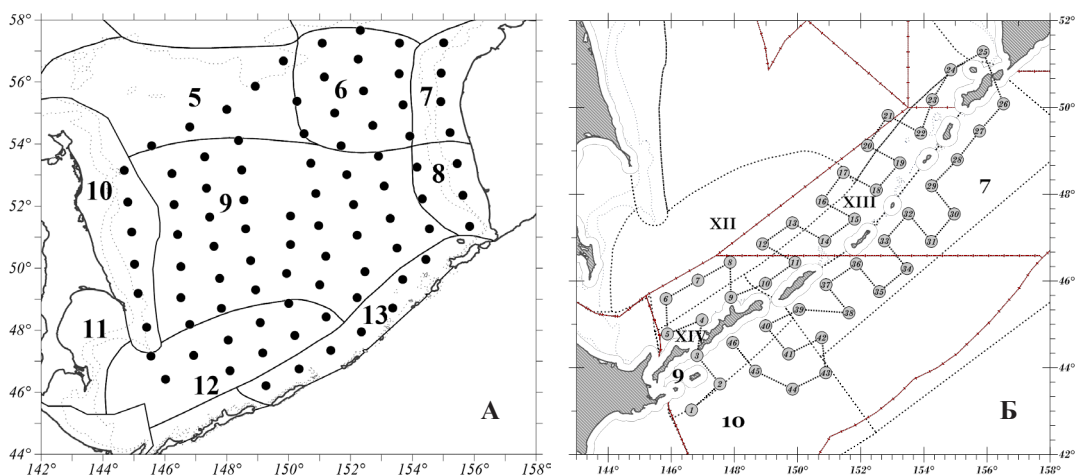


Рис. 1. Стандартная схема траловых станций комплексных пелагических съемок ТИНРО: А — бассейн Охотского моря; Б — прикурильские воды Охотского моря и Тихого океана; цифрами и линиями выделены стандартные районы для биоценологических исследований [Волвенко, 2003]

Fig. 1. Standard scheme of trawl stations in the complex midwater surveys conducted by TINRO: А — Okhotsk Sea; Б — waters at both sides of Kuril Islands; biostatistical areas are bordered and numbered according to [Volvenko, 2003]

материале (пары отолиров) в 2011–2021 гг. приведена в табл. 1. Всего за указанный период отолиры были отобраны у 16141 экз. горбуши и 18195 экз. кеты.

Таблица 1

Общая информация об отолирных пробах тихоокеанских лососей, собранных во время учетных пелагических съемок по программам ТИНРО в бассейне Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана в 2011–2021 гг.

Table 1

General information on otolith samples of pacific salmon collected during the midwater trawl surveys conducted by TINRO in the basin of Okhotsk Sea and adjacent Pacific in 2011–2021

Год	Период съемки	НИС	Вид	Кол-во рыб (пар отолитов)
Охотское море				
2011	21.09–02.11	Профессор Кагановский	Горбуша	730
			Кета	857
2012	05.10–05.11	ТИНРО	Горбуша	894
			Кета	2370
2013	12.10–09.11	ТИНРО	Горбуша	800
			Кета	800
2014	04–31.10	Профессор Кагановский	Горбуша	1000
			Кета	1960
2015	27.09–21.10	Профессор Кагановский, ТИНРО	Горбуша	750
			Кета	1073
2016	08.10–18.11	Профессор Кагановский	Горбуша	600
			Кета	1160
2017	11.10–15.11	Профессор Кагановский	Горбуша	2150
			Кета	1650
2018	14.10–02.11	Профессор Кагановский, ТИНРО	Горбуша	722
			Кета	675
2019	11–21.10	Профессор Кагановский, ТИНРО	Горбуша	2005
			Кета	1827
2020	12–25.10	Профессор Кагановский, ТИНРО	Горбуша	3085
			Кета	2566
2021	03–28.10	Профессор Кагановский, ТИНРО	Горбуша	2662
			Кета	2940
Охотское море + Тихий океан				
2021	02–21.12	Профессор Кагановский	Горбуша	743
			Кета	317

Представленные в статье ряды наблюдений включали опубликованные результаты идентификации заводских тихоокеанских лососей в бассейне Охотского моря в 2011–2017 гг. [Бугаев и др., 2020], а также неопубликованные материалы 2018–2021 гг.

Камеральную обработку отолиров выполняли с использованием стандартных методик [Secor et al., 1991; Stevenson, Campana, 1992; Акиничева и др., 2004; Чистякова и др., 2012]. Процесс обработки включал следующие этапы:

1. Подготовка препаратов путем крепления отолиров на предметные стекла при помощи термопластического цемента.

2. Шлифовка отолиров с помощью мелкозернистых дисков до появления центральной части.

3. Сканирование шлифов отолиров на визуально-аналитическом комплексе LEICA DM 1000 для получения их фотографий с разрешением 900 точек/мм².

При обнаружении маркированных особей производили идентификацию меток с помощью ежегодно формируемой базы данных эталонных меток НПАФК [<http://wgosm.npafc.org/MarkSummary.asp>].

Расчет относительной численности маркированных заводских рыб в акваториях полигонов исследований выполняли на основе бассейновых оценок численности видов, полученных специалистами ТИНРО по данным учетных траловых съемок. Для этого на начальном этапе определяли доли и численность всех маркированных рыб в общих выборках. Далее полученные количественные оценки заводских лососей дифференцировали по регионам их воспроизводства в зависимости от результатов региональной идентификации их происхождения (по географической локализации ЛРЗ).

Данные о длине (АС) и массе тела молоди получены в результате проведения стандартных биологических анализов [Правдин, 1966].

Дополнительно в работе выполнено определение действительных коэффициентов смертности (φZ) маркированных тихоокеанских лососей, показывающих вероятность гибели рыб в течение определенного промежутка времени и численно равных доле рыб, погибших за определенный период, по отношению к начальной численности [Шибанов, 2007; Милованов, 2019]. Формула для расчета имеет следующий вид:

$$\varphi Z = 1 - N_{t+1}/N_t$$

где N_t — начальная численность рыб (численность выпуска маркированной молоди тихоокеанских лососей с ЛРЗ); N_{t+1} — численность рыб через определенный период времени (численность маркированной молоди тихоокеанских лососей по данным учетных траловых съемок).

Результаты и их обсуждение

Статистика общего выпуска молоди тихоокеанских лососей с ЛРЗ России и Японии

По среднемноголетним данным 2011–2021 гг. объемы выпуска тихоокеанских лососей с ЛРЗ основных стран их воспроизводства в Азиатско-Тихоокеанском регионе составили в России (млн экз.): горбуша — 281,8 (198,0–364,5), кета — 721,5 (437,8–1050,9); в Японии (млн экз.): горбуша — 122,9 (101,6–147,6), кета — 1593,4 (1199,2–1780,6); Россия + Япония (млн экз.): горбуша — 404,8 (321,4–487,4), кета — 2314,8 (1750,1–2636,9) (рис. 2, 3). Из общих выпусков доли маркированных рыб с отолитными (термическими/сухими) метками соответствовали в России: горбуша — 47 (18–66) %, кета — 40 (20–57) %; в Японии: горбуша — 50 (17–100) %, кета — 15 (12–18) %; Россия + Япония: горбуша — 48 (21–78) %, кета — 23 (17–26) %.

Представленная статистика объемов выпусков заводских тихоокеанских лососей в России и Японии указывает на достаточно высокий уровень искусственного воспроизводства данных видов водных биологических ресурсов в бассейне Северной Пацифики (ежегодно выпускается порядка 5 млрд экз. молоди). В рассматриваемый период суммарная доля выпуска горбуши и кеты на ЛРЗ России и Японии превышала 50 % от мирового выпуска лососей в рамках пастбищной аквакультуры.

Тем не менее общая доля маркированных рыб на ЛРЗ России и Японии остается относительно невысокой. Выпуск меченой горбуши стабилизировался на уровне порядка 50 %, а кеты — порядка 20 %. Это создает определенные проблемы для полноценной идентификации заводских стад этих видов в формируемых нагульных скоплениях в морской/океанический период жизни. Однако даже имеющийся уровень маркирования позволяет оценить основные закономерности распределения и пути нагульных миграций заводских лососей в дальневосточных морях и прилегающих тихоокеанских водах.

Рис. 2. Динамика выпуска молоди тихоокеанских лососей с рыбоводных заводов Дальнего Востока России в 2011–2021 гг.

Fig. 2. Dynamics of the juveniles release of pacific salmon from fish hatcheries in the Russian Far East in 2011–2021

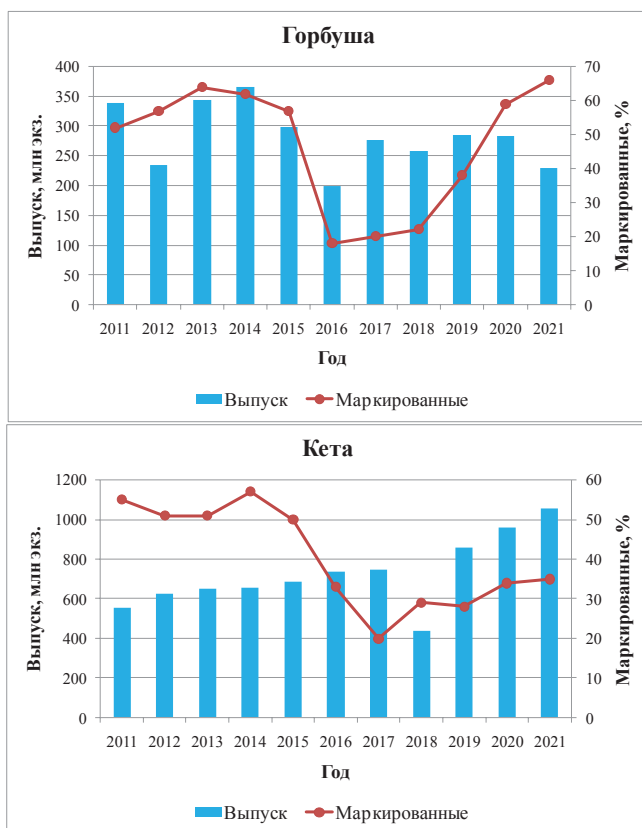
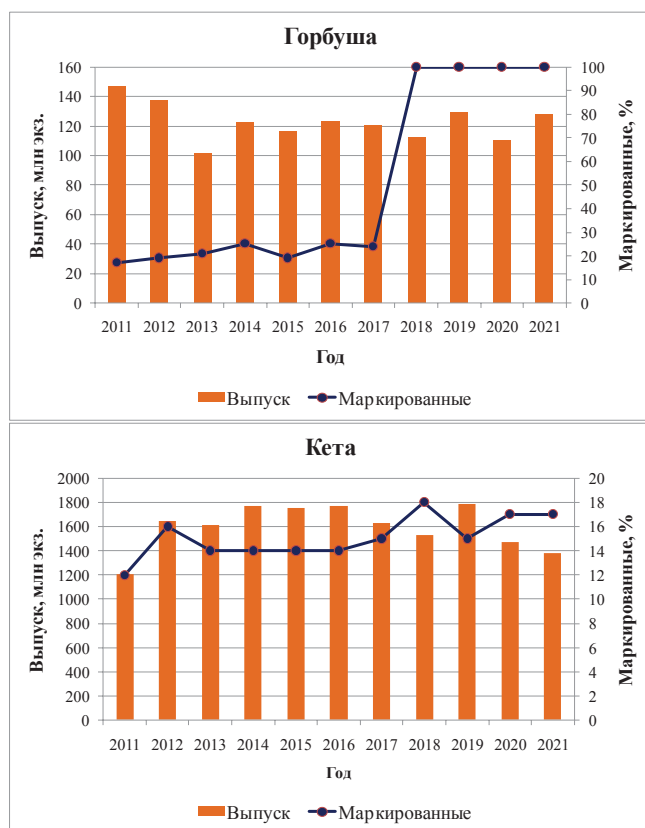


Рис. 3. Динамика выпуска молоди тихоокеанских лососей с рыбоводных заводов Японии в 2011–2021 гг.

Fig. 3. Dynamics of the juveniles release of pacific salmon from fish hatcheries in Japan in 2011–2021



Региональная идентификация молоди заводских тихоокеанских лососей

Результаты региональной идентификации заводских тихоокеанских лососей в нагульных скоплениях молоди в бассейне Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана в период осенне-зимних миграций 2011–2021 гг. представлены в табл. 2–4.

Таблица 2

Результаты идентификации маркированных заводских тихоокеанских лососей России и Японии по данным учетных траловых съемок в бассейне Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана в 2011–2021 гг.

Table 2

Results of identification of pacific salmon marked at the Russian and Japanese hatcheries on the samples collected in trawl surveys in the basin of Okhotsk Sea and adjacent Pacific in 2011–2021

Год	Горбуша						Кета					
	Объем выборки		Россия		Япония		Объем выборки		Россия		Япония	
	Экз.	%	Экз.	%	Экз.	%	Экз.	%	Экз.	%	Экз.	%
Охотское море												
2011	30	100	30	100	0	0	42	100	12	29	30	71
2012	16	100	12	75	4	25	213	100	44	21	169	79
2013	20	100	18	90	2	10	23	100	7	30	16	70
2014	14	100	12	86	2	14	61	100	16	26	45	74
2015	15	100	12	80	3	20	38	100	14	37	24	63
2016	15	100	12	80	3	20	50	100	29	58	21	42
2017	45	100	32	71	13	29	77	100	34	44	43	56
2018	46	100	26	57	20	43	48	100	16	33	32	67
2019	75	100	35	47	40	53	134	100	58	43	76	57
2020	250	100	158	63	92	37	205	100	111	54	94	46
2021	180	100	135	75	45	25	347	100	216	62	131	38
Охотское море + Тихий океан												
2021	88	100	79	90	9	10	40	100	35	88	5	12

Таблица 3

Результаты региональной идентификации маркированной заводской горбуши Дальнего Востока России по данным учетных траловых съемок в бассейне Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана в 2011–2021 гг.

Table 3

Results of regional identification of pink salmon marked in the Russian Far East on the samples collected in trawl surveys in the basin of Okhotsk Sea and adjacent Pacific in 2011–2021

Год	Объем выборки		Курильские острова		Сахалин		МПОМ (Магадан)	
	Экз.	%	Экз.	%	Экз.	%	Экз.	%
Охотское море								
2011	30	100	21	70	9	30	0	0
2012	12	100	9	75	3	25	0	0
2013	18	100	9	50	8	44	1	6
2014	12	100	9	75	3	25	0	0
2015	12	100	0	0	8	67	4	33
2016	12	100	0	0	11	92	1	8
2017	32	100	0	0	23	72	9	28
2018	26	100	0	0	17	65	9	35
2019	35	100	0	0	32	91	3	9
2020	158	100	62	39	46	29	50	32
2021	135	100	62	46	61	45	12	9
Охотское море + Тихий океан								
2021	79	100	55	70	19	24	5	6

Таблица 4

Результаты региональной идентификации маркированной заводской кеты
Дальнего Востока России по данным учетных траловых съемок в бассейне Охотского моря
и прилегающих водах Тихого океана в 2011–2021 гг.

Table 4

Results of regional identification of chum salmon marked in the Russian Far East on the samples
collected in trawl surveys in the basin of Okhotsk Sea and adjacent Pacific in 2011–2021

Год	Объем выборки		Курильские острова		Сахалин		МПОМ (Магадан)		Бассейн р. Амур		Западная Камчатка	
	Экз.	%	Экз.	%	Экз.	%	Экз.	%	Экз.	%	Экз.	%
Охотское море												
2011	12	100	2	17	7	58	1	8	2	17	0	0
2012	44	100	15	34	24	55	1	2	0	0	4	9
2013	7	100	1	14	5	72	0	0	0	0	1	14
2014	16	100	8	50	7	44	1	6	0	0	0	0
2015	14	100	0	0	14	100	0	0	0	0	0	0
2016	29	100	0	0	22	76	2	7	2	7	3	10
2017	34	100	0	0	25	73	6	18	1	3	2	6
2018	16	100	5	31	8	50	2	13	0	0	1	6
2019	58	100	5	9	40	69	6	10	0	0	7	12
2020	111	100	49	44	53	47	5	5	2	2	2	2
2021	216	100	128	59	59	28	17	8	9	4	3	1
Охотское море + Тихий океан												
2021	35	100	22	63	8	23	2	6	3	8	0	0

При анализе полученной информации следует учитывать, что основной массив данных был получен в рамках учетных траловых съемок ТИНРО в бассейне Охотского моря в период откочевки молоди тихоокеанских лососей из прибрежных зон в открытые морские воды. Эти исследования проводятся в режиме ежегодного мониторинга с целью получения оценок численности откочевывающей молоди для подготовки прогнозов возвратов производителей лососей в основные охотоморские центры воспроизводства. Информация о зимних миграциях молоди горбуши и кеты в прикурильских водах Охотского моря и Тихого океана была получена только по материалам одной учетной съемки ТИНРО, выполненной в 2021 г. Поэтому главный акцент в анализе полученных данных направлен на изучение заводской молоди во время осенних миграций в охотоморском бассейне.

Исходя из полученной информации среднесезонная доля российской маркированной горбуши заводского происхождения в бассейне Охотского моря в осенний период составляла около 75 %. При этом минимальный показатель ее встречаемости в траловых уловах не опускался ниже 47 %, а максимальный достигал 100 %. Соответственно, среднесезонная доля японской горбуши составила 25 % (0–53 %). Полагаем, что критические показатели долей горбуши России и Японии (0 или 100 %) вызваны погрешностью метода в силу малого объема выборок маркированных рыб из траловых уловов. Из части выборок российского происхождения в среднем преобладали особи горбуши, выпущенные с ЛРЗ Сахалина (~ 30 %) и Курильских островов (~ 55 %). Горбуша с ЛРЗ североохотоморского побережья встречалась в уловах на минимальном уровне, достигая по среднесезонным данным около 15 %.

Ситуация с маркированной молодью кеты обратная. В выборках, как правило, доминировали особи японского происхождения — 60 %. Минимальный уровень их встречаемости в уловах составлял 38 %, а максимальный — 79 %. На долю российской кеты, соответственно, приходилось 40 % с минимумом — 21 % и максимумом — 62 %. В части выборки кеты российского происхождения преобладали особи с ЛРЗ Сахалина и Курильских островов — соответственно ~ 60 и 25 %. Суммарная доля молоди кеты,

воспроизводящейся на ЛРЗ западной Камчатки, североохотоморского побережья и бассейна р. Амур, составляла около 15 %.

В прикурильских водах Охотского моря и Тихого океана в декабре 2021 г. доминировала молодь горбуши и кеты, маркированная на ЛРЗ России, — соответственно 90 и 88 %. В данном случае подчеркнем, что еще рано делать определенные выводы о региональном составе заводской молоди тихоокеанских лососей, мигрирующих из Охотского моря на нагул в воды Тихого океана, так как отсутствует системный ряд наблюдений.

Следует обратить внимание на то, что в целом полученные результаты идентификации происхождения заводской молоди тихоокеанских лососей объективно отражают ситуацию с распределением региональных группировок горбуши в бассейне Охотского моря. Полагаем, это напрямую связано с достаточно высоким и сходным уровнем маркирования этого вида на ЛРЗ России и Японии. В обеих странах метят порядка 50 % выпускаемой горбуши. С кетой ситуация менее однозначна, так как уровень ее маркирования на российских ЛРЗ почти в 3 раза выше, чем на японских, — соответственно 40 и 15 %. При этом объем фактического выпуска вида с ЛРЗ Японии, наоборот, практически в 2 раза выше. Поэтому реальная доля заводской кеты японского происхождения в бассейне Охотского моря должна значительно превосходить таковую, определенную для рыб российского производства.

Тем не менее полученные результаты показали, что региональный состав нагульных скоплений молоди горбуши и кеты в бассейне Охотского моря в осенний период соответствует вкладу России и Японии в искусственное воспроизводство обоих видов. Например, соотношение среднесезонных показателей долевого вклада горбуши российского происхождения в траловых уловах и объемов выпусков с ЛРЗ в среднем составляло соответственно 75 и 70 %. Аналогичные показатели для кеты японского происхождения составили: результаты идентификации — 60 %, объемы выпуска с ЛРЗ — 70 %. Из представленных данных понятно, что в целом внутривидовая структура заводских тихоокеанских лососей на уровне отдельных стран сохраняется и в нагульных скоплениях в бассейне Охотского моря. Однако для кеты расхождение долей на уровне «оценка в море/выпуск с ЛРЗ» выше, чем для горбуши. Вероятно, это напрямую связано с более низким процентом маркирования японской кеты.

Распределение и миграции молоди заводских тихоокеанских лососей

В предыдущих исследованиях при анализе распределения и путей миграций заводской молоди горбуши и кеты в бассейне Охотского моря мы неоднократно указывали на зависимость этих процессов от системы циркуляции поверхностных течений внутри моря [Чистякова, Бугаев, 2013; Бугаев и др., 2020]. Ранее аналогичные данные были получены и в результате генетической идентификации регионального состава и анализа распределения молоди охотоморской горбуши в период осенних нагульных миграций [Ерохин, 2002; Варнавская, 2006]. Подчеркнем, что в нашем случае это было подтверждено эмпирическими данными, так как зафиксированы факты массовой поимки маркированной горбуши и кеты «южного» происхождения (Курильские острова, о. Сахалин, бассейн р. Амур, о-ва Хоккайдо и Хонсю) в северной части Охотского моря (до 56–57° с.ш.). Следовательно, факт миграции молоди в северном направлении и последующее завершение цикла путем обратной миграции не вызывают сомнений.

Данная схема миграций молоди тихоокеанских лососей согласуется с характерными чертами системы неперiodических течений Охотского моря, которые формируются под влиянием ветров и притока вод через Курильские проливы [Чернявский и др., 1996; Бондаренко, Рудых, 2003]. Причем основная из них — циклоническая система течений, охватывающая почти все море. Она обусловлена преобладанием циклонической циркуляции атмосферы над всем Охотским морем и прилегающей частью Тихого океана. Данная схема перемещения водных масс приводит к тому, что значительный поток мигрирующей молоди тихоокеанских лососей смещается из южной части Охотского

моря в северо-восточном направлении. Далее происходит циклическая миграция на запад, юго-запад и юг. После чего основная масса молоди горбуши и кеты через южные Курильские проливы выходит на зимний нагул в воды северо-западной части Тихого океана. Полагаем, что аналогичная закономерность наблюдается и у диких популяций тихоокеанских лососей охотоморского бассейна.

Однако в настоящее время неизвестны масштабы данной циклической миграции молоди тихоокеанских лососей для всех региональных группировок стад. По сути речь идет о том, насколько высоко и в каком количестве проникают рыбы «южного» происхождения в северную часть Охотского моря, а также о межгодовой изменчивости их миграционной активности. Наиболее очевидно, что это в значительной степени зависит от фактической численности региональных группировок молоди. Фактор численности практически всегда определяет характер распространения и распределения гидробионтов в той или иной части их ареала.

Анализ среднесезонного распределения заводской молоди горбуши и кеты во время осенних нагульных миграций в бассейне Охотского моря по данным 2011–2021 гг. показал, что для обоих видов имеется общая закономерность, отражающая цикличность миграционных процессов (рис. 4, 5). Для удобства восприятия полученных данных бассейн Охотского моря нами условно был разделен на 4 района — северо-запад (1),

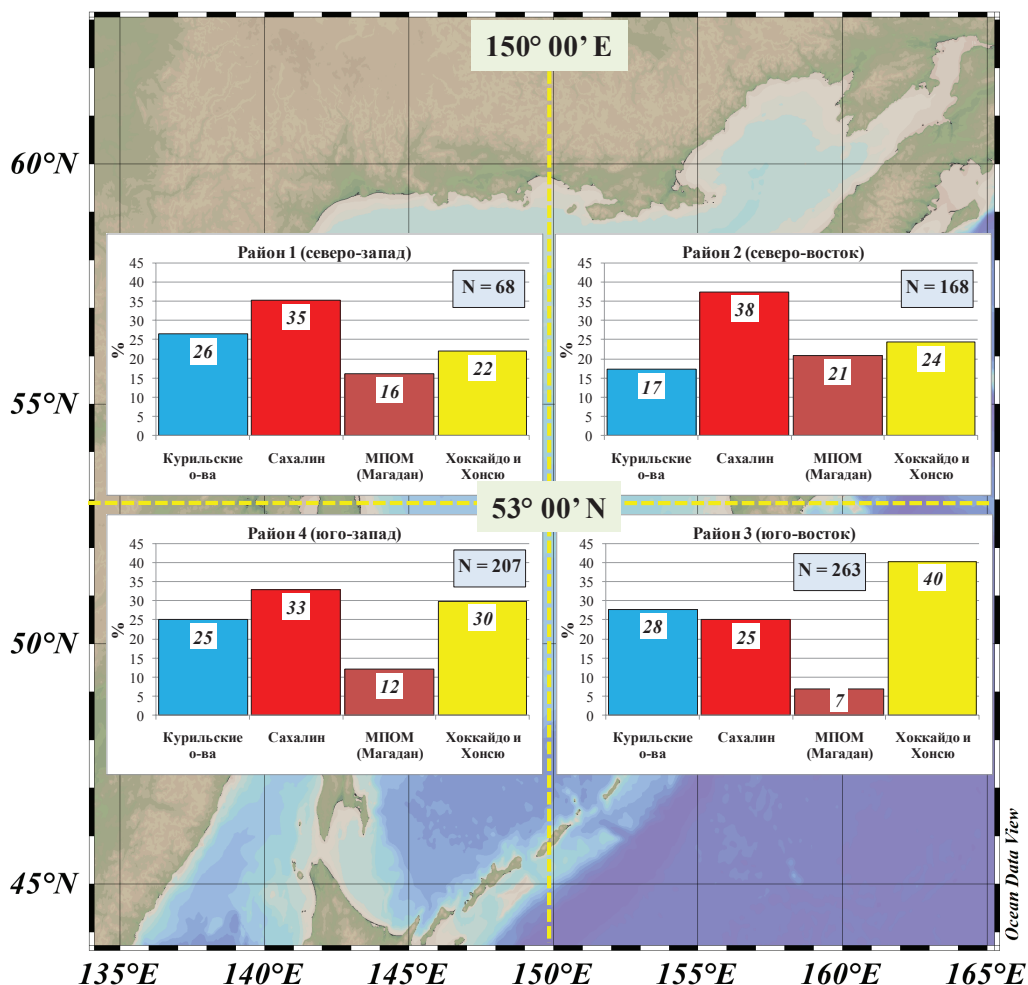


Рис. 4. Среднесезонное распределение молоди горбуши заводского происхождения из различных регионов бассейна Охотского моря по данным 2011–2021 гг.

Fig. 4. Mean distribution of hatchery pink salmon juveniles originated from different regions of the Okhotsk Sea basin according to data for 2011–2021

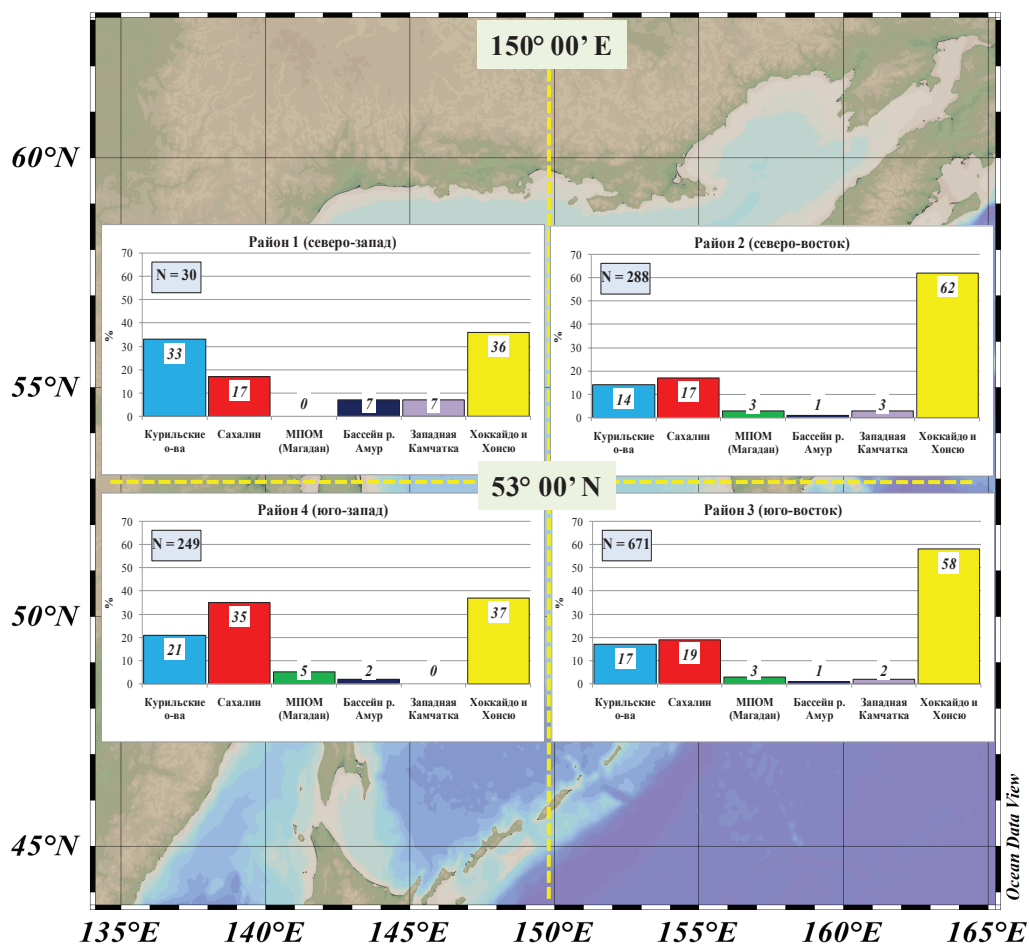


Рис. 5. Среднегодовое распределение молоди кеты заводского происхождения из различных регионов бассейна Охотского моря по данным 2011–2021 гг.

Fig. 5. Mean distribution of hatchery chum salmon juveniles originated from different regions of the Okhotsk Sea basin according to data for 2011–2021

северо-восток (2), юго-восток (3) и юго-запад (4). Разделительной границей по широте был принят 53° с.ш., а по долготе — 150° в.д.

Из представленных данных видно, что маркированная молодь горбуши, воспроизводящаяся на ЛРЗ Сахалино-Курильского региона, в северных районах Охотского моря (1 и 2) в сумме составляла соответственно 61 и 55 %. Доли японской горбуши были заметно ниже, но также достаточно значимы: район 1 — 22 % и район 2 — 24 %. Доля рыб из рек североохотоморского побережья (МПОМ (Магадан)) в районе 2 (21 %) несколько превосходила таковую в районе 1 (16 %). Это указывает на то, что значительная часть заводской молоди горбуши из этого региона мигрирует на юг и юго-запад через район 2. Данная закономерность вполне объяснима локализацией североохотоморских базовых рек ЛРЗ (Армань, Яна и Ола), устья которых расположены восточнее 150° в.д.

Южнее 50° с.ш. в районах 4 и 3 среднегодовое значение доли маркированной горбуши Сахалино-Курильского региона составила соответственно 58 и 53 %. При этом встречаемость японской заводской горбуши была заметно выше: район 4 — 30 % и район 3 — 40 %. Рыбы североохотоморского побережья присутствовали минимально: район 4 — 12 % и район 3 — 7 %.

Принимая во внимание, что уровень маркирования горбуши, выпускаемой с ЛРЗ России и Японии, достаточно высок (~ 50 %), представленная картина распределения

достаточно адекватно отражает процесс нагульных миграций вида в осенний период в бассейне Охотского моря. Исходя из данной информации, можно заключить, что учетные траловые съемки ТИНРО проводятся в оптимальные сроки (октябрь–ноябрь), фиксируя численность молоди горбуши на стадии циклической миграции до выхода в тихоокеанские воды. Причем на данный момент часть южноохотоморского комплекса стад локализована севернее 53° с.ш. Таким образом, по сути, выполняется тотальный учет численности всей охотоморской горбуши российского происхождения. К сожалению, мы не имеем информации о миграциях заводской молоди горбуши западной Камчатки. Тем не менее имеющиеся результаты генетических исследований диких популяций этого комплекса стад также указывают на схожий циклический характер миграций рыб западнокамчатского происхождения при откочевке от побережья в открытые воды Охотского моря [Варнавская, 2006].

Данные по идентификации маркированной молоди кеты во время нагульных миграций в бассейне Охотского моря в осенний период показали практически тождественную картину распределения рыб различного регионального происхождения в акватории полигона исследований. Суммарные доли кеты Сахалино-Курильского региона в северной части моря в районах 1 и 2 составили соответственно 50 и 31 %. При этом в районе 1 была зафиксирована максимальная встречаемость молоди с ЛРЗ бассейна р. Амур — 7 %, что свидетельствует о миграции рыб из этого региона в северном направлении через Амурский лиман с выходом в открытое море. Кроме того, следует отметить повышенную долю кеты западной Камчатки в этом же районе — 7 %. Это указывает на откочевку молоди от побережья Камчатки в западном направлении с пересечением 150° в.д. Доля кеты японского происхождения достигала максимального показателя в районе 2 — 62 %. В районе 1 ее присутствие было заметно ниже — 36 %.

Южнее, в районах 3 и 4, доли кеты Сахалино-Курильского региона также были высоки, составляя соответственно 36 и 56 %. Молодь японского происхождения встречалась в траловых уловах на уровне 58 % (район 3) и 37 % (район 4). Суммарная доля кеты из рек западной Камчатки и материкового побережья, а также бассейна р. Амур в обоих районах не превышала 10 %.

Общее среднесезонное соотношение регионального состава маркированной молоди тихоокеанских лососей в бассейне Охотского моря в осенний период по данным 2011–2021 гг. представлено на рис. 6. Исходя из полученных данных, в траловых уловах горбуши доминировали рыбы, выпущенные с ЛРЗ Японии и Сахалина, — соответственно 32 и 31 %. Молодь, воспроизводящаяся на ЛРЗ Курильских островов, составляла 24 %. Горбуша с ЛРЗ североохотоморского побережья в траловых уловах встречалась на минимальном уровне — 13 %. У кеты в траловых уловах абсолютно доминировала молодь, выпущенная с ЛРЗ Японии, — 55 %. Доли кеты с ЛРЗ Сахалина и Курильских островов составляли 21 и 17 %. Суммарная доля рыб западной Камчатки, североохотоморского побережья и бассейна р. Амур была ниже 10 %. Еще раз подчеркнем, что данные по кете менее показательны, чем по горбуше, так как уровень маркирования первой на ЛРЗ России и Японии составляет всего соответственно около 40 и 15 %.

В рамках настоящей работы мы не рассматриваем закономерности распределения заводской молоди горбуши и кеты во время нагульных миграций в бассейне Охотского моря в осенний период. Ранее по данной теме были выполнены исследования, которые показали, что наиболее массовые уловы обоих видов приходятся на температурный диапазон поверхностного слоя воды в пределах 7–9 °С [Шевляков, Чистякова, 2017; Бугаев и др., 2020]. Это характерно не только для заводской, но и для дикой молоди тихоокеанских лососей. В северной (температура воды более низкая) и южной (температура воды более высокая) частях полигона исследований уловы молоди заметно ниже. Поэтому можно отметить, что указанный диапазон температуры поверхностного слоя воды в бассейне Охотского моря во время осенних нагульных миграций молоди лососей является наиболее благоприятным для ее обитания.

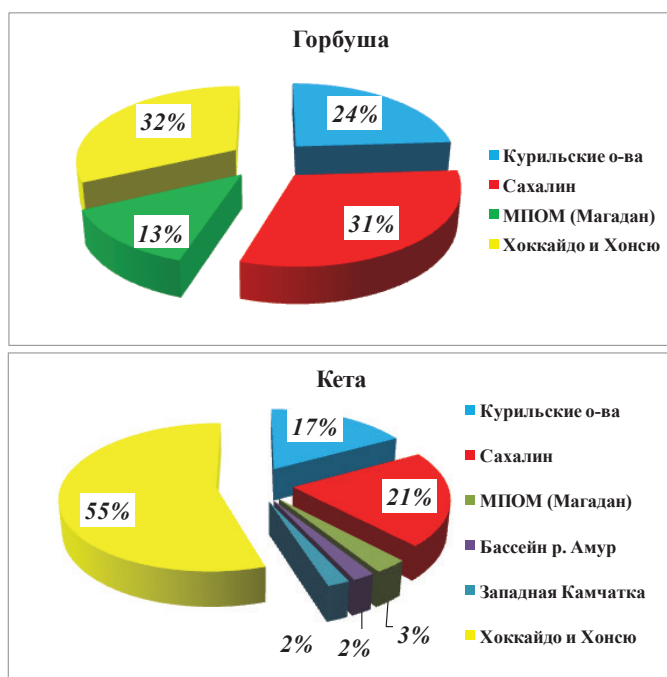


Рис. 6. Общее среднеемноголетнее соотношение регионального состава маркированной молоди тихоокеанских лососей в бассейне Охотского моря по данным 2011–2021 гг.

Fig. 6. Generalized regional composition of marked pacific salmon juveniles in the Okhotsk Sea basin according to data for 2011–2021

В качестве наглядного материала, отражающего характер миграций заводской молоди тихоокеанских лососей, выпущенной с ЛРЗ различных регионов Дальнего Востока России и Японии, представляем карты-схемы распределения уловов сеголеток горбуши и кеты в бассейне Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана по данным учетных траловых съемок ТИНРО в осенне-зимний период 2021 г. (рис. 7–11). Отметим, что в данный год было обнаружено максимальное количество маркированных рыб, зафиксированное за весь период наблюдений 2011–2021 гг. Данное обстоятельство напрямую связано с повышением уровня маркирования лососей на ЛРЗ России и Японии в последние годы. Кроме того, в 2021 г. впервые была выполнена идентификация заводских лососей обоих видов в зимний период во время выхода молоди из Охотского моря в воды Тихого океана. В данном случае нет необходимости подробного анализа миграционной активности горбуши и кеты в этот год, так как характер распределения молоди полностью согласуется с представленными выше многолетними региональными закономерностями нагульных миграций обоих видов.

Биологические показатели молоди заводских тихоокеанских лососей

При выполнении практических задач по промысловому прогнозированию численности возвратов тихоокеанских лососей охотоморского бассейна, особенно наиболее массового вида — горбуши, возникает необходимость оперативной дифференциации молоди в смешанных нагульных скоплениях по ее региональной принадлежности. Это дает возможность спрогнозировать мощность подходов производителей в тот или иной регион воспроизводства вида. В современный период подобную дифференциацию в основном проводят с использованием генетических методов. Тем не менее первичные оценки внутривидового состава скоплений выполняют и с применением биостатистических признаков: соотношение полов, гонадосоматический индекс и размерно-массовые показатели [Шевляков и др., 2020]. У половозрелых особей горбуши,

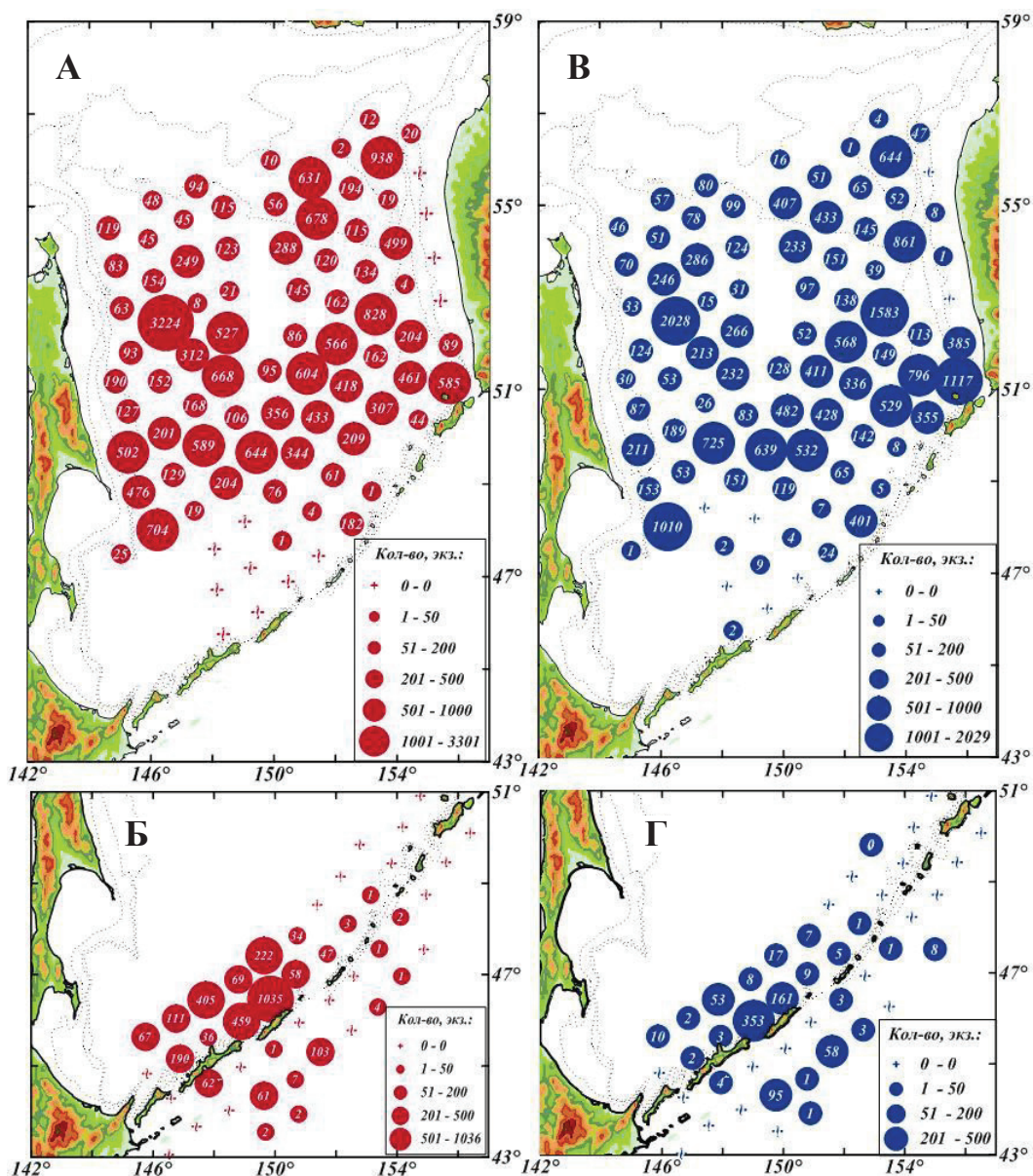


Рис. 7. Распределение уловов сеголеток горбуши (А, Б) и кеты (В, Г) по данным учетных траловых съемок ТИНРО в 2021 г. (цифры в кружках — экз./час траления): А, В — бассейн Охотского моря (октябрь); Б, Г — прикурильские воды Охотского моря и Тихого океана (декабрь)

Fig. 7. Catches of pink salmon (А, Б) and chum salmon (В, Г) juveniles in TINRO trawl surveys in 2021 (number of fish per hour of trawling is shown in the circles): А, В — Okhotsk Sea (October); Б, Г — the waters adjacent to Kuril Islands (December)

как правило, первые два признака являются определяющими, а у молоди, наоборот, наиболее показательны длина и масса тела.

Учитывая имеющиеся фактические данные о размерно-массовых показателях заводской молоди горбуши и кеты во время осеннего нагула в бассейне Охотского моря, предлагаем сравнительную информацию по этим критериям на уровне регионов воспроизводства. Данные представлены в виде диаграмм размаха среднемноголетних показателей длины и массы тела маркированных рыб, выпущенных с ЛРЗ России и Японии в 2011–2021 гг. (рис. 12, 13).

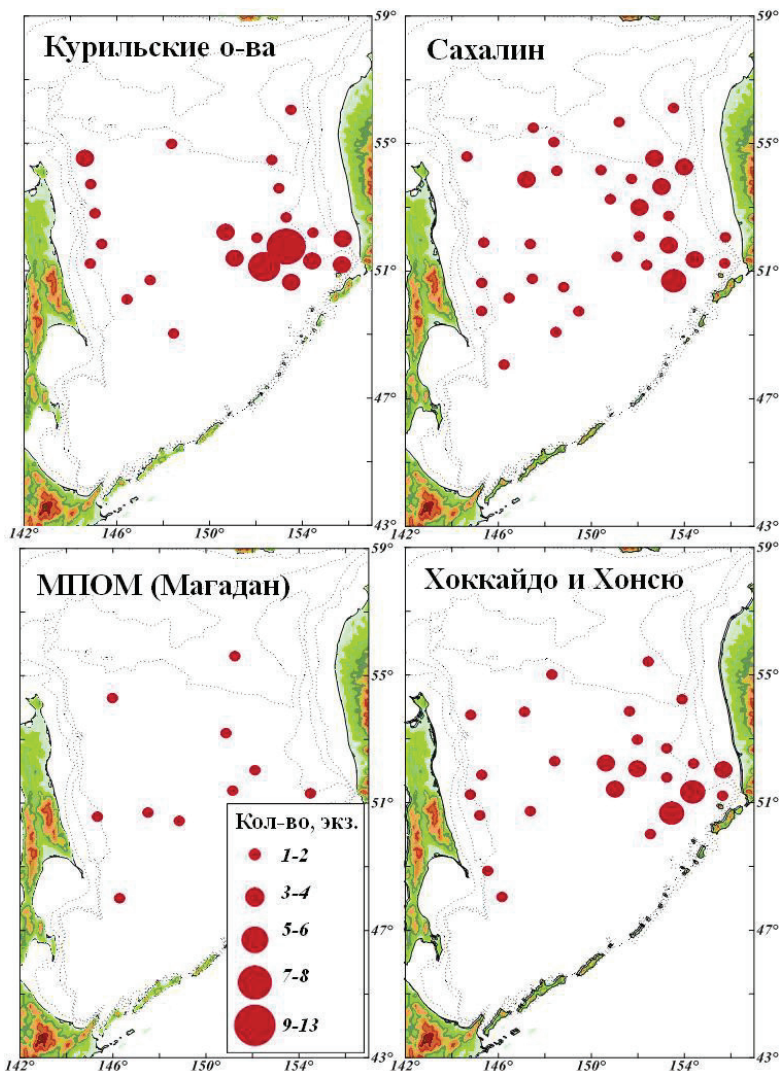


Рис. 8. Распределение маркированной на ЛРЗ России и Японии молоди горбуши в бассейне Охотского моря в октябре 2021 г.

Fig. 8. Distribution of pink salmon juveniles marked at the Russian and Japanese hatcheries in the Okhotsk Sea basin in October 2021

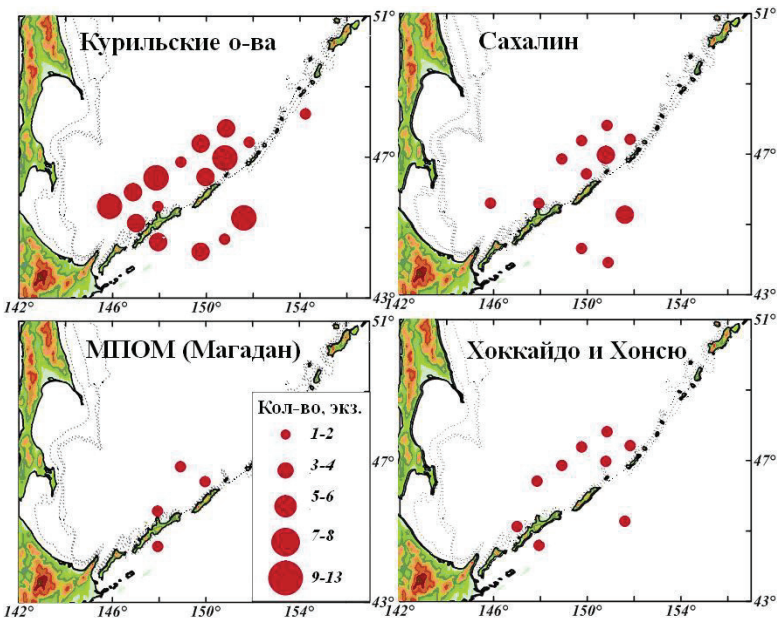


Рис. 9. Распределение маркированной на ЛРЗ России и Японии молоди горбуши в прикурильских водах Охотского моря и Тихого океана в декабре 2021 г.

Fig. 9. Distribution of pink salmon juveniles marked at the Russian and Japanese hatcheries in the waters adjacent to Kuril Islands in December 2021

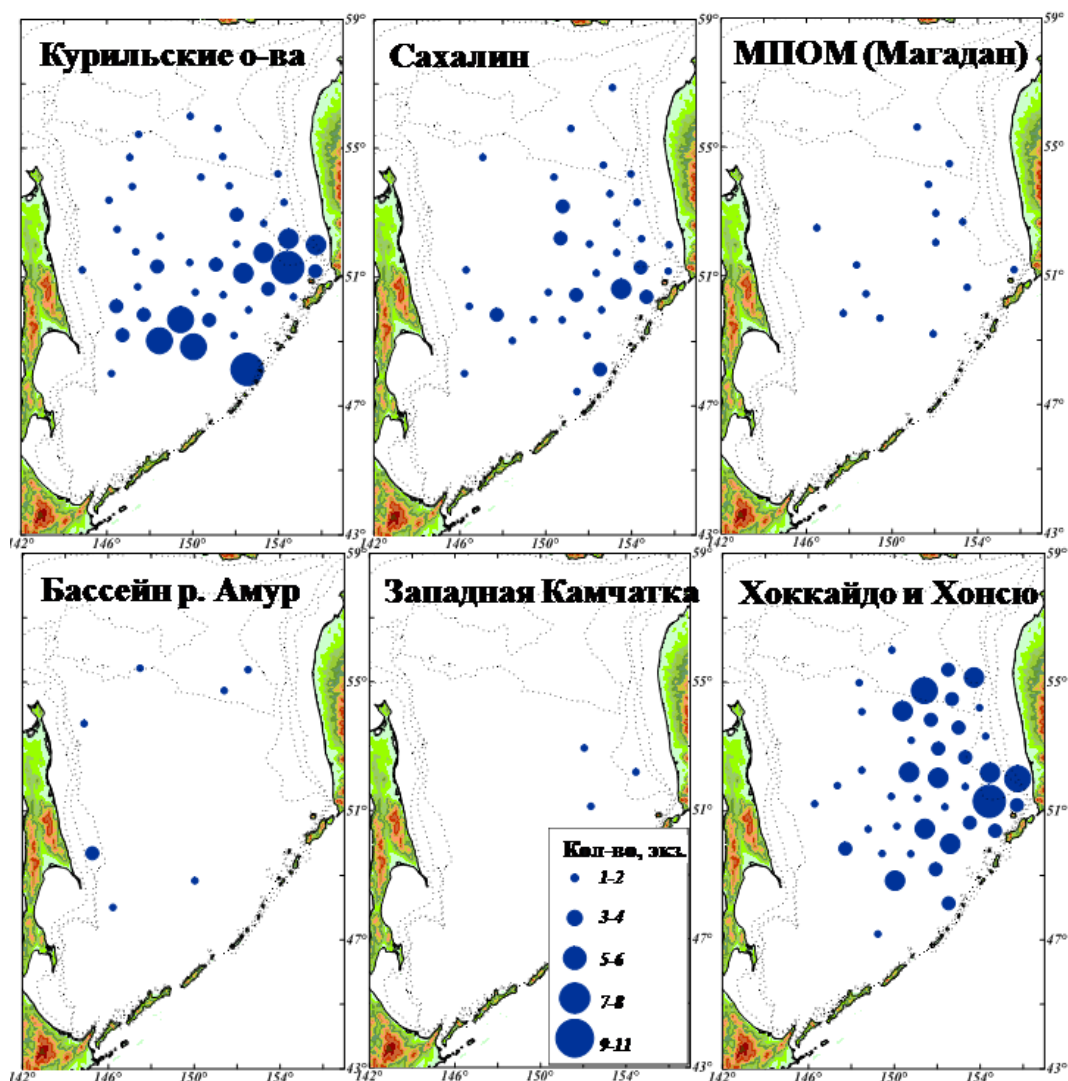


Рис. 10. Распределение маркированной на ЛРЗ России и Японии молоди кеты в бассейне Охотского моря в октябре 2021 г.

Fig. 10. Distribution of chum salmon juveniles marked at the Russian and Japanese hatcheries in the Okhotsk Sea basin in October 2021

Исходя из полученных оценок у молоди горбуши минимальные показатели длины/массы тела были зафиксированы у российских южноохотоморских заводских стад: Курильские острова — 239 мм (158–310 мм)/145 г (29–322 г) и Сахалин — 243 мм (191–305 мм)/157 г (69–346 г). Рыбы, воспроизводящиеся на ЛРЗ североохотоморского побережья, имели длину тела на уровне 249 мм (196–304 мм), а массу — 166 г (64–345 г). Японская молодь горбуши была наиболее крупной — 263 мм (183–347 мм) и 201 г (51–468 г).

Из представленных данных видно, что средние размерно-массовые показатели указанных региональных группировок заводских стад горбуши в период нагульных осенних миграций в бассейне Охотского моря 2011–2021 гг. достаточно четко дифференцируются по региональному признаку. Это вполне объяснимо периодикой нагула во время посткатадромных миграций. Как правило, рыбы, пойманные дальше от района воспроизводства, являются более крупными, чем те, которые пойманы в относительной близости от него. Кроме того, для дальневосточных лососей разница размерно-массо-

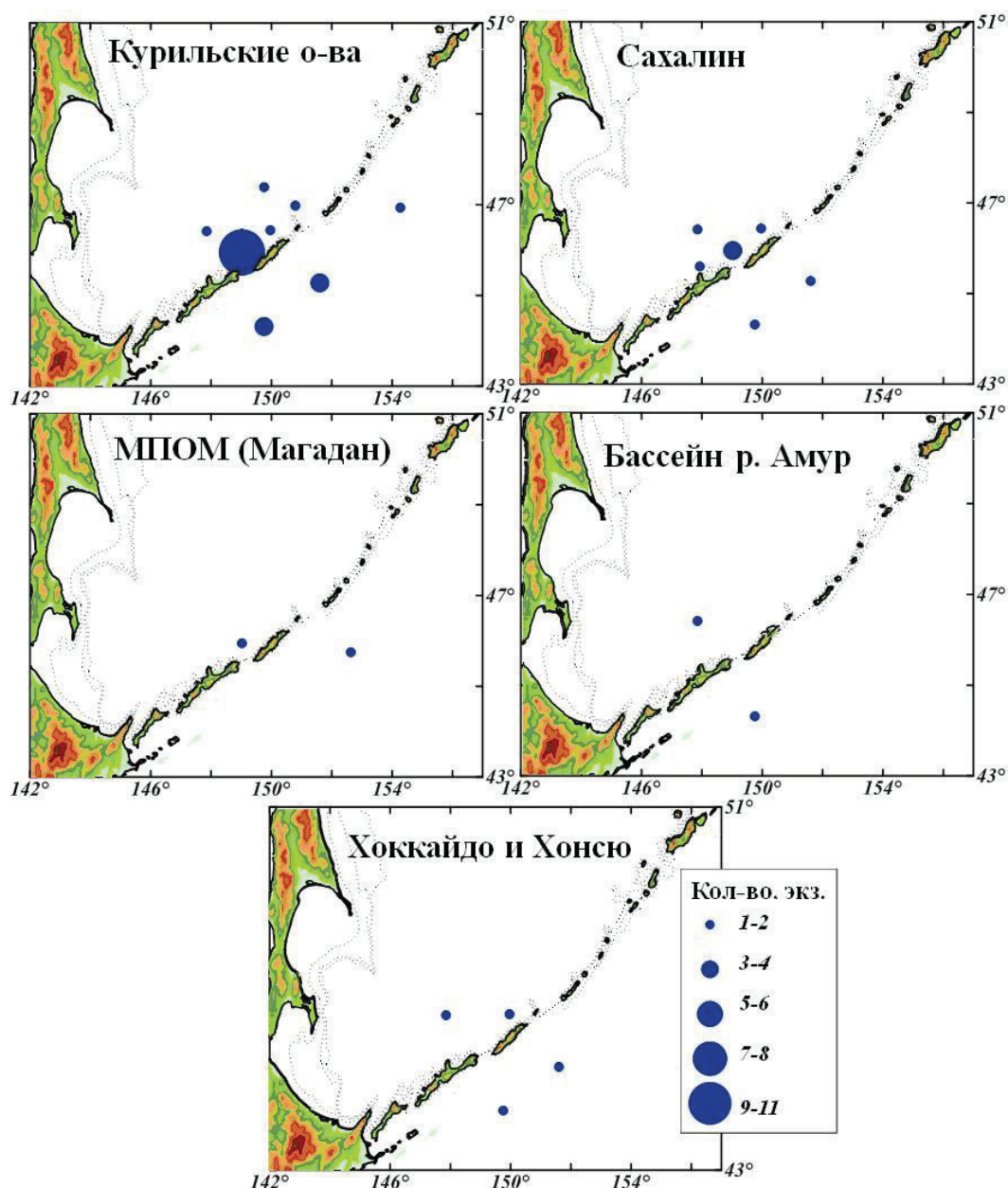


Рис. 11. Распределение маркированной на ЛРЗ России и Японии молоди кеты в прикурильских водах Охотского моря и Тихого океана в декабре 2021 г.

Fig. 11. Distribution of chum salmon juveniles marked at the Russian and Japanese hatcheries in the waters adjacent to Kuril Islands in December 2021

вых показателей прослеживается и на уровне различий между «северным» и «южным» комплексами стад. Относительно горбуши японского происхождения необходимо отметить, что ее выпуск с ЛРЗ осуществляется более высокой навеской (~ 1–2 г), чем с ЛРЗ Дальнего Востока России (до 1 г). Это также может служить фактором более высоких размерно-массовых показателей молоди, выпущенной с ЛРЗ Хоккайдо и Хонсю.

У заводской молоди кеты более разнообразный размерно-массовый состав, так как искусственное воспроизводство вида осуществляется не в 4, а в 6 регионах охотоморского бассейна. Региональные среднеголетние показатели длины/массы тела

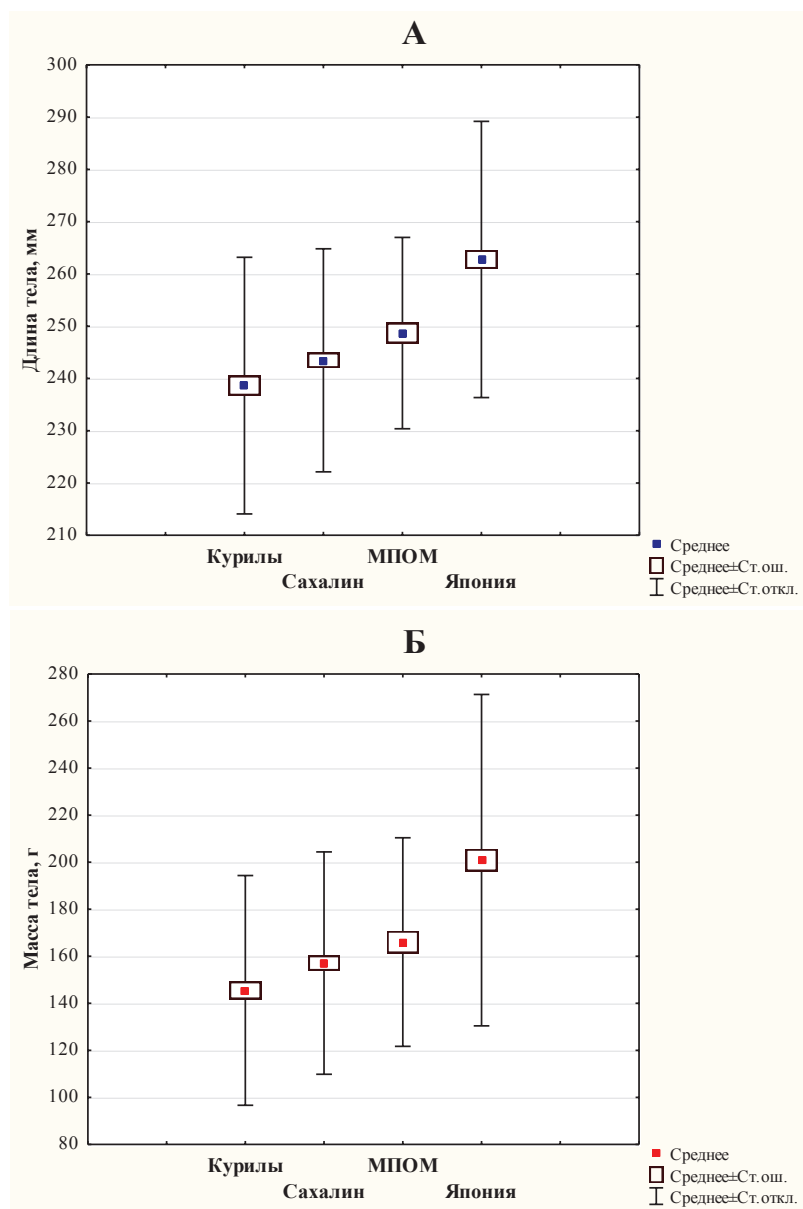


Рис. 12. Диаграммы размаха среднесноголетних показателей длины (А) и массы (Б) тела маркированной молоди горбуши различного регионального происхождения в период осенних нагульных миграций в бассейне Охотского моря по данным 2011–2021 гг.

Fig. 12. Mean long-term ranges of body length (А) and weight (Б) for marked pink salmon juveniles originated from different regions during their autumn feeding migrations in the Okhotsk Sea according to data for 2011–2021

вида выглядели следующим образом: Курильские острова — 222 мм (144–307 мм)/125 г (31–384 г), Сахалин — 228 мм (166–333 мм)/136 г (45–423 г), североохотоморское побережье — 231 мм (192–302 мм)/142 г (68–312 г), бассейн р. Амур — 235 мм (201–265 мм)/152 г (84–232 г), западная Камчатка — 228 мм (188–305 мм)/136 г (60–302 г), Япония (Хоккайдо и Хонсю) — 253 мм (161–384 мм)/186 г (46–680 г).

Несмотря на большее количество регионов, где осуществляется выпуск заводской кеты, средние значения размерно-массовых показателей молоди также подчинялись сходной закономерности их градации, как и у горбуши. Минимальные длина и масса

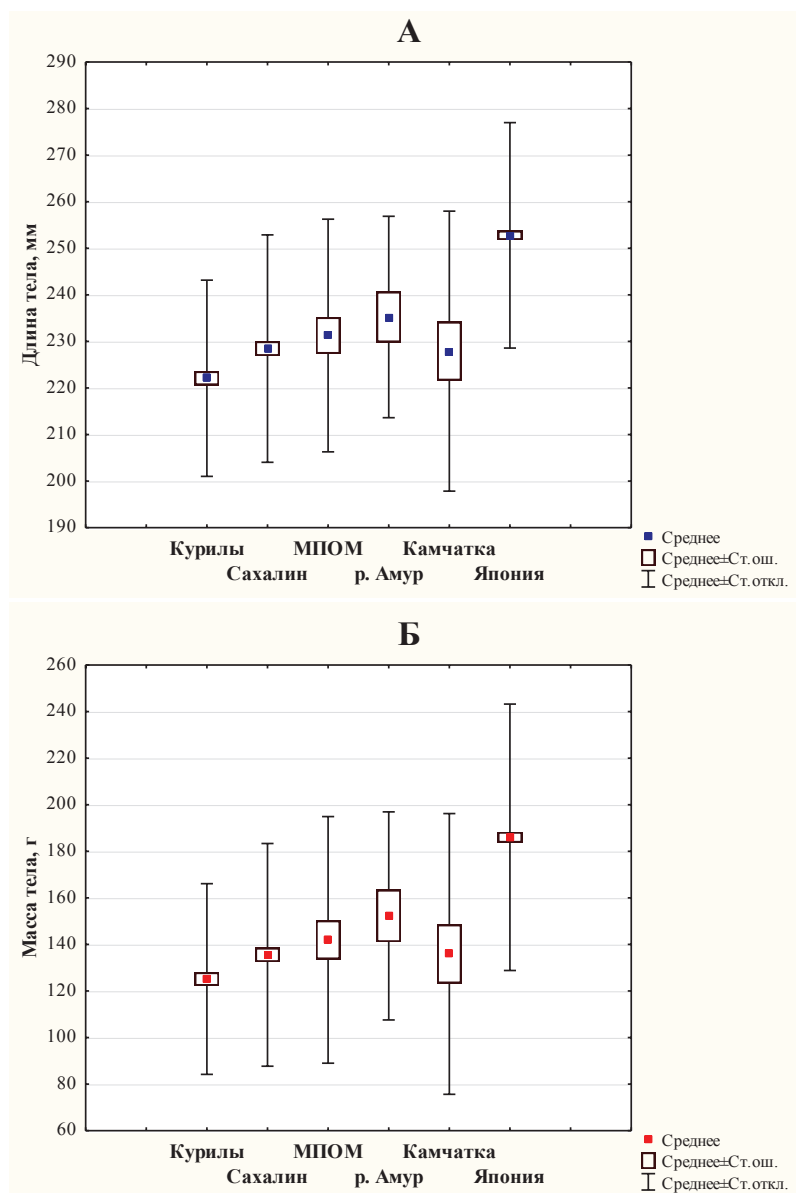


Рис. 13. Диаграммы размаха среднелетних показателей длины (А) и массы (Б) тела маркированной молоди кеты различного регионального происхождения в период осенних нагульных миграций в бассейне Охотского моря по данным 2011–2021 гг.

Fig. 13. Mean long-term ranges of body length (А) and weight (Б) for marked chum salmon juvenile originated from different regions during their autumn feeding migrations in the Okhotsk Sea according to data for 2011–2021

тела рыб были отмечены для комплексов стад Курильских островов и Сахалина. К этой же группе можно отнести и кету западной Камчатки. Особи, выпущенные с ЛРЗ североохотоморского побережья и бассейна р. Амур, по размерно-массовым показателям занимали промежуточное положение. Наиболее крупная молодь кеты, как и в случае с горбушей, была представлена рыбами японского происхождения. Уточним, что выпуск молоди кеты с японских ЛРЗ осуществляется с навеской около 3–4 г, а с дальневосточных ЛРЗ — приблизительно 1–2 г [Nagata et al., 2016].

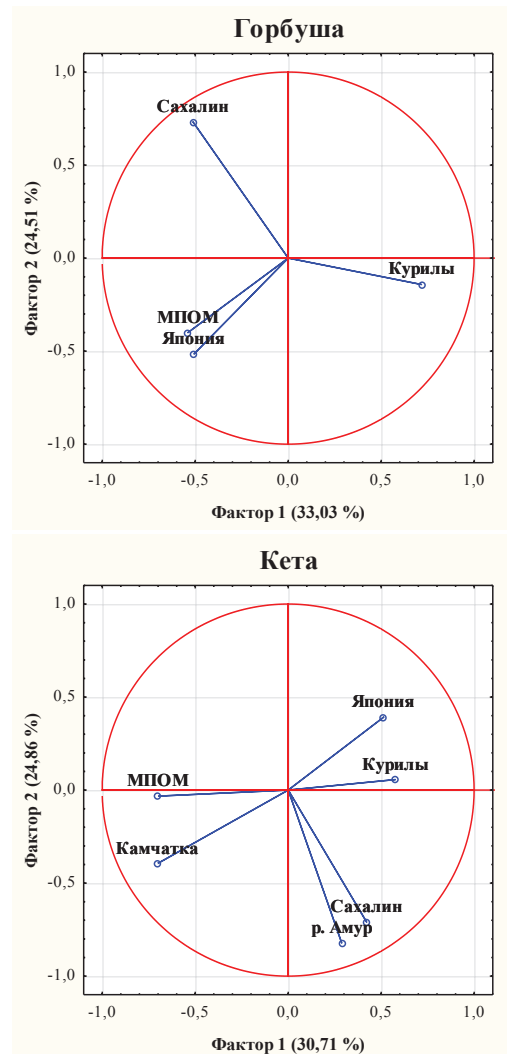
Тем не менее отмеченные различия средних значений размерно-массовых показателей не всегда могут служить в качестве критерия для дифференциации регионального

происхождения молоди горбуши и кеты в траловых уловах. Основной причиной этого следует рассматривать высокий уровень перекрытия минимальных и максимальных значений, формирующих центроид средних показателей. На представленных графиках это четко видно по использованным статистическим параметрам — стандартным ошибкам и отклонениям. Поэтому в качестве инструмента дифференциации рыб по биологическим показателям можно использовать многомерные методы разведки и классификации данных. На рис. 14 показана проекция переменных на факторную плоскость главных компонент, выполненная на основе центроидов показателей массы тела заводских тихоокеанских лососей в период осенних нагульных миграций в бассейне Охотского моря по данным 2011–2021 гг.

Принимая во внимание, что общие тенденции распределения средних значений длины и массы тела молоди тихоокеанских лососей имеют сходство по региональному признаку, в качестве примера приводим данные по показателям массы. В практике экспедиционных исследований данный критерий более доступен для использования, так как для его определения достаточно численности и общей массы выборки.

Рис. 14. Проекция переменных на факторную плоскость главных компонент, выполненная на основе среднееголетних показателей массы тела заводских тихоокеанских лососей в период осенних нагульных миграций в бассейне Охотского моря по данным 2011–2021 гг.

Fig. 14. Projection of variables onto the factor plane of principal components, based on mean values of body weight for hatchery pacific salmon during their autumn feeding migrations in the Okhotsk Sea basin according to data for 2011–2021



Полученные результаты анализа методом главных компонент по факторам 1 и 2 показали, что у молоди горбуши можно хорошо дифференцировать молодь Курильских островов, Сахалина и МПОМ (Магадан). Последний компонент образует единый кластер с показателями массы тела японской горбуши. Однако при решении практических задач наличием в бассейне Охотского моря потенциальной доли японской молоди горбуши можно пренебречь, учитывая подавляющую численность дальневосточной дикой горбуши.

Для получения более полноценной картины по региональной дифференциации стад охотоморской горбуши не хватает информации о размерно-массовых показателях

молоди, воспроизводящейся в реках западной Камчатки. Однако, учитывая сходство тенденций распределения рассматриваемых среднесезонных биологических показателей горбуши и кеты, можно предположить, что и процесс формирования кластеров их центроидов будет достаточно сходным при наличии всех составляющих популяционного охотоморского комплекса горбуши, как в случае с нативными популяциями.

У заводской молоди кеты различие и сходство по региональному принципу выражены значимо. В поле главных компонент по факторам 1 и 2 четко видно, что рыбы формируют следующие кластеры: 1) Сахалин + бассейн р. Амур, 2) Курильские острова + Япония (Хоккайдо и Хонсю), 3) западная Камчатка + МПОМ (Магадан). По сути, данная закономерность позволяет дифференцировать молодь кеты с использованием навески для определения ее региональной принадлежности в охотоморском бассейне. В этой ситуации наиболее проблемным вопросом остается только разделение популяций курильской и японской кеты.

Разумеется, данный подход может быть использован только в качестве ориентировочного способа дифференциации молоди тихоокеанских лососей до получения более точных данных после выполнения камеральной обработки генетических проб. Полагаем, что молодь нативных популяций также будет иметь сходные черты, по которым различаются рыбы заводского происхождения на основе размерно-массовых показателей. Это позволит более аргументированно использовать указанные морфометрические критерии для дифференциации нагульных скоплений молоди горбуши и кеты «северного» и «южного» популяционных комплексов в бассейне Охотского моря в осенний период.

Естественная смертность молоди заводских тихоокеанских лососей

Определение естественной смертности гидробионтов является достаточно сложной задачей, так как затруднительно определить их фактическую численность на том или ином этапе жизненного цикла, даже на локальном уровне. У нативных тихоокеанских лососей получение данных оценок возможно при наличии информации о численности молоди, скатившейся в море, и величине подходов (возвратов) производителей после морского/океанического нагула. Однако в практике лососевых исследований провести тотальный учет покатной молоди на уровне каждого дальневосточного региона не представляется возможным. Как правило, учетно-мальковые работы ведутся только на отдельных контрольных водных объектах. Полученные оценки, можно использовать только в качестве индикаторной количественной информации, а данные экстраполируют на тот или иной рыбопромысловый район. Но, понятно, что это будет весьма приблизительная информация о реальной региональной численности молоди тихоокеанских лососей, скатившейся в прибрежную зону из нерестовых рек.

В случае искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей мы имеем информацию не только о фактическом выпуске всей молоди с ЛРЗ, но и о количестве маркированных особей. В обычной практике это позволяет оценивать подход заводских рыб в базовый водоем ЛРЗ, который рассчитывается по коэффициенту возврата. В этой ситуации несложно рассчитать разницу между количеством выпущенной молоди и вернувшихся производителей, которая фактически будет показателем естественной смертности заводских тихоокеанских лососей.

Тем не менее зачастую в практике требуется определение потенциального уровня смертности рыб на отдельных критических этапах их жизненного цикла. В случае с тихоокеанскими лососями это наиболее актуально в период раннего морского нагула, когда скатившаяся молодь из прибрежной зоны откочевывает в открытые воды, формируя нагульные скопления. Следует отметить, что подавляющее большинство имеющихся оценок смертности молоди тихоокеанских лососей носят экспертный характер, так как данные о численности скатившихся и нагульных рыб, как правило, весьма приблизительны.

В настоящее время сложилась уникальная ситуация: в результате системных многолетних учетных съемок ТИНРО были получены ряды оценок численности всей нагульной молодежи тихоокеанских лососей охотоморского бассейна. Подобный опыт имеется только на Дальнем Востоке России, когда учетные исследования проводятся на уровне мониторинга практически на всей площади нагульного ареала молодежи таких массовых видов, как горбуша и кета. В основном речь идет о бассейне Охотского моря и водах юго-западной части Берингова моря. Но в контексте настоящей работы мы рассматриваем только первый водный объект.

Исходя из имеющихся данных, мы располагаем многолетними рядами наблюдений динамики численности молодежи горбуши и кеты в бассейне Охотского моря в период осенних нагульных миграций 2011–2021 гг. (рис. 15). Кроме того, есть данные официальной статистики о количестве маркированной молодежи этих видов, выпущенной с ЛРЗ России и Японии. Причем, учитывая географическую локализацию большинства действующих дальневосточных и японских ЛРЗ, основная часть их молодежи после выпуска осуществляет ранний морской нагул в охотоморском бассейне. Результаты региональной идентификации позволили определить доли маркированной горбуши и кеты российского и японского происхождения в нагульных скоплениях молодежи, что дало возможность оценки их численности в бассейне Охотского моря в осенний период 2022–2021 гг. (табл. 5). На основе этих данных были рассчитаны коэффициенты действительной смертности обоих видов на этапе откочевки молодежи из прибрежной зоны в открытые воды (табл. 6).

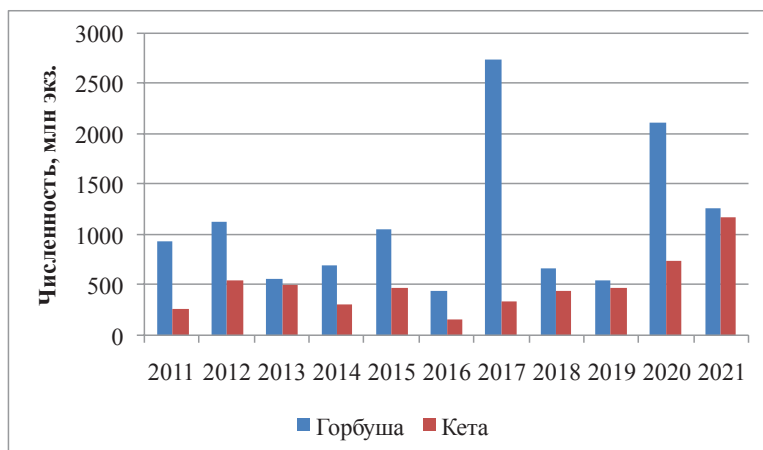


Рис. 15. Динамика численности молодежи тихоокеанских лососей по данным учетных траловых съемок ТИНРО в бассейне Охотского моря в 2011–2021 гг.

Fig. 15. Dynamics of juvenile pacific salmon abundance on the data of TINRO trawl surveys in the Okhotsk Sea in 2011–2021

Обращаем внимание, что полученные оценки смертности носят предварительный характер, поскольку количество маркированных рыб не соответствует общему объему выпуска молодежи горбуши и кеты с ЛРЗ России и Японии. При этом известно: чем ниже фактическое количество гидробионтов, учтенных во время траловой съемки, тем выше вероятность ошибки оценки их относительной численности в целом на полигоне исследований [Волвенко, 1998]. Поэтому изначально наиболее показательные данные о смертности молодежи были получены только для горбуши, так как ее мечение на ЛРЗ России и Японии в рассматриваемый период лет достигало порядка 50 %. По кете данную информацию можно использовать лишь как ориентировочную, так как уровень ее мечения на российских ЛРЗ составлял около 40 %, а на японских ЛРЗ — не более 15 %.

Таблица 5

Оценки относительной численности идентифицированных заводских тихоокеанских лососей России и Японии по данным учетных траловых съемок в бассейне Охотского моря в 2011–2021 гг.

Table 5

Relative abundance of identified pacific salmon originated from the Russian and Japanese hatcheries in the catches of trawl surveys conducted in the Okhotsk Sea in 2011–2021

Год	Численность маркированных рыб, млн экз.	Россия		Япония	
		%	Млн экз.	%	Млн экз.
Горбуша					
2011	38,3	100	38,3	—	—
2012	21,7	75	16,3	25	5,4
2013	14,2	90	12,8	10	1,4
2014	9,6	86	8,2	14	1,4
2015	21,2	80	17,0	20	4,2
2016	11,0	80	8,8	20	2,2
2017	57,6	71	41,0	29	16,6
2018	43,2	57	24,4	43	18,8
2019	20,8	47	9,7	53	11,1
2020	171,2	63	108,2	37	63,0
2021	86,0	75	64,5	25	21,5
Кета					
2011	13,3	29	3,8	71	9,5
2012	50,1	21	10,4	79	39,8
2013	14,3	30	4,4	70	10,0
2014	9,8	26	2,6	74	7,2
2015	16,9	37	6,2	63	10,7
2016	7,1	58	4,1	42	3,0
2017	15,8	44	7,0	56	8,8
2018	32,2	33	10,7	67	21,5
2019	35,0	43	15,1	57	19,8
2020	59,8	54	32,4	46	27,4
2021	139,7	62	87,0	38	52,7

Таким образом, среднемноголетние оценки действительных коэффициентов смертности заводских тихоокеанских лососей России и Японии в период осенней откочевки молоди в открытые воды Охотского моря выглядели следующим образом:

Горбуша. Россия — 0,72 (0,26–0,96), Япония — 0,78 (0,42–0,96), Россия + Япония — 0,76 (0,32–0,96);

Кета. Россия — 0,94 (0,76–0,99), Япония — 0,92 (0,77–0,99), Россия + Япония — 0,93 (0,76–0,99).

При анализе полученных результатов можно отметить общую закономерность — коэффициенты смертности у горбуши ниже, чем у кеты. Возможно, это следствие методической ошибки, связанной с более низким уровнем маркирования последней. Теоретически молодь кеты должна быть более жизнеспособной после ската из рек в прибрежную зону, учитывая, что ее покатыки уже начинают питаться в пресноводный период жизни и имеют более крупные размерно-массовые характеристики. Не исключено, что столь высокие среднемноголетние показатели естественной смертности (горбуша — 76 %, кета — 93 %) на данном этапе морского нагула связаны и с искусственным воспроизводством объектов исследований, учитывая менее продолжительные сроки их адаптации к условиям внешней среды после выпуска с ЛРЗ.

Таблица 6

Оценки действительных коэффициентов смертности (φZ) заводских тихоокеанских лососей России и Японии в период осенней откочевки молоди в открытые воды Охотского моря в 2011–2021 гг., млн экз.

Table 6

Estimates of actual mortality rates for hatchery pacific salmon of Russian and Japanese origin during autumn migration of their juveniles to the open Okhotsk Sea waters in 2011–2021, 10^6 ind.

Год	Россия			Япония			Россия + Япония		
	Выпуск	Учет в море	φZ	Выпуск	Учет в море	φZ	Выпуск	Учет в море	φZ
Горбуша									
2011	175,6	38,3	0,78	25,2	—	—	200,8	38,3	0,81
2012	131,9	16,3	0,88	25,8	5,4	0,79	157,7	21,7	0,86
2013	219,2	12,8	0,94	20,9	1,4	0,93	240,1	14,2	0,94
2014	224,2	8,2	0,96	30,9	1,4	0,96	255,1	9,6	0,96
2015	167,9	17,0	0,90	22,0	4,2	0,81	189,9	21,2	0,89
2016	35,6	8,8	0,75	30,4	2,2	0,93	66,0	11,0	0,83
2017	55,6	41,0	0,26	28,8	16,6	0,42	84,4	57,6	0,32
2018	56,3	24,4	0,57	112,8	18,8	0,83	169,1	43,2	0,74
2019	107,8	9,7	0,91	129,6	11,1	0,91	237,4	20,8	0,91
2020	165,8	108,2	0,35	110,9	63,0	0,43	276,7	171,2	0,38
2021	150,0	64,5	0,57	128,5	21,5	0,83	278,5	86,0	0,69
Среднее			0,72			0,78			0,76
Кета									
2011	300,4	3,8	0,99	139,5	9,5	0,93	439,9	13,3	0,97
2012	315,8	10,4	0,97	263,2	39,8	0,85	579,0	50,1	0,91
2013	333,9	4,4	0,99	229,8	10,0	0,96	563,7	14,3	0,97
2014	374,0	2,6	0,99	240,9	7,2	0,97	614,9	9,8	0,98
2015	341,7	6,2	0,98	242,6	10,7	0,96	584,3	16,9	0,97
2016	240,3	4,1	0,98	256,1	3,0	0,99	496,4	7,1	0,99
2017	151,6	7,0	0,95	244,0	8,8	0,96	395,6	15,8	0,96
2018	126,2	10,7	0,91	271,0	21,5	0,92	397,2	32,2	0,92
2019	241,6	15,1	0,94	261,0	19,8	0,92	502,6	35,0	0,93
2020	321,1	32,4	0,90	245,0	27,4	0,89	566,1	59,8	0,89
2021	363,2	87,0	0,76	231,0	52,7	0,77	594,2	139,7	0,76
Среднее			0,94			0,92			0,93

Однако имеющиеся литературные данные о смертности дикой молоди горбуши в прол. Литке (Карагинский залив, Берингово море) по данным 1980–1990-х гг. указывают на ее гибель в этот период морского нагула в среднем на уровне 71 % (53–94 %) [Карпенко, 1998]. Это достаточно близко с теми оценками смертности, которые были получены нами в отношении этого вида. Тем не менее полагаем, что данный вопрос требует дальнейших исследований, учитывая меняющиеся условия среды обитания тихоокеанских лососей под воздействием глобальных климатических изменений.

В качестве тестирования полученных оценок смертности мы выполнили корреляционный анализ связи «коэффициент смертности — вылов» для всех охотоморских единиц региональных запасов дальневосточной горбуши (рис. 16). Предполагается, что выживаемость дикой и заводской молоди будет определяться сходными условиями.

Следует отметить, что при решении подобных задач более адекватным представляется использование в качестве критерия численности не данных о вылове, а величины подходов (вылов + пропуск на нерест) производителей. Уточним, что современный уровень промысла на Дальнем Востоке России изымает порядка 60–70 % горбуши. В

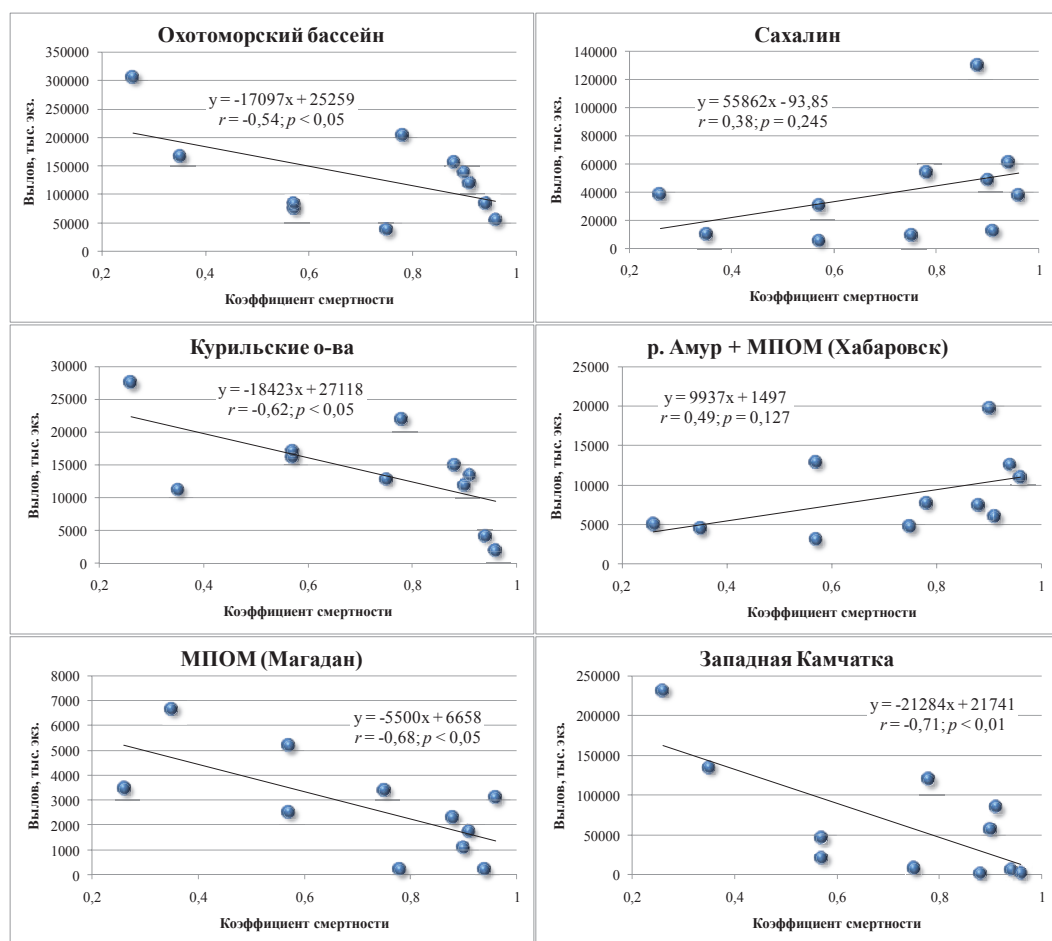


Рис. 16. Взаимосвязь рассчитанных коэффициентов смертности (2011–2021 гг.) молоди горбуши в период откочевки из прибрежной зоны в открытые воды Охотского моря с численностью уловов (2012–2022 гг.) производителей в основных охотоморских центрах воспроизводства

Fig. 16. Relationship between the calculated mortality rates for juvenile pink salmon during their migration from the coastal zone to the open Okhotsk Sea waters in 2011–2021 and the catches of adult pink salmon on the main spawning grounds in the Okhotsk Sea basin in 2012–2022

случаях регулирования промысла этот показатель может быть ниже. Однако в рамках данной работы нет необходимости более углубленного анализа этого вопроса. Подчеркнем, что показанный уровень промыслового изъятия вполне репрезентативен для обнаружения искомой взаимосвязи при условии ее наличия. Кроме того, данные о пропуске горбуши на нерест для всех регионов охотоморского бассейна не всегда достоверны. В некоторых регионах нередко используются экспертные оценки, основанные на экстраполяции данных о нерестовых запасах вида в контрольных водоемах, где ведутся мониторинговые работы. Как правило, прямой учет численности производителей на нерестилищах ведется только на локальном уровне — в отдельных речных системах.

Результаты корреляционного анализа показали, что для ряда охотоморских регионов получена ожидаемая достоверная отрицательная связь. В этих случаях были определены следующие значения коэффициентов корреляций (r): Охотоморский бассейн — $-0,54$; Курильские острова — $-0,62$; МПОМ (Магадан) — $-0,68$; западная Камчатка — $-0,71$. В двух оставшихся регионах (Сахалин и бассейн р. Амур + МПОМ (Хабаровск)) были получены недостоверные слабые положительные связи — соответственно $0,38$ и $0,49$.

На данном этапе исследований невозможно однозначно объяснить подобные несоответствия — разнонаправленные связи. Понятно, что отрицательный тренд (Курильские острова, западная Камчатка и североохотоморское побережье) вполне согласуется с логикой выживаемости любого вида тихоокеанских лососей, т.е. чем выше уровень смертности, тем ниже возвраты и, следовательно, уловы. В случаях с положительными трендами (Сахалин и бассейн р. Амур) не исключено, что есть свои региональные факторы, влияющие на выживаемость молодежи горбуши. Кроме того, оба эти региона представляют промысловые районы с наиболее регулируемым рыболовством. В течение 2012–2022 гг. на Сахалине и в бассейне р. Амур в отдельные годы промысел горбуши был значительно ограничен. Все это могло отразиться на характере связи «коэффициент смертности — вылов». Поэтому в данных случаях для оценки потенциальной смертности более целесообразно использовать именно данные о численности подходов.

Тем не менее в целом по охотоморскому бассейну опыт определения уровня смертности молодежи горбуши в период осенней откочевки из прибрежья в открытые воды Охотского моря можно считать достаточно успешным. Аналогичные данные по кете требуют дополнительного анализа, учитывая трудность проверки взаимосвязи «коэффициент смертности — вылов», так как вид в массе проводит 4 или 5 лет в море (возраст 0.3 и 0.4). Полагаем, что повышение уровня маркирования горбуши и кеты на ЛРЗ России и Японии позволит получить более объективные оценки естественной смертности для обоих видов на раннем этапе нагула в бассейне Охотского моря.

Заключение

В результате обобщения многолетней информации (2011–2021 гг.) о нагульных миграциях заводской молодежи тихоокеанских лососей (горбуши и кеты) в бассейне Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана в осенне-зимний период были определены основные закономерности, отражающие внутривидовую структуру, распределение и численность уловов, а также размерно-массовые показатели рыб различного регионального происхождения. Кроме того, впервые на системном уровне получены оценки естественной смертности молодежи на этапе откочевки из прибрежной зоны в открытые морские воды.

Полученные данные по внутривидовой идентификации маркированной молодежи показали, что среднемноголетняя доля российской горбуши в бассейне Охотского моря в осенний период составляла около 75 %. Соответственно, доля рыб японского происхождения не превышала 25 %. В выборках рыб российского происхождения в среднем преобладали особи горбуши, выпущенные с ЛРЗ Сахалина (~ 30 %) и Курильских островов (~ 55 %). Горбуша с ЛРЗ североохотоморского побережья встречалась в уловах на минимальном уровне, достигая по среднемноголетним данным около 15 %. У молодежи кеты доминировали особи японского происхождения — 60 %. Следовательно, на долю российской кеты приходилось 40 %. В части выборки кеты российского происхождения преобладали особи с ЛРЗ Сахалина и Курильских островов — соответственно ~ 60 и 25 %. Суммарная доля молодежи кеты, воспроизводящейся на ЛРЗ западной Камчатки, североохотоморского побережья и бассейна р. Амур, составляла около 15 %.

Анализ среднемноголетнего распределения заводской молодежи горбуши и кеты во время осенних нагульных миграций в бассейне Охотского моря показал, что для обоих видов имеется общая закономерность, отражающая цикличность миграционных процессов. Данная схема миграций молодежи тихоокеанских лососей согласуется с характерными чертами системы неперiodических течений Охотского моря, которые формируются под влиянием ветров и притока вод через Курильские проливы. Причем, основная из них — циклоническая система течений, охватывающая почти все море, обусловленная циклонической циркуляцией атмосферы над всем Охотским морем и прилегающей частью Тихого океана. Данная схема перемещения водных масс приводит

к тому, что значительный поток мигрирующей молодежи тихоокеанских лососей смещается из южной части Охотского моря в северо-восточном направлении до 56–57° с.ш. В результате здесь формируются нагульные скопления с достаточно высокой встречаемостью молодежи «южного» комплекса стад (Курильские острова, Сахалин, Хоккайдо и Хонсю). Далее происходит циклическая миграция всех рыб на запад, юго-запад и юг. После чего основная масса молодежи горбуши и кеты через южные Курильские проливы выходит на зимний нагул в воды северо-западной части Тихого океана.

Оценка среднесноголетних размерно-массовых показателей заводской молодежи горбуши и кеты показала, что распределение средних значений длины и массы тела данных видов подчинено общей закономерности. Минимальные значения рассматриваемых критериев для обоих видов были зафиксированы у рыб, представляющих «южный» дальневосточный комплекс стад — Курильские острова и Сахалин. Особи, выпущенные с ЛРЗ североохотоморского побережья (горбуша и кета) и бассейна р. Амур (кета), по размерно-массовым показателям занимали промежуточное положение. Молодь кеты западной Камчатки по длине и массе тела была близка к сахалинскому комплексу стад. Наиболее крупная молодежь горбуши и кеты была представлена рыбами японского происхождения. Проведенный анализ главных компонент позволил оценить степень сходства размерно-массовых показателей региональных комплексов стад обоих видов. Образующие кластерные группы по длине и массе тела заводской молодежи предполагают достаточно высокий уровень различий рыб, воспроизводящихся в «южной» и «северной» частях охотоморского бассейна. Это подтверждает возможность использования данных критериев для региональной дифференциации стад в целях получения предварительных оценок их численности.

Дополнительно на основе данных о численности выпуска и имеющихся количественных оценок российской и японской маркированной горбуши и кеты в Охотском море были получены оценки естественной смертности заводской молодежи в период откочевки из прибрежной зоны в открытые морские воды. Уровень смертности для обоих видов в среднем приблизительно соответствовал 70–90 %. Причем коэффициенты смертности у горбуши были ниже, чем у кеты. Тестирование точности полученных оценок смертности было проведено с помощью корреляционного анализа взаимосвязи «коэффициент смертности — прибрежный/береговой вылов» для всех охотоморских единиц региональных запасов дальневосточной горбуши. Все определенные достоверные коэффициенты корреляции имели отрицательные значения, что подтверждает актуальность полученных оценок смертности.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность сотрудникам КамчатНИРО: за сбор отолитных материалов во время экспедиционных работ на научно-исследовательских судах — А.П. Лозовому, А.В. Кожевникову, И.А. Заочному; за камеральную обработку отолитных проб — Н.Н. Ромаденковой.

The authors are grateful to KamchatNIRO employees of the sector of coastal ecosystems: A.P. Lozovoy, A.V. Kozhevnikov and I.A. Zaachny for collecting otolith samples aboard research vessels and to N.N. Romadenkova, leading engineer of the sector of artificial reproduction of pacific salmon, for cameral processing of the otolith samples.

Финансирование работы (FUNDING)

Результаты настоящего исследования были получены в рамках выполнения государственного задания Федерального агентства по рыболовству Российской Федерации № 076-00007-22-00.

The study was conducted within the framework of the state task from the Russian Federal Agency of Fisheries No. 076-00007-22-00.

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.

The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

А.В. Бугаев — обобщение и анализ материалов, подготовка демонстрационных материалов, математические расчеты, написание статьи.

А.И. Герлиц — обработка первичных материалов (подготовка отолитных проб, идентификация меток), подготовка демонстрационных материалов.

A.V. Bugaev — generalization and analysis of materials, illustrations, mathematical calculations, writing of the article; A.I. Gerlits — primary materials processing (preparation of otolith samples, identification of marks), illustrations.

Список литературы

Акиничева Е.Г., Изергин И.Л., Фомин Е.А. Об организации исследований по идентификации тихоокеанских лососей на основе термического маркирования их отолитов // Состояние рыбохозяйственных исследований в бассейне северной части Охотского моря : сб. науч. тр. — Магадан : МагаданНИРО, 2004. — Вып. 2. — С. 364–374.

Бондаренко А.Л., Рудых Н.И. О крупномасштабных течениях Охотского моря и их природе // Метеорол. и гидрол. — 2003. — № 12. — С. 74–79.

Бугаев А.В., Чистякова А.И., Урава С. Многолетние тенденции распределения и регионального состава заводской молодежи горбуши и кеты в период осенних миграций в бассейне Охотского моря // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2020. — Вып. 57. — С. 67–98. DOI: 10.15853/2072-8212.2020.57.67-98.

Варнавская Н.В. Генетическая дифференциация популяций тихоокеанских лососей : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2006. — 488 с.

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

Волненко И.В. Проблемы количественной оценки обилия рыб по данным траловых съемок // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 473–500.

Ерохин В.Г. Биология молодежи тихоокеанских лососей в прикамчатских водах Охотского моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2002. — 24 с.

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

Милованов А.И. Промысловая ихтиология (конспект лекций). — Керчь : КГМТУ, 2019. — 109 с.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) : моногр. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Пищепромиздат, 1966. — 375 с.

Чернявский В.И., Жигалов И.А., Матвеев В.И. Океанологические основы формирования зон высокой биологической продуктивности // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 9 : Охотское море; вып. 2 : Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. — СПб. : Гидрометеиздат, 1996. — С. 157–160.

Чистякова А.И., Бугаев А.В. Оценка происхождения и пути миграций заводской молодежи горбуши и кеты в бассейне Охотского моря в осенний период 2011–2014 гг. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2016. — Вып. 40. — С. 5–23. DOI: 10.15853/2072-8212.2016.40.5-23.

Чистякова А.И., Бугаев А.В. Применение результатов отолитного маркирования для определения происхождения и путей миграций заводской молодежи горбуши и кеты в Охотском море в осенний период // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 173. — С. 77–102.

Чистякова А.И., Бугаев А.В., Ким О.О. Применение результатов отолитного маркирования для определения доли заводской молоди горбуши и кеты в период осенних миграций в Охотском море в 2014 г. // Бюл. № 10 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2015. — С. 147–152.

Чистякова А.И., Ким О.О., И В.С. Оценка регионального происхождения и распределения заводской горбуши и кеты по результатам отолитного маркирования в бассейне Охотского моря в осенний период 2016 г. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2018. — Вып. 48. — С. 62–69. DOI: 10.15853/2072-8212.2018.48.62-69.

Чистякова А.И., Шапоров Р.А., Бугаев А.В. Опыт использования комплексного отолитного метода для идентификации молоди горбуши и кеты в период посткатадромных миграций в Охотском море // Бюл. № 7 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2012. — С. 207–216.

Шевляков Е.А., Канзепарова А.Н., Шевляков В.А. и др. Итоги лососевой путины в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне в 2020 г., перспективы вылова горбуши в 2021 г. // Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2020. — С. 3–16.

Шевляков Е.А., Чистякова А.И. Миграции молоди кеты в Охотском море, сравнительный анализ эффективности деятельности предприятий рыбоводного комплекса Дальнего Востока России и Японии // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т.191. — С. 79–96. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-191-79-96.

Шибяев С.В. Промысловая ихтиология : учеб. — СПб. : Проспект Науки, 2007. — 400 с.

Nagata M., Miyakoshi Y., Fujiwara M. et al. Adapting Hokkaido hatchery strategies to regional ocean conditions can improve chum salmon survivals and reduce variability // NPAFC Bull. — 2016. — № 6. — P. 73–85. DOI: 10.23849/npafcb6/73.85.

Secor D.H., Dean J.M., Laban E.H. Manual for Otolith Removal and Preparation for Microstructural Examination. — Columbia : Belle W. Baruch and Electric Power Research Institute, 1991. — 85 p.

Stevenson D.K., Campana S.E. (eds.) Otolith microstructure examination and analysis : Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. — 1992. — № 117. — 126 p.

Urawa S., Beacham T.D., Fukuwaka M., Kaeriyama M. Ocean ecology of chum salmon // The ocean ecology of pacific salmon and trout. American Fisheries Society. — Bethesda, Maryland, 2018. — P. 161–317.

References

Akinicheva, E.G., Izergin, I.L., and Fomin, E.A., On the organization of research on the identification of Pacific salmon based on thermal marking of their otoliths, in *Sostoyanie rybokhozyaystvennykh issledovaniy v basseine severnoi chasti Okhotskogo morya* (The Status of Fisheries Research in the Northern Sea of Okhotsk), Magadan: MagadanNIRO, 2004, no. 2, pp. 364–374.

Bondarenko, A.L. and Rudykh, N.I., On large-scale currents of the Sea of Okhotsk and their character, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2003, no. 12, pp. 74–79.

Bugaev, A.V., Chistyakova, A.I., and Urava, S., Long-term trends in distribution and regional composition of the catches of hatchery pink and chum salmon during autumn migrations in the basin of the Sea of Okhotsk, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2020, vol. 57, pp. 67–98. doi 10.15853/2072-8212.2020.57.67-98

Varnavskaya, N.V., *Geneticheskaya differentsiatsiya populyatsiy tikhookeanskikh lososey* (Genetic differentiation of Pacific salmon populations), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2006

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

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.

Erokhin, V.G., Biology of juvenile Pacific salmon in the Kamchatka waters of the Sea of Okhotsk, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2002.

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

Milovanov, A.I., *Promyslovaya ikhtiologiya (konspekt lektsiy)* (Commercial ichthyology (lecture notes)), Kerch': Kerchenskiy gosudarstvennyy morskoy tekhnologicheskii universitet, 2019.

Pravdin, I.F., *Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh)* (Guide to the Study of Fish (Mainly Freshwater)), 4th ed., Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1966.

Chernyavsky, V.I., Zhigalov, I.A., and Matveev, V.I., Oceanological foundations for the formation of zones of high biological productivity, in *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei. T. 9: Okhotskoye more* (Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas, vol. 9: Sea of Okhotsk), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1996, issue 2, pp. 157–160.

Chistyakova, A.I. and Bugaev, A.V., An assessment of the origin and migration routes of juvenile hatchery pink and chum salmon in the basin of the Okhotsk Sea in autumn in 2011–2014, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2016, vol. 40, pp. 5–23. doi 10.15853/2072-8212.2016.40.5-23

Chistyakova, A.I. and Bugaev, A.V., Using the results of otolith marking for determination of origin and migration routes for hatchery juvenile pink and chum salmon in the Okhotsk Sea in autumn period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 173, pp. 77–102.

Chistyakova, A.I., Bugaev, A.V., and Kim, O.O., Application of the results of otolith marking to determine the proportion of hatchery juveniles of pink salmon and chum salmon during autumn migrations in the Sea of Okhotsk in 2014, in *Byull. N 10 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 10 Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2015, pp. 147–152.

Chistyakova, A.I., Kim, O.O., and I, V.S., Assessment of regional origin and distribution of hatchery pink and chum salmon on results of otolith marking in the basin of the Sea of Okhotsk in the fall period of 2016, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2018, vol. 48, pp. 62–69. doi 10.15853/2072-8212.2018.48.62-69

Chistyakova, A.I., Shaporev, R.A., and Bugaev, A.V., Experience in using the complex otolith method for identification of juvenile pink salmon and chum salmon during post-catadromous migrations in the Sea of Okhotsk, in *Byull. N 7 izucheniya Tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 7 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2012, pp. 207–216.

Shevlyakov, E.A., Kanzeperova, A.N., Shevlyakov, V.A., Somov, A.A., and Starovoitov, A.N., The results of the salmon season in the Far Eastern fishery basin in 2020, the prospects for the catch of pink salmon in 2021, in *Byull. N 15 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 15 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2020, pp. 3–16.

Shevlyakov, E.A. and Chistyakova, A.I., Migrations of juvenile chum salmon in the Okhotsk Sea; comparative analysis of efficiency for fish hatchery complexes in Far East of Russia and in Japan, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 191, pp. 79–96. doi 10.26428/1606-9919-2017-191-79-96

Shibaev, S.V., *Promyslovaya ikhtiologiya* (Commercial ichthyology), St. Petersburg: Prospekt Nauki, 2007.

Nagata, M., Miyakoshi, Y., Fujiwara, M., Kasugai, K., Ando, D., Torao, M., Saneyoshi, H., and Irvine, J.R., Adapting Hokkaido hatchery strategies to regional ocean conditions can improve chum salmon survivals and reduce variability, *NPAFC Bull.*, 2016, no. 6, pp. 73–85. doi10.23849/npafcb6/73.85

Secor, D.H., Dean, J.M., and Laban, E.H., *Manual for Otolith Removal and Preparation for Microstructural Examination*, Columbia: Belle W. Baruch and Electric Power Research Institute, 1991.

Stevenson, D.K. and Campana, S.E. (eds.), Otolith microstructure examination and analysis, *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 1992, no. 117.

Urawa, S., Beacham, T.D., Fukuwaka, M., and Kaeriyama, M., Ocean ecology of chum salmon, *The ocean ecology of pacific salmon and trout. American Fisheries Society*, Bethesda, Maryland, 2018, pp. 161–317.

Поступила в редакцию 19.01.2023 г.

После доработки 30.01.2023 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

*The article was submitted 19.01.2023; approved after reviewing 30.01.2023;
accepted for publication 3.03.2023*

Научная статья

УДК 639.21:597.552.511

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-46-57

EDN: QHAYVT



ТИХООКЕАНСКИЕ ЛОСОСИ РОССИЙСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ: НА КАКИЕ УЛОВЫ РАССЧИТЫВАТЬ?

А.Н. Макоедов¹, А.А. Макоедов^{2*}¹ Южный научный центр РАН,

344006, г. Ростов-на-Дону, просп. Чехова, 41;

² Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),

693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196

Аннотация. Уточнены параметры динамики численности тихоокеанских лососей российского происхождения и предложены оценки их возможного вылова на среднесрочную перспективу. Среднегодовые уловы за период с 1907 по 2022 г. составили около 250 тыс. т. Полный цикл от минимумов на кривых одного периода низкого уровня численности до соответствующих параметров другого периода занял примерно 72 года, а от условных максимумов одного периода высокого уровня численности до другого — около 75 лет. Продолжительность высокого уровня численности составила около 35 лет, а низкого — около 40 лет. С учетом различных неопределенностей длительности высокого и низкого уровня численности примерно равны и находятся в относительно устойчивом интервале от 35 до 40 лет. Большая часть урожайных путей пришлась на нечетные годы. Смены доминант происходили чаще всего в периоды подъема численности тихоокеанских лососей. Во второй половине 2020-х — первой половине 2030-х гг. среднегодовые уловы, по-видимому, будут выше 250 тыс. т. Даже в самые нерыбные годы объемы добычи вряд ли составят менее 200 тыс. т. Сырьевая база отечественного лососевого хозяйства на заключительном отрезке периода высокой численности не создает предпосылок для рентабельной работы на большей части рыболовных участков, предназначенных для промышленного рыболовства.

Ключевые слова: водные биоресурсы, тихоокеанские лососи, горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*, кета *Oncorhynchus keta*, лососевое хозяйство, рыбное хозяйство

Для цитирования: Макоедов А.Н., Макоедов А.А. Тихоокеанские лососи российского происхождения: на какие уловы рассчитывать? // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 46–57. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-46-57. EDN: QHAYVT.

* Макоедов Анатолий Николаевич, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, totak06@mail.ru, ORCID 0000-0002-8866-1828; Макоедов Антон Анатольевич, заведующий сектором, takoevod.a@mail.ru, ORCID 0000-0003-4474-6245.

© Макоедов А.Н., Макоедов А.А., 2023

Original article

Pacific salmon of Russian origin: what catches can we count on?

Anatoly N. Makoedov*, Anton A. Makoedov**

* Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,

41, Chekhov Ave., Rostov-on-Don, 344006, Russia

** Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO),

196, Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia

* D.Biol., professor, leading researcher, tomak06@mail.ru, ORCID 0000-0002-8866-1828

** head of sector, makoedov.a@mail.ru, ORCID 0000-0003-4474-6245

Abstract. Some parameters of the abundance dynamics for the Pacific salmon of Russian origin are specified and volume of their possible catch are substantiated for the next decade. The average annual catch for 1907–2022 is amounted as 250 thousand tons. Cyclic variations were observed within this time with the intervals of 72 years between the minimal values and 75 years between the maximums. The high catches were landed during app. 35 years, and the low catches — during app. 40 years, so the periods of high and low abundance were approximately equal (35–40 years). The harvest runs occurred mostly in odd years; the dominant years (odd either even) changed usually when the abundance had increasing. The high level of abundance ($> 250 \cdot 10^3$ t, not below of $200 \cdot 10^3$ t in the years of the worst run) is expected in the nearest decade, until the middle 2030s. After this period of high abundance, the stocks of domestic salmon will be insufficient for profitable commercial fishery on majority of existing fishing grounds.

Keywords: marine biological resources, Pacific salmon, pink salmon, chum salmon, salmon farming, fishery

For citation: Makoedov A.N., Makoedov A.A. Pacific salmon of Russian origin: what catches can we count on? *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 46–57. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-46-57. EDN: QHAYVT.

Введение

На Дальнем Востоке для добычи анадромных видов рыб сформировано 1626 морских и речных рыболовных участков, из них 99,5 % для промышленного рыболовства [<https://minfish.kamgov.ru/news/glava-kamcatki-prinal-ucastie-v-zasedanii-rabosej-gruppu-po-voprosam-perezakreplenia-rybolovnyh-ucastkov-58580>]. Основная часть договоров пользования участками была заключена в 2008 г. Как показало дальнейшее развитие событий, это было почти самое начало очередного периода высокого уровня численности тихоокеанских лососей. В 2009 г. был зафиксирован рекордный с 1907 г. отечественный вылов лососевых рыб, составивший более 560 тыс. т. Путины 2000-х и 2010-х гг. демонстрировали очень высокие результаты. В 2018 г. суммарный вылов тихоокеанских лососей российского происхождения приблизился к отметке 670 тыс. т. В 2027–2028 гг. срок действия большинства договоров истекает, поэтому все более актуальным становится вопрос о том, по какому пути пойдет дальнейшее развитие лососевого хозяйства в России.

Начиная с 1990-х гг. количество рыболовных (в терминологии до 2019 г. рыбопромысловых) участков последовательно увеличивали [Макоедов и др., 2006; Макоедов, Кожемяко, 2007]. Поскольку одновременно росли запасы тихоокеанских лососей, то в целом для Дальнего Востока России это не привело к чрезмерной промысловой нагрузке. Тем не менее в некоторых крупных рыбопромысловых районах (восточное побережье Сахалина, бассейн Амура) начиная с 2015–2017 гг. стал проявляться дисбаланс между нерестовыми подходами лососей и промысловой нагрузкой на стада. В рамках полномочий Министерства сельского хозяйства Российской Федерации и региональных комиссий по регулированию добычи (вылова) анадромных видов рыб применялись различные меры регулирования. Ограничивали длину неводов, закрывали отдельные промысловые районы, устанавливали проходные дни и т.п. Иногда

сами пользователи участков не заявлялись на промысел. Сопоставляя информацию о количестве рыболовных участков и протоколы заседаний Комиссии по регулированию добычи (вылова) анадромных видов рыб в Сахалинской области, размещенные на официальном сайте Министерства рыбного хозяйства Сахалинской области [<https://fish.sakhalin.gov.ru/?p=17690>; https://fish.sakhalin.gov.ru/?page_id=366], можно заметить, что при низких прогнозных оценках возможного вылова тихоокеанских лососей более половины рыболовных участков могли быть не задействованы в промысле.

Подготовка и организация добычи тихоокеанских лососей — весьма затратный процесс. По информации рыбопромышленников, чтобы отработать без убытков, одной бригаде необходимо добыть не менее 100 т тихоокеанских лососей*. Очень удачной считают путину, если улов на невод достигает 1 тыс. т и более. Средний экономический результат находится в пределах около 500 т. Нетрудно подсчитать, что при нынешней численности рыболовных участков без убытков (и без прибыли) можно проводить путины, если общий вылов тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке России будет составлять не менее 160 тыс. т. Средний экономический результат возможен при добыче не менее 500 тыс. т. Если на рыболовных участках установят более одного ставного невода, оптимальные объемы вылова должны быть еще выше.

Приближается время, когда регулятору придется принимать решение о том, как дальше организовывать промысел тихоокеанских лососей. В конце минувшего года под эгидой Росрыболовства прошло несколько совещаний по этому поводу. Было бы неплохо, чтобы в основе принимаемых управленческих решений лежали научно обоснованные модели развития лососевого хозяйства России. Пока такие модели отсутствуют. Если они все же будут разработаны, то их ключевым моментом неизбежно станут обоснования возможного состояния запасов лососей на предстоящий плановый отрезок времени.

В предыдущих публикациях [Макогедов, Макогедов, 2022а, б] были рассмотрены некоторые вопросы, связанные с историей промышленного освоения запасов тихоокеанских лососей российского происхождения. Были уточнены общие объемы вылова, значительную долю которых обеспечивали японские рыбаки. При этом оценка предполагаемого вылова при сохранении постоянной промысловой нагрузки в послевоенный период была представлена в самом общем виде. Также были рассмотрены предпосылки для формирования среднесрочной прогнозной оценки возможного вылова.

Цель предлагаемой работы — уточнить некоторые ключевые параметры динамики численности тихоокеанских лососей российского происхождения и более детально рассмотреть основания для оценки их возможного вылова на среднесрочную перспективу.

Материалы и методы

Материалом послужили данные о вылове тихоокеанских лососей за период с 1907 по 2022 г., полученные из различных источников. Основу составила статистика НПАФК (NPAFC — North Pacific Anadromous Fish Commission, Комиссия по анадромным рыбам северной части Тихого океана) за период с 1925 по 2021 г. (по состоянию на 21.06.2022 г.), размещенная на официальном сайте Комиссии [https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-browser%3A%2F%2F4DT1uXEPRrJRXIUfoewruBpp4cFy6k3h-bFFMI2lxqE4PFM0UuumvoaFNQAvJ0nFzbfYlnD60LmKZoY8xYbQ1LSrZFMZqdnzdrRJOSx74gOJsWRV5BGVc1EDmJbCMxThGJNLGFeN8rr7qhPdGBLbQ%3D%3D%3Fsign%3DDlhXODhANvGttNfIHGWhrljecxDoLarrocEXZaJkkdU%3D&name=NPAFC_Catch_Stat_Web_21June2022.xls&nosw=1]. Большое значение имели сведения, содержащиеся в сводке за 1900–1986 гг.** Также была использована информация официальных сайтов Федерального агентства по рыболовству (fish.gov.ru), Всероссийского института рыбного хозяйства и океанографии — ВНИРО (vniro.ru) — и ряда литературных источников.

* Прежде всего в расчет берут горбушу и кету.

** Уловы тихоокеанских лососей (1900–1986 гг.). М.: ВНИРО, 1989. 213 с.

Несомненную помощь оказали материалы различных служебных документов открытого доступа, которыми приходилось оперировать в периоды работы авторов в Государственном комитете Российской Федерации по рыболовству, департаменте рыбохозяйственной политики Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, Всероссийском институте рыбного хозяйства и океанографии, Правительстве Сахалинской области. Собранные сведения были инвентаризированы, обработаны и представлены в графическом виде с помощью стандартных компьютерных программ Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Практически любые суждения, касающиеся популяционной биологии промысловых объектов, содержат в основе значительную долю неопределенностей. Поскольку многие из таких неопределенностей становятся неотъемлемой составной частью исследований, располагая длительными рядами наблюдений, иногда удается сформировать те или иные представления об интересующих объектах, которые более-менее адекватно соотносятся с действительностью.

Показательным примером одной из неопределенностей служат оценки вылова водных биологических ресурсов. На рис. 1 представлены графики уловов тихоокеанских лососей, основанные на данных ФАО и Л.С. Берга [1948]. В первом случае фигурируют сведения только об отечественном вылове, а также о вылове российскими и японскими рыбаками лососей, воспроизводящихся в российских водах*, во втором — данные о вылове тихоокеанских лососей (без кижуча *Oncorhynchus kisutch* и чавычи *Oncorhynchus tshawytscha*) на всем Дальнем Востоке без учета гражданства рыбаков. Три кривые дают основания для трех вариантов заключений о состоянии запасов тихоокеанских лососей российского происхождения в рассматриваемый период времени. Полученные заключения неизбежно будут существенно (и даже кардинально) отличаться друг от друга.

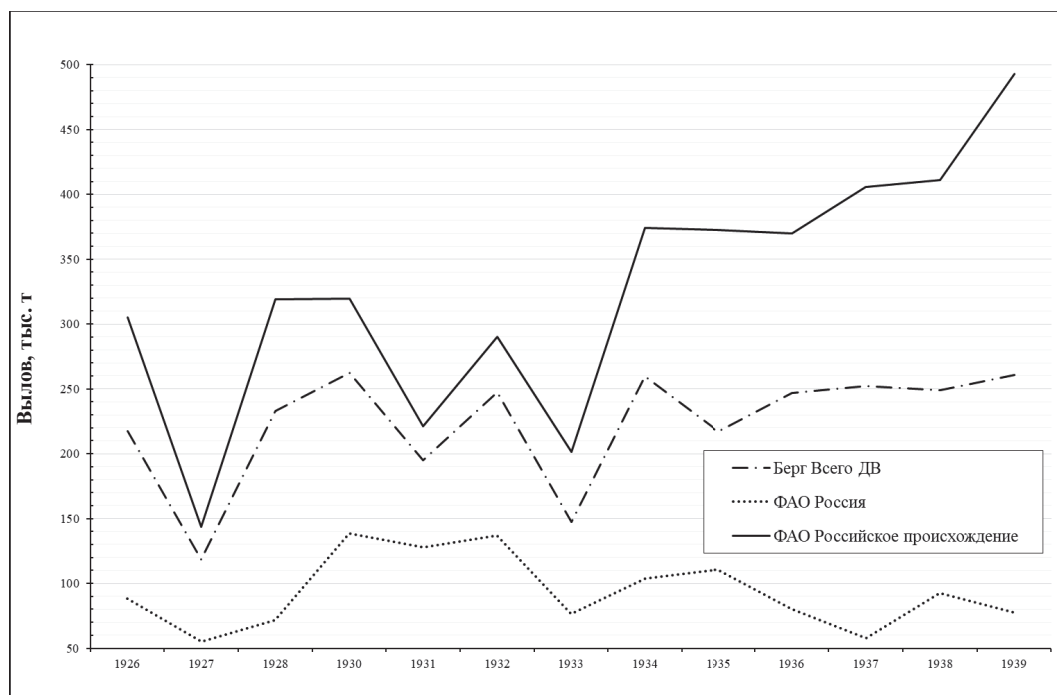


Рис. 1. Данные по вылову тихоокеанских лососей

Fig. 1. Data on annual catch of pacific salmon

* В современных государственных границах.

Как показывает практика, при нынешнем пороге допустимой погрешности (30 %) доля ошибочных прогнозных оценок возможного вылова тихоокеанских лососей на предстоящую путину для отдельных видов и промысловых районов нередко превышает 50 %, а при пороге в 20 %, существовавшем в советское время, — 80 % [Макоедов, Макоедов, 2022а, б]. Ситуация с перспективными прогнозами еще более сложная. Похоже, что ни одна оценка на ближайшие 10 лет и более не оправдалась.

В первом десятилетии нового столетия исследователи ожидали снижение запасов тихоокеанских лососей [Кляшторин, Любушин, 2005; Макоедов и др., 2006, 2009; Макоедов, Кожемяко, 2007; и др.]. Предполагали [Кляшторин, 2000], что вылов азиатской горбуши достигнет максимума около 2003 г., а к 2015 г. произойдет поступательное снижение на 40–50 %, т.е. до 80–100 тыс. т. Затем наступление малоблагоприятного для горбуши климатического режима прогнозировали в 2020–2030-е гг. При этом полагали, что ожидаемое сокращение уловов горбуши в северо-западной части Тихого океана уже началось в 2012–2015 гг. [Котенев и др., 2015]. Однако вместо снижения последовала череда новых достижений на лососевых промыслах, включая абсолютный рекорд 2018 г.

По мнению В.П. Шунтова [2017], цикличность климато-океанологических условий и динамики численности рыб бесспорна, но вызывают сомнение существование строгой периодичности по продолжительности циклов и идентичность по следствиям в водных экосистемах.

После капитуляции Японии во Второй мировой войне произошло резкое падение уловов. Это могло быть обусловлено значительным сокращением запасов тихоокеанских лососей или существенным снижением промысловой нагрузки. Второй вариант более вероятен. Опубликованы количественные оценки такого снижения [Кляшторин, 2000; Кляшторин, Любушин, 2005; Макоедов, Макоедов, 2022а, б].

На рис. 2 точка перегиба (290 тыс. т) на полиномиальной кривой учтенного вылова в первый период высокой численности находится значительно ниже, чем предполагаемая точка перегиба (430 тыс. т) во второй период высокой численности. При рассмотрении многолетних изменений численности различных массовых видов рыб

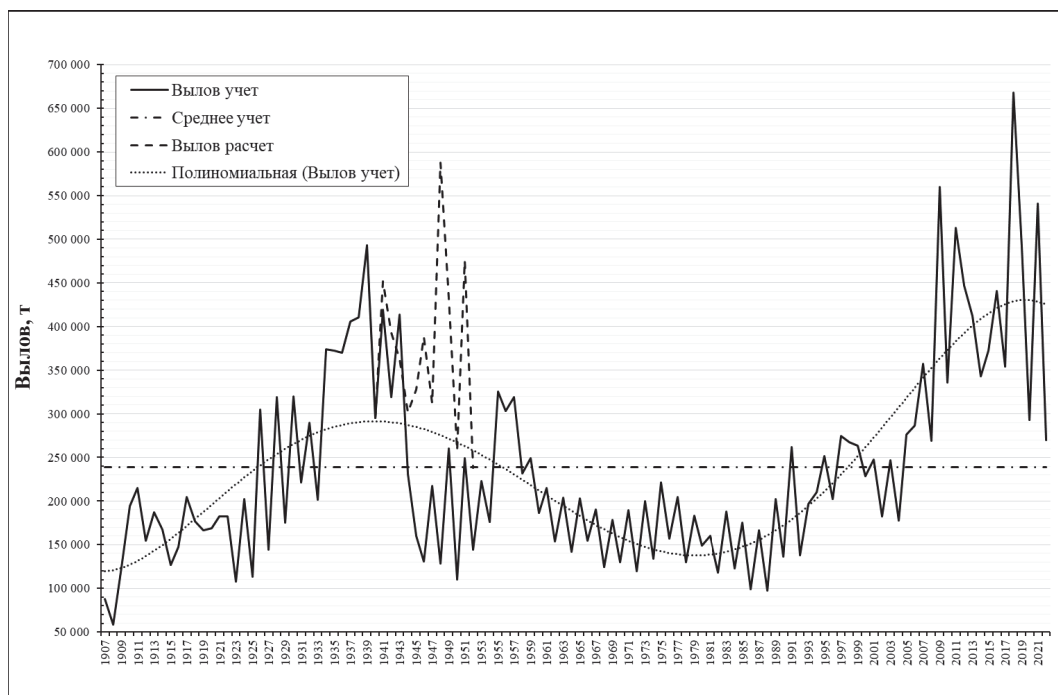


Рис. 2. Параметры вылова тихоокеанских лососей российского происхождения
Fig. 2. Catch parameters for pacific salmon of Russian origin

[Кляшторин, Любушин, 2005; Булатов и др., 2016] можно заметить, что на графиках кривые динамики численности почти симметричны по амплитуде и протяженности, а минимальные и максимальные значения на однотипных циклических отрезках довольно близки. С учетом отмеченных особенностей можно предположить, что основные тенденции изменения численности тихоокеанских лососей российского происхождения в первый и второй периоды высокой численности могли совпадать.

При оценке параметров расчетного допустимого вылова во второй половине 1940 — начале 1950-х гг. при условии сохранения сложившейся ранее промысловой нагрузки в качестве аналогии были использованы тренды добычи в период с 2009 по 2022 г. За исходные реперные точки взяты первые пиковые значения вылова в периоды высокой численности (1939 и 2009 гг., указанные нечетные годы оказались необычайно урожайными). Для уловов за период с 2009 (560 тыс. т приняты за 1) по 2022 г. были вычислены относительные коэффициенты. Полученные значения (пунктирная линия на рис. 2) были соотнесены с учтенными уловами тихоокеанских лососей российского происхождения за период с 1939 (439 тыс. т приняты за 1) по 1952 г.

На отрезке с 1940 по 1943 г. при относительно стабильной промысловой нагрузке совпадения учтенных и расчетных значений вылова составили от 100 до 77 %. Практически расхождения находились в пределах погрешности статистического учета на рыбных промыслах. По-видимому, отмеченное сходство значений свидетельствует о синхронности как минимум основных трендов первого и второго периодов высокой численности. На отрезке с 1945 по 1952 г. при резком снижении промысловой нагрузки расхождения оказались существенно выше и составили от 43 до 360 %, без крайних вариантов — от 65 до 134 %. Причем во всех случаях расчетные значения допустимого вылова превысили учтенные.

Дополнительно было проведено зеркальное наложение учтенных значений вылова за период с 1926 по 1939 г. на временной отрезок, обратное исчисление которого затрагивает временной интервал с 1954 по 1941 г. Значения, полученные в результате обеих манипуляций с данными за период с 1944 по 1954 г. (на рис. 3 отмечены ромбиками), были усреднены. Скорректированные таким образом оценки вылова представлены на рис. 3.

Теперь точка перегиба на полиномиальной кривой вылова в первый период высокой численности тихоокеанских лососей российского происхождения поднялась почти до 350 тыс. т. Средние значения вылова в 1926–1960 гг. составили 320 тыс. т*. Точка перегиба на полиномиальной кривой вылова в наступивший затем период низкой численности (1961–1999 гг.) находилась на уровне около 130 тыс. т. Средние значения годового вылова составили около 180 тыс. т, а средний вылов за весь период наблюдений — около 250 тыс. т.

Представленный на рис. 3 график позволяет высказать предположения о длительности полных циклов динамики численности тихоокеанских лососей российского происхождения. Минимальные точки перегиба расположены около 1911 и 1982 гг. Максимальные точки перегиба — около 1942 и 2016 гг. Расположение последней точки, находящейся слишком близко к современной границе графика, может измениться в зависимости от величины уловов на протяжении 2020-х гг.

Ранее для тихоокеанских лососей в целом длительность периодов полного цикла динамики численности обозначали в пределах 55–65 лет [Кляшторин, 2000; Кляшторин, Любушин, 2005], а для лососей российского происхождения — в пределах 65–75 лет [Макоедов, Макоедов, 2022а]. Как видно на рис. 3, полный цикл от минимумов на кривых одного периода низкого уровня численности до соответствующих параметров другого занял примерно 72 года, а от условных максимумов одного периода высокого уровня численности до другого — около 75 лет. Полученные значения позволяют считать, что один полный цикл в динамике численности тихоокеанских лососей российского происхождения занимает не менее 70 лет.

* С учетом корректировок.

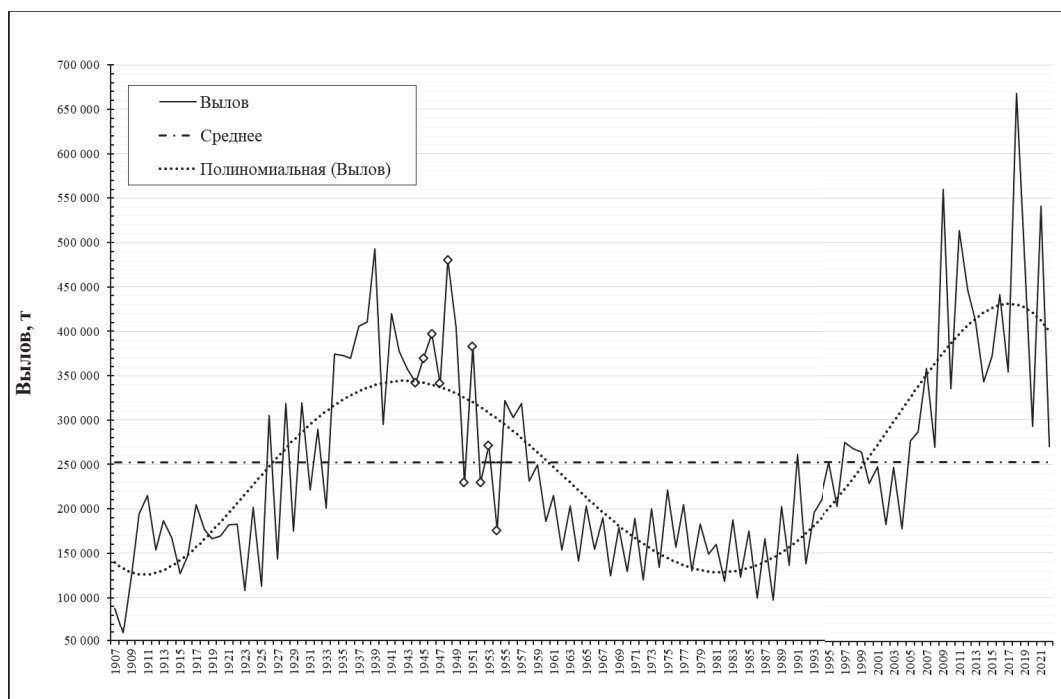


Рис. 3. Скорректированный вылов тихоокеанских лососей российского происхождения. Пояснения в тексте

Fig. 3. Adjusted catch of pacific salmon of Russian origin (see detailed explanation in the text)

Продолжительность высокого уровня численности составила около 35 лет, а низкого — около 40 лет. По-видимому, принимая во внимание различные неопределенности, связанные с учетом вылова, длительности высокого и низкого уровня численности примерно равны и находятся в относительно устойчивом интервале от 35 до 40 лет.

Можно заметить, что на завершающем отрезке первого зафиксированного периода низкой численности, который продолжался примерно до 1925 г., и в первой половине первого зафиксированного периода высокой численности, начавшегося предположительно в 1926 г., более высокие уловы приходились на четные годы. Однако по мере роста объемов добычи (1936–1938 гг.) происходили так называемые смены доминанты. Рекордный вылов, зафиксированный для лососей российского происхождения в первый период высокой численности, пришелся на нечетный 1939 г. В 1941–1943 гг. опять произошла смена доминанты. Вторая половина рассматриваемого периода высокой численности в значительной мере была смоделирована для понимания общего уровня добычи. Судить на основании данного графика о том, какие конкретно годы были рыбными, а какие нет, — вряд ли корректно. Тем не менее, судя по учтенным уловам (см. рис. 3), начиная с 1947 г. более урожайными были путины нечетных лет. Об этом же свидетельствуют и скорректированные данные. Несовпадение отмечено лишь для 1948 г., который при предложенном варианте корректировки должен был быть высокоурожайным. Возможно, незначительная величина учтенного вылова обусловлена тем, что к первой половине 1948 г. с Сахалина и Курильских островов, традиционно вносящих значительный вклад в общую добычу лососей, была проведена массовая депортация японского населения (по различным оценкам от 300 до 360 тыс. чел.) [[https://dzen.ru/a/Xy4oVDD53TGWpZME#:~:text=Депортация%20\(репатриация\)%20японцев%20с%20Курил.,покинуло%20357%20тысяч%20японских%20граждан](https://dzen.ru/a/Xy4oVDD53TGWpZME#:~:text=Депортация%20(репатриация)%20японцев%20с%20Курил.,покинуло%20357%20тысяч%20японских%20граждан); https://ru.wikipedia.org/wiki/Японская_репатриация_Южного_Сахалина_и_Курильских_островов], в основном работавшего на промыслах. Поэтому путина 1948 г. могла быть попросту провалена.

Сокращение объемов вылова, по-видимому, сопоставимо с величиной среднего вылова кеты и горбуши на японских концессиях в российских водах, составлявшего в 1930–1943 гг. примерно 200 тыс. т [Кляшторин, Любушин, 2005].

На первом этапе роста запасов тихоокеанских лососей российского происхождения более урожайными были путины четных лет. Незадолго до выхода на пик численности началась смена доминант, и с 1937 до 2011 г. (включая весь период низкой численности), за редкими исключениями, рыбными были нечетные годы (см. рис. 2, 3).

Во второй период высокой численности вновь происходят смены доминант. После, казалось бы, сверхурожайных 2009 и 2011 гг. рыбными оказались 2016 и 2018 гг. (с новым историческим рекордом вылова!). Однако затем доминанты опять изменились. В 2021 г. зафиксирован третий за весь период наблюдений результат по объемам вылова. 2020 и 2022 гг. оказались относительно низкоурожайными. Не исключено, что состояние устойчивого равновесия в плане чередования рыбных и нерыбных лет еще не достигнуто. Однако у нечетных лет шансов остаться урожайными, по-видимому, больше.

Основываясь на вышеизложенных предположениях, можно попытаться смоделировать динамику состояния запасов и возможных уловов тихоокеанских лососей российского происхождения до окончания второго периода высокой численности, т.е. предположительно до 2035 г. Для этого были привлечены три варианта получения прогнозной оценки. В первом зеркально отображены значения вылова в период с 2000 по 2012 г. Полученные значения приведены на рис. 4*. Во втором были применены



Рис. 4. Учетный и прогнозируемый вылов тихоокеанских лососей российского происхождения. Первый вариант оценки. Пояснения в тексте

Fig. 4. Accounted and forecasted catch of pacific salmon of Russian origin – the first assessments (see detailed explanation in the text)

* Примечательно, что полученная таким образом прогнозная оценка вылова для 2023 г. (513 тыс. т) практически совпала с прогнозом ВНИРО (511 тыс. т), доложенным в г. Южно-Сахалинск уже после направления данной статьи в редакцию журнала. <http://vniro.ru/ru/novosti/vniro-opredelyaet-perspektivy-lososevoj-putiny-na-2023-god>.

коэффициенты вылова в период с 1953 по 1965 г., рассчитанные относительно скорректированного вылова в 1952 г. В третьем коэффициенты вылова за тот же период времени были рассчитаны относительно учтенного вылова в 1943 г. На рис. 5 представлены усредненные значения, полученные по всем трем упомянутым вариантам.

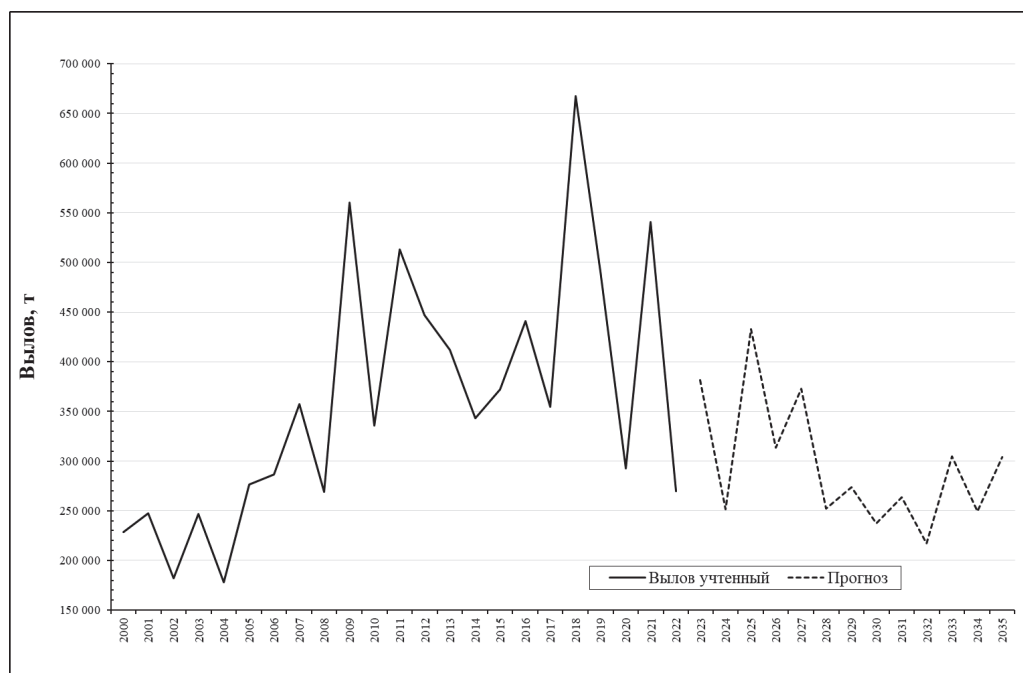


Рис. 5. Учетный и прогнозируемый вылов тихоокеанских лососей российского происхождения. Усредненная оценка. Пояснения в тексте

Fig. 5. Accounted and forecasted catch of pacific salmon of Russian origin — average assessments (see detailed explanation in the text)

Нестабильное чередование урожайных и неурожайных лет, несомненно, сказывается на степени вероятности оценок предполагаемого вылова в конкретные годы. Однако полученный диапазон значений, возможно, будет полезен для понимания общих тенденций в состоянии запасов тихоокеанских лососей на рассматриваемый период времени. Отмеченные аналогии и более-менее устойчивые последовательности в динамике численности тихоокеанских лососей российского происхождения за более чем вековой период времени позволяют предположить, что во второй половине 2020 — начале 2030-х гг. среднегодовые уловы, скорее всего, будут превышать уровень 250 тыс. т. По-видимому, даже в самые нерыбные годы объемы добычи не будут менее 200 тыс. т. Важнейший вопрос о распределении предполагаемого ресурсного потенциала по рыбопромысловым районам, а тем более по лососевым стадам, пока остается открытым.

Полученные оценки свидетельствуют о том, что сырьевая база отечественного лососевого хозяйства на заключительном отрезке периода высокой численности не позволяет рассчитывать на рентабельную работу на подавляющей части существующих рыболовных участков, предназначенных для промышленного рыболовства. Ресурсный потенциал будет примерно в 2–3 раза меньше, чем требуется для обеспечения среднего уровня экономической рентабельности. Понятно, что при наступлении периода низкой численности тихоокеанских лососей российского происхождения ситуация окажется еще более сложной. Более подробное обсуждение данного аспекта выходит за рамки предлагаемой работы.

Возможные критики, скорее всего, будут упрекать авторов в том, что предложенный подход слишком прост и даже примитивен. Однако, как показала история,

усложненные варианты формирования среднесрочных прогнозов возможного вылова тихоокеанских лососей российского происхождения не дали приемлемых результатов. Динамика численности объективно существует сама по себе, а отмечаемые связи с другими процессами субъективны, так как они прежде всего продукт человеческого разума. Поскольку природа организует ритмы жизни на нашей планете, то именно она должна знать в каком диапазоне, с какой ритмичностью и по каким причинам изменялась и будет изменяться численность тех или иных видов. Человек может лишь генерировать свои предположения на этот счет. В аспекте среднесрочного прогнозирования динамики численности промысловых гидробионтов это пока получается не слишком успешно.

Заключение

Уточнены некоторые параметры динамики численности тихоокеанских лососей российского происхождения и обоснованы на среднесрочную перспективу объемы возможного вылова. Средний вылов с 1907 по 2022 г. составил около 250 тыс. т. Полный цикл от минимумов на кривых одного периода низкого уровня численности до соответствующих параметров другого периода занял примерно 72 года, а от условных максимумов одного периода высокого уровня численности до другого — около 75 лет. Продолжительность высокого уровня численности составила ~ 35 лет, а низкого — ~ 40 лет. По-видимому, с учетом различных неопределенностей длительности высокого и низкого уровня численности примерно равны и находятся в относительно устойчивом интервале от 35 до 40 лет. Большая часть урожайных путин пришлась на нечетные годы. Смены доминант происходили чаще всего в периоды подъема численности тихоокеанских лососей. Во второй половине 2020 — начале 2030-х гг. среднесредовые уловы будут выше 250 тыс. т. Скорее всего, даже в самые нерыбные годы объемы добычи не будут менее 200 тыс. т. Сырьевая база отечественного лососевого хозяйства на заключительном отрезке периода высокой численности не позволяет рассчитывать на рентабельную работу на подавляющей части существующих рыболовных участков, предназначенных для промышленного рыболовства.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают глубокую признательность рецензентам и редакторам. Их конструктивные замечания в значительной мере способствовали повышению качества данной статьи.

The authors are grateful to the reviewers, whose constructive comments have contributed greatly to improvement of the article.

Финансирование работы (FUNDING)

Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ЮНЦ РАН, № ГР проекта 122020100328-1.

The article is prepared as implementation of the State Order to the Southern Scientific Center of Russian Ac. Sci., Project № GR 122020100328-1.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Авторы заявляют, что данный обзор не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки на все использованные в обзоре данные других авторов оформлены в соответствии с ГОСТом. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

The authors declare that this review does not contain their own experimental data obtained using animals or involving humans. Bibliographic references to all data of other authors used in the review are formatted in accordance with the state standards (GOST). The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Авторы в равной мере участвовали в сборе и обработке данных, обсуждении полученных результатов и написании статьи.

The authors participated equally in the data collection and processing, in discussion on results of the data analysis, and wrote jointly the text of article.

Дополнительная информация (ADDITIONAL INFORMATION)

Частично информация, связанная с содержанием статьи, ранее была размещена в средствах массовой информации на порталах fishnews.ru и fishkamchatka.ru.

Some issues concerning the article content were earlier partially posted in the mass-media on the portals fishnews.ru and fishkamchatka.ru.

Список литературы

Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ч. 1 : моногр. — 4-е изд., испр. и доп. — М. ; Л. : АН СССР, 1948. — 468 с. (Определители по фауне СССР, изд. ЗИН АН СССР, т. 27.); Ч. 2. — 1949. — С. 467–925. (т. 29); Ч. 3. — 1949. — С. 927–1382. (т. 30).

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

Кляшторин Л.Б. Тихоокеанские лососи: климат и динамика запасов // *Рыб. хоз-во.* — 2000. — № 4. — С. 32–34.

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

Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Кловач Н.В. и др. Влияние климато-океанологических факторов на состояние основных запасов горбуши в 1950–2015 гг. // *Тр. ВНИРО.* — 2015. — Т. 158. — С. 143–161.

Макоедов А.Н., Антонов Н.П., Куманцов М.И., Погодаев Е.Г. Теория и практика лососевого хозяйства на Дальнем Востоке // *Вопр. рыб-ва.* — 2006. — Т. 7, № 1. — С. 6–21.

Макоедов А.Н., Кожемяко О.Н. Основы рыбохозяйственной политики России : моногр. — М. : Нац. рыб. ресурсы, 2007. — 480 с.

Макоедов А.Н., Коротаев Ю.А., Антонов Н.П. Азиатская кета : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2009. — 356 с.

Макоедов А.Н., Макоедов А.А. Динамика численности тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus*, *Salmonidae*) российского происхождения и перспективы их добычи // *Вестн. КамчатГТУ.* — 2022а. — № 60. — С. 84–97. DOI: 10.17217/2079-0333-2022-60-84-97.

Макоедов А.Н., Макоедов А.А. Тихоокеанские лососи: состояние запасов и перспективы промысла // *Изв. ТИНРО.* — 2022б. — Т. 202, вып. 2. — С. 255–267. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-255-267. EDN: AEGYMV.

Шунтов В.П. Об упрощенных трактовках лимитирующих факторов и динамики численности некоторых промысловых рыб дальневосточных вод // *Изв. ТИНРО.* — 2017. — Т. 189. — С. 35–51. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-189-35-51.

References

Berg, L.S., *Ryby presnykh vod SSSR i sopredel'nykh stran* (Fish of Freshwaters of the USSR and Adjacent Countries), Leningrad: Akad. Nauk SSSR, 1948, 4th ed., part 1. [*Opredeliteli po faune SSSR* (Keys to Fauna of the USSR), Leningrad: Zool. Inst. Akad. Nauk SSSR, vol. 27.]; part 2, 1949, pp. 467–925 (vol. 29); part 3, 1949, pp. 927–1382 (vol. 30).

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.

Klyashtorin, L.B., Pacific salmon: climate and stock dynamics, *Rybn. Khoz.*, 2000, no. 4, pp. 32–34.

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

Kotenev, B.N., Krovnin, A.S., Klovach, N.V., Mordasova, N.V., and Muriy, G.P., Impact of climatic and oceanographic factors on the state of main pink salmon stocks, 1950–2015, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 158, pp. 143–161.

Makoedov, A.N., Antonov, N.P., Kumantsov, M.I., and Pogodaev, E.G., Theory and practice of salmon fisheries in the Far East, *Vopr. Rybolov.*, 2006, vol. 7, no. 1, pp. 6–21.

Makoedov, A.N. and Kozhemyako, O.N., *Osnovy rybokhozyaystvennoy politiki Rossii* (The Principles of fishery policy in Russian Federation), Moscow: Natsionalnye Rybnye Resursy, 2007.

Makoedov, A.N., Korotaev, Yu.A., and Antonov, N.P., *Aziatskaya keta* (Asian Chum Salmon), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2009.

Makoedov, A.N. and Makoedov, A.A., Population dynamics and catch prospects of Russian Pacific salmon (*Oncorhynchus*, Salmonidae), *Vestn. Kamchatskogo Gos. Tekh. Univ.*, 2022, no. 60, pp. 84–97. doi 10.17217/2079-0333-2022-60-84-97

Makoedov, A.N. and Makoedov, A.A., Pacific salmon: status of stocks and prospects for the fishery, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 2, pp. 255–267. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-255-267. EDN: AEGYMV.

Shuntov, V.P., On simplified interpretations of limiting factors and dynamics of for abundance for some commercial fishes in the Far Eastern waters, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 189, pp. 35–51, doi 10.26428/1606-9919-2017-189-35-51

Ulovy tikhookeanskikh lososey (1900–1986 gg.) (Pacific salmon catches (1900–1986)), Moscow: VNIRO, 1989.

Поступила в редакцию 31.01.2023 г.

После доработки 6.02.2023 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

*The article was submitted 31.01.2023; approved after reviewing 6.02.2023;
accepted for publication 3.03.2023*

Научная статья

УДК 639.371:597.552.51

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-58-74

EDN: QPTWBF



**О СОСТОЯНИИ ПРОМЫСЛОВОГО СТАДА КЕТЫ
ONCORHYNCHUS KETA И ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЕГО ЧИСЛЕННОСТИ
У ОСТРОВА ИТУРУП**

А.Н. Ельников¹, О.В. Зеленников^{2*}¹ Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,
105187, г. Москва, Окружной проезд, 19;² Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

Аннотация. Проанализированы динамика численности и размерно-возрастная структура стада кеты, сформированного в заливах Простор и Курильский (о. Итуруп, Сахалинская область). Выпуск молоди кеты в акваторию заливов увеличился с 10,7 млн мальков в 1996 г. до 197,6 млн в 2020 г. В тесной связи ($r = 0,66$) с объемом выпуска молоди увеличился и улов кеты с 800 т в 1998 г. до 18968 т в 2019 г. При этом динамика вылова кеты в двух заливах из года в год практически совпадала. Если формировалось урожайное поколение, то его облавливали в обоих заливах, и напротив, если выживаемость поколения была невысокой, то низкий улов отмечали повсеместно. В период с 2014 по 2022 г. в уловах кеты выраженно преобладали производители младших возрастных групп — 2+ и 3+, среди которых доминировали рыбы в возрасте 3+. Всего из 22939 производителей кеты, исследованных в эти годы, возраст 3+ имели 14221 экз., или 62,0 %. Прогноз массы улова кеты в заливах Простор и Курильский основан на двух факторах: на значительном доминировании в каждом из поколений производителей в возрасте 3+ и на тесной связи между уловом рыб в возрасте 2+ и уловом в возрасте 3+ в следующем году ($r = 0,89$; $r_s = 0,98$). В качестве дополнительного критерия отметим тесную связь между уловом горбуши и уловом производителей кеты в возрасте 3+ от поколений молоди, выпущенных в один год ($r = 0,71$; $r_s = 0,75$).

Ключевые слова: кета, *Oncorhynchus keta*, Итуруп, характеристика производителей

Для цитирования: Ельников А.Н., Зеленников О.В. О состоянии промыслового стада кеты *Oncorhynchus keta* и прогнозировании его численности у острова Итуруп // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 58–74. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-58-74. EDN: QPTWBF.

* Ельников Андрей Николаевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, elnikow@rambler.ru, ORCID 0000-0001-5511-2382; Зеленников Олег Владимирович, доктор биологических наук, доцент, oleg_zelennikov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-8779-7419.

© Ельников А.Н., Зеленников О.В., 2023

Original article

On state of commercial herd of chum salmon *Oncorhynchus keta* and forecasting its abundance at Iturup Island

Andrey N. Elnikov*, Oleg V. Zelennikov**

* Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
19, Okružnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

** St. Petersburg State University,
7/9, Universitetskaya Emb., St. Petersburg 199034, Russia

* Ph.D, senior researcher, elnikov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-5511-2382

** D.Biol., assistant professor, oleg_zelennikov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-8779-7419

Abstract. Population dynamics and size-age structure are analyzed for the chum salmon herd formed in the Prostor and Kurilsky Bays of Iturup Island (Kuril Islands). Release of chum juveniles into the waters of the bays increased from $10.7 \cdot 10^6$ ind. in 1996 to $197.6 \cdot 10^6$ ind. in 2020. The catch of adults was closely related with the release of juveniles ($r = 0.66$) and increased from 800 t in 1996 to 18,968 t in 2019. Year-to-year dynamics of the chum salmon catch coincides in these two bays, i.e. strong year-classes provide good catch in both bays and low survival causes low catch everywhere. The spawners of age groups 2+ and 3+, mostly 3+ (62 %, on average) dominated in the catches in 2014–2022. This feature makes available the forecast of chum salmon landing in the Prostor and Kurilsky Bays because of strong dependence of annual catch of fish at the age 3+ on the catch at the age 2+ in preceding year ($r = 0.89$; $r_s = 0.98$). Besides, a significant relationship is noted between the annual catches of chum and pink salmon belonged to the same year-class, i.e. between the catches of chum salmon at the age 3+ and the catches of pink salmon in preceding year ($r = 0.71$; $r_s = 0.75$).

Keywords: chum salmon, *Oncorhynchus keta*, Iturup, spawner

For citation: Elnikov A.N., Zelennikov O.V. On state of commercial herd of chum salmon *Oncorhynchus keta* and forecasting its abundance at Iturup Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 58–74. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-58-74. EDN: QPTWBF.

Введение

Согласно данным статистики о. Итуруп, несмотря на сравнительно небольшие размеры, является одним из наиболее заметных центров по воспроизводству и промыслу тихоокеанских лососей [Шевляков и др., 2020]. При этом все лососевые рыбо-водные заводы (ЛРЗ) в современном виде и все рыбоперерабатывающие предприятия на острове были построены после 1991 г. Первыми были введены в эксплуатацию Рейдовый — в 1999 г. — и Курильский (основной цех) — в 2004 г. — заводы. В последующие годы на Итурупе были построены еще 15 предприятий, ориентированных главным образом на выпуск молоди кеты [Каев и др., 2021]. В результате в дополнение к стаду горбуши, основанному преимущественно на природном нересте, здесь формируется стадо кеты [Кловач и др., 2018], для освоения ресурсов которых построена и строится в настоящее время производственная инфраструктура.

Формирование на Итурупе сравнительно крупных стад горбуши и кеты определяется как численностью выпускаемой молоди, так и разнообразием условий для ее воспроизводства. Так, именно на Итурупе работают крупнейшие в России заводы по воспроизводству лососевых — Курильский и Рейдовый, а последний из них является и самым тепловодным предприятием для массового воспроизводства молоди горбуши [Зеленников и др., 2020a]. Есть предприятия, на которых используют только грунто-вые воды (ЛРЗ «Бухта Оля»), и те, где на завершающих этапах выращивания молодь содержат в морской воде (ЛРЗ «Китовый», «Консервный»). Здесь работает самый тепловодный завод (ЛРЗ «Янкито»), на котором температура воды в течение всего года не опускается ниже 10 °C, и наконец, только на Итурупе построена целая серия пред-приятий прудового типа (ЛРЗ «Минеральный», «Лебединый» и др.), где всю молодь

выращивают в одном общем пруду и для которых в том числе разработана биотехника совместного выращивания молоди кеты и горбуши [Зеленников и др., 2020б].

Современная методика прогнозирования вылова кеты основана на анализе данных возврата в предыдущие годы [Каев, Игнатьев, 2013]. Но таких данных нет для многих заводов, с которых молодь начали выпускать сравнительно недавно — в 2016 г. (ЛРЗ «Лебединый»), в 2017 г. (ЛРЗ «Минеральный»), в 2019 г. (ЛРЗ «Консервный»). Между тем это предприятия с мощностью выпуска около 20 млн мальков каждый. На остальные заводы к настоящему времени вернулись производители всего 3–6 поколений по сумме всех возрастных групп. Относительно протяженные ряды наблюдений есть только для Курильского и Рейдового ЛРЗ, однако основным объектом воспроизводства на этих заводах остается молодь горбуши, а продукция кеты в общем выпуске молоди всеми заводами невелика. Например, в 2020 г. из 197,6 млн мальков кеты, выпущенных в заливы Курильский и Простор, доля мальков, выпущенных с Курильского и Рейдового ЛРЗ, составила только 21,6 %.

Цель нашей работы — представить современные сведения о состоянии промыслового стада кеты в заливах Простор и Курильский и, с учетом дефицита данных для прогнозирования возврата производителей на каждый из рыбоводных заводов, проанализировать обобщенные данные с позиции их возможного использования для прогнозирования общей массы улова.

Материалы и методы

Производителей кеты исследовали в период их нерестового хода в бассейны заливов Простор и Курильский (о. Итуруп, Сахалинская область) в августе-ноябре с 2014 по 2022 г. Для проведения анализов рыб случайным образом отбирали из уловов ставных, кошелековых и закидных неводов, а также из партий производителей, которые самостоятельно подходили к пунктам сбора икры (забойкам) лососевых рыбоводных заводов.

За единственным исключением для формирования одной выборки брали по 100 экз. Всего за 9 лет было отобрано 230 выборок, в которых обработано 22939 производителей кеты. В ходе проведения биоанализов у каждой особи определяли стандартный ряд биологических показателей: длина (до основания и конца центральных лучей хвостового плавника), масса тела (общая и без внутренностей), пол, масса гонад, величина гонадосоматического индекса, стадия зрелости, величина абсолютной плодовитости. Возраст каждого экземпляра определяли по чешуе.

Статистические данные по выпуску молоди с рыбоводных заводов, общему вылову горбуши, а также вылову кеты, как общему, так и по заливам отдельно, взяты на предприятии ЗАО «Курильский рыбак». Отметим, что горбушу ловят в заливах Курильский и Простор и далее по охотоморскому побережью на север вплоть до р. Медвежьей, впадающей в прол. Фриза. Кету в северной части острова по охотоморскому побережью добывают только как прилов при промысле горбуши. Большую же часть кеты ловят только в заливах Простор и Курильский.

При статистическом анализе достоверность различий средних значений устанавливали при помощи t-критерия Стьюдента ($p < 0,05$). Связь между численностью молоди и массой улова кеты, между массой улова кеты и горбуши, а также между массой улова производителей кеты разных возрастных групп оценивали, используя ранговый коэффициент корреляции Спирмена и коэффициент парной корреляции Пирсона. В случае статистически значимой сильной корреляционной связи (коэффициент корреляции Пирсона больше 0,7) зависимость между переменными описывали с помощью уравнения парной линейной регрессии.

Результаты и их обсуждение

О динамике выпуска молоди и вылова производителей кеты в заливах Простор и Курильский. Как было отмечено ранее, рыбоводные заводы, ориентированные на вы-

пуск молоди кеты, вводили в эксплуатацию последовательно один за другим. Именно с этим связано постепенное увеличение объема рыболовной продукции с 10,7 млн в 1996 г. до 197,6 млн мальков в 2020 г. (рис. 1, А). До 2010 г. молодь кеты выпускали только с Рейдового и Курильского ЛРЗ. Двукратное увеличение численности молоди в этот период было связано с общей тенденцией для всех заводов Сахалинской области — постепенным замещением объема выпуска молоди горбуши выпуском молоди кеты. Увеличение объема рыболовной продукции в последующие годы было связано с вводом в эксплуатацию новых рыболовных заводов — в 2010, 2012, 2015, 2016, 2017 и 2019 гг., каждый из которых имел производственную мощность не менее 20 млн мальков. Таким образом, общий объем молоди кеты, которую выпускали в заливы Простор и Курильский, последовательно увеличивался. Разовое сокращение численности выпущенной молоди до 118,3 млн экз. в 2018 г. было связано с невыполнением планового задания по закладке.

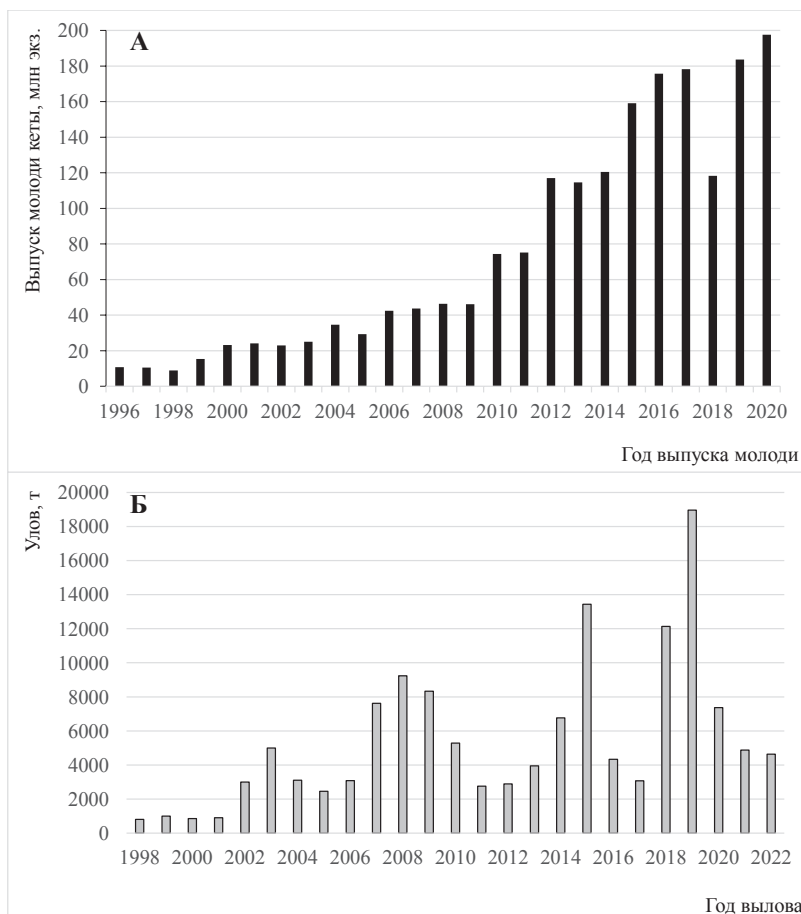


Рис. 1. Динамика выпуска молоди кеты с рыболовных заводов в заливы Простор и Курильский (А) и динамика вылова производителей кеты в этих бассейнах (Б)

Fig. 1. Dynamics of release of juvenile chum salmon from hatcheries to Prostor and Kurilsky bays (А), and dynamics of catch of chum salmon spawners (Б) in these basins

В соответствии с объемом рыболовной продукции увеличивался и вылов половозрелой кеты, с 800 т в 1998 г. до 18968 т в 2019 г. (рис. 1, Б). Если сопоставить численность выпускаемой молоди и улов половозрелой кеты через три года, то связь между этими величинами оказывается достоверной ($y = 81,775x + 1465,6$; $r = 0,67$; $r_s = 0,85$). Вместе с тем можно видеть, что высокие уловы кеты из года в год чередовались с низкими.

О возрастной структуре стада кеты. Анализируя возраст полового созревания производителей кеты, можно отметить, что основу сформированного на заводах о. Итуруп стада кеты составляют сравнительно молодые особи — в возрасте 2+ и 3+. Так, в 2014 г. доля рыб этих возрастных групп в сумме была 62,2 %, а в следующем 2015 г. еще больше — 76,0 % (табл. 1). При этом доля рыб разных возрастных групп в бассейнах двух заливов оказалась сходной.

В 2016 г. ситуация, казалось бы, качественно изменилась. В обоих заливах и в общем улове значительно преобладали особи в возрасте 4+ — 71,2 % (табл. 1). Однако этот факт всего лишь свидетельствует о том, что в 2012 г. по сумме всех факторов было сформировано урожайное поколение, и оно оказалось значительно более массовым, чем поколение выпуска 2013 г. В результате в улове 2016 г. количество рыб в возрасте 4+ от урожайного поколения оказалось значительно больше, чем рыб в возрасте 3+, но от неурожайного поколения.

Возрастная структура улова следующего 2017 г. оказалась наиболее отличающейся от структуры всех предыдущих и последующих уловов. С одной стороны, в промысел вступало следующее многочисленное поколение от выпуска 2014 г., в результате чего 39,0 % всего улова было представлено наиболее молодыми особями в возрасте 2+. С другой стороны, еще приходили на нерест производители предыдущего урожайного поколения — от выпуска 2012 г. В результате доля рыб самой старшей возрастной группы 5+ также была весьма значительной — 14,5 %, по крайней мере по сравнению с долей этих рыб во все предыдущие и все последующие годы (табл. 1).

Возрастная структура улова следующих 5 лет была сходной и привычной для стада кеты о. Итуруп с выраженным преобладанием особей младших возрастных групп, преимущественно в возрасте 3+ (табл. 1). Особенно значительное преобладание молодых особей было в улове 2018 г. — в сумме 97,1 %. Это объясняется тем, что в промысле оказались одновременно производители двух урожайных поколений — в возрасте 3+ от выпуска 2014 г. и в возрасте 2+ от выпуска 2015 г. — последнего на нынешний год урожайного поколения на о. Итуруп.

В завершение отметим факт, хорошо, впрочем, известный для размерно-возрастной структуры кеты как биологического вида. Среди производителей самой младшей возрастной группы 2+ выражено в течение всех лет преобладали самцы. В сумме за 9 лет исследований число самцов этого возраста составило 2156 экз. (или 9,4 % от общего числа исследованных производителей), тогда как число самок — 596 экз. (2,6 %). Среди особей самых старших возрастных групп 5+ и 6+, напротив, численно преобладали самки. В сумме за все годы число самцов этих возрастов составило 283 экз. (1,2 %), а самок — 423 экз. (1,8 %).

О динамике роста и массе производителей кеты. Массу производителей кеты проанализировали в масштабах каждой возрастной группы самок и самцов, как отдельно для каждого из заливов, так и для двух заливов вместе, и выявили весьма существенные межгодовые различия, внешне никак не связанные с общим объемом вылова. Так, в 2017 г. в бассейнах заливов Простор и Курильский зафиксирован самый низкий улов кеты за последние 9 лет — 3063 т (табл. 1). При этом в возрасте 2+, 3+ и 4+ масса рыб в среднем была значительной, составив для самок соответственно 2,22; 3,08 и 3,46 кг, а для самцов — 2,20; 3,40 и 3,92 кг (табл. 2). В 2022 г. улов был ненамного больше — 4630 т (см. табл. 1), но при этом масса рыб соответствующих возрастных групп в среднем была значительно меньше — для самок 1,90; 2,29 и 2,65 кг, для самцов — 1,90; 2,58 и 3,03 кг. Особенно значительной представляется разница по массе производителей самых крупных групп в возрасте 3+; масса самок и самцов в 2022 г. была примерно на 800 г меньше, чем в 2017 г., или соответственно на 25,6 и 24,1 %.

Масса кеты из разных заливов в один год различалась значительно меньше, чем в одном заливе в разные годы. Например, в 2017 г. масса самок в возрасте 3+ в среднем составила 3,08 кг, при этом масса рыб из заливов Простор и Курильский была практически

Таблица 1

Возрастная структура стада кеты в бассейнах заливов Простор и Курильский

Table 1

Age structure of the chum salmon stock in the basins of Prostor and Kurilsky bays

Год	Залив	Число рыб	Число самок		Число самцов		Число рыб в возрасте					Доля рыб в возрасте (%)					Масса улова, т	Масса рыб в возрасте (т)				
			Экз.	%	Экз.	%	2+	3+	4+	5+	2+	3+	4+	5+	2+	3+		4+	5+			
2014	Простор	1089	520	47,8	569	52,2	123	557	363	46	11,3	51,4	33,3	4,0	5484	620	2819	1826	219			
	Курильский	350	147	42,0	203	58,0	43	173	118	16	12,3	49,4	33,7	4,6	1291	159	638	435	59			
	Оба залива	1439	667	46,4	772	53,6	166	730	481	62	11,5	50,7	33,4	4,4	6775	779	3457	2261	278			
2015	Простор	1500	726	48,4	774	51,6	10	1065	315	110	0,7	71,0	21,0	7,3	10109	71	7177	2123	738			
	Курильский	800	342	42,8	458	57,2	9	664	110	17	1,1	83,0	13,7	2,2	3325	37	2760	455	73			
	Оба залива	2300	1068	46,4	1232	53,6	19	1729	425	127	0,8	75,2	18,5	5,5	13434	108	9937	2578	811			
2016	Простор	1000	600	60,0	400	40,0	21	250	697	32	2,1	25,0	69,7	3,2	2710	57	677	1889	87			
	Курильский	1000	530	53,0	470	47,0	7	254	726	13	0,7	25,4	72,6	1,3	1625	11	413	1180	21			
	Оба залива	2000	1130	56,5	870	43,5	28	504	1423	45	1,4	25,2	71,1	2,3	4335	68	1090	3069	108			
2017	Простор	1500	513	34,2	987	65,8	705	524	174	97	47,0	34,9	11,6	6,8	2237	1051	781	259	146			
	Курильский	1100	413	37,6	687	62,4	310	258	253	279	28,2	23,4	23,0	25,4	826	233	193	190	210			
	Оба залива	2600	926	56,6	1674	63,4	1015	782	427	376	39,0	30,1	16,4	14,5	3063	1284	974	449	356			
2018	Простор	1200	616	51,3	584	48,7	117	1045	37	1	9,7	87,1	3,1	0,1	7618	739	6635	236	8			
	Курильский	1300	554	42,6	746	57,4	191	1074	26	9	14,7	82,6	2,0	0,7	4528	665	3740	91	32			
	Оба залива	2500	1170	46,8	1330	53,2	308	2119	63	10	12,3	84,8	2,5	0,4	12146	1404	10375	327	40			
2019	Простор	1200	586	48,8	614	51,2	91	915	193	1	7,6	76,2	16,1	0,1	8379	637	6385	1349	8			
	Курильский	1300	655	50,4	645	49,6	51	1025	223	1	3,9	78,8	17,1	0,2	10589	412	8344	1811	22			
	Оба залива	2500	1241	49,6	1259	50,4	142	1940	416	2	5,7	77,6	16,6	0,1	18968	1049	14729	3160	30			
2020	Простор	1200	523	43,6	677	56,4	164	917	114	5	13,7	76,4	9,5	0,4	3589	492	2742	341	14			
	Курильский	1900	963	50,7	937	49,3	66	1269	546	19	3,5	66,8	28,7	1,0	3776	132	2522	1084	38			
	Оба залива	3100	1486	47,9	1614	52,1	230	2186	660	24	7,4	70,5	21,3	0,8	7365	624	5264	1425	52			
2021	Простор	1300	744	57,2	556	42,8	53	724	515	8	4,1	55,7	39,6	0,6	2676	110	1490	1060	16			
	Курильский	1600	908	56,7	692	43,3	101	1148	346	5	6,3	71,7	21,6	0,4	2753	173	1974	595	11			
	Оба залива	2900	1652	56,9	1248	43,1	154	1872	861	13	5,3	64,6	29,7	0,4	5429	283	3464	1655	27			
2022	Простор	1800	760	42,2	1040	57,8	320	1239	198	43	17,8	68,8	11,0	2,4	2906	517	1999	320	70			
	Курильский	1800	830	46,1	970	53,9	370	1120	262	48	20,6	62,2	14,6	2,7	1724	355	1072	252	45			
	Оба залива	3600	1590	44,2	2010	55,8	690	2359	460	91	19,2	65,5	12,8	2,5	4630	872	3071	572	115			

Mass of chum salmon spawners in the basins of Prostor and Kurilsky bays

Год	Залив	Число рыб	Самки						Самцы									
			2+		3+		4+		5+ и 6+		2+		3+		4+		5+ и 6+	
			Экз.	Кг	Экз.	Кг	Экз.	Кг	Экз.	Кг	Экз.	Кг	Экз.	Кг	Экз.	Кг	Экз.	Кг
2014	Простор	1089	42	2,75	277	2,99	180	3,24	21	3,40	81	2,62	280	3,39	183	3,78	25	3,56
	Курильский	350	5	2,57	69	2,83	65	3,22	8	3,31	38	2,64	104	3,25	53	3,66	8	3,45
	Оба залива	1439	47	2,73	346	2,96	245	3,24	29	3,37	119	2,63	384	3,35	236	3,75	33	3,53
2015	Простор	1500	2	2,75	504	2,94	150	3,24	70	3,23	9	2,50	561	3,38	165	3,55	39	3,65
	Курильский	800	1	3,14	281	2,74	50	3,26	10	3,38	7	2,23	383	2,98	60	3,31	8	3,79
	Оба залива	2300	3	2,88	785	2,87	200	3,25	80	3,25	16	2,38	944	3,22	225	3,48	47	2,88
2016	Простор	1000	9	2,63	147	2,65	430	2,72	20	2,93	12	2,40	103	2,80	267	3,10	12	3,34
	Курильский	1000	2	2,00	100	2,32	422	2,53	6	3,07	5	2,63	154	2,54	304	2,66	7	2,79
	Оба залива	2000	11	2,54	247	2,52	852	2,63	26	2,76	17	2,47	257	2,64	571	2,87	19	3,26
2017	Простор	1500	154	2,23	224	3,08	82	3,46	53	3,57	551	2,28	300	3,49	92	4,04	44	4,37
	Курильский	1100	39	2,21	91	3,09	130	3,46	153	3,62	271	2,03	167	3,24	123	3,83	126	4,02
	Оба залива	2600	193	2,22	315	3,08	212	3,46	206	3,61	822	2,20	467	3,40	215	3,92	170	4,11
2018	Простор	1200	23	2,00	577	2,40	15	2,69	1	3,63	94	2,05	468	2,75	22	3,39	—	—
	Курильский	1300	34	2,00	503	2,36	13	3,08	4	3,23	157	2,01	571	2,67	13	3,07	5	3,90
	Оба залива	2500	57	2,00	1080	2,38	28	2,84	5	3,31	251	2,03	1039	2,71	35	3,27	5	3,90
2019	Простор	1200	18	2,46	466	2,91	101	3,45	1	2,68	73	2,36	449	3,31	92	3,99	—	—
	Курильский	1300	17	2,26	496	2,86	141	3,25	1	3,96	34	2,46	529	3,22	82	3,76	—	—
	Оба залива	2500	35	2,37	962	2,89	242	3,33	2	3,32	107	2,39	978	3,26	174	3,88	—	—
2020	Простор	1200	47	1,79	412	2,30	61	3,16	3	3,77	117	1,83	505	2,77	53	3,72	2	4,47
	Курильский	1900	28	2,01	618	2,46	308	3,05	9	3,41	38	1,93	651	2,72	238	3,66	10	4,02
	Оба залива	3100	75	1,87	1030	2,40	369	3,07	12	3,50	155	1,86	1156	2,74	291	3,67	12	4,10
2021	Простор	1600	19	2,14	676	2,58	210	3,08	3	3,97	82	2,02	472	2,89	136	3,52	2	3,87
	Курильский	1300	12	2,24	407	2,56	319	3,04	6	3,26	41	1,99	317	2,74	196	3,42	2	2,54
	Оба залива	2900	31	2,18	1083	2,57	529	3,06	9	3,49	123	2,01	789	2,83	332	3,46	4	3,21
2022	Простор	1800	51	1,89	569	2,32	110	2,74	30	2,96	269	1,96	670	2,62	88	3,13	13	3,48
	Курильский	1800	93	1,90	563	2,25	144	2,59	30	2,92	277	1,84	557	2,54	118	2,96	18	2,92
	Оба залива	3600	144	1,90	1132	2,29	254	2,65	60	2,94	546	1,90	1227	2,58	206	3,03	31	3,15

одинаковой — 3,08 и 3,09 кг; в 2018 г. масса самок этого возраста была соответственно 2,38 кг, 2,40 и 2,36 кг (табл. 2). Такую закономерность можно проследить для самок и самцов каждой размерной группы при достаточном для сравнения количестве особей.

О возврате производителей в возрасте 2+. При проведении работы в течение каждого года стремились максимально равномерно обследовать промысловое стадо, во-первых, примерно в равной мере распределяя анализы по бассейнам двух заливов, во-вторых, обследуя уловы из разных неводов и со всех забоечных пунктов рыбоводных заводов. Однако уже по итогам исследований 2015 и 2016 гг. стало очевидно, что фактически каждая выборка адекватно отражала возрастную структуру стада конкретного года. Если в эти годы доля рыб в возрасте 2+ была в среднем соответственно 0,8 и 1,0 %, то это было характерно для всех выборок этих лет (рис. 2, А, Б). В 2017 г. зафиксировали вступление в промысел урожайного поколения, о чем свидетельствовало многократное увеличение доли рыб в возрасте 2+ в большинстве обследованных партий (рис. 2, В).

В последующие годы можно было видеть сходные закономерности. Во-первых, доля рыб в возрасте 2+ в среднем была практически одинаковой в двух заливах. Во-вторых, практически не встречались выборки, в которых бы доля производителей трехлетнего возраста значительно отличалась от среднего значения для конкретного года. Есть лишь два исключения из этого правила, которые следует обсудить отдельно. Так, в 2020 г. в зал. Простор доля рыб в возрасте 2+ — в среднем 13,7 % — была почти в 4 раза больше, чем в зал. Курильском, — 3,5 % (см. табл. 1). При этом доля рыб этой группы во всех выборках из первого залива была больше, чем во всех выборках из второго залива (рис. 2, Ж). Можно было предположить, что в зал. Простор сложились более благоприятные условия для выживания молоди кеты в прибрежье, чем в зал. Курильском. Однако ожидавшегося увеличения вылова кеты в зал. Простор на следующий год не произошло. Второй случай — это наличие подавляющего численного преобладания (до 80 %) рыб трехлетнего возраста в двух выборках, отобранных на ЛРЗ «Янкито» в 2021 г. (рис. 2, 3). Этот факт объясняется тем, что на завод впервые ожидаемо пришли первые производители после кардинального изменения биотехники воспроизводства [Зеленников и др., 2021].

В завершение рассмотрим такой показатель, как масса улова рыб в возрасте 2+ от числа выпущенных мальков. В период с 2012 по 2020 г. со всех заводов в заливы Простор и Курильский было выпущено соответственно 117, 114, 120, 159, 175, 178, 118, 191 и 197 млн мальков кеты. Возврат рыб в возрасте 2+ (табл. 1) от выпущенной ранее молоди ожидаемо различался в разные годы, являясь отражением выживания рыбоводной продукции конкретных поколений. Меньше всего рыб в возрасте 2+ вернулось в 2016 г., от выпуска 2014 г., а больше всего — в 2017 г., соответственно 0,56 и 8,07 т на 1 млн выпущенных мальков. Статистической связи между численностью выпущенной молоди и массой улова кеты в возрасте 2+ не выявлено. Отметим лишь, что в среднем масса улова производителей кеты в возрасте 2+ составила 4,60 т на 1 млн выпущенных мальков.

О связи между выловом кеты и горбуши одного поколения. Одним из критериев, косвенно указывающих на возможный улов кеты, является улов горбуши поколения этого же года. Поскольку молодь обоих видов оказывается в прибрежье в сходных условиях, то численность горбуши, созревающей в возрасте 1+, может заблаговременно указать на выживаемость поколения кеты. Представляется возможным, что если связь между выживанием поколения горбуши и кеты в прибрежье о. Итуруп существует, то выявить ее можно по величине улова горбуши в возрасте 1+ и улова кеты доминирующей возрастной группы 3+.

Поскольку численность молоди обоих видов из года в год оказывалась разной, то для оценки выживаемости поколений одного года предлагается следующий алгоритм. По данным численности молоди кеты, выпущенной в заливы Простор и Курильский (табл. 3), видно, что меньше всего мальков — 75,1 млн экз. — было выпущено в 2011 г. Принимаем это значение за единицу. В 2012 г. было выпущено молоди в 1,56 раза больше,

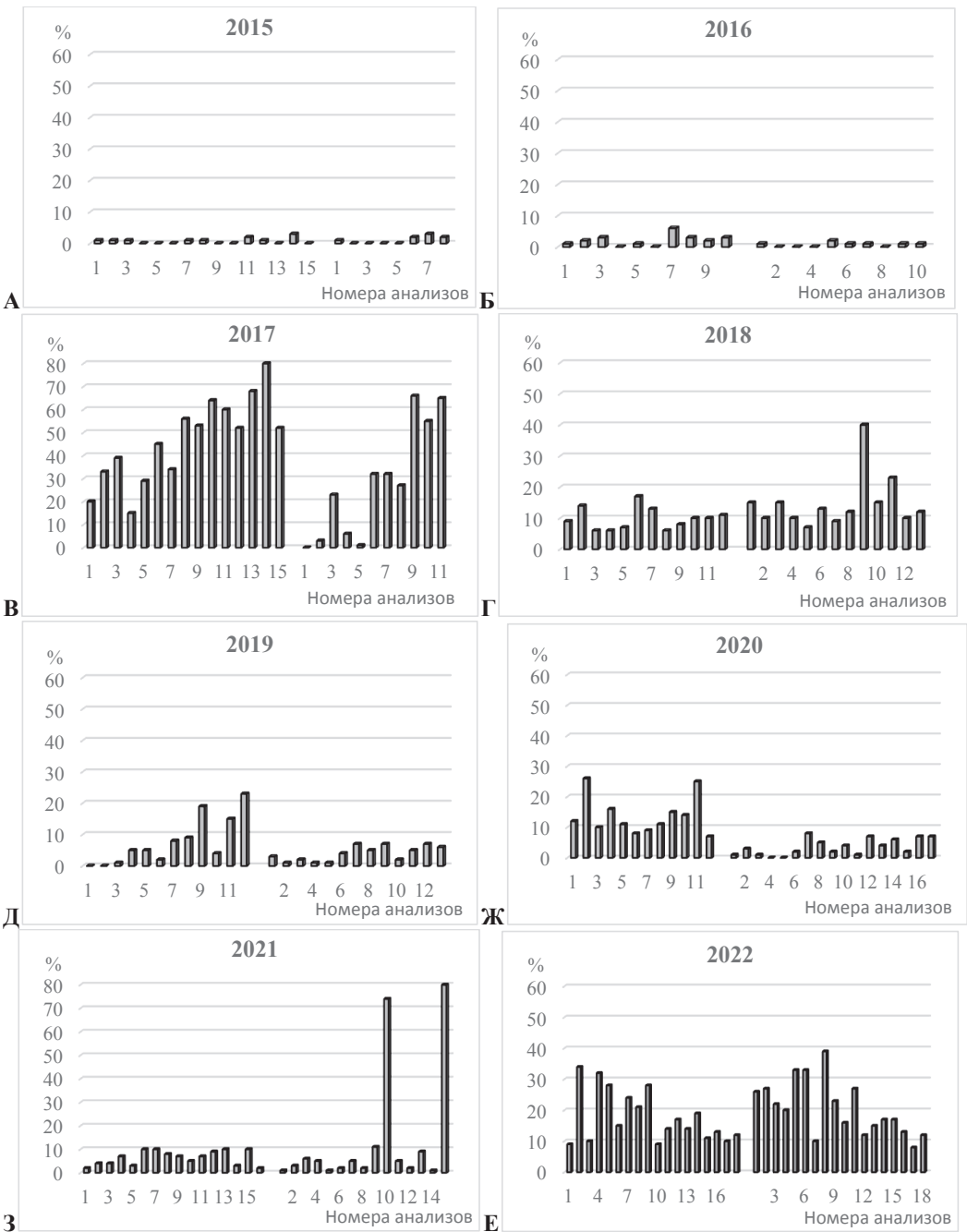


Рис. 2. Доля производителей кеты в возрасте 2+ в анализах из бассейнов залива Простор (первая группа номеров) и Курильский (вторая группа номеров) в 2015–2022 гг.

Fig. 2. Share of spawners of chum salmon aged 2+ in the analyzes of the bay from the basins of Prostor (the first group of numbers) and Kurilsky (the second group of numbers) in 2015–2022. On the x-axis, the numbers of analyzes performed during the season; along the Y axis, the proportion of fish (%)

чем в 2011 г. Аналогичным образом находим значение для каждого из последующих годов. В итоге получаем коэффициент, который позволит нивелировать разную размерность величин. Предполагается, что при равных условиях от большего числа мальков будет более многочисленный возврат производителей. В табл. 3 представлены данные по вылову производителей кеты в возрасте 3+. Разделив массу улова каждого года на

Таблица 3

Некоторые данные по выпуску молоди и вылову кеты и горбуши в заливах Простор и Курильский о. Итуруп

Table 3

Some data on the release of juveniles and the catch of chum salmon and pink salmon in Prostor and Kurilsky bays of Iturup Island

Кета						Горбуша					
Выпуск		Вылов				Выпуск		Вылов			
Год	Млн шт.	Год	Улов в возрасте 3+, т	К*	Улов 3+/К, т	Год	Млн шт.	Год	Улов общий, т	К*	Улов общий/К, т
2011	75,1	2014	3457	1	3457	2011	124,2	2012	21314	2,09	10219
2012	117,1	2015	9937	1,56	6378	2012	86,0	2013	14698	1,44	10177
2013	114,6	2016	1090	1,53	714	2013	122,7	2014	3329	2,06	1616
2014	120,5	2017	974	1,60	607	2014	120,6	2015	879	2,03	434
2015	159,0	2018	10375	2,12	4902	2015	77,8	2016	11910	1,31	9122
2016	175,7	2019	14729	2,34	6299	2016	59,6	2017	12721	1	12721
2017	178,2	2020	5264	2,37	2219	2017	122,9	2018	26679	2,06	12932
2018	118,3	2021	3464	1,57	2200	2018	133,7	2019	17956	2,24	8001
2019	191,7	2022	3033	2,55	1188	2019	111,7	2020	12669	1,88	6755
2020	197,6	2023	—	—	—	2020	137,0	2021	8033	2,30	3493
2021	205,8	2024	—	—	—	2021	79,7	2022	18853	1,34	14085

* Коэффициент увеличения выпуска молоди относительно минимального значения в 2011 г. (кета) и в 2016 г. (горбуша).

рассчитанный коэффициент, определяем массу улова при выпуске одинакового количества мальков. Например, значение 9937 т (улов 2015 г.) делим на 1,56 и получаем, что в этом году от выпуска 75,1 млн мальков было поймано 6378 т кеты в возрасте 3+.

Таким же образом нормализуем данные для горбуши. Минимальное количество выпущенных мальков для 2016 г. — 59,6 млн экз. — принимаем за единицу. Общий вылов для каждого из годов делим на рассчитанный коэффициент и получаем улов горбуши в расчете на выпуск одинакового количества мальков.

В конечном итоге рассчитанные величины улова кеты и горбуши, соотнесенные с одинаковым числом выпущенных мальков, оказываются достоверно связанными друг с другом (рис. 3). Таким образом, связь между выживанием горбуши и кеты одного поколения, в принципе хорошо известная и для других регионов [Sinyakov, Ostroumov, 1998], может быть принята во внимание и при прогнозировании улова кеты в акваториях заливов Простор и Курильский.

О расчете улова кеты в 2023 г. Рассчитаем возможный улов кеты в заливах Простор и Курильский в 2023 г. В 2021 г. в оба залива с рыбоводных заводов было выпущено 205,8 млн мальков кеты. Исходя из среднего показателя 4,60 т на 1 млн мальков, можно полагать, что возврат производителей кеты в возрасте 2+ составит около 947 т. Казалось бы, не совсем оправданно использовать среднее значение при расчёте величины улова, притом что крайние значения различаются в 14 раз. Вместе с тем есть по крайней мере два обстоятельства, которые позволяют ожидать, что улов производителей трехлетнего возраста достигнет рассчитанной величины.

Во-первых, помимо 4 основных заводов: Курильского, Рейдового, Китового и Бухта Оля — молодь кеты выпустили еще с 5 заводов так называемого прудового типа. Такие заводы были построены только на Итурупе, и на каждом из них при выпуске молоди в первые годы эксплуатации выявили более или менее существенные недочеты [Зеленников и др., 2021]. Однако в 2021 г. со всех этих предприятий был выполнен уже третий-пятый выпуск, и недочеты, выявившиеся при выращивании молоди пер-

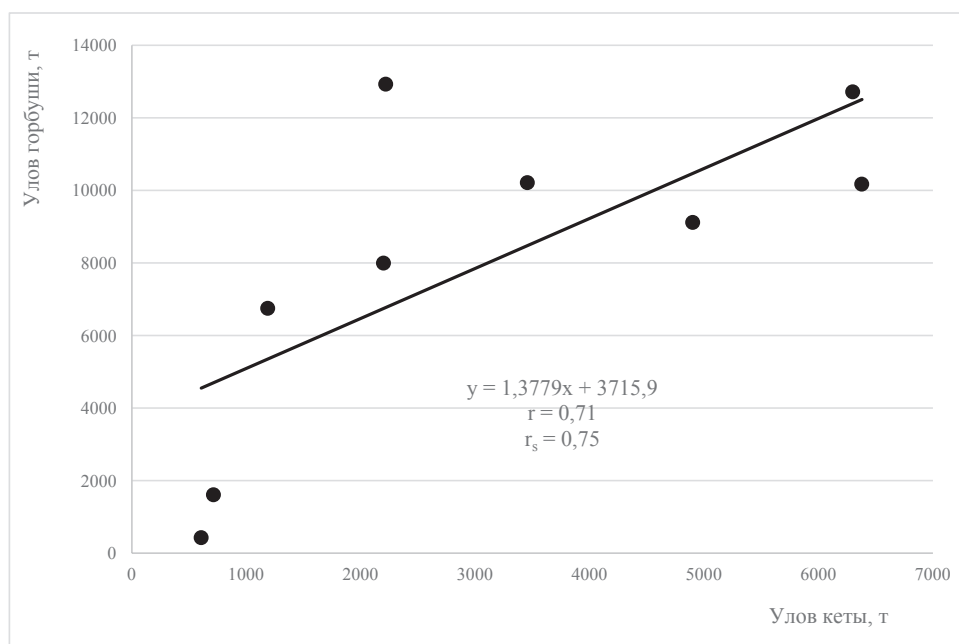


Рис. 3. Связь между выловом горбуши и выловом кеты в возрасте 3+ одного поколения с поправкой на численность выпущенной молоди. Пояснение в тексте

Fig. 3. Relationship between the annual catches of pink and chum salmon belonged to same year-classes (the catch of pink salmon and the catch of chum salmon at the age of 3+ in the next year), adjusted for the number of released juveniles. See explanation in the text

вых генераций, уже были устранены. Во-вторых, следует отметить, что общий вылов горбуши в акватории двух заливов в 2022 г. составил 18853 т (табл. 3), т.е. был в 1,6 раза больше среднего показателя вылова за последние 9 лет. Можно полагать, что выживание молоди горбуши в прибрежье в 2021 г. было выше среднего, что с учетом выявленной связи между выживанием рыб двух видов могло положительно сказаться и на выживаемости молоди кеты.

Масса производителей в возрасте 3+ представляется, на наш взгляд, наиболее надежно прогнозируемой величиной. Связь между массой улова в возрасте 2+ и 3+, даже несмотря на небольшой ряд наблюдений, оказывается положительной и очень тесной ($r = 0,89$; $r_s = 0,98$; рис. 4), а сама масса улова рыб четырехлетнего возраста в среднем оказывается в 9,63 раза больше, чем масса рыб трехлетнего возраста. Исходя из того что вылов рыб в возрасте 2+ в 2022 г. составил 872 т, можно полагать, что улов рыб в возрасте 3+ в 2023 г. ожидается на уровне 8397 т.

Массу рыб в возрасте 4+ прогнозировать сложнее, в первую очередь потому, что рыб старших возрастных групп в этом стаде сравнительно немного и, следовательно, на их численность более масштабно могут повлиять случайные факторы. Впрочем, связь между массой рыб в возрасте 3+ и 4+ все равно является положительной и достоверной ($r_s = 0,79$), а масса первых в улове в среднем оказывается в 4,49 раза больше, чем масса вторых в улове следующего года. С учетом того, что в 2022 г. поймали 3071 т кеты в возрасте 3+, можно полагать, что улов кеты в возрасте 4+ в 2023 г. составит 684 т.

Между массой улова в возрасте 4+ и 5+ также есть положительная связь, которая, вместе с тем, оказывается недостоверной. Можно полагать, что этому способствует как малое число наблюдений, так и большой разброс имеющихся значений. Впрочем, доля рыб в возрасте 5+ в улове кеты у о. Итуруп является настолько незначительной, что ею можно пренебречь. Отметим лишь, что масса рыб в возрасте 4+ в среднем оказывается в 26,5 раза больше, чем масса рыб в возрасте 5+ на следующий год. Учитывая, что в

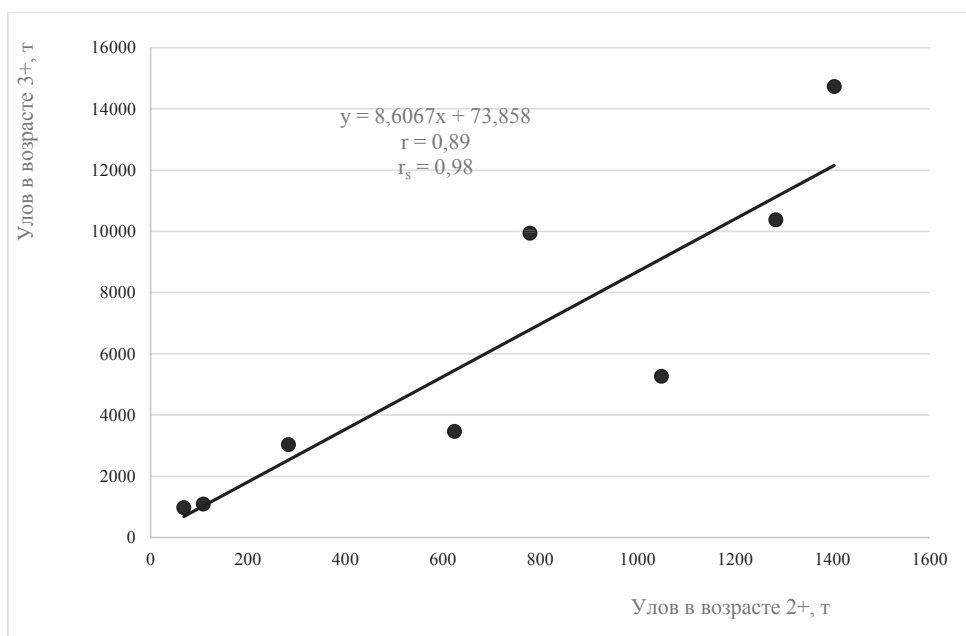


Рис. 4. Связь между массой вылова кеты в возрасте 2+ и массой вылова кеты в возрасте 3+ в бассейнах заливов Простор и Курильский о. Итуруп

Fig. 4. Relationship between the annual catches of chum salmon at age 2+ and 3+ in the Prostor and Kurilsky Bays of Iturup Island

2022 г. поймали 572 т кеты в возрасте 4+, мы можем ожидать улов кеты в возрасте 5+ в 2023 г. в незначительном объеме — 22 т.

При суммировании всех расчетов можно полагать, что общий вылов кеты в 2023 г. составит не менее 10050 т. Вместе с тем по результатам работы в 2022 г. выявили обстоятельство, с которым в течение предыдущих 7 лет не сталкивались, а именно то, что доля рыб в возрасте 2+ от начала к концу нерестового хода не увеличивалась, как это было в предыдущие годы (см. рис. 2, В–Д), а уменьшалась (рис. 2, Е). Поскольку это новое явление, то судить о том, как это обстоятельство скажется на массе улова следующего года, мы пока не можем.

Обсуждение фактических данных. Перед тем как обсудить полученные результаты, отметим, что для стада кеты, сформированного в настоящее время в заливах Простор и Курильский на о. Итуруп, характерны все структурные особенности, известные для кеты как биологического вида. По итогам каждого года исследований самцы были крупнее самок; при сравнении рыб одного пола в среднем крупнее были особи старшего возраста. При значительной численности молодых или, наоборот, возрастных рыб можно было видеть хорошо известную закономерность, согласно которой в течение нерестового хода доля рыб старших возрастных групп 4+ и 5+ постепенно уменьшается, тогда как доля рыб в возрасте 2+, напротив, возрастает.

Поскольку Итуруп является заметным центром воспроизводства лососей, то кета и горбуша сформированных здесь стад привлекали к себе значительное внимание исследователей. В результате к настоящему времени в литературе накоплено много сведений, касающихся как молоди [Чупахин, Каев, 1980; Каев, Чупахин, 2002; Чебанова и др., 2018; и др.], так и взрослых особей кеты [Иванков, 1968; Каев, 2003; и др.]. В частности, известно, что обеспеченность пищей молоди в заливах Простор и Курильский может различаться в несколько раз [Кун, 1986]. Более того, сама кета в двух заливах различается по генетическим маркерам и на основании этого была разделена на две разные экогеографические единицы [Животовский и др., 2022]. Зная эти данные, мы анализировали динамику улова кеты в каждом из заливов отдельно и не

выявили между ними каких-либо различий. Очевидно, что если кету в значительном количестве ловили в зал. Простор, то значительным был улов и в зал. Курильском, и напротив, низкий вылов, характеризующий низкую выживаемость продукции молоди, был характерен для обоих заливов. Об объеме будущего вылова с заблаговременностью в один год весьма надежно свидетельствовали данные улова рыб в возрасте 2+.

При постоянном увеличении численности выпускаемой молоди, конечно, возникал вопрос о возрастании пищевой конкуренции и пределе приемной емкости прибрежной акватории для молоди лососей, особенно с учетом острой дискуссии о пределе всей акватории Северной Пацифики для воспроизводства лососей [Кловач, 2002; Шунтов, Темных, 2004; Иванов, 2017; Шунтов и др., 2019; и др.]. Предприятием «Курильский рыбак» одновременно со строительством заводов были проведены специальные работы, в ходе которых установили, что пищевая конкуренция среди молоди лососей в прибрежье о. Итуруп возрастает, а в отдельные годы наблюдается и голодание [Чебанова и др., 2018]. Позднее было высказано мнение, что вследствие напряженных пищевых отношений замедляется темп роста мальков в период обитания в прибрежье [Каев и др., 2021].

Вероятно, опираясь на имеющиеся данные, можно объяснить и результаты, полученные нами. Например, В.В. Чебанова с соавторами [2018] отмечают, что в 2013 и 2014 гг. вся молодь питалась и была накормлена удовлетворительно, в 2015 г. молодь питалась слабо, к концу июля более 1/3 рыб голодали. Можно полагать, что в результате недостатка пищи мальки росли сравнительно медленно и, как следствие этого, масса самок и самцов в возрасте 3+ в 2018 г. была одной из наименьших — 2,38 и 2,71 кг.

Однако этой закономерности весьма заметно не соответствуют уловы этих лет. В 2016 и 2017 гг. от поколений молоди выпуска 2013 и 2014 гг. наблюдали незначительный возврат в возрасте 3+, соответственно 1090 и 974 т. В то время как в 2018 г. от выпуска 2015 г., когда значительная часть молоди голодала, возврат рыб в возрасте 3+ был на порядок больше — 10375 т. Нам не известны данные о питании молоди кеты следующего поколения — выпуска 2016 г., но мы знаем, что в 2016 г. выпустили на 16,6 млн мальков больше, чем в предыдущем. От выпуска этого года сформировалось урожайное поколение при значительной массе тела производителей. Так, в 2019 г. в возрасте 3+ поймали 14729 т при средней массе самок и самцов 2,89 и 3,26 кг. Таким образом, значительная пищевая конкуренция, указанная авторами для конкретных лет, возможно, и повлияла на массу половозрелых особей, но, очевидно, не предотвратила формирование урожайного поколения.

Прогнозирование улова кеты на о. Итуруп базируется на двух главных обстоятельствах. Первое из них — выраженное доминирование по численности в поколениях производителей в возрасте 3+ в каждом поколении кеты. Более того, основу улова каждого года также составляли самки и самцы этой возрастной группы. Лишь один раз за 9 лет наблюдений основу улова составляли особи в возрасте 4+, но это было связано с тем, что высокоурожайное поколение, представленное в промысловом возврате рыбами в возрасте 4+, совпало с низкоурожайным поколением, представленным рыбами в возрасте 3+.

Второе обстоятельство — уловы кеты в возрасте 2+ и 3+ (на следующий год) тесно связаны друг с другом. В предварительном виде можно полагать, что улов кеты в возрасте 3+ будет в 10 раз больше, чем улов в возрасте 2+. Именно такая закономерность прослеживалась в большинстве случаев. Однако есть два исключения из выявленной закономерности. Так, в уловах 2019 и 2020 гг. масса рыб в возрасте 2+ составляла 1049 и 624 т. Но в 2020 и 2021 гг. вместо ожидавшегося десятикратного увеличения улов рыб в возрасте 3+ составил только 5264 и 3464 т, т.е. наполовину меньше. Интересно отметить, что несоответствие прогноза факту произошло за счет не только численности рыб, но и значительного уменьшения их массы, что дает новые сведения о росте рыб в условиях морского нагула. Так, в 2019 г. масса самок и самцов в возрасте 2+

составила 2,37 и 2,39 кг, а масса рыб в возрасте 3+ в 2020 г. — 2,40 и 2,74 кг. Таким образом, за год, проведенный в море, масса рыб увеличилась крайне незначительно. Но ведь очевидно, что в возрасте от 2+ до 3+ рыбы находились в условиях морского нагула далеко от прибрежной зоны Итурупа.

Заключение

Несмотря на то что для большинства предприятий на о. Итуруп, ориентированных на выпуск молоди кеты, объективно еще нет продолжительных рядов наблюдения за возвратом рыболовной продукции, при объединении данных всех анализов в один массив оказалось возможно весьма точно прогнозировать массу будущего улова. В этом можно убедиться, взяв данные табл. 1 и произведя расчет массы улова для каждого года. В основе этого прогноза лежат два главных фактора: во-первых, значительное преобладание в каждом из поколений производителей в возрасте 3+ и, во-вторых, тесная связь между уловом кеты в возрасте 2+ и в возрасте 3+ в следующем году.

По литературным данным условия питания молоди в заливах Простор и Курильский могут существенно различаться, а кета в их акваториях представлена двумя разными экогеографическими единицами, но динамика численности рыб каждого поколения в этих заливах оказывается в промысловом плане однонаправленной. Если формировалось урожайное поколение, то это происходило в акватории обоих заливов, и наоборот, низкий улов мы также наблюдали повсеместно. Это свидетельствует о том, что общие закономерности, влияющие на урожайность поколения, формируются в обоих заливах одновременно.

Учитывая многочисленные литературные данные, нет оснований отрицать ни важную роль обеспеченности пищей для прибрежного развития молоди, ни то обстоятельство, что именно в прибрежье о. Итуруп в разные годы может наблюдаться различная обеспеченность молоди пищей, а также то, что в отдельные годы дефицит пищи приведет к голоданию части мальков. Однако факты свидетельствуют о том, что при высокой обеспеченности пищей могли быть сформированы низкоурожайные поколения, и напротив, в год, когда значительная часть молоди голодала, сформировалось высокоурожайное поколение.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность заместителю генерального директора ЗАО «Курильский рыбак» по производству и аквакультуре С.И. Борзову и начальнику отдела аквакультуры И.А. Вараксину за помощь в организации биологических анализов, а также мастерам перерабатывающих комплексов «Ясный» и «Рейдово» за помощь в их проведении.

The authors are grateful to S.I. Borzov and I.A. Varaksin, managers of «Kurilsky Rybak» Ltd. for organizing of sampling, as well as to masters of the processing complexes Yasny and Reidovo for their assistance in sampling and biological analyses.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа не имела дополнительного спонсорского финансирования.
The study had no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Для биологических анализов использовали рыбу только из промысловых уловов. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.
Fish from commercial catches only were subjected to biological analyses.
The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

А.Н. Ельников организовал и возглавил проведение всех работ, лично осуществил биологический анализ производителей и определил их возраст. Оба автора совместно анализировали данные. О.В. Зеленников занимался подготовкой статьи.

A.N. Elnikov organized and managed the study and personally made biological analysis of chum producers and determined their age. The results of observations were analyzed by both authors jointly. The text was written and prepared for publication by O.V. Zelennikov.

Список литературы

Животовский Л.А., Рубцова Г.А., Каев А.М. и др. Эколого-географическая и генетическая дифференциация — единицы запаса кеты *Oncorhynchus keta* южных Курильских островов // Вопр. ихтиол. — 2022. — Т. 62, № 3. — С. 335–344. DOI: 10.31857/S0042875222030249.

Зеленников О.В., Плискунов И.В., Вараксин И.А. Особенности выращивания молоди кеты *Oncorhynchus keta* на тепловодном заводе прудового типа // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование : мат-лы 12-й Нац. (Всерос.) науч.-практ. конф. — Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2021. — С. 100–104.

Зеленников О.В., Проскуряков К.А., Рудакова Г.С., Мякишев М.С. Сравнительная характеристика молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) при ее естественном и заводском воспроизводстве в Сахалинской области // Биол. моря. — 2020а. — Т. 46, № 1. — С. 14–23. DOI: 10.31857/S0134347520010118.

Зеленников О.В., Вараксин И.А., Плискунов И.В., Борзов С.И. Опыт совместного выращивания молоди горбуши и кеты на рыбоводных заводах прудового типа // Тр. ВНИРО — 2020б. — Т. 182. — С. 121–127. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-182-121-127.

Иванков В.Н. Тихоокеанские лососи острова Итуруп // Изв. ТИНРО. — 1968. — Т. 65. — С. 49–74.

Иванов О.А. Морская экология тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus* sp.): мифы и явь // Лососевые рыбы: биология, охрана и воспроизводство : мат-лы Междунар. конф. — Петрозаводск, 2017. — С. 65–66.

Каев А.М. Особенности воспроизводства кеты в связи с ее размерно-возрастной структурой : моногр. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2003. — 288 с.

Каев А.М., Игнатьев Ю.И. Методические аспекты прогнозирования численности кеты заводского происхождения в Сахалинской области // Бюл. № 8 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2013. — С. 78–82.

Каев А.М., Ромасенко Л.В., Каев Д.А. К вопросу об эффективности крупномасштабного заводского разведения кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792) на острове Итуруп (Курильские острова) // Биол. моря. — 2021. — Т. 47, № 6. — С. 411–420. DOI: 10.31857/S0134347521060073.

Каев А.М., Чупахин В.М. Ранний морской период жизни горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *Oncorhynchus keta* о. Итуруп // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов Сахалино-Курильского региона и сопредельных акваторий : Тр. СахНИРО. — 2002. — Т. 4. — С. 116–132.

Кловач Н.В. Экологические последствия крупномасштабного разведения кеты *Oncorhynchus keta* : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — М. : ВНИРО, 2002. — 49 с.

Кловач Н.В., Леман В.Н., Ельников А.Н., Вараксин И.А. Воспроизводство и промысел кеты на о. Итуруп (южные Курильские острова): прошлое, настоящее, будущее // Рыб. хоз-во. — 2018. — № 6. — С. 42–47.

Кун М.С. Планктон и питание молоди кеты и горбуши в охотоморском побережье острова Итуруп // Биол. моря. — 1986. — № 2. — С. 60–65.

Чебанова В.В., Френкель С.Э., Зеленихина Г.С. Связь питания молоди кеты *Oncorhynchus keta* и горбуши *O. gorbuscha* с обилием зоопланктона в побережье залива Простор (о. Итуруп) // Вопр. ихтиол. — 2018. — Т. 58, № 5. — С. 608–616. DOI: 10.1134/S0042875218050053.

Чупахин В.М., Каев А.М. Распределение и некоторые черты биологии молоди горбуши и кеты в побережье острова Итуруп // Изв. ТИНРО. — 1980. — Т. 104. — С. 116–121.

Шевляков Е.А., Канзепарова А.Н., Шевляков В.А. и др. Итоги лососевой путины в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне в 2020 г., перспективы вылова горбуши в 2021 г. // Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2020. — С. 3–16.

Шунтов В.П., Темных О.С. Превышена ли экологическая емкость Северной Пацифики в связи с высокой численностью лососей: мифы и реальность // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 138. — С. 19–36.

Шунтов В.П., Темных О.С., Найденов С.В. Еще раз о факторах, лимитирующих численность тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus* spp., сем. Salmonidae) в океанический период их жизни // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 196. — С. 3–22. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-3-22.

Sinyakov S.A., Ostroumov A.G. On the possibility of using the pink salmon survival measure (R/E) in the forecast of chum salmon returns in north-east Kamchatka // NPAFC Bull. — 1998. — № 1. — P. 327–333.

References

Zhivotovsky, L.A., Rubtsova, Kaev, A.M., G.A., Shitova, M.V., Smirnov, B.P., Tochilina, T.G., and Afanasiev, K.I., Ecological, geographic, and genetic differentiation and management units of chum salmon *Oncorhynchus keta* of the southern Kuril Islands, *J. Ichthyol.*, 2022, vol. 62, no. 3, pp. 466–475. doi 10.1134/S0032945222030183

Zelennikov, O.V., Pliskunov, I.V., and Varaksin, I.A., Features of chum salmon *Oncorhynchus keta* juvenile growing at the warm water fish farm of pond type, in *Mater. 12-y Nats. (Vseross.) nauchno-pract. konf. "Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoye i tekhnicheskoe ispol'zovanie"* (Proc. 12th Nat. (All-Russ.) Sci.-Pract. Conf. "Natural Resources, Their Current State, Conservation, and Commercial and Technical Use"), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatskii Gos. Tekh. Univ., 2021, pp. 100–104.

Zelennikov, O.V., Proskuryakov, K.A., Rudakova, G.S., and Myakishev, M.S., The comparative characteristics of naturally produced and hatchery-reared juvenile pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792), from Sakhalin Oblast, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2020, vol. 46, no. 1, pp. 12–21. doi 10.1134/S1063074020010095

Zelennikov, O.V., Varaksin, I.A., Pleskunov, I.V., and Borzov, S.I., The experience of joint growing of juvenile pink salmon and chum salmon at a fish farms pond type, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 182, pp. 121–127. doi 10.36038/2307-3497-2020-182-121-127

Ivankov, V.N., Pacific salmon of Iturup Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1968, vol. 65, pp. 49–74.

Ivanov, O.A., Marine ecology of Pacific salmon (*Oncorhynchus* sp.): myths and reality, in *Mater. Mezhdunar. konf. "Lososevye ryby: biologiya, okhrana i vosproizvodstvo"* (Proc. Int. Conf. "Salmonids: Biology, Conservation, and Restoration"), Petrozavodsk, 2017, pp. 65–66.

Kaev, A.M., *Osobennosti vosproizvodstva kety v svyazi s yeyo razmerno-vozrastnoy strukturoi* (Features of Reproduction of Chum Salmon in Relationship with Its Size and Age Structure), Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2003.

Kaev, A.M. and Ignatiev, Yu.I., Methodological aspects of forecasting the abundance of chum salmon of hatchery origin in the Sakhalin Region, 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. 78–82.

Kaev, A.M., Romasenko, L.V., and Kaev, D.A., On the issue of efficiency of large-scale hatchery rearing of chum salmon (*Oncorhynchus keta*, Walbaum, 1792) on Iturup Island, Kuril Islands, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2021, vol. 47, no. 6, pp. 470–479. doi 10.1134/S1063074021060079

Kaev, A.M. and Chupahin, V.M., Early sea period of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* and chum salmon *Oncorhynchus keta* in Iturup Island, in *Biologiya, sostoyaniye zapasov i usloviya obitaniya gidrobiontov v Sakhalino-Kuril'skom regione i sopredel'nykh akvatoriyakh* (Biology, Status of Stocks, and Condition of Habitat of Aquatic Organisms in the Sakhalin-Kuril Region and Adjacent Waters), *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 4, pp. 116–132.

Klovach, N.V., Ecological consequences of large-scale farming of chum salmon *Oncorhynchus keta*, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Moscow: VNIRO 2002.

Klovach, N.V., Leman, V.N., Elnikov, A.N., and Varaksin, I.A., Reproduction and trade of Iturup Island chum salmon (southern Kuril Islands). The past, the present and the future prospects, *Rybn. Khoz.*, 2018, no. 6, pp. 42–47.

Kun, M.S., Plankton and feeding of juvenile chum salmon and pink salmon in the Sea of Okhotsk coast of Iturup Island, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1986, no. 2, pp. 60–65.

Chebanova, V.V., Frenkel, S.E., and Zelenikhina G.S., Relation of feeding in juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) and pink salmon (*O. gorbuscha*) to abundance of zooplankton

in coastal waters of the Prostor Bay (Iturup Island), *J. Ichthyol.*, 2018, vol. 58, no. 5, pp. 741–750. doi 10.1134/S0032945218050028

Chupakhin, V.M. and Kaev, A.M., Distribution and some features of the biology of young pink salmon and chum salmon in the inshore waters of the Iturup Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1980, vol. 104, pp. 116–121.

Shevlyakov, E.A., Kanzeparova, A.N., Shevlyakov, V.A., Somov, A.A., and Starovoitov, A.N., The results of the salmon season in the Far Eastern fishery basin in 2020, the prospects for the catch of pink salmon in 2021, in *Byull. 'N 15 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 15 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2020, pp. 3–16.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., Is the North Pacific carrying capacity over in connection with salmon's high abundance: myths and reality, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 138, pp. 19–36.

Shuntov, V.P., Temnykh, O.S., and Naydenko, S.V., Once again on factors limiting the number of pacific salmon (*Oncorhynchus* spp., fam. Salmonidae) during the oceanic period of their life, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 196, pp. 3–22. doi 10.26428/1606-9919-2019-196-3-22

Sinyakov, S.A. and Ostroumov, A.G., On the possibility of using the pink salmon survival measure (R/E) in the forecast of chum salmon returns in north-east Kamchatk, *NPAFC Bull.*, 1998, no. 1, pp. 327–333.

Поступила в редакцию 30.12.2022 г.

После доработки 01.03.2023 г.

Принята к публикации 03.03.2023 г.

The article was submitted 30.12.2022; approved after reviewing 01.03.2023;

accepted for publication 03.03.2023

Научная статья

УДК 639.28.053.2(265.51)

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-75-85

EDN: RBOFOZ



**КРАБ-СТРИГУН ТАННЕРА *CHIONOECETES TANNERI*
В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ:
КРИТЕРИИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОМЫСЛОВОЙ МЕРЫ**

А.Г. Слизкин, О.Ю. Борилко, А.Н. Деминов, И.А. Корнейчук*

Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),

690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Материалы специализированной глубоководной ловушечной съемки и двух траловых съемок, выполненных специалистами ТИНРО в 2019–2020 гг. в северо-западной части Берингова моря, собранные в диапазоне глубин 300–1080 м, позволили в целом оценить пространственное и батиметрическое распределение, плотность скоплений батиальных крабов, в том числе *Chionoecetes tanneri*. Размеры морфометрически зрелых самцов *Ch. tanneri* отмечены в диапазоне 9,0–17,0 см, а морфометрически незрелых — в диапазоне 6,5–15,5 см по ширине карапакса. Сделана оценка 50 %-ной доли функциональной зрелости самцов краба-стригуна Таннера в северо-западной части Берингова моря, анализ материалов размерного состава которого позволил обосновать его новую промысловую меру.

Ключевые слова: краб-стригун Таннера, Берингово море, хребет Ширшова, промысловая мера, батияль Северной Пацифики

Для цитирования: Слизкин А.Г., Борилко О.Ю., Деминов А.Н., Корнейчук И.А. Краб-стригун Таннера *Chionoecetes tanneri* в северо-западной части Берингова моря: критерии выбора оптимальной промысловой меры // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 75–85. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-75-85. EDN: RBOFOZ.

Original article

**Grooved tanner crab *Chionoecetes tanneri* in the northwestern Bering Sea:
criteria for choosing the optimal fishing measure**

Aleksey G. Slizkin*, Oleg Yu. Borilko, Andrey N. Deminov***,
Ilya A. Korneychuk******

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

* Ph.D., leading researcher, aleksey.sleezkin@tinro-center.ru, ORCID 0009-0006-9368-0771

** head of sector, oleg.borilko@tinro-center.ru, ORCID 0007-7486-8215

*** chief specialist, andrey.deminov@tinro-center.ru, ORCID 0009-0008-5879-5359

**** chief specialist, ilya.korneychuk@tinro-center.ru, ORCID 0009-000-8248-320X

* Слизкин Алексей Гаврилович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, aleksey.sleezkin@tinro-center.ru, ORCID 0009-0006-9368-0771; Борилко Олег Юрьевич, заведующий сектором, oleg.borilko@tinro-center.ru, ORCID 0009-0007-7486-8215; Деминов Андрей Николаевич, главный специалист, andrey.deminov@tinro-center.ru, ORCID 0009-0008-5879-5359; Корнейчук Илья Анатольевич, главный специалист, ilya.korneychuk@tinro-center.ru, ORCID 0009-000-8248-320X.

© Слизкин А.Г., Борилко О.Ю., Деминов А.Н., Корнейчук И.А., 2023

Abstract. Spatial and bathymetric distribution and aggregation density is considered for bathyal crabs, including the grooved tanner crab *Chionoecetes tanneri*, on the data of specialized deep-water trap survey and two bottom trawl surveys within the depth range of 300–1080 m conducted by TINRO in the northwestern Bering Sea in 2019–2020. The size of grooved tanner crab is determined as 9.0–17.0 cm for the morphometrically mature males and 6.5–15.5 cm for the morphometrically immature males, by carapace width. The size of 50 % morphometric maturity is evaluated for males of *Ch. tanneri* in the northwestern Bering Sea. A new fishing measure is substantiated for this population taking into account its size composition.

Keywords: grooved tanner crab, Bering Sea, Shirshov Ridge, fishing measure, North Pacific bathyal zone

For citation: Slizkin A.G., Borilko O.Yu., Deminov A.N., Korneychuk I.A. Grooved tanner crab *Chionoecetes tanneri* in the northwestern Bering Sea: criteria for choosing the optimal fishing measure, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 75–85. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-75-85. EDN: RBOFOZ.

Введение

Исследования, проводимые специалистами ТИНРО, показали, что в батиали дальневосточных морей широко распространены глубоководные крабы-стригуны. Красный краб-стригун *Chionoecetes japonicus* в Японском море и краб-стригун ангулятус *Ch. angulatus* в Охотском к настоящему времени хорошо изучены, а их запасы успешно осваиваются при промышленном лове более двух десятилетий. Менее изучен глубоководный краб-стригун Таннера *Ch. tanneri*, который встречается в северо-западной части Тихого океана от Курильских островов до Берингова моря [Низяев, 1990; Слизкин и др., 2010; Метелев и др., 2016; Федотов, Соколов, 2016].

По материалам траловых, а в последние годы ловушечных съемок на исследовательских (НИС) и промысловых краболовных судах формировались представления о биологии и распределении глубоководных крабов [Слизкин, 1982; Слизкин и др., 2010; Метелев и др., 2017]. Вместе с тем по данным траловых съемок получали информацию о состоянии и плотности крабов, в основном с пологих участков дна, доступных для донных тралений. На материковом склоне в Западно-Беринговоморской зоне в силу изрезанности крутых склонов весьма сложно безаварийно провести донное траление и сформировать объективное представление о запасах глубоководных гидробионтов.

В новом веке специализированные исследования глубоководных крабов в Беринговом море проводились лишь в 2019 г., когда была выполнена глубоководная ловушечная съемка на НИС «Зодиак». Материалы съемки позволили оценить современное состояние запасов глубоководных промысловых крабов в этой части Берингова моря, в том числе краба-стригуна Таннера.

Основной целью настоящей статьи является оценка 50 %-ной доли функциональной зрелости самцов краба-стригуна Таннера *Ch. tanneri* по материалам ловушечной съемки, выполненной специалистами ТИНРО в 2019 г. в северо-западной части Берингова моря, и на основе оценки обоснование их промысловой меры.

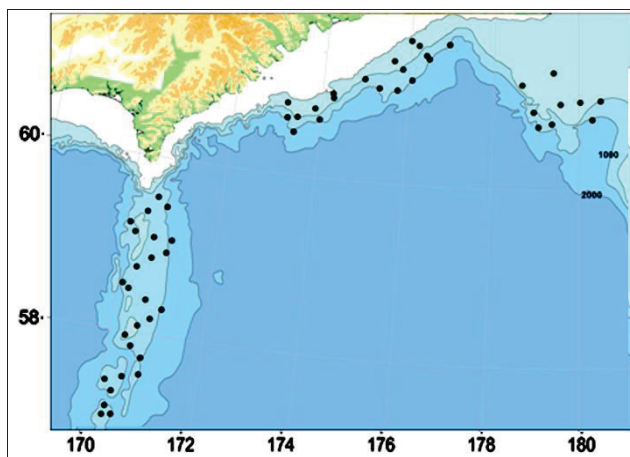
Материалы и методы

В северо-западной части Берингова моря глубоководная ловушечная съемка с использованием в качестве орудий лова стандартных усечено-конических крабовых ловушек была проведена в 2019 г. на НИС «Зодиак» (рис. 1).

Разборка улова и обработка первичной информации осуществлялись по стандартной методике и включала измерение ширины карапакса (ШК), определение индивидуальной массы крабов, определение линочных стадий, стадий зрелости яиц у самок, подсчет количества травмированных особей и описание характера травм, регистрацию наличия паразитов и болезней [Руководство..., 1979; Низяев и др., 2006]. Во время проведения биоанализов проводилось взвешивание крабов в целях опреде-

Рис. 1. Карта-схема ловушечных станций, выполненных на НИС «Зодиак» в июле-сентябре 2019 г.

Fig. 1. Scheme of the trap stations made by RV Zodiak in July-September, 2019

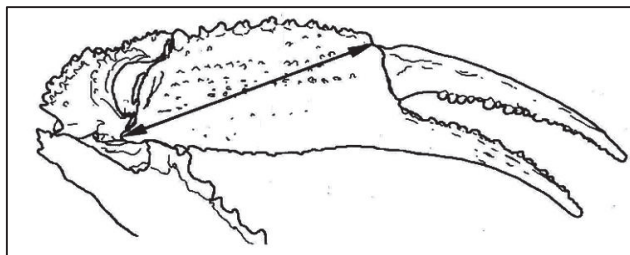


ления коэффициентов пересчета «размер–масса». Кроме этого у крабов-стригунов проводились измерения ШК и длины клешни для характеристики особенностей их аллометрического роста.

Ранее было показано, что и у японского краба-стригуна [Yosho et al., 2007; Слизикин, 2008] и у краба-стригуна опилио [Карасев, 2009] все параметры клешни после терминальной линьки меняются равномерно. В полевых условиях измерять параметры клешни до десятых долей миллиметра с минимальными погрешностями, по нашему мнению, значительно легче по ее длине, чем по ширине (рис. 2).

Рис. 2. Положение линии промеров длины клешни крабов-стригунов

Fig. 2. Position of the line for measuring the claw length of snow crabs



У крабов-стригунов во время конечной линьки происходит заметное увеличение размера клешней по сравнению с головогрудью [Conan, Comeau, 1986; Sainte-Marie et al., 1996]. Согласно терминологии, предложенной Б.Г. Ивановым и В.И. Соколовым [1998], самцы крабов-стригунов разделяются на широкопалых (ШПС), перелинявших терминально, и узкопалых (УПС), находящихся в состоянии изометрического роста.

Самцы краба-стригуна Таннера разделены по особенностям аллометрии на широко- и узкопалых согласно программе «ClusterCrabs»* [Покровский и др., 2015].

Материалом для расчета 50 %-ной доли широкопалых самцов послужили промеры ШК и длины клешни самцов краба-стригуна Таннера, выполненные в июле-сентябре

* В конечном виде задача при создании программы «ClusterCrabs» ставилась следующим образом: разработать программу, которая позволяла бы возвращать в разделенные массивы не только данные, на основе которых была построена точечная диаграмма, но и те данные, которые характеризуют каждую из этих точек, — номер станции, вид краба, личинная стадия и др. Результаты разделения массивов данных проводятся в рамках программы MS Excel. Программа импортирует файлы в формате CSV. Структура формата входных данных строго определена и соответствует следующему:

St	Species	Sex/Stage	Size1	Size2	Лин. стадия	Масса особи, г	Note
----	---------	-----------	-------	-------	-------------	----------------	------

Первый столбец — номер станции лова, второй — название краба, третий — стадия и пол краба, четвертый — размер карапакса, пятый — размер клешни, шестой — стадия линьки, седьмой — масса особи, восьмой — поле для заметок.

2019 г. на НИС «Зодиак» в северо-западной части Берингова моря, включая район хребта Ширшова.

Размеры вступления в репродуктивную фазу самцов краба-стригуна Таннера определяли по 50 %-ной доле морфометрически зрелых самцов, претерпевших конечную линьку. Расчеты 50 %-ной доли морфометрически зрелых самцов (ШПС) оправданы для оценки уровня их эффективности в воспроизводстве, как это выполнено для определения промысловой меры для *Ch. angulatus* и *Ch. japonicus* [Слизкин, Кобликов, 2010; Первеева, Букин, 2014; Метелев и др., 2016].

Результаты и их обсуждение

По данным ловушечной съемки на НИС «Зодиак» 2019 г. краб-стригун Таннера образовывал повышенные скопления на возвышенности хребта Ширшова. Средняя плотность поселений на 1 км² в пределах глубин 300–1080 м составляла 450 самцов и 200 экз. самок при максимальной — соответственно 3200 и 960 экз./км². Основная масса самцов ≥ 110 мм по ширине карапакса была сконцентрирована на северных участках хребта Ширшова. Плотность скоплений таких самцов достигала 2,5 тыс. экз./км², а самцов < 110 мм — 4,5 тыс. экз./км² [наши неопубликованные данные].

По материалам, полученным в 2019 г., размерный состав самцов краба-стригуна Таннера представлен двумя модальными группами, одна из которых принадлежит к широкопалым особям — 120–145 мм, а вторая группа — к молодым узкопалым самцам — 80–95 мм (рис. 3). В отличие от ШПС, являющихся половозрелыми особями, группа УПС является смешанной, представленной и неполовозрелыми, и половозрелыми особями [Алексеев, Буяновский, 2015; Слизкин, Кобликов, 2019].

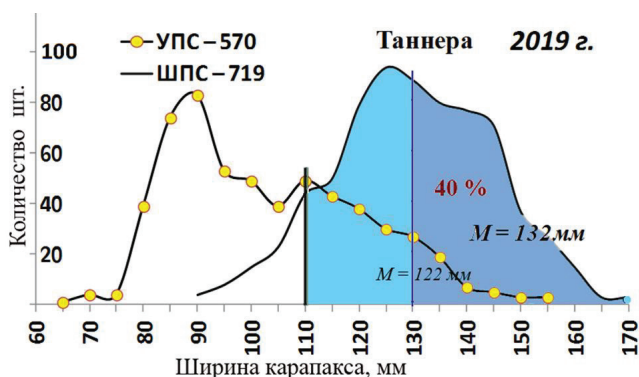


Рис. 3. Размерный состав *Ch. tanneri*, разделенных на широко- и узкопалых самцов в северо-западной части Берингова моря в июле-сентябре 2019 г.

Fig. 3. Size composition of *Ch. tanneri* in the northwestern Bering Sea in July-September 2019 divided into morphometrically immature males and morphometrically mature males

Состав самцов краба-стригуна Таннера показывает, что размеры самцов ≥ 110 мм по ширине карапакса равнялись по средним показателям 132 мм, а узкопалых — 122 мм (рис. 3). Доля ШПС ≥ 110 мм по ШК в общем составе ШПС составила 93 %. Вместе с тем при промысловой мере краба-стригуна Таннера более 130 мм по ШК*, доля промысловых (широкопалых) самцов составила лишь 40 % от их общего улова.

Как видно на рис. 3, часть узкопалых самцов более 110 мм ШК (в среднем 122 мм) полиняли изометрически и могут еще раз полинять аллометрически. Широкопалые самцы при ШК 110 мм и более (в среднем 132 мм) уже аллометрически полиняли и функционально являются производителями, составляя промысловый запас вида. Таким

* Приказ Минсельхоза России № 267 от 23.05.2019 г. «Об утверждении Правил рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна» с изменениями и дополнениями.

образом, поколение промысловых самцов крабов-стригунов вследствие аллометрического роста приобретает иной статус, отличающийся от такового промысловых самцов крабов-литодид. Во временном аспекте промысловые широкопалые самцы крабов-стригунов могут только стареть и элиминировать, но не прирастать ни в размерах, ни по биомассе [Слизкин, Кобликов, 2019].

Промысловая мера на промысле крабов-стригунов играет регулирующую роль отчасти, а скорее имеет дисциплинирующее значение для рыбопромышленников, исключая возможность брать в обработку мелкоразмерных, в том числе узкопалых крабов с низкой коммерческой ценностью [Метелев и др., 2017]. И даже в качестве расчета промыслового запаса промысловая мера играет весьма условную роль, поскольку пополнение запаса обеспечивают только узкопалые самцы.

Тем не менее промысловая мера не должна быть менее размера наступления морфометрической зрелости части самцов, который определяется для краба-стригуна Таннера по их минимальным размерам, отмеченным в поле ШПС (верхнее облако точек) и равным около 90 мм по ШК (рис. 4).

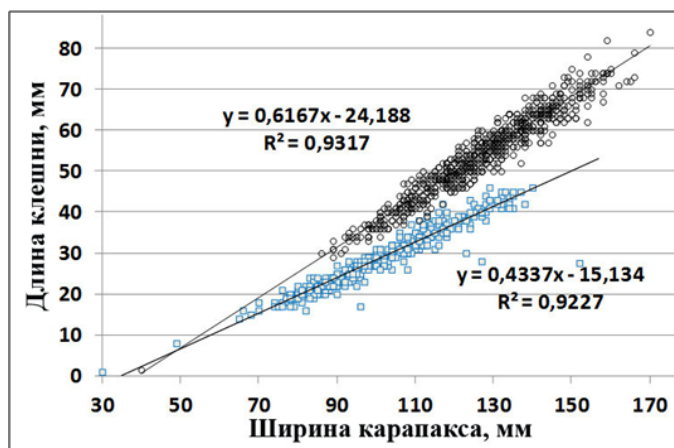


Рис. 4. Размеры морфометрически зрелых (верхнее облако точек) и незрелых самцов *Ch. tanneri* в северо-западной части Берингова моря. Данные ловушечной съемки НИС «Зодиак»

Fig. 4. Size of morphometrically mature (upper points) and immature (lower points) males of *Ch. tanneri* in the northwestern Bering Sea (data of RV Zodiak trap survey)

При определении промыслового размера крабов-стригунов необходимо учитывать их аллометрический рост — важную особенность биологии стригунов, которой являются терминальная линька и морфометрическое созревание самцов. Самцы крабов-стригунов, имеющие зрелые сперматозоиды (физиологическая, или «гонадная» половозрелость), не всегда способны к спариванию, т.е. не являются функционально зрелыми [Conan, Comeau, 1986; Paul, Paul, 1995; Иванов, Соколов, 1998].

Промысловое изъятие крабов-стригунов должно начинаться не с какого-либо фиксированного размера, соответствующего ПМ, а в зависимости от размеров, при которых ШПС приобретают оптимальное товарное качество, на практике определяющееся понятием «кондиционный краб». Биомасса стригунов может слагаться из нескольких «поколений» ШПС, вклад которых в суммарный ресурс окончательный, т.е. два одновременно появившихся высокочисленных поколения ШПС с модами в разных размерных классах (например, 90 и 120 мм по ШК) элиминируются тоже практически одновременно [Слизкин и др., 2010]. В этом случае, при сравнительно высокой ПМ, изымаются «поздние» самцы, которые совершили терминальную линьку при относительно больших размерах, что ведет к росту их промысловой смертности и уменьшению смертности в группе «ранних» сравнительно мелких ШПС.

Ориентироваться только на размер 50 %-ной морфометрической зрелости самцов при обосновании параметров промысловой меры бывает не очень корректно. Промыс-

ловая мера может быть зависимой величиной от размерного состава учтенной части популяции, который может быть иным для другой ее части [Метелев и др., 2017]. Это характерно в наибольшей степени для данных, полученных из ловушечных съемок. В ловушечных уловах красного краба-стригуна из района банки Кита-Ямато доли широко- и узкопалых самцов соотносятся как 23 : 1 [Слизкин, Деминов, 2012]. Тем не менее при отсутствии данных, кроме ловушечных, мы используем параметр 50 %-ной морфометрической зрелости самцов, как это было выполнено для установления промысловой меры рассматриваемого вида в восточной Пацифике [Pereyra, 1966; Workman et al., 2002; Keller et al., 2012; см. таблицу].

Расчетные величины средней ширины карапакса (W_m , мм) и размер 50 %-ной морфометрической зрелости (CW_{50} , мм) самцов *Ch. tanneri* из различных районов северной части Тихого океана и Берингова моря

Estimated mean carapace width (W_m , mm) and size of 50 % morphometric maturity (CW_{50} , mm) for males of *Ch. tanneri* from certain areas of the North Pacific and Bering Sea

Регион	W_m	CW_{50}	Источник данных
Берингово море, Аляска (58,3–60,9° с.ш.)	137,9	118,0	Somerton, Donaldson [1996]
Британская Колумбия (49,0–49,8° с.ш.)	136,0	112,0	Workman et al. [2002]
Северный Орегон (46,2° с.ш.)	148,9	102,5	Pereyra [1966]
Северный Орегон (42,4° с.ш.)	142,7	102,3	Tester, Carey [1986]
От Калифорнии до Вашингтона (32,0–48,4° с.ш.)	141,0	125,2	Keller et al. [2012]

Большая ПМ для крабов-стригунов, такая как ранее установленная для краба-стригуна Таннера в 130 мм, когда промысел нацелен на изъятие только крупных особей, может иметь негативные последствия. Прежде всего не реализуется в полной мере потенциал каждого размерного класса широкопалых самцов, так как не все такие самцы дорастут до такого размера. При промысловой мере, равной 130 мм по ШК, промысел краба Таннера, с одной стороны, осложняется сравнительно низкими уловами таких крупных особей, с другой — нерационально используется имеющийся запас прекративших рост ШПС, которые в рассматриваемом случае (см. рис. 3) присутствуют в уловах размерами от 90 до 165 мм по ширине карапакса. Особи ШПС менее ПМ будут элиминированы из запаса по естественным причинам. А это ведет в долгосрочной перспективе к потере части потенциальной промысловой биомассы [Слизкин, Сафронов, 2000].

Полученные эмпирические данные ширины карапакса и доли зрелых самцов аппроксимировали логистической S-образной кривой, коэффициенты которой находили по уравнению Ферхюльста [Лакин, 1990]:

$$P = 100 / (1 + 10^{a+bШК}),$$

где **a** и **b** — коэффициенты; **P** — доля ШПС, %. Размер 50 %-ной морфометрической зрелости рассчитывали по найденным коэффициентам регрессии **a** и **b**, используя выражение $P = 50 \% ШК = -a/b$. Таким образом, размер 50 %-ной морфометрической зрелости самцов составил 111,8 мм (рис. 5).

Сведения о встречаемости, биологии, распространении и численности краба Таннера в северо-восточной Пацифике известны от Мексики [Phillips, Lauzier, 1997], вдоль западного побережья США от Калифорнии до Вашингтона [Keller et al., 2012], южного побережья Орегона [Tester, 1975], северного Орегона [Pereyra, 1966], берегов Британской Колумбии [Jamieson et al., 1990] и восточной части Берингова моря [Somerton, Donaldson, 1996].

В северо-восточной Пацифике на больших географических акваториях материкового склона, простирающихся от южного Орегона до восточной части Берингова моря, встречаются и краб-стригун ангулятус, и краб-стригун Таннера. В ходе ежегодных промысловых съемок (2003–2010 гг.) получено достаточно информации о различных аспектах их биологии, распространения и плотности концентрации по всему побережью [Gillespie et al., 2004; Keller et al., 2012].

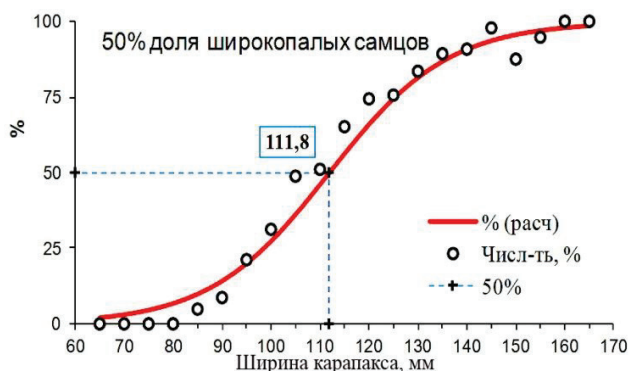


Рис. 5. Зависимость доли функционально созревших самцов от размера краба-стригуна Таннера. Данные ловушечной съемки НИС «Зодиак»

Fig. 5. Portion of morphometrically mature males of *Ch. tanneri* within 5 mm size classes (data of RV Zodiak trap survey in 2019)

По данным из уловов в северо-западной части Берингова моря краб-стригун Таннера мельче (см. рис. 3, М ШПС — 132 мм), чем особи, обитающие в северо-восточной части Тихого океана, — от 136 мм у Британской Колумбии до 148,9 мм у северного Орегона (см. таблицу).

Полученная в настоящем исследовании величина ПМ равняется 111,8 мм по ширине карапакса (см. рис. 5). Поскольку в Правилах рыболовства размеры ПМ устанавливаются целыми числами в сантиметрах, предлагается ПМ краба-стригуна Таннера *Ch. tanneri* северо-западной части Берингова установить в 11 см по ширине карапакса.

Заключение

Эксплуатация ресурсов глубоководных крабов в российских водах Берингова моря началась с 2019 г. с лова краба-стригуна ангулятуса. Ранее в прогнозах ОДУ ТИНРО с 1995 по 2002 г. к вылову в северо-западной части Берингова моря были рекомендованы величины ОДУ краба-стригуна Таннера от 100 до 500 т [Слизкин, 2022], однако эти величины ОДУ промыслом не были востребованы. Результаты глубоководной ловушечной съемки 2019 г. позволяют обоснованно рекомендовать к вылову и краба-стригуна Таннера.

Рассматривая современное состояние размерного состава широкопалых и узкопалых самцов, считаем промысловую меру краба Таннера в 130 мм завышенной и предлагаем промысловую меру для него установить на уровне 11 см по ширине карапакса как соответствующую биологическим особенностям данного вида.

Рассчитанный размер 50 %-ной морфометрической зрелости самцов краба-стригуна Таннера 11,0 см близок к ныне действующей ПМ батимальных крабов-стригунов и краба-стригуна опилио (9–12 см), т.е. близок к оптимальному, обеспечивающему сохранение численности пополнения.

Благодарности (ACICNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность всем специалистам лаборатории промысловых беспозвоночных и водорослей ТИНРО, принимавшим участие в проведении работ по сбору и обработке информации в 2019–2020 гг. Благодарим также рецензентов, внесших ценные замечания, что позволило улучшить текст и восприятие статьи.

The authors express their gratitude to all specialists of the laboratory of commercial invertebrates and algae of TINRO who took part in the data collection and processing in 2019–2020. We also thank anonymous reviewers who made valuable comments that allowed to improve the text and perception of the article.

Финансирование работы (FUNDING)

Работы были выполнены в соответствии с тематическим планом ТИНРО на 2019–2022 гг. и профинансированы за счет государственного контракта.

The study was organized in accordance with the thematic plan of TINRO for 2019–2022 and funded by a government contract.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All applicable international, national and institutional principles for care and use of animals have been observed.

The authors declare no conflict of interests.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

О.Ю. Борилко и А.Н. Деминов проводили сбор материала и анализ первичных данных, И.А. Корнейчук принимал непосредственное участие в анализе статистических данных, А. Г. Слизкин участвовал в обработке собранных материалов, внес основной вклад в интерпретацию данных и написание статьи.

O.Yu. Borilko and A.N. Deminov collected and analyzed primary data, I.A. Korneichuk was directly involved into statistical analysis of the data, A.G. Slizkin participated in the data processing, made the main contribution to interpretation of the data, and wrote the text of article.

Список литературы

Алексеев Д.О., Буяновский А.И. Крабы-стригуны: проблема определения промыслового запаса и пополнения // Промысловые беспозвоночные : мат.-лы. 8-й Всерос. науч. конф. — Калининград : КГТУ, 2015. — С. 49–51.

Иванов Б.Г., Соколов В.И. Краб-стригун опилио в Охотском и Беринговом морях // Северо-Восток России: проблемы экономики и народонаселения : расширенные тез. докл. регион. науч. конф. «Северо-Восток России: прошлое, настоящее, будущее». — Магадан : Северовостокзолото, 1998. — Т. 1. — С. 117–118.

Карасев А.Н. Краб-стригун *Chionoecetes opilio* северной части Охотского моря: особенности биологии, запасы, промысел : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М. : ВНИРО, 2009. — 24 с.

Лакин Г.Ф. Биометрия : учеб. пособие. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. шк., 1990. — 352 с.

Метелев Е.А., Абаев А.Д., Клинушкин С.В., Васильев А.Г. Распределение и численность промысловых видов крабов в центральной части Охотского моря // Тр. ВНИРО. — 2017. — Т. 165. — С. 3–12.

Метелев Е.А., Григоров В.Г., Васильев А.Г. Краб-стригун ангулятус *Chionoecetes angulatus* (Brachyura, Majidae) в районе впадины ТИНРО Северо-Охотоморской подзоны: особенности биологии и промысла // Вопр. рыб.-ва. — 2016. — Т. 17, № 4. — С. 446–458.

Низяев С.А. Общие закономерности распределения глубоководных крабов Охотского моря // 5-я Всесоюз. конф. по промысловым беспозвоночным : тез. докл. — Минск, 1990. — С. 38–39.

Низяев С.А., Букин С.Д., Клитин А.К. и др. Пособие по изучению промысловых ракообразных дальневосточных морей России. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2006. — 114 с.

Первеева Е.Р., Букин С.Д. Особенности полового созревания самцов некоторых глубоководных крабов-стригунов Сахалино-Курильского региона // Вопр. рыб.-ва. — 2014. — Т. 15, № 1. — С. 84–96.

Покровский Б.И., Слизкин А.Г., Малахов И.В., Кайзер К.А. Разработка программного обеспечения для разделения данных научно-исследовательских съемок крабов-стригунов на массивы, на основании критерия широкопалости // Рыб. хоз.-во. — 2015. — № 4. — С. 82–85.

Руководство по изучению десятиногих ракообразных Decapoda дальневосточных морей / сост. В.Е. Родин, А.Г. Слизкин, В.И. Мясоедов и др. — Владивосток : ТИНРО, 1979. — 59 с.

Слизкин А.Г. Краткая история, некоторые особенности промышленного освоения и методики исследования глубоководных крабов в российских водах дальневосточных морей // Мат-лы Первой Всерос. конф. наблюдателей на промысле. — Калининград : АтлантНИРО, 2022. — С. 115–132.

Слизкин А.Г. Некоторые черты биологии и проблемы рационального использования глубоководного краба-стригуна *Chionoecetes japonicus* : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ТИНРО, 2008. — 24 с.

Слизкин А.Г. Распределение крабов-стригунов рода *Chionoecetes* и условия их обитания в северной части Тихого океана // Изв. ТИНРО. — 1982. — Т. 106. — С. 26–33.

Слизкин А.Г., Деминов А.Н. Результаты исследований японского краба-стригуна *Chionoecetes japonicus* в батиили центральной части Японского моря // Мат-лы Всерос. науч. конф. «Водные биологические ресурсы северной части Тихого океана: состояние, мониторинг, управление», посвящ. 80-летию юбилею ФГУП «КамчатНИРО». — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2012. — С. 114–121.

Слизкин А.Г., Кобликов В.Н. Некоторые черты биологии и особенности промысла японского краба-стригуна (*Chionoecetes japonicus*): обоснование промысловой меры // Вопр. рыб-ва. — 2010. — Т. 11, № 3(43). — С. 428–441.

Слизкин А.Г., Кобликов В.Н. Практика исследований и прогнозирования запасов краба-стригуна опилио *Chionoecetes opilio* южной части подзоны Приморье // Вопр. рыб-ва. — 2019. — Т. 20, № 1. — С. 59–72.

Слизкин А.Г., Кобликов В.Н., Федотов П.А. К методике оценки запасов и доли изъятия глубоководных крабов рода *Chionoecetes* по данным ловушечных съемок // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 160. — С. 24–43.

Слизкин А.Г., Сафронов С.Г. Промысловые крабы прикамчатских вод : моногр. — Петропавловск-Камчатский : Северная Пацифика, 2000. — 180 с.

Федотов П.А., Соколов А.С. Особенности биологии и распределения глубоководных крабов-стригунов *Chionoecetes angulatus* и *Ch. tanneri* в северо-западной части Берингова моря в 2005–2015 гг. // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование : мат-лы 7-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2016. — Ч. 1. — С. 170–174.

Conan G., Comeau M. Functional maturity and terminal molt of male snow crab, *Chionoecetes opilio* // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1986. — Vol. 43(9). — P. 1710–1719. DOI: 10.1139/f86-214.

Gillespie G., Fong K.H., Phillips A.C. et al. Development of a new fishery for Tanner crabs (*Chionoecetes tanneri* Rathbun, 1893) off British Columbia : 2003 status report. CSAS Res. Doc. 2004/132. — Nanaimo : Fisheries and Oceans Canada, 2004. — 87 p.

Jamieson G., Heritage G., Noakes N. Life history characteristics of *Chionoecetes tanneri* off British Columbia // Proc. of the Int. Symp. on King and Tanner Crabs. — Fairbanks : Univ. of Alaska Fairbanks, 1990. — P. 153–162.

Keller A.A., Harms J., Buchanan J.C. Distribution, biomass and size of grooved Tanner crabs (*Chionoecetes tanneri*) from annual bottom trawl surveys (2003–2010) along the U.S. west coast (Washington to California) // Deep Sea Res. I. — 2012. — Vol. 67. — P. 44–54. DOI: 10.1016/j.dsr.2012.05.002.

Paul A.J., Paul J.M. Molting of functionally mature male *Chionoecetes bairdi* Rathbun (Decapoda: Majidae) and changes in carapace and chela measurements // J. Crustac. Biol. — 1995. — Vol. 15, № 4. — P. 686–692.

Pereyra W.T. The bathymetric and seasonal distribution and reproduction of adult Tanner crabs, *Chionoecetes tanneri* Rathbun (Brachyuran: Majidae), off the northern Oregon coast // Deep Sea Res. and Oceanogr. Abstracts. — 1966. — Vol. 13, Iss. 6. — P. 1185–1205. DOI: 10.1016/0011-7471(66)90709-1.

Phillips A.C., Lauzier R. Biological Background for the development of a new fishery for the grooved Tanner crab (*Chionoecetes tanneri*) off British Columbia : CSAS. Res. Doc. 97/148. — Canada, 1997. — 81 p.

Sainte-Marie B., Seigny J.-M., Smith B.D., Lovrich G.A. Recruitment variability in snow crab (*Chionoecetes opilio*): pattern, possible causes, and implications for fishery management // High latitude crabs: biology, management and economics. — Fairbanks, Alaska : University of Alaska, 1996. — P. 451–478.

Somerton D.A., Donaldson W. Contribution to the biology of the grooved and triangle Tanner crab *Chionoecetes tanneri* and *C. angulatus*, in the eastern Bering Sea // Fish. Bull. — 1996. — Vol. 94(2). — P. 348–357.

Tester P.A. Size classes, population structure, growth, sex ratio, and size and age at maturity of *Chionoecetes tanneri* Rathbun (Brachyura: Majidae) off the Oregon Coast : master thesis. — Corvallis : Oregon State Univ., 1975. — 58 p.

Tester P.A., Carey A. Instar identification and life history aspects of juvenile deepwater spider crabs, *Chionoecetes tanneri* Rathbun // Fish. Bull. — 1986. — Vol. 84. — P. 973–980

Workman G.D., Phillips A.C., Scurrah F.E. and Boutillier J.A. A new fishery for grooved Tanner crab (*Chionoecetes tanneri*) off the coast of British Columbia, Canada // Crabs in Cold Water Regions: Biology, Management and Economics. — Fairbanks, Alaska : Univ. of Alaska Sea Grant, AK-SG-02-01, 2002. — P. 439–456.

Yosho I., Shirai S., Hirose T. Changes in relative growth and probability of terminal molt of male *Chionoecetes japonicus* // Nippon Suisan Gakkaishi. — 2007. — Vol. 73(4). — P. 668–673. DOI: 10.2331/suisan.73.668.

References

Alekseev, D.O. and Buyanovsky, A.I., Snow crabs: the problem of determining the commercial stock and recruitment, in *Mater. 8-y Vseros. nauch. konf. "Promyslovyye bespozvonochnyye"* (Proc. 8th All-Russ. Sci. Conf. "Commercial invertebrates"), Kaliningrad: KGTU, 2015, pp. 49–51.

Ivanov, B.G. and Sokolov, V.I., Opilio snow crab in the Sea of Okhotsk and the Bering Sea, in *Severo-Vostok Rossii: problemy ekonomiki i narodonaseleniya: rasshirennyye tez. dokl. region. nauch. konf. «Severo-Vostok Rossii: proshloye, nastoyashcheye, budushcheye»* (North-East of Russia: problems of economy and population: extended tez. report region. scientific. conf. "North-East of Russia: past, present, future"), Magadan: Severovostokzoloto, 1998, vol. 1, pp. 117–118.

Karasev, A.N., Snow crab *Chionoecetes opilio* of the northern part of the Sea of Okhotsk: features of biology, stocks, fishery, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow: VNIRO, 2009.

Lakin, G.F., *Biometriya* (Biometrics), Moscow: Vysshaya Shkola, 1990, 4th ed.

Metelev, E.A., Abaev, A.D., Klinushkin S.V., and Vasiliev A.G., Distribution and abundance of commercial crabs in the central part of the Sea of Okhotsk, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol.165, pp. 3–12.

Metelev, E.A., Grigorov, V.G., and Vasiliev, A.G., Angulatus snow crab *Chionoecetes angulatus* (Brachyura, Majidae) in the area of the TINRO depression of the North Sea of Okhotsk subzone: features of biology and fishing, *Vopr. Rybolov.*, 2016, vol. 17, no. 4, pp. 446–458.

Nizyaev, S.A., General patterns of distribution of deep sea crabs in the Sea of Okhotsk, in *Tezisy dokl. 5 Vsesoyuz. konf. po promyslovym bespozvonochnym* (5th All-Union. Conf. Commer. Invertebr.), Minsk, 1990, pp. 38–39.

Nizyaev, S.A., Bukin, S.D., Klitin, A.K., Perveeva, E.R., Abramova, E.V., and Krutchenko, A.A., *Posobiye po izucheniyu promyslovyykh rakoobraznykh dal'nevostochnykh morei Rossii* (Handbook for the Study of Commercial Crustaceans in the Far Eastern Seas of Russia), Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2006.

Perveeva, E.R. and Bukin, S.D., Maturation of males in some species of deep-water snow crabs in the Sakhalin-Kuril area, *Vopr. Rybolov.*, 2014, vol. 15, no. 1, pp. 84–96.

Pokrovsky, B.I., Slizkin, A.G., Malahov, I.V., and Kayzer, K.A., Development of software for snow crabs survey data separation into the arrays based on the criteria of functional maturity, *Rybn. Khoz.*, 2015, no. 4, pp. 82–85.

Rodin, V.E., Slizkin, A.G., Myasoedov, V.I., Barsukov, V.N., Miroshnikov, V.V., Zgurovskii, K.A., Kanarskii, O.A., and Fedoseev, V.Ya., *Rukovodstvo po izucheniyu desyatynogikh rakoobraznykh Decapoda dal'nevostochnykh morei* (Guide to the Study of Decapods Crustaceans, Decapoda, in Far Eastern Seas), Vladivostok: TINRO, 1979.

Slizkin, A.G., Brief history, some features of industrial development and research methods of deep-sea crabs in Russian waters of the Far Eastern seas, in *Proceedings of the First All-Russian conference of observers in the fishery*, Kaliningrad: AtlantNIRO, 2022, pp. 115–132.

Slizkin, A.G., Some Features of Biology and Problems of Rational Use of the Deep Sea Snow Crab *Chionoecetes japonicus*, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO, 2008.

Slizkin, A.G., Distribution of snow crab (*Chionoecetes* gen.) and their habitat conditions in the North Pacific, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1982, vol. 106, pp. 26–33.

Slizkin, A.G. and Deminov, A.N., Results of research on the Japanese snow crab *Chionoecetes japonicus* in the bathyal of the central part of the Sea of Japan, in *Mater. Vseross. nauchn. konf. posvyashch. 80-letnemu yubileyu FGUP "KamchatNIRO" "Vodnye biologicheskie resursy severnoi chasti Tikhogo okeana: sostoyanie, monitoring, upravlenie"* (Proc. All-Russ. Sci. Conf. Commem. 80th Aniv. FGUP KamchatNIRO "Aquatic Biological Resources of the Northern Pacific Ocean: Status, Monitoring, and Management"), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2012, pp. 114–121.

Slizkin, A.G. and Koblikov, V.N., Some features of biology and feature of extraction of benizuwai crab (*Chionoecetes japonicus*): the substantiation of fishing measure, *Vopr. Rybolov.*, 2010, vol. 11, no. 3 (43), pp. 428–441.

- Slizkin, A.G. and Koblikov, V.N.**, The practice of research and forecasting stocks of the opilio snow crab *Chionoecetes opilio* in the southern part of the Primorye subzone, *Vopr. Rybolov.*, 2020, vol. 20, pp. 59–72.
- Slizkin, A.G., Koblikov, V.N., and Fedotov, P.A.**, To technique of the stocks estimation and the shares of withdrawal definition for deep-water crabs of genus *Chionoecetes* on the base of crab-pots catches data, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 160, pp. 24–43.
- Slizkin, A.G. and Safronov, S.G.**, *Promyslovye kraby prikamchatskikh vod* (Commercial Crabs of Kamchatkan Coastal Waters), Petropavlovsk-Kamchatsky: Severnaya Patsifika, 2000.
- Fedotov, P.A. and Sokolov, A.S.**, Features of biology and distribution of deep-water snow crabs *Chionoecetes angulatus* and *Ch. tanneri* in the north-western part of the north-western Bering Sea 2005–2015, in *Prirodnyye resursy, ikh sovremennoye sostoyaniye, okhrana, promyslovoye i tekhnicheskoye ispol'zovaniye, mater. 7-y Vseros. nauchn.-prakt. konf. mezhdunar. uchastiem* (Natural resources, their current status, protection, commercial and technical use, Proc. 7th All-Russ. Sci.-Pract. Conf. Int. Participation), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatka State Technical University, 2016, part 1, pp. 170–174.
- Conan, G. and Comeau, M.**, Functional maturity and terminal molt of male snow crab, *Chionoecetes opilio*, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1986, vol. 43(9), pp. 1710–1719. doi 10.1139/f86-214
- Gillespie, G.E., Fong, K.H., Phillips, A.C., Meyer, G.R., and Boutillier, J.A.**, *Development of a new fishery for Tanner crabs (Chionoecetes tanneri Rathbun, 1893) off British Columbia, 2003 Status Report*, CSAS Res. Doc. 2004/132, Nanaimo: Fisheries and Oceans Canada, 2004.
- Jamieson, G., Heritage, G., and Noakes, N.**, Life history characteristics of *Chionoecetes tanneri* off British Columbia, *Proceedings of the International Symposium on King and Tanner Crabs*, Fairbanks: University of Alaska Fairbanks, 1990, pp. 153–162.
- Keller, A.A., Harms, J., and Buchanan, J.C.**, Distribution, biomass and size of grooved Tanner crabs (*Chionoecetes tanneri*) from annual bottom trawl surveys (2003–2010) along the U.S. west coast (Washington to California). *Deep Sea Res., Part II*, 2012, vol. 67, pp. 44–54. doi 10.1016/j.dsr.2012.05.002
- Paul, A.J. and Paul, J.M.**, Molting of functionally mature male *Chionoecetes bairdi* Rathbun (Decapoda: Majidae) and changes in carapace and chela measurements, *J. Crustac. Biol.*, 1995, vol. 15, no. 4, pp. 686–692.
- Pereyra, W.T.**, The bathymetric and seasonal distribution and reproduction of adult Tanner crabs, *Chionoecetes tanneri* Rathbun (Brachyura: Majidae), off the northern Oregon coast, *Deep Sea Res. and Oceanogr. Abstracts*, 1966, vol. 13, no. 6, pp. 1185–1205. doi 10.1016/0011-7471(66)90709-1
- Phillips, A.C. and Lauzier, R.**, Biological Background for the development of a new fishery for the grooved Tanner crab (*Chionoecetes tanneri*) off British Columbia, CSAS, Res. Doc. 97/148, Canada, 1997.
- Sainte-Marie, B., Sevigny, J.-M., Smith, B.D., and Lovrich, G.A.**, Recruitment variability in snow crab (*Chionoecetes opilio*): pattern, possible causes, and implications for fishery management, *High latitude crabs: biology, management and economics*, Fairbanks, Alaska: Univ. of Alaska, 1996, pp. 451–478.
- Somerton, D.A. and Donaldson, W.**, Contribution to the biology of the grooved and triangle Tanner crab *Chionoecetes tanneri* and *C. angulatus*, in the eastern Bering Sea, *Fish. Bull.*, 1996, vol. 94, no. 2, pp. 348–357.
- Tester, P.A.**, *Size classes, population structure, growth, sex ratio, and size and age at maturity of Chionoecetes tanneri Rathbun (Brachyura: Majidae) off the Oregon Coast*, Master thesis, Corvallis: Oregon State Univ., 1975.
- Tester, P.A. and Carey, A.** Instar identification and life history aspects of juvenile deepwater spider crabs, *Chionoecetes tanneri* Rathbun, *Fish. Bull.*, 1986, vol. 84, pp. 973–980.
- Workman, G.D., Phillips, A.C., Scurrah, F.E., and Boutillier, J.A.**, A new fishery for grooved Tanner crab (*Chionoecetes tanneri*) off the coast of British Columbia, Canada, *Crabs in Cold Water Regions: Biology, Management and Economics*, Fairbanks, Alaska: Univ. of Alaska Sea Grant, AK-SG-02-01, 2002, pp. 439–456.
- Yosho I., Shirai S., and Hirose T.**, Changes in relative growth and probability of terminal molt of male *Chionoecetes japonicus*, *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 2007, vol. 73, no. 4, pp. 668–673. doi 10.2331/suisan.73.668
- Prikaz Minsel'khoza Rossii № 267 ot 23.05.2019 g. «Ob utverzhdenii pravil rybolovstva dlya Dal'nevostochnogo rybokhozyaystvennogo basseyna» s izmeneniyami i dopolneniyami* (Order of the Ministry of Agriculture of Russia No. 267 dated May 23, 2019 “On Approval of Fishing Rules for the Far Eastern Fisheries Basin” with amendments and additions).

Поступила в редакцию 12.01.2023 г.

После доработки 3.03.2023 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

The article was submitted 12.01.2023; approved after reviewing 3.03.2023;
accepted for publication 3.03.2023

Научная статья

УДК 599.745.1–152.6

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-86-92

EDN: OTNIZF



**СМЕРТНОСТЬ ЩЕНКОВ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО КОТИКА
(*CALLORHINUS URSINUS*) НА ОСТРОВЕ ТЮЛЕНЬЕМ
(ОХОТСКОЕ МОРЕ)**

А.Е. Кузин*

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

Аннотация. Исследована смертность щенков котиков в первые два месяца постнатального онтогенеза от рождения до ухода с островов на зимовку в открытую часть Тихого океана. На о. Тюленьем за этот период погибает в среднем 7,9 % щенков, на Командорских островах — 14,4, на о-вах Прибылова — 9,8 %. Повышенные показатели смертности щенков на Командорских островах определяются заболеванием их унцинариозом на Северо-западном лежбище. Причины гибели щенков для разных мест их рождения сходны, основными из них являются истощение, травмы, болезни.

Ключевые слова: северный морской котик, смертность, причины гибели

Для цитирования: Кузин А.Е. Смертность щенков северного морского котика (*Callorhinus ursinus*) на острове Тюленьем (Охотское море) // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 86–92. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-86-92. EDN: OTNIZF.

Original article

**Mortality of puppies of northern fur seal (*Callorhinus ursinus*)
on Tyuleniy Island (Okhotsk Sea)**

Aleksey E. Kuzin

Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia
Ph.D., leading researcher, mormlek@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-3693-5751

Abstract. Mortality rate of fur seal puppies is considered for the first two months of their postnatal ontogenesis, from the birth to leaving the rookery on Tyuleniy Island for wintering in the open waters of the Pacific. On average, 7.9 % of puppies die on the island, that is lower than the mortality on the rookeries on Commander Islands (14.4 %) and on Pribylov Islands (9.8 %). The higher mortality of puppies on Commander Islands is reasoned by their disease with uncinariosis at the northwestern rookery. In general, deaths of puppies have similar causes in different places of their birth: mainly exhaustion, injuries, and diseases.

Keywords: northern fur seal puppy, mortality, cause of death

For citation: Kuzin A.E. Mortality of puppies of northern fur seal (*Callorhinus ursinus*) on Tyuleniy Island (Okhotsk Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz.*

* Кузин Алексей Егорович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, mormlek@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-3693-5751.

Введение

Большинство исследователей морского котика сходятся во мнении о том, что основным фактором, определяющим численность популяций этих животных, является смертность [Chapman, 1964; Кузин, 1978, 1990а, б; Lander, 1979; Eberhardt, 1981; Fowler, 1982, 1990; Trites, 1989, 1992; Владимиров, 1991; и др.]. Роль плодовитости значима, но чувствительность популяций к этому фактору более чем в 2,0–2,5 раза ниже, чем к смертности [Гудман, 1983; Фрисман и др., 1985]. Часть особей гибнет сразу после рождения (перинатальная смертность), другая часть — в течение первых месяцев жизни в период молочного кормления.

Определение причин и уровня смертности на ранних этапах онтогенеза (от рождения до ухода с острова на зимовку) северного морского котика о. Тюленьего является целью исследования.

Материалы и методы

Учет павших щенков в июне-июле проводился ежедневно в период с 1958 по 2013 г. Основным показателем смертности приплода является учет павших щенков посредством прохождения учетчиков по лежбищу. Трупы собираются, подсчитываются и захораниваются. Эта процедура называется санитарной чисткой лежбища. Обычно она производится промысловиками с участием научной группы. При отсутствии промысла данные по учету павших щенков котиков получают путем их подсчета научной группой с наблюдательных вышек.

Результаты и их обсуждение

Относительные показатели смертности щенков котиков на о. Тюленьем в 1958–2013 гг., рассчитанные от общего числа рожденных в каждом году, представлены на рис. 1.

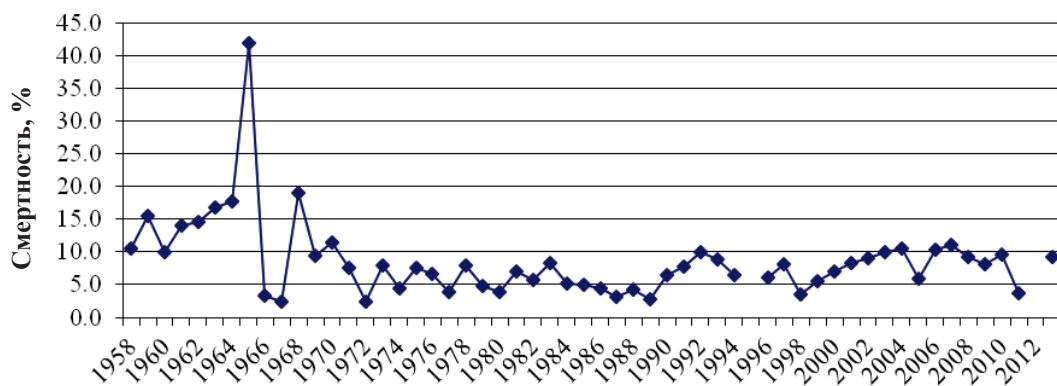


Рис. 1. Относительные показатели смертности щенков котиков на о. Тюленьем

Fig. 1. Relative mortality rate of fur seal puppies on Tyuleniy Island

Наивысшие показатели гибели щенков от числа рожденных, составившие в среднем 14,2 % (3,4–9,2 тыс. гол.), зарегистрированы в 1958–1964 гг. В 1965 г. 40 % щенков было смыто с лежбища тайфуном (20,2 тыс. гол.). В 1966–1967 гг. зарегистрировано наименьшее количество павших щенков — 2,8 % (1,3–1,4 тыс. гол.). В 1968–1970 гг. смертность увеличилась до 13,3 % (3,6–8,7 тыс. гол.). В 1971–1989 гг. она составила 5,4 % (0,5–3,1 тыс. гол.), а в 1990–2013 гг. — 6,7 % (1,1–4,0 тыс. гол.). В среднем за все годы исследований смертность щенков в период пребывания их на лежбище равна 7,9 %.

По данным В.М. Когай [1968] смертность щенков котиков на о. Тюленьем в 1957–1965 гг. колебалась от 10,0 до 17,8 %, а по данным А.А. Тимофеевой и Ю.А. Колесника [2003] средние значения коэффициентов смертности приплода котиков на о. Тюленьем за период 1957–1972 и 1973–1980 гг. составили 11,4 и 5,9 %.

На рис. 2 представлены показатели сезонной смертности щенков котиков.

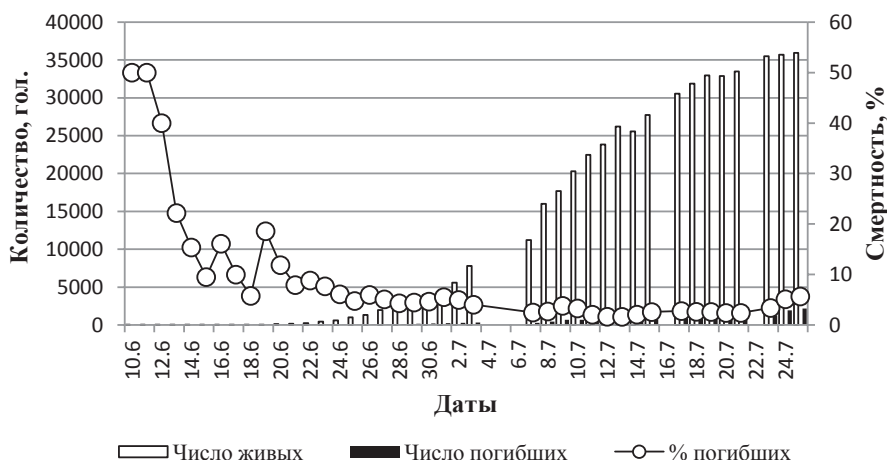


Рис. 2. Смертность щенков котиков на о. Тюленьем в 2010 г.

Fig. 2. Mortality of fur seal puppies on Tjuleniy Island in 2010

Как видно на рис. 2, гибель щенков в начале гаремного периода жизни наибольшая, постепенно снижается к его середине, оставаясь на одном уровне до конца периода наблюдений (гаремного периода), в среднем составляет 2,5 %. Лишь в конце сезона размножения (23–25 июля) показатели смертности увеличились до 5,3 %. К аналогичному выводу приходит В.М. Когай [1968], по данным которого количество павших щенков тоже увеличивается в конце июля.

Большая смертность щенков в начале периода наблюдений является в основном результатом перинатальной смертности и повышенной активности секачей по приходу на лежбище первых самок. Секачи давят щенков в конкурентной борьбе с другими секачами за место на гаремной территории и обладание самками.

В конце сезона размножения часть щенков погибает от болезней. Немаловажное значение имеет возрастная структура плодоносящей части популяции. Известно [Кузин, 2014], что перворожавшие самки приходят на лежбище в конце сезона размножения (в конце июля — начале августа) и в эти сроки преобладающая часть приплода принадлежит этим самкам, от которых в основном рождаются мелкие физиологически незрелые щенки, более предрасположенные к различного рода патологическим отклонениям [Фаулер, 1998; Кузин, 2014]. Часть щенков также погибает из-за того, что в конце сезона размножения ослабевают гаремные связи, вследствие чего холостяки проникают на гаремное лежбище и насилуют щенков, которые, чаще всего, погибают от перегрева.

В целом показатели смертности складываются из многих факторов, основными из которых являются естественная убыль, определяемая продолжительностью жизни индивидуумов, и случайная смертность, зависящая от многих факторов на разных этапах жизненного пути особи. В онтогенезе наивысшие показатели смертности, достигающие 70 %, отмечаются на первом году жизни животного [Lander, 1975], ее составляющими являются перинатальная смертность (мертворождение и появление на свет недоношенных, нежизнеспособных особей), гибель щенков после рождения в период пребывания их на лежбище и последующая гибель при зимовке в море.

Наибольшее влияние на показатели смертности в первые два месяца постнатального онтогенеза оказывают такие факторы, как истощение, травмы, инфекционные заболевания. По данным А.А. Тимофеевой и Ю.А. Колесника [2003] среди возбудителей

болезней северного морского котика на о. Тюленьем зарегистрирован 41 вид островных природно-очаговых зоонозов, относящихся к 8 семействам паразитов. Основная роль в гибели детенышей котиков в первые месяцы жизни отводится возбудителю, принадлежащему к семейству Enterobacteriaceae. По мнению авторов, источником и переносчиком опасных для приплода инфекций могут быть птицы, рыбы и другие животные. Развитие эпизоотий на о. Тюленьем определяется высокой плотностью животных и птиц и их зараженностью экто- и эндопаразитами [Тимофеева, Колесник, 2003].

Плотность также отрицательно сказывается на выживаемости приплода котиков по причине травмирования щенков взрослыми особями. Установлена заметная корреляционная связь между общей численностью котиков на лежбище и долей гибели щенков на о. Тюленьем за 1958–2013 гг., составившая 0,504. Повышенные показатели плотности популяции котиков о. Тюленьего отмечались в 1958–1964 гг. при общей численности животных 107–170 тыс. гол. (смертность щенков 14,2 %) и, в меньшей степени, в 2003–2013 гг. при общей численности животных 105–131 тыс. гол. (смертность щенков 8,7 %).

Аналогичная зависимость установлена и для щенков котиков популяции Прибыловских островов [Фаулер, 1998]. Смертность щенков на о. Св. Павла (о-ва Прибылова) составила в среднем за период с 1950 по 1987 г. 9,82 % (2,62–21,78 %) [Trites, 1989]. От истощения погибает 53 % щенков, в результате полученных травм — 18, перинатальной смертности — 19, инфекционных болезней — 3 и других причин — 7 % [Spraker, Lander, 2010].

На Командорских островах за период с 1975 по 1977 г. смертность щенков составила 13,2 % (на лежбище Северном — 8,6 (7,3–10,7 %), на Северо-Западном — 37,7 (31,8–43,8), на Юго-Восточном — 3,8 (2,9–4,7), на Урильем — 2,7 % (2,2–3,4 %) [Колеватова и др., 1998].

На о. Беринга гибель детенышей от унцинариоза в июне равнялась 2,3 %, в августе — 93,6; от полученных травм — в июне — 69,8, а в августе 3,9; от истощения — в июне — 11,6, в августе — 0,5 %. Прочие причины составили в июне — 16,3, в августе — 2,0 % [Колеватова и др., 1998]. Как видно из представленных данных, на о. Беринга основная причина гибели щенков котиков унцинариоз и травмы.

Заключение

Таким образом, смертность щенков на о. Тюленьем после рождения и в период пребывания их на лежбище до ухода в море на зимовку составила 7,9 %, на о-вах Прибылова (о. Св. Павла) — 9,2, на Командорских островах — 13,2 %. Основные составляющие смертности — перинатальная гибель, истощение, травмы, болезни. На величину смертности детенышей также оказывают влияние и такие факторы, как общая численность животных, возрастно-половая структура популяции и размеры тела при рождении (физические и физиологические параметры).

Смертность щенков котиков — естественный процесс, практически не поддающийся регулированию. По нашим данным показатели смертности в небольшом объеме могут быть снижены уменьшением плотности залегания взрослых особей на лежбище путем частичного их изъятия. Однако, как показал опыт американцев, выбой 300 тыс. самок из популяции котиков на о-вах Прибылова с 1956 по 1968 г. не привел стадо к увеличению рождаемости и росту численности [York, Hartley, 1981]. После добычи самок на о. Св. Георгия численность щенков уменьшалась каждый год на 6 %, а на о. Св. Павла — на 7 % с 1971 по 1983 г. [Trites, 1992]. В связи с этим можно сделать вывод, что часть щенков в первые месяцы постнатального онтогенеза и впредь будет гибнуть, однако учет их необходим для установления общих параметров убыли при определении динамических процессов, происходящих в популяции.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор благодарит А.М. Трухина, принимавшего участие в сборе первичной информации по изучаемому вопросу, а также рецензентов за ценные замечания, которые были учтены при подготовке настоящей рукописи к печати.

The author is thankful to A.M. Trukhin, who took part in collection of primary information on the fur seal puppies mortality, as well as to reviewers of the manuscript for their valuable comments that were taken into account when preparing this article for publication.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not sponsored.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Автор заявляет, что предлагаемый обзор литературы не содержит собственных данных, полученных экспериментально с использованием животных. Все наблюдения за животными производились визуально с использованием оптических средств. Контакта с животными не было. Библиографические ссылки на все использованные в обзоре литературные источники оформлены в соответствии с ГОСТом.

The author declares that his own data obtained experimentally using animals were not used in this study. All observations of animals were made visually using optical devices, without contact with animals. Bibliographic references to all cited sources used in the literature review are formatted in accordance with the state standards (GOST).

Список литературы

Владимиров В.А. Современное состояние популяций северных морских котиков в СССР и проблемы их рационального использования // Науч.-исслед. работы по мор. млекопит. сев. части Тихого океана в 1989–1990 гг. Проект 02.05-61. «Морские млекопитающие». Соглашение между СССР и США в области охраны окружающей среды. — М. : ВНИРО, 1991. — С. 130–164.

Гудман Д. Демографический подход к жестко управляемым популяциям // Биология охраны природы: состояние и динамика численности стада котиков о. Тюленьего : пер. с англ. — М. : Мир, 1983. — С. 198–224.

Когай В.М. Современное состояние и динамика численности стада о. Тюленьего // Тр. ВНИРО. — Т. 68 : Изв. ТИНРО. — Т. 62 : Ластоногие северной части Тихого океана. — 1968. — С. 43–52.

Колесникова А.И., Букина Л.А., Васенин Ю.А. Болезни и паразиты северного морского котика // Северный морской котик: Систематика, морфология, экология, поведение. — М. : ИПЭЭ РАН, 1998. — Ч. 2. — С. 862–892.

Кузин А.Е. Изменчивость фенетической структуры популяции и котиков о. Тюленьего // Эволюционные генетические исследования млекопитающих : тез. докл. Всесоюз. совещ. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1990а. — С. 93–95.

Кузин А.Е. Оценка величины смертности морских котиков (*Callorhinus ursinus*) в результате загрязнения океана отходами промышленного рыболовства // Экология. — 1990б. — № 5. — С. 89–92.

Кузин А.Е. Половая зрелость и воспроизводительная способность популяций северного морского котика // 2-й Междунар. териол. конгресс. — Брно, 1978. — С. 400.

Кузин А.Е. Северный морской котик : моногр. — 2-е изд., испр. и доп. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2014. — 492 с.

Тимофеева А.А., Колесник Ю.А. Инфекционная этиология смертности морских котиков и экологически связанных с ними животных // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 133. — С. 245–255.

Фаулер Ч.У. Северные морские котики на островах Прибылова // Северный морской котик: Систематика, морфология, экология, поведение. — М. : ИПЭЭ РАН, 1998. — Ч. 2. — С. 450–498.

Фрисман Е.Я., Скалецкая Е.И., Кузин А.Е. Математическое моделирование динамики численности северного морского котика и оптимальное управление котиковым хозяйством : моногр. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1985. — 156 с.

- Chapman D.G.** A critical study of Pribilof fur seal population estimates // Fish. Bull. — 1964. — Vol. 63, № 3. — P. 657–669.
- Eberhardt L.L.** Population dynamics of the Pribilof fur seals // Dynamics of large mammal populations. — N.Y. : J. Wiley and Sons, 1981. — P. 197–220.
- Fowler C.W.** Density dependence in northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) // Marine Mammals Science. — 1990. — Vol. 6, № 3. — P. 171–195.
- Fowler C.W.** Interactions of northern fur seals and commercial fisheries // Transactions of the 47th North American Wildlife and Natural Resources Confer. — Wash. D.C., 1982. — P. 278–292.
- Lander R.H.** Method of determining natural mortality in the northern fur seal (*Callorhinus ursinus*) from known pups and kill by age and sex // J. Fish Res. Board Can. — 1975. — Vol. 32, № 12. — P. 2447–2452. DOI: 10.1139/F75-282.
- Lander R.H.** Role of land and ocean mortality in yield of male Alaskan fur seal, *Callorhinus ursinus* // Fish. Bull. — 1979. — Vol. 77, № 1. — P. 311–314.
- Spraker T.R., Lander M.E.** Causes of mortality in northern fur seals (*Callorhinus ursinus*), St. Paul Island, Pribilof Islands, Alaska, 1986–2006 // J. Wildl. Dis. — 2010. — Vol. 46. — P. 450–473. DOI: 10.7589/0090-3558-46.2.450.
- Trites A.W.** Estimating the juvenile survival rate of male northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1989. — Vol. 46. — P. 1428–1436.
- Trites A.W.** Northern fur seals: Why have they declined? // Aquatic Mammals. — 1992. — Vol. 18, № 1. — P. 3–18.
- York A.E., Hartley J.R.** Pup production following harvest of female northern fur seals // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1981. — Vol. 38, № 1. — P. 84–90. DOI: 10.1139/f81-011.

References

- Vladimirov, V.A.**, The current state of populations of northern fur seals in the USSR and the problems of their rational use, in *Nauchno-issledovatel'skiye raboty po morskim mlekopitayushchim severnoy chasti Tikhogo okeana v 1989–1990 gg. Proyekt 02.05-61. "Morskiye mlekopitayushchiye". Soglasheniye mezhdru SSSR i SSHA v oblasti okhrany okruzhayushchey sredy* (Research work on marine mammals of the northern part of the Pacific Ocean in 1989–1990. Project 02.05-61. "Marine Mammals". Agreement between the USSR and the USA in the field of environmental protection), Moscow: VNIRO, 1991, pp. 130–164.
- Goodman, D.**, Demographic approach to tightly controlled populations, in *Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective*, Soule, M.E. and Wilcox, B.A., ed., Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates, 1980.
- Kogai, V.M.**, The present conditions and dynamics of fur seal population on Robben Island, *Tr. Vseross. Nauchnj-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, vol. 68: *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, vol. 62: Pinnipeds of the North Pacific, 1968, pp. 43–52.
- Kolevatova, A.I., Bukina, L.A., and Vasenin, Yu.A.**, Diseases and parasites of the northern fur seals, in *The northern fur seal: Systematics, morphology, ecology, behavior*, M., 1998, pt 2, pp. 862–892.
- Kuzin, A.E.**, The variability of the phenetic structure of the population and fur seals about Tyuleny, in *Tezisy dokl. Vsesoyuz. Soveshch. "Evolyutsionnyye geneticheskiye issledovaniya mlekopitayushchikh"* (Proc. Rep. All-Union Meet. "Evolutionary genetic studies of mammals"), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1990, pp. 93–95.
- Kuzin, A.E.**, Evaluation of mortality of the fur seals (*Callorhinus ursinus*) resulting from the ocean pollution with the waste of industrial fishery, *Ecology*, 1990, no. 5, pp. 89–92.
- Kuzin, A.E.**, Sexual maturity and reproductive ability of populations of the northern fur seal, in *2-y Mezhdunarodnyy teriologicheskij congress* (2nd International Theriology Congress), Brno, 1978, p. 400.
- Kuzin, A.E.**, *Severnyy morskoy kotik* (Northern Fur Seal). The second edition, complemented, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2014.
- Timofeeva, A.A. and Kolesnik, Y.A.**, Infectious etiology of death of fur seals and ecologically connected animals, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 133, pp. 245–255.
- Fauler, Ch.U.**, Northern fur seals on Pribilof Islands, in *The northern fur seal: Systematics, morphology, ecology, behavior*, Moscow: IPEE RAN, 1998, pt 2, pp. 450–498.
- Frisman, E.Ya., Skaletskaya, E.I., and Kuzin, A.E.**, *Matematicheskoye modelirovaniye dinamiki chislennosti severnogo morskogo kotika i optimal'noye upravleniye kotikovym khozyaystvom* (Mathematical modeling of the population dynamics of the northern fur seal and optimal management of the fur seal economy), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1985.

Chapman, D.G., A critical study of Pribilof fur seal population estimates, *Fish. Bull.*, 1964, vol. 63, no. 3, pp. 657–669.

Eberhardt, L.L., Population dynamics of the Pribilof fur seals, *Dynamics of large mammal populations*, N.Y.: J. Wiley and Sons, 1981, pp. 197–220.

Fowler, C.W., Density dependence in northern fur seals (*Callorhinus ursinus*), *Marine Mammals Science*, 1990, vol. 6, no. 3, pp. 171–195.

Fowler, C.W., Interactions of northern fur seals and commercial fisheries, *Transactions of the 47th North American Wildlife and Natural Resources Confer.*, Wash., D.C., 1982, pp. 278–292.

Lander, R.H., Method of determining natural mortality in the northern fur seal (*Callorhinus ursinus*) from known pups and kill by age and sex, *J. Fish Res. Board Can.*, 1975, vol. 32, no. 12, pp. 2447–2452. doi 10.1139/F75-282

Lander, R.H., Role of land and ocean mortality in yield of male Alaskan fur seal, *Callorhinus ursinus*, *Fish. Bull.*, 1979, vol. 77, no. 1, pp. 311–314.

Spraker, T.R. and Lander, M.E., Causes of mortality in northern fur seals (*Callorhinus ursinus*), St. Paul Island, Pribilof Islands, Alaska, 1986–2006, *J. Wildl. Dis.*, 2010, vol. 46, pp. 450–473. doi 10.7589/0090-3558-46.2.450

Trites, A.W., Estimating the juvenile survival rate of male northern fur seals (*Callorhinus ursinus*), *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1989, vol. 46, pp. 1428–1436.

Trites, A.W., Northern fur seals: Why have they declined?, *Aquatic Mammals*, 1992, vol. 18, no. 1, pp. 3–18.

York, A.E. and Hartley, J.R., Pup production following harvest of female northern fur seals, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1981, vol. 38, no. 1, pp. 84–90. doi 10.1139/f81-011

Поступила в редакцию 15.11.2022 г.

После доработки 16.12.2022 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

*The article was submitted 15.11.2022; approved after reviewing 16.12.2022;
accepted for publication 3.03.2023*

Научная статья

УДК 597.555.5(265.5)

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-93-108

EDN: QCLZNG



**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ НАВАГИ
ELEGINUS GRACILIS TILESII (GADIDAE)
НА ПЕРВОМ ГОДУ ЖИЗНИ**

А.В. Буслов*

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

Аннотация. На основании данных наблюдений и обобщения опубликованных материалов рассмотрен линейный и весовой рост дальневосточной наваги на первом году жизни в разных районах ее обитания. Посредством логистической функции смоделирован ее рост в течение года. Показано, что в южных районах обитания навага растет значительно быстрее. Наиболее интенсивный линейный рост происходит в первые четыре месяца жизни, когда длина личинок и мальков увеличивается на 50–60 % ежемесячно. Осенью и зимой относительные приросты существенно снижаются и в конце первого года жизни составляют 1–4 %. В абсолютном выражении приращения длины увеличиваются в первую половину года, достигая пика к концу лета — началу осени. В этот период длина рыб становится больше на 25–30 мм в месяц. В оставшуюся часть года значения абсолютных приростов снижаются до 2–3 мм. Характер весового роста заметно отличается от линейного. В течение первых пяти месяцев жизни весовой рост у молоди наваги наиболее интенсивен и значительно превосходит линейный. За этот период ее масса ежемесячно увеличивается не менее чем вдвое. Величина относительных приростов постепенно уменьшается от первого месяца жизни к пятому. После чего при достижении массы около 5 г относительный темп весового роста резко снижается, при этом существенно увеличиваются абсолютные приросты. Максимальные приращения массы (5–6 г) приходятся на 6–8-й месяцы жизни наваги, когда рыбы достигают длины более 86 мм. За этот короткий промежуток навага набирает немногим более 60 % массы первого года жизни. Пики линейных и весовых приростов не совпадают по времени и смещены примерно на два месяца относительно друг друга. Максимальные приращения длины у молоди наваги приурочены к июлю–сентябрю, а массы — к сентябрю–ноябрю.

Ключевые слова: дальневосточная навага, линейный и весовой рост, относительный и абсолютный прирост, логистическая функция, районы обитания

Для цитирования: Буслов А.В. Закономерности роста дальневосточной наваги *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) на первом году жизни // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 93–108. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-93-108. EDN: QCLZNG.

* Буслов Александр Вячеславович, кандидат биологических наук, заместитель руководителя филиала, aleksandr.buslov@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-4800-5666.

Growth patterns of saffron cod *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) in the first year of life

Alexandr V. Buslov

Pacific branch of VNIRO (TINRO),

4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

Ph.D., deputy head, aleksandr.buslov@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-4800-5666

Abstract. Patterns of linear and weight growth of saffron cod in the first year of life are considered on the data of measurements and cited materials for different habitats of this species. The growth curve is approximated by logistic function. Monthly increments for the body length of larvae and fry are about 50–60 % in the first four months of life with the highest growth rate. Then the relative growth decreases significantly in fall-winter and does not exceed 1–4 % to the end of the first year of life. The absolute length increments increase during the first half of the year up to the maximum value of 25–30 mm/month in late summer — early autumn. Saffron cod grow faster in the southern areas of their habitat. The weight growth patterns are different from the linear growth. The weight growth is higher in the first five months of life, with gradual decreasing of the monthly weight increments from 156 % to 105 %. The relative weight increments exceed significantly the length increments in this period. When the body weight reaches app. 5 g, the relative weight increments decrease abruptly, though the absolute increments continue to increase until the 6–8th months of life when they reach 5–6 g per month for fish with body length > 86 mm. The body weight increases by 60 % in this short period of the highest weight growth. Time lag between the peaks of absolute linear growth (in July–September) and weight growth (in September–November) is about 2 months.

Keywords: saffron cod, linear growth, weight growth, relative increment, absolute increment, logistic function, habitat

For citation: Buslov A.V. Growth patterns of saffron cod *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) in the first year of life, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 93–108. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-93-108. EDN: QCLZNG.

Введение

Изучение роста рыб в период раннего онтогенеза — важная составляющая в познании их биологии. Непосредственно в этот период рост как количественная характеристика развития приобретает существенное морфогенетическое значение, поскольку сопровождается метаморфозами (предличинка, личинка, малек, сеголетка), которые обуславливают изменения морфологических, биологических и этологических характеристик рыб. Эти преобразования, в свою очередь, тесно связаны с механизмами формирования численности поколений, которые, как известно, основное действие оказывают в течение первого года жизни рыб [Дехник и др., 1985; Chambers, Trippel, 1997; Архипов, 2015; и др.].

В этом смысле исследования роста в раннем онтогенезе наиболее важны для популярных промысловых видов, к которым в дальневосточных морях безусловно можно отнести представителей семейства тресковых — минтая, тихоокеанскую треску и дальневосточную навагу. Однако если для первых двух видов закономерности роста на первом году жизни известны и обобщены [Буслов, 2005; Буслов, Овсянникова, 2021], то у наваги эта часть онтогенеза остается малоизученной, поскольку исследователи уделяли данному вопросу критически мало внимания. Упоминания о размерах пойманной молодежи в разрозненных работах не позволяют судить о характере ее линейного роста, еще меньше информации можно найти о весовом росте.

С учетом вышесказанного, на наш взгляд, целесообразно в обобщенном виде охарактеризовать закономерности роста тихоокеанской наваги в течение первого года жизни с привлечением имеющихся первичных и опубликованных материалов. Это и стало целью настоящей работы.

Материалы и методы

Мальки и сеголетки наваги достаточно регулярно попадают в уловах донных траловых съемок. Имеющиеся в нашем распоряжении промеры наваги возраста менее 1 года из разных районов ее обитания составили более 70 тыс. экз. (табл. 1).

Таблица 1
Количество промеренных мальков и сеголеток наваги из уловов донных траловых съемок, экз.
Table 1
Number of measured juveniles of saffron cod from catches of bottom trawl surveys, ind.

Район	Месяц/годы наблюдений	Кол-во измерений
Карагинский залив	09/2001, 2009	952
	10/2002, 2005	1440
	11/1990, 2000, 2002	1670
	12/2003	164
Западная Камчатка	07/2007	46
	08/2008, 2009	72
	09/2003	154
	10/1990	203
	03/1998	455
Зал. Терпения	07/2011	337
	08/2000, 2012	185
	09/2004	1134
Зал. Петра Великого	06/2008, 2009	1083
	07/2002, 2005–2010, 2013	9065
	08/1998, 1999, 2001–2013	30987
	09/2001, 2003, 2007–2012	13231
	11/2008	485
Южные Курильские острова	09/2012	1705
	10/2002, 2010, 2011	4824
	11/2012	1322
	03/1997	349
Татарский пролив	03/1994, 2003	311

Для описания роста в течение первого года жизни использовали логистическую кривую [Рикер, 1983], уравнение которой имеет вид

$$L = \frac{L_{\infty}}{1 + 10^{\gamma + \beta t}},$$

где L — длина в любой момент времени, мм; L_{∞} — асимптотическая длина в годовалом возрасте, мм; t — месяц жизни; γ и β — коэффициенты уравнения. Такой тип кривой применялся ранее для описания роста молоди минтая и трески [Буслов, 2005; Буслов, Овсянникова, 2021]. В качестве ориентиров для расчетов использованы наблюдаемые длины в разные месяцы первого года жизни, а также допущение, что средняя дата выклева предличинок — 15 апреля, а их длина — 4 мм. Параметры уравнений рассчитаны по методу избранных точек посредством минимизации суммы квадратов отклонений расчетных значений от наблюдаемых [Зайцев, 1984].

Абсолютный и относительный (с поправкой Броуди) линейный (весовой) прирост за промежуток времени Δt , равный 1 мес., определяли по формулам

$$\frac{L_1 - L_0}{\Delta t} \text{ и } \frac{L_1 - L_0}{0,5(L_1 + L_0)} \cdot 100,$$

где L_0 (W_0) и L_1 (W_1) — длина (масса) в начальный (0) и конечный (1) моменты промежутка времени Δt [Мина, Клевезаль, 1976].

Результаты и их обсуждение

Линейный рост. Многочисленные литературные источники свидетельствуют о том, что навага нерестится в самые холодные месяцы года. Так, в западной части Берингова моря в заливах Карагинском и Корфа массовый подход нерестовой наваги к берегам обычно наблюдается во второй половине января, а основное количество икры здесь выметывается в конце этого месяца [Богаевский, 1951; Трофимов, 2009]. У восточного побережья Камчатки в Авачинской губе воспроизводство наваги также приурочено к январю — началу февраля [Василец, Доценко, 2003]. В эти же сроки массовый нерест проходит в большинстве популяций Охотского моря — в Ямской и Тауйской губах, в заливах Сахалинском и Терпения, у южных Курильских островов [Семененко, 1965; Сафронов, 1986]. Лишь у наваги западной Камчатки пик икрометания сдвинут на февраль [Новикова, 2007]. В Японском море январский массовый нерест отмечен для зал. Петра Великого, северного Приморья и Татарского пролива [Козлов, 1959; Покровская, 1960]. В лагунах северного и тихоокеанского побережий о. Хоккайдо икрометание наваги по данным японских исследователей, хотя и протекает довольно быстро, также приурочено к январю [Chan et al., 2007]. Таким образом, практически по всему ареалу от севера до юга сроки массового нереста наваги совпадают и приурочены ко второй половине января — началу февраля.

Примечателен также тот факт, что продолжительность развития икринок и сроки выклева вполне сопоставимы как в южной, так и в северной частях ареала. В зал. Корфа эмбриогенез заканчивается в конце апреля, а предположительная его длительность составляет 80–90 дней [Богаевский, 1951]. В северной части Татарского пролива временем выклева личинок также считается вторая половина апреля [Козлов, 1959]. В зал. Петра Великого выклев личинок ежегодно происходит в сравнительно близкие сроки — в середине апреля. Инкубация икринок, проведенная здесь в естественных условиях, составила 76 сут [Дубровская, 1954]. Близкая продолжительность эмбриогенеза (73–78 сут) указывается и для вод северного побережья Хоккайдо [Покровская, 1960; Chen, 1989]. Логично предположить, что и в этом районе, и, соответственно, у южных Курильских островов появление предличинок также приурочено к концу марта — началу апреля. Таким образом, несмотря на значительную широтную разобщенность районов воспроизводства, рост наваги в постэмбриональный период по всему ареалу начинается в близкие сроки.

Размеры выклюнувшихся предличинок, приводимые разными авторами, в некоторых случаях разнятся. Для Берингова моря указывается длина 3,5 мм [Dunn, Vinter, 1984], для зал. Петра Великого — 3,5–3,9 мм [Мухачева, 1957], для Татарского пролива — 3,8 мм [Козлов, 1959]. Более крупные предличинки были получены в ходе экспериментов по инкубированию икры наваги из Авачинской (5,1–5,4 мм) и Тауйской губ (5,3–6,3 мм) [Буслов, Сергеева, 2013; Юсупов, Ракитина, 2017]. По всей видимости, такая вариабельность размеров может быть связана как с региональными особенностями, так и с размерами самих икринок, средние диаметры которых, судя по опубликованным данным, значительно варьируют (0,9–1,4 мм) [Козлов, 1951; Мухачева, 1957; Буслов, Сергеева, 2013; Юсупов, Ракитина, 2017]. Кроме того, нельзя не учитывать и продолжительность нахождения эмбриона в икринке, так как экспериментально было показано, что у наваги наибольшую длительность имеет завершающая стадия эмбриогенеза, во время которой происходит только рост эмбриона [Буслов, Сергеева, 2013].

Первые десять суток жизни выклюнувшиеся предличинки растут преимущественно за счет желточного мешка, который рассасывается при длине тела около 6,5 мм [Юсупов, Ракитина, 2017]. Длина предличинок наваги из Татарского пролива, содержавшихся в аквариумальных условиях при температуре около 0 °С, на восьмые сутки после выклева составила 5,8 мм, а на десятые — 6,1 мм [Козлов, 1959]. Близкие значения указываются и для наваги Тауйской губы, предличинки которой на 10-е сут

имели среднюю длину 6,4 мм, после чего темп роста резко замедлился, и к возрасту 20 сут их средняя длина увеличилась всего на 0,1 мм [Юсупов, Ракитина, 2017].

При явном дефиците информации о начальном периоде жизни наваги обобщенно можно отметить, что, выклеываясь при длине около 4–5 мм, личинки за первые две недели жизни увеличиваются в длину примерно в полтора раза и в начале мая переходят на самостоятельное питание. Характер роста наваги в этот период практически не освещен, поэтому далее реконструируем его по имеющимся в нашем распоряжении материалам и достаточно отрывочным опубликованным сведениям (рис. 1). При этом допустили, что средняя дата выклева предличинок — 15 апреля, а длина — 4 мм.

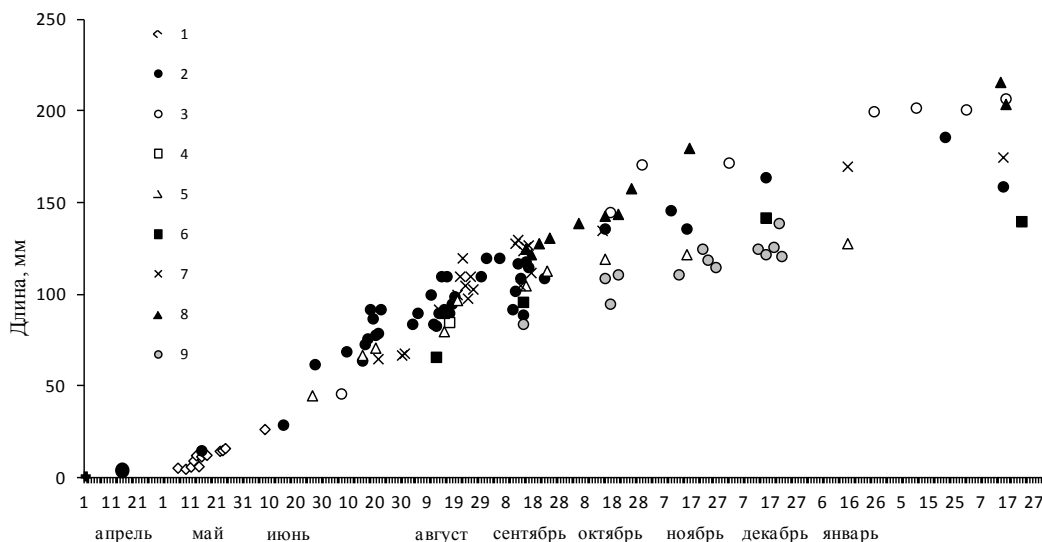


Рис. 1. Преобладающие размеры личинок, мальков и сеголеток наваги, наблюдаемые в разных частях ареала: 1 — восточная часть Берингова моря [Dunn, Vinter, 1984]; 2 — зал. Петра Великого; 3 — тихоокеанские воды Хоккайдо [Haga et al., 1957; Chen, 1989]; 4 — северо-западное побережье Сахалина [Иванова, Иванов, 2002]; 5 — зал. Терпения; 6 — Авачинская губа [Василец, Доценко, 2003]; 7 — западная Камчатка; 8 — южные Курильские острова; 9 — Карагинский залив. Крупной точкой обозначена осредненная дата выклева

Fig. 1. Modal size of saffron cod juveniles in the first year of life, by the areas of their habitat: 1 — eastern Bering Sea [Dunn, Vinter, 1984]; 2 — Peter the Great Bay; 3 — Pacific waters at Hokkaido [Haga et al., 1957; Chen, 1989]; 4 — northwestern coast of Sakhalin [Ivanova, Ivanov, 2002]; 5 — Patience/Terpenia Bay; 6 — Avacha Bay [Vasilets, Dotsenko, 2003]; 7 — West Kamchatka waters; 8 — waters at southern Kuril Islands; 9 — Karaginskiy Bay. A large dot indicates the average date of hatching

Судя по характеру распределения точек, кривая изменения длины наваги в течение первого года жизни имеет вид, близкий к S-образному, — незначительные абсолютные приросты весной, интенсивное увеличение длины в летне-осенние месяцы и замедление в зимние (ноябрь–февраль). Об этом свидетельствует также сезонная динамика размерных составов мальков и сеголеток наваги из разных районов (рис. 2). Аналогичный тип кривой приводит Н.В. Дубровская [1954] при описании роста молоди наваги в зал. Петра Великого. Подобная тенденция изменения размеров проявляется и в зал. Терпения, где в июне мальки имеют длину 56 мм, к августу — 73–85 мм, а в феврале — 106–110 мм [Сафронов, 1986]. В тихоокеанских водах Хоккайдо в первой декаде июля средняя длина мальков составляла 46 мм, а к середине октября достигла 158 мм [Haga et al., 1957]. В зал. Аляска длина наваги с июля по сентябрь увеличивалась с 70 до 108 мм [Johnson et al., 2009]. В Авачинской губе с августа по ноябрь сеголетки также растут весьма интенсивно — с 66 до 137 мм, после чего их рост практически останавливается, и в марте они достигают длины 142 мм

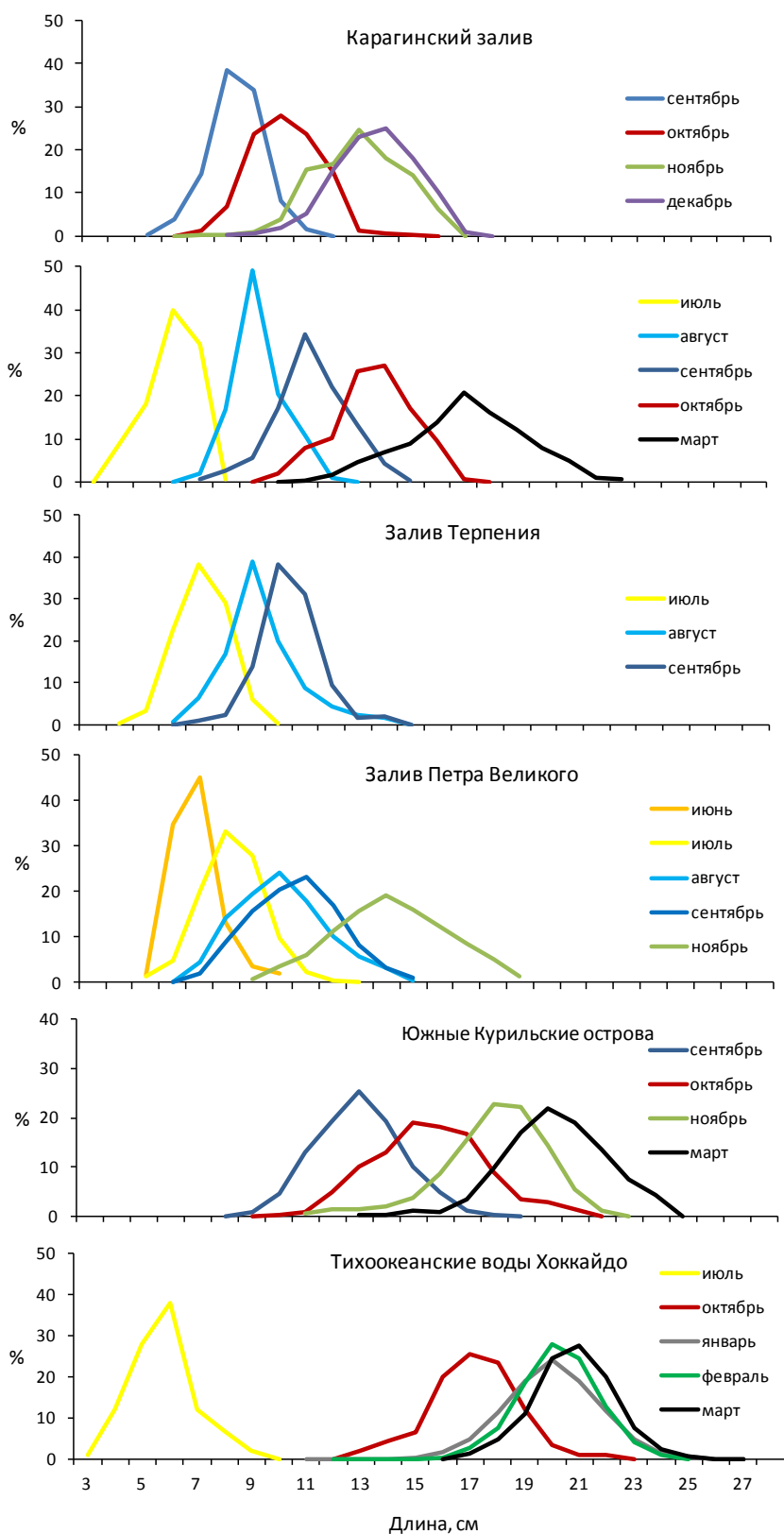


Рис. 2. Размерный состав мальков и сеголеток наваги в разных частях ареала
Fig. 2. Size composition of saffron cod juveniles in different areas of their habitat

[Василец, Доценко, 2003]. В водах северо-востока Камчатки средняя длина сеголеток в сентябре составляет 85 мм, в октябре — 102, в ноябре — 121 и в декабре — 126 мм [Трофимов, 2011]. Таким образом, можно заключить, что характер роста наваги в течение первого года жизни схож по всему ареалу.

Однако географические различия в размерах, которых рыбы достигают к определенному периоду, все же есть. На рис. 1 заметно, что, например, навага из заливов Карагинского, Авачинского или Терпения осенью заметно уступает по длине сеголеткам из более южных регионов. При этом интересным выглядит тот факт, что в течение первых трех месяцев жизни размеры наваги достаточно близки по всему ареалу. Возможно, это связано с тем, что примерно до середины лета мальки ведут пелагический образ жизни [Дубровская, 1954]. Существенные расхождения в темпе роста начинаются, по всей видимости, со второй половины лета. Поэтому для сравнения роста наваги в разных регионах в качестве интегральной характеристики используем наблюдаемую длину сеголеток в сентябре (это около пяти месяцев постэмбрионального развития). При указанных выше допущениях о средней дате выклева и длине предличинки максимальные показатели роста оказались у наваги вод южных Курильских островов, тихоокеанского побережья Хоккайдо и западной Камчатки, минимальные — в Карагинском и Авачинском заливах (табл. 2).

Таблица 2

Осредненные показатели роста наваги разных районов за первые пять месяцев жизни, мм

Table 2

Average growth rate of saffron cod in the first five months of life (mm), by areas

Район	Наблюдаемая длина в сентябре	Абсолютный среднесуточный прирост	Относительный среднесуточный прирост, %
Тихоокеанские воды Хоккайдо	119	0,76	1,23
Зал. Петра Великого	109	0,69	1,22
Авачинский залив	96	0,61	1,21
Карагинский залив	84	0,53	1,20
Западная Камчатка	114	0,72	1,22
Зал. Терпения	105	0,66	1,22
Зал. Аляска	108	0,68	1,22
Южные Курильские острова	122	0,78	1,23

В целом имеющиеся материалы свидетельствуют о том, что сеголетки и годовики наваги из южных районов достигают большей длины, чем в северной части ареала. Логично предположить, что это связано все же с несколько более ранними сроками выклева, более высокой температурой воды, способствующей ускоренному росту, а в случае с западной Камчаткой, вероятно, с благоприятными кормовыми условиями западнокамчатского шельфа.

Вместе с тем на примере сеголеток зал. Петра Великого (по которым накоплено наибольшее количество наблюдений) можно отметить, что темп роста существенно варьирует в разные годы (табл. 3). Из табличных данных видно, что интенсивный рост, выраженный в величине суточных приростов, может наблюдаться не только в летний период, но в отдельные годы (как в 2008 г.) в весенний и осенний. При этом у сеголеток зал. Петра Великого наблюдается низкий прирост от августа к сентябрю. Скорее всего, такая особенность связана со значительным прогревом в данный период сублиторальных вод залива, где традиционно учитываются сеголетки наваги [Измятинский, 2004]. Как указывает автор, на глубине 45 м температура воды в августе в разные годы изменялась от 8 до 15 °С, а на меньших глубинах достигала еще больших значений. Известно, что оптимальная температура для наваги в период нагула во всех районах входит в диапазон от 0,5 до 8,0 °С [Борец, 1997]. По всей видимости, термические условия обитания молоди на сублиторали зал. Петра Великого в конце лета становятся неблагоприятными, и темп

Размерные и ростовые характеристики сеголеток наваги в сублиторальной зоне зал. Петра Великого из уловов донных траловых съемок

Table 3

Size and growth parameters for saffron cod juveniles caught by bottom trawl in the sublittoral zone of Peter the Great Bay

Год	Показатель роста, мм	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
2001	Средняя длина		76,5	108,1	119,5		
	Прирост		31,6	11,4			
	Суточный прирост		1,26	0,42			
2007	Средняя длина		69,5	95,9	108,8		
	Прирост		26,4	12,9			
	Суточный прирост		0,67	0,35			
2008	Средняя длина	82,0	87,2	98,7	102,0		146,4
	Прирост	5,2	11,5	3,3			
	Суточный прирост	0,19	0,37	0,13			
2009	Средняя длина	61,7	78,8	89,7	109,2		
	Прирост	17,1	10,9	19,4			
	Суточный прирост	0,68	0,45	0,61			

Примечание. Суточные приросты рассчитаны с учетом средней даты съемки.

роста замедляется. В пользу этого свидетельствует и тот факт, что летом 2009 г. в придонном слое на сублиторали залива отмечались аномально низкие температуры воды — преимущественно до 6 °С [Будаева и др., 2010]. На этом фоне темп роста сеголеток в августе оказался самым высоким из рассматриваемых лет (табл. 3). Уместно отметить, например, что прогрев вод выше оптимума в нагульный период негативно влияет на рост наваги в Баренцевом и Белом морях [Стасенков, Гончаров, 2020].

Очевидно, что межгодовые особенности роста, связанные с факторами внешней среды, могут быть во всех районах обитания наваги. Поэтому для формализации представлений об изменениях длины наваги в течение первого года жизни применили уравнение логистической функции, поскольку выше подтвердился S-образный характер этого процесса.

Параметры уравнений и теоретические кривые роста были рассчитаны для наваги из разных районов (табл. 4, рис. 3). Как видно, наиболее тугорослыми можно считать популяции наваги восточного побережья Камчатки, а также Тауйской губы и северо-западного побережья Сахалина. Самая быстрорастущая молодежь обитает у юж-

Параметры уравнений зависимости «возраст–длина» для первого года жизни наваги в различных частях ареала

Table 4

Parameters of equation for «age–body length» dependence in the first year of life for saffron cod in different areas of their habitat

Район обитания	Коэффициенты		L_{∞} , мм	Ошибка (m_{yx})
	β	γ		
Карагинский залив	–0,311	1,830	131	4,7
Авачинский залив	–0,343	1,910	142	5,2
Западная Камчатка	–0,321	1,702	176	3,9
Тауйская губа	–0,325	1,759	131	5,7
Зал. Терпения	–0,290	1,519	139	6,1
Северо-запад Сахалина	–0,310	1,820	118	6,5
Татарский пролив	–0,316	1,846	157	5,9
Зал. Петра Великого	–0,304	1,728	180	4,4
Южные Курильские острова	–0,310	1,762	210	5,3
Тихоокеанские воды Хоккайдо	–0,308	1,732	211	6,1

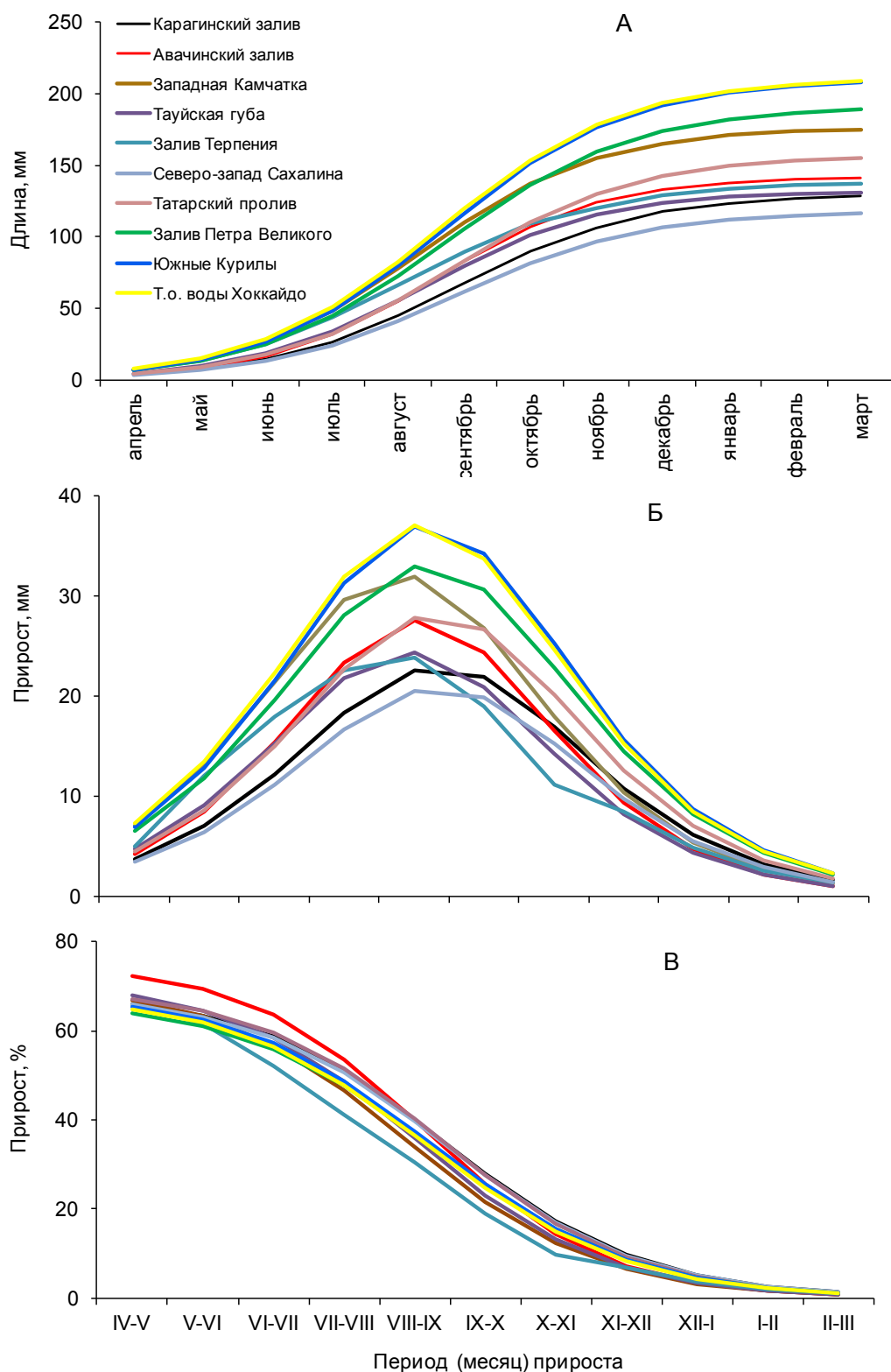


Рис. 3. Теоретические кривые линейного роста (А) и изменение абсолютных (Б) и относительных (Б) месячных приростов наваги в течение первого года жизни

Fig. 3. Theoretical linear growth curves (А) and absolute (Б) and relative (Б) monthly increments of body length for saffron cod in the first year of life

ных Курильских островов и тихоокеанского побережья Хоккайдо. Навага зал. Петра Великого, Татарского пролива и западной Камчатки по темпу роста на первом году занимает промежуточное положение. К последним можно отнести также навагу зал. Аляска (см. табл. 2). Наиболее интенсивное увеличение абсолютных приростов во всех районах наблюдается с июля по октябрь. За этот короткий период молодь набирает немногим более половины годовой длины. При этом у наваги из более южных районов приросты в эти месяцы на 10–15 мм больше, чем на севере.

В относительном выражении интенсивный рост приходится на первые полгода, когда ежемесячные приращения снижаются от 70 до 20 % длины, после чего темп относительного линейного роста резко замедляется. В целом динамика относительных приростов сходна во всех районах — плавное, а затем резкое снижение от начала года к концу. При этом заметных различий у рыб из южных и северных районов не наблюдается. Можно отметить лишь несколько более высокие приросты на начальном этапе у мальков наваги из Авачинского залива и, наоборот, низкие в зал. Терпения.

Весовой рост. Информация о весовых характеристиках наваги в течение первого года жизни крайне немногочисленна, а о параметрах весового роста практически отсутствует. По результатам экспериментов инкубирования икринок наваги известно, что масса выклюнувшихся предличинок колеблется в пределах 0,18–0,25 мг [Буслов, Сергеева, 2013]. Предполагается, что в Авачинской губе масса личинок в мае может составлять 10 мг [Василец, Доценко, 2003]. Эти же авторы сообщают, что в августе сеголетки в среднем весят 2,8 г, в сентябре — 6,5 г, в ноябре — 20,0, а годовики в марте — 21,8 г. Рассчитанный ими среднесуточный относительный прирост массы тела за первые 100 дней жизни составил 5,8 %.

На шельфе западного побережья Камчатки молодь наваги при средней длине 53 мм имела массу 0,91 г [Новикова и др., 2020]. В Карагинском заливе в октябре и ноябре сеголетки весили 7,4 и 10,5 г при длине соответственно 104 и 115 мм [Трофимов, 2017]. Имеющиеся в нашем распоряжении материалы по молоди наваги зал. Петра Великого позволяют охарактеризовать зависимость «длина–масса» для сеголеток и годовиков в размерном диапазоне 115–190 мм (рис. 4). Как видно, кривая имеет типичную для большинства рыб форму, когда увеличение массы пропорционально кубу длины с «коэффициентом формы», и описывается функцией $W = aL^b$, где W и L — соответственно масса (г) и длина (см), a и b — коэффициенты [Яржомбек, 2011]. Подобный тип зависимости приводится разными авторами и для других районов (табл. 5).

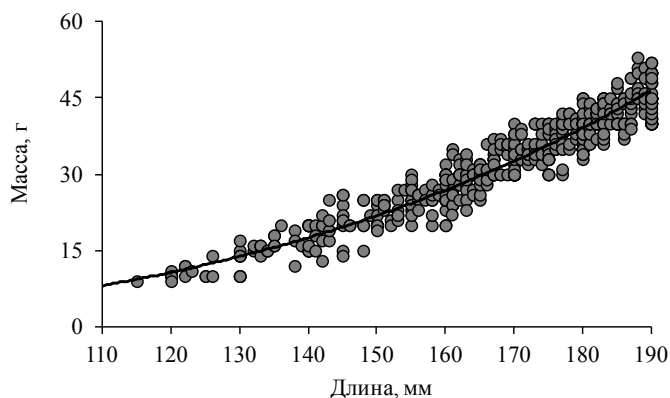


Рис. 4. Зависимость «длина–масса» наваги зал. Петра Великого на первом году жизни

Fig. 4. Dependence «length–weight» in the first year of life for saffron cod in Peter the Great Bay

Можно предполагать, что такая связь между длиной и массой будет характерна для молоди наваги во всех районах ее обитания. Это позволяет реконструировать весовой рост в соответствии с логистическими уравнениями «возраст–длина», рассчитанными выше для разных районов (рис. 5).

Таблица 5

Параметры уравнений зависимости «длина–масса» у сеголеток наваги в разных районах

Table 5

Parameters of equation for «length–weight» dependence in the first year of life for saffron cod in different areas of their habitat

Район	Размерный диапазон, мм	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²	Источник данных
Авачинская губа	50–180	0,008	2,99	0,98	Василец, Доценко, 2003
Карагинский залив	53–168	0,003	3,31	0,98	Трофимов, 2017
Западная Камчатка	30–70	0,002	3,60	0,93	Новикова и др., 2020
Зал. Петра Великого	115–190	0,003	3,20	0,97	Наши данные

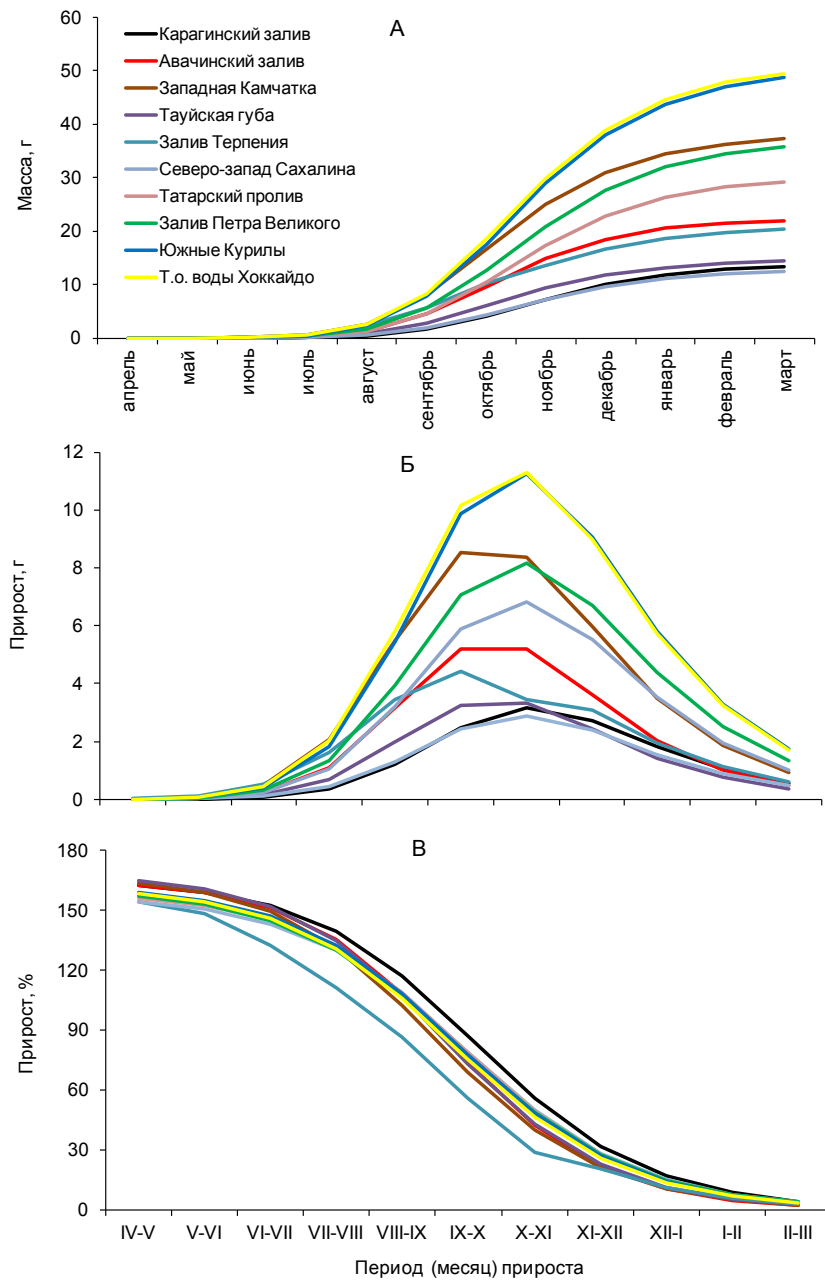


Рис. 5. Теоретические кривые весового роста (А) и изменение абсолютных (Б) и относительных (В) месячных приростов наваги в течение первого года жизни

Fig. 5. Theoretical weight growth curves (А) and absolute (Б) and relative (В) monthly increments of body weight for saffron cod in the first year of life

Моделирование весового роста наваги свидетельствует о том, что на первом году жизни интенсивнее всего она набирает массу в тихоокеанских водах Хоккайдо и у южных Курильских островов, где масса годовиков составляет около 50 г. Это в 3,0–3,5 раза выше данного показателя в наиболее северных районах — Карагинском заливе, Тайской губе и у северо-западного побережья Сахалина. Весовой рост наваги западного побережья Камчатки и зал. Петра Великого также можно считать достаточно интенсивным, поскольку годовики здесь имеют массу 36–37 г. В остальных районах (заливы Авачинский и Терпения, Татарский пролив) она колеблется от 20 до 29 г.

Основное преимущество в весовом росте молодь наваги из южных районов получает во второй половине года, когда абсолютные месячные приросты достигают 8–11 г, что значительно больше, чем в северных районах. Максимальные абсолютные приросты в большинстве случаев приходятся на седьмой месяц и только у наваги западного побережья Камчатки и зал. Терпения — на шестой. Тем не менее во всех районах более 70 % массы молодь набирает в течение четырех месяцев — с августа по ноябрь. Однако в относительном выражении наиболее интенсивный весовой рост приходится на первые пять месяцев жизни. В этот период масса молоди ежемесячно увеличивается в 2,0–2,5 раза во всех районах, после чего происходит резкое снижение темпа роста.

Заключение

Обобщив оценки моделирования, можно в усредненном виде охарактеризовать рост наваги на первом году жизни в азиатской части ареала (рис. 6). Наиболее интенсивный линейный рост происходит в первые четыре месяца жизни, когда длина личинок и мальков увеличивается примерно на 50–60 % ежемесячно. Осенью и зимой относительные приросты существенно снижаются и в конце первого года жизни со-

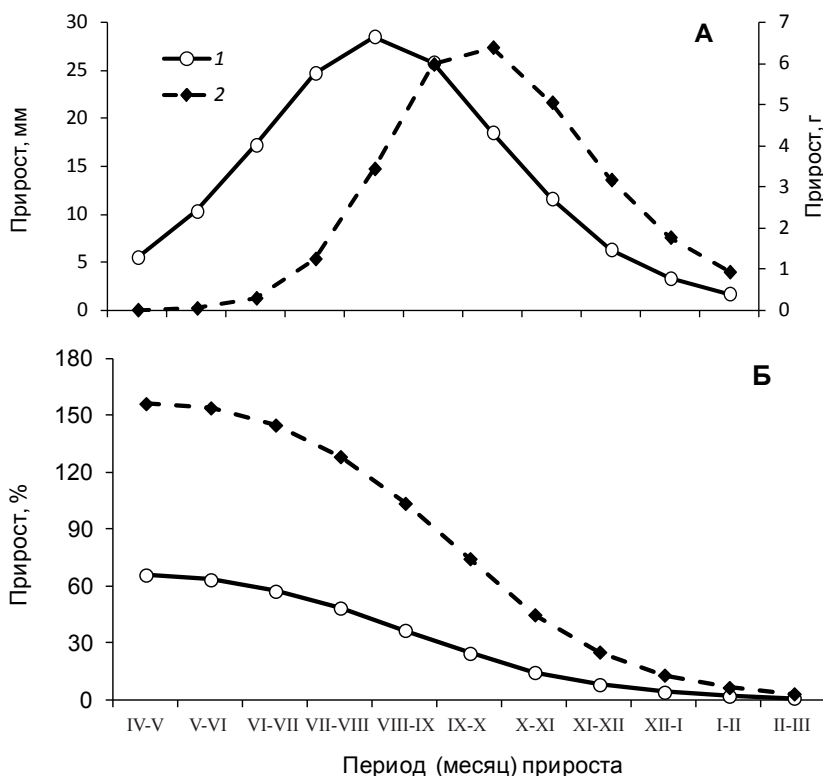


Рис. 6. Осредненные показатели абсолютных (А) и относительных (Б) приростов при линейном (1) и весовом (2) росте дальневосточной наваги на первом году жизни

Fig. 6. Average absolute (А) and relative (Б) increments of linear (1) and weight (2) growth of saffron cod in the first year of life

ставляют 1–4 %. В абсолютном выражении приращения длины нарастают в первую половину года, достигая пика к концу лета — началу осени. В этот период длина рыб увеличивается на 25–30 мм в месяц. В оставшуюся часть года значения абсолютных приростов снижаются до 2–3 мм. Таким образом, за первую весну к началу лета навага в среднем достигает длины 16 мм, к середине осени она вырастает еще на 115 мм, а в холодное время года ее длина увеличивается на 23 мм.

Характер весового роста заметно отличается от линейного. В течение первых пяти месяцев жизни весовой рост у молоди наваги наиболее интенсивен и значительно превосходит линейный. За этот период ее масса ежемесячно увеличивается не менее чем в два раза. Величина относительных приростов постепенно уменьшается от первого месяца жизни к пятому. После чего при достижении массы около 5 г относительный темп весового роста резко снижается, при этом существенно увеличиваются абсолютные приросты. Максимальные приращения массы (5–6 г) приходятся на 6–8-й мес. жизни наваги, когда рыбы достигают длины более 86 мм. За этот короткий промежуток навага набирает немногим более 60 % массы первого года жизни. Следует также отметить, что пики линейных и весовых приростов не совпадают по времени и смещены примерно на два месяца относительно друг друга. Обобщенно можно констатировать, что максимальные приращения длины у молоди наваги приурочены к июлю–сентябрю, а массы — к сентябрю–ноябрю.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор выражает благодарность всем сотрудникам ТИНРО, КамчатНИРО и Сах-НИРО, участвовавшим в сборе материала в экспедициях разных лет.

The author is thankful to all colleagues of TINRO, KamchatNIRO and SakhNIRO who collected the materials on saffron cod growth in marine expeditions conducted in many years.

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

Архипов А.Г. Применение результатов изучения раннего онтогенеза морских промысловых рыб в рыбохозяйственной деятельности // Тр. ВНИРО. — 2015. — Т. 156. — С. 16–37.

Богаевский В.Т. О нересте дальневосточной наваги // Изв. ТИНРО. — 1951. — Т. 34. — С. 260–261.

Борец Л.А. Донные ихтиоцены российского шельфа дальневосточных морей: состав, структура, элементы функционирования и промысловое значение : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 1997. — 217 с.

Будаева В.Д., Зуенко Ю.И., Макаров В.Г. Структура и динамика вод залива Петра Великого в условиях сильного летнего распреснения (2008–2009 гг.) // Тр. ДВНИГМИ. — 2010. — № 1. — С. 158–172.

Буслов А.В. Рост минтая и размерно-возрастная структура его популяций : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2005. — 224 с.

Буслов А.В., Овсянникова С.Л. Рост тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* на первом году жизни // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 4. — С. 849–865. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-849-865.

Буслов А.В., Сергеева Н.П. Эмбриогенез и раннее постэмбриональное развитие тресковых рыб дальневосточных морей // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2013. — Вып. 29. — С. 5–69.

- Василец П.М., Доценко В.С.** О некоторых аспектах биологии наваги Авачинской губы в первые два года жизни // Тр. КФ ТИГ ДВО РАН. — 2003. — Вып. 4. — С. 279–286.
- Дехник Т.В., Серебряков В.П., Соин С.Г.** Значение ранних стадий развития рыб в формировании численности поколений // Теория формирования численности и рационального использования стад промысловых рыб. — М. : Наука, 1985. — С. 56–72.
- Дубровская Н.В.** Биология и промысел дальневосточной наваги : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М. : Мосрыбвтуз, 1954. — 15 с.
- Зайцев Г.Н.** Математическая статистика в экспериментальной ботанике : моногр. — М. : Наука, 1984. — 424 с.
- Иванова Л.В., Иванов А.Н.** О биологии дальневосточной наваги северо-западного побережья Сахалина // Тез. докл. Всерос. конф. мол. ученых, посвящ. 140-летию со дня рождения Н.М. Книповича. — Мурманск : ПИНРО, 2002. — С. 83–85.
- Измятинский Д.В.** Состав и биомасса рыб в сублиторали залива Петра Великого // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 138. — С. 66–83.
- Козлов Б.М.** Биология и промысел наваги в северной части Татарского пролива // Изв. ТИНРО. — 1959. — Т. 47. — С. 118–144.
- Козлов Б.М.** Наблюдения над развитием икры наваги // Изв. ТИНРО. — 1951. — Т. 34. — С. 261–262.
- Мина М.В., Клевезаль Г.А.** Рост животных: анализ на уровне организма : моногр. — М. : Наука, 1976. — 291 с.
- Мухачева В.А.** Материалы по развитию дальневосточной наваги (*Eleginus gracilis* Tilesius) // Тр. ИОАН СССР. — 1957. — Т. 20. — С. 356–370.
- Новикова О.В.** Дальневосточная навага (*Eleginus gracilis* (Til.)) прикамчатских вод : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Петропавловск-Камчатский, 2007. — 23 с.
- Новикова О.В., Климов А.В., Коломейцев В.В.** Некоторые данные о распределении мальков наваги *Eleginus gracilis* и минтая *Theragra chalcogramma* и качественный состав уловов разноглубинным тралом с мелкоячейной вставкой у западного побережья Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2020. — Вып. 59. — С. 27–38. DOI: 10.15853/2072-8212.2020.59.27-38.
- Покровская Т.Н.** Географическая изменчивость биологии наваги (рода *Eleginus*) // Тр. ИОАН СССР. — 1960. — Т. 31. — С. 19–110.
- Рикер У.Е.** Количественные показатели и модели роста рыб // Биоэнергетика и рост рыб. — М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1983. — С. 346–402.
- Сафронов С.Н.** Экология дальневосточной наваги *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) шельфа Сахалина и Южных Курильских островов : дис. ... канд. биол. наук. — Южно-Сахалинск, 1986. — 227 с.
- Семененко Л.И.** О локальных стадах тихоокеанской наваги и перспективах ее промысла в северной части ареала // Изв. ТИНРО. — 1965. — Т. 59. — С. 136–144.
- Стасенков В.А., Гончаров Ю.В.** Размерно-возрастная структура наваги *Eleginus nawaga* Белого, Баренцева и Карского морей // Вопр. ихтиол. — 2020. — Т. 60, № 3. — С. 297–308. DOI: 10.31857/S0042875220030224.
- Трофимов И.К.** О репродуктивной биологии наваги *Eleginus gracilis* бухты Оссора (юго-западная часть Берингова моря) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2009. — Вып. 12. — С. 86–91.
- Трофимов И.К.** Размерно-весовой состав и некоторые данные по отолитометрии сеголеток и двухлеток наваги *Eleginus gracilis* юго-западной части Берингова моря // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2017. — Вып. 46. — С. 24–30. DOI: 10.15853/2072-8212.2017.46.24-30.
- Трофимов И.К.** Размерный состав сеголетков наваги *Eleginus gracilis* в уловах учетных донных тралений в заливах Карагинский, Корфа, Олюторский (Берингово море) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2011. — Вып. 20. — С. 34–40.
- Юсупов Р.Р., Ракитина М.В.** Размножение, эмбриональное и раннее постэмбриональное развитие тихоокеанской наваги *Eleginus gracilis* (Gadidae) Тауйской губы (северная часть Охотского моря) // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 189. — С. 52–66. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-189-52-66.
- Яржомбек А.А.** Закономерности роста промысловых рыб : моногр. — М. : ВНИРО, 2011. — 182 с.
- Chambers R.C., Trippel E.A. (eds)** Early Life History and Recruitment in Fish Populations. — L. : Chapman & Hall, 1997. — 596 p.
- Chan A., Yoshida H., Sakurai Y.** Maturation, reproductive cycle, and characteristics of spawning season of saffron cod, *Eleginus gracilis* (Tilesius) in waters of Hokkaido, Japan // Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn. — 2007. — № 68. — P. 45–64.

- Chen A.L.** Biological aspects on age, growth and reproduction of saffron cod (*Eleginus gracilis*) : Doctoral thesis. Faculty of Fisheries. — Japan : Hokkaido Univ., 1989. — 163 p. (in Japanese).
- Dunn J.R., Vinter B.M.** Development of larvae of the saffron cod, *Eleginus gracilis*, with comments on the identification of Gadid larvae in Pacific and Arctic waters contiguous to Canada and Alaska // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1984. — Vol. 41, Iss. 2. — P. 304–318.
- Haga S., Ishida T., Mikami S., Tanino Y.** Growth and age determination of «Komai» *Eleginus gracilis* (Tilesius) // Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab. — 1957. — № 14. — P. 23–30.
- Johnson S.W., Thedinga J.F., Neff A.D.** Invasion by saffron cod *Eleginus gracilis* into nearshore habitats of Prince William Sound, Alaska, USA // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 2009. — Vol. 389. — P. 203–212. DOI: 10.3354/meps08226.

References

- Arkhipov, A.G.**, Application of Study Results of the Commercial Pelagic Fish Early Ontogeny in Fisheries Management, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 156, pp. 16–37.
- Bogaevsky, V.T.**, On the spawning of the Far Eastern saffron cod, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1951, vol. 34, pp. 260–261.
- Borets, L.A.**, *Donnye ikhtiotseny rossii skogo 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.
- Budaeva, V.D., Zuenko, Yu.I., and Makarov, V.G.**, Structure and dynamics of the Peter the Great Bay in the conditions of strong summer freshening (2008–2009), *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 2010, vol. 1, pp. 158–172.
- Buslov, A.V.**, *Rost mintaya i razmerno-voznrastnaya struktura yego populyatsiy* (Pollock growth and size-age structure of its populations), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2005.
- Buslov, A.V. and Ovsyannikova, S.L.**, Growth of pacific cod *Gadus macrocephalus* in the first year of life, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 4, pp. 849–865. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-849-865
- Buslov, A.V. and Sergeeva, N.P.**, Embryogenesis and early postembryonic development of codfishes of the far eastern seas, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2013, vol. 29, pp. 5–69.
- Vasilets, P.M. and Dotsenko, V.S.**, On some aspects of the biology of saffron cod in the Avacha Bay during the first two years of life, *Tr. Kamchatskogo Fil. Tikhookean. Inst. Geogr. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2003, vol. 4, pp. 279–286.
- Dekhnik, T.V., Serebryakov, V.P., and Soin, S.G.**, The importance of the early stages of fish development in the formation of the number of generations, in *Teoriya formirovaniya chislennosti i ratsional'nogo ispol'zovaniya stad promyslovyykh ryb* (Theory of the formation of the number and rational use of commercial fish stocks), Moscow: Nauka, 1985, pp. 56–72.
- Dubrovskaya, I.M.**, Biology and fishing of the Far Eastern cod, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow: Moskovskiy tekhnicheskii institut rybnoy promyshlennosti i khozyaystva im. Mikoyana, 1954.
- Zaitsev, G.N.**, *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* (Mathematical statistics in experimental botany), Moscow: Nauka, 1984.
- Ivanova, L.V. and Ivanov, A.N.**, On the biology of the Far Eastern saffron cod off the north-western coast of Sakhalin, 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: PINRO, 2002, pp. 83–85.
- Izmyatinsky, D.V.**, Species composition and biomass of fishes in inner sublittoral of Peter the Great Bay, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 138, pp. 66–83.
- Kozlov, B.M.**, Biology and fishery of navaga in the northern part of the Tatar Strait, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1959, vol. 47, pp. 118–144.
- Kozlov, B.M.**, Observations on the development of navaga caviar, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1951, vol. 34, pp. 261–262.
- Mina, M.V. and Klevezal', G.A.**, *Rost zhivotnykh: analiz na urovne organizma* (Animal Growth: An Analysis on the Level of Organism), Moscow: Nauka, 1976.
- Mukhacheva, V.A.**, Materials on the development of the Far Eastern saffron cod (*Eleginus gracilis* Tilesius), *Tr. Inst. Okeanol. im. P.P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1957, vol. 20, pp. 356–370.
- Novikova, O.V.**, Far Eastern navaga (*Eleginus gracilis* (Til.)) of Kamchatka waters, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Petropavlovsk-Kamchatsky, 2007.

- Novikova, O.V., Klimov, A.V., and Kolomeytsev, V.V.**, Some data about distribution of fry saffron cod *Eleginus gracilis* and walleye pollock *Theragra chalcogramma* on the west coast of Kamchatka and species composition in the catches of midwater trawl with a small-meshed insertion, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2020, vol. 59, pp. 27–38. doi 10.15853/2072-8212.2020.59.27-38
- Pokrovskaya, T.N.**, Geographical variability in the biology of saffron cod (genus *Eleginus*), *Tr. Inst. Okeanol. im. P.P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1960, vol. 31, pp. 19–110.
- Ricker, W.E.**, Quantitative indicators and models of fish growth, in *Fish Physiology*, vol. 8: *Bioenergetics and Growth*, Hoar, W.S., Randall, D.J., Brett, J.R., Eds., New York: Academic Press, 1979, vol. 10.
- Safronov, S.N.**, Ecology of the Far Eastern navaga *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) from the Sakhalin shelf and the South Kuril Islands, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Yuzhno-Sakhalinsk, 1986.
- Semenenko, L.I.**, On the local herds of the Pacific saffron cod and the prospects for its fishing in the northern part of the range, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1965, vol. 59, pp. 136–144.
- Stasenkov, V.A. and Goncharov, Y.V.**, Size-age structure of navaga *Eleginus nawaga* in the White, Barents, and Kara Seas, *J. Ichthyol.*, 2020, vol. 60, no. 3, pp. 422–432. doi 10.1134/S0032945220030170
- Trofimov, I.K.**, On the reproductive biology of saffron cod *Eleginus gracilis* in the Ossora Bay (the south-western Bering Sea), *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2009, vol. 12, pp. 86–91.
- Trofimov, I.K.**, The size and weight composition and the some data of the otolith shape analysis of underyearlings and two-year-old individuals of saffron cod *Eleginus gracilis* in the south-western part of the Bering Sea, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2017, vol. 46, pp. 24–30. doi 10.15853/2072-8212.2017.46.24-30
- Trofimov, I.K.**, Size composition of young-of-the-year saffron cod *Eleginus gracilis* from Karaginsky, Korf and Olutorsky Bays, the Bering Sea, on the data from the bottom trawl surveys, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2011, vol. 20, pp. 34–40.
- Yusupov, R.R. and Rakitina, M.V.**, Reproduction, embryonic and early post-embryonic development of saffron cod *Eleginus gracilis* Gadidae) from the Tauyskaya Guba Bay (northern Okhotsk Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 189, pp. 52–66. doi 10.26428/1606-9919-2017-189-52-66
- Yarzhombek, A.A.**, *Zakonomernosti rosta promyslovykh ryb* (Regularities of growth of commercial fish), Moscow: VNIRO, 2011.
- Chambers, R.C. and Trippel, E.A., eds**, *Early Life History and Recruitment in Fish Populations*, London: Chapman & Hall, 1997.
- Chan, A., Yoshida, H., and Sakurai, Y.**, Maturation, reproductive cycle, and characteristics of spawning season of saffron cod, *Eleginus gracilis* (Tilesius) in waters of Hokkaido, Japan, *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn.*, 2007, no. 68, pp. 45–64.
- Chen, A.L.**, Biological aspects on age, growth and reproduction of saffron cod, *Eleginus gracilis*, *Doctoral thesis. Faculty of Fisheries*, Japan: Hokkaido Univ, 1989.
- Dunn, J.R. and Vinter, B.M.**, Development of larvae of the saffron cod, *Eleginus gracilis*, with comments on the identification of Gadid larvae in Pacific and Arctic waters contiguous to Canada and Alaska, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1984, vol. 41, no. 2, pp. 304–317.
- Haga, S., Ishida, T., Mikami, S., and Tanino, Y.**, Growth and age determination of «Komai» *Eleginus gracilis* (Tilesius), *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.*, 1957, no. 14, pp. 23–30.
- Johnson, S.W., Thedinga, J.F., and Neff, A.D.**, Invasion by saffron cod *Eleginus gracilis* into nearshore habitats of Prince William Sound, Alaska, USA, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2009, vol. 389, pp. 203–212. doi 10.3354/meps08226

Поступила в редакцию 7.12.2022 г.

После доработки 15.12.2022 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

*The article was submitted 7.12.2022; approved after reviewing 15.12.2022;
accepted for publication 3.03.2023*

Научная статья

УДК 597–19(265.5)

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-109-126

EDN: PXDYUI



СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ВИДОВОГО СОСТАВА РЫБ ИЗ УЛОВОВ ДОННЫХ СЕТЕЙ В РОССИЙСКИХ ВОДАХ КУНАШИРСКОГО ПРОЛИВА

А.Я. Великанов, И.Н. Мухаметов, Г.В. Шевченко,

Ж.Р. Цхай, В.Н. Частиков*

Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),

693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196

Аннотация. В 1998–2014 гг. придонное сообщество рыб в восточной части Кунаширского пролива на глубинах 70–315 м было представлено 9 зоогеографическими и 8 экологическими группами. Среди них доминировали по числу видов арктическо-бореальный, широкобореальный тихоокеанский, широкобореальный приазиатский и низкобореальный приазиатский комплексы, а также сублиторальная, элиторальная и мезобентальная группы. Видовое разнообразие в районе исследований во многом определяется сезонными миграциями демерсальных рыб, а также представителей nekтона (тихоокеанские лососи, субтропические и тропические виды). Межгодовые различия числа видов рыб в основном обусловлены диапазоном глубин сетного лова и температурой воды. Влияния сроков сбора информации на межгодовую изменчивость числа видов рыб в уловах донных сетей в течение сезона не выявлено.

Ключевые слова: демерсальные рыбы, зоогеографические и экологические группы, сезонные миграции, межгодовая изменчивость

Для цитирования: Великанов А.Я., Мухаметов И.Н., Шевченко Г.В., Цхай Ж.Р., Частиков В.Н. Сезонная и межгодовая вариабельность видового состава рыб из уловов донных сетей в российских водах Кунаширского пролива // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 109–126. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-109-126. EDN: PXDYUI.

* Великанов Анатолий Яковлевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, a.velikanov@sakhniro.ru, ORCID 0009-0008-4211-3739; Мухаметов Ильяс Нуазович, кандидат биологических наук, заведующий сектором, i.muhametov@sakhniro.ru, ORCID 0009-0003-6147-2052; Шевченко Георгий Владимирович, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, shevchenko_zhora@mail.ru, ORCID 0000-0003-0785-4618; Цхай Жанна Романовна, кандидат географических наук, ученый секретарь, tshay@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1061-931X; Частиков Валерий Николаевич, ведущий специалист, v.chastikov@sakhniro.ru.

© Великанов А.Я., Мухаметов И.Н., Шевченко Г.В., Цхай Ж.Р., Частиков В.Н., 2023

Original article

**Seasonal and interannual variability of fish species composition
in catches of bottom nets in the Russian waters of the Kunashir Strait**

Anatoly Ya. Velikanov*, Ilias N. Mukhametov, Georgy V. Shevchenko***,
Zhanna R. Tshai****, Valery N. Chastikov*******

*_***** Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO),
196, Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia

* Ph. D., leading scientist, a.velikanov@sakhniro.ru, ORCID 0009-0008-4211-3739

** Ph.D., head of sector, i.muhametov@sakhniro.ru, ORCID 0009-0003-6147-2052

*** D.Sc., head of laboratory, shevchenko_zhora@mail.ru, ORCID 0000-0003-0785-4618

**** Ph.D., science secretary, tshay@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1061-931X

***** leading specialist, v.chastikov@sakhniro.ru

Abstract. Seasonal and interannual variability of the demersal fish species composition is considered for the depths of 70–315 m in the eastern Kunashir Strait on the data obtained in 1998–2014. The fish community includes the species belonged to nine zoogeographical complexes and eighth ecological groups. Among them, species diversity is higher for the arctic-boreal, wide-boreal Pacific, wide-boreal Asian, and low-boreal Asian complexes and for the sublittoral, elittoral, and mesobental groups. The species diversity of fish in the surveyed area depends on seasonal migrations of demersal and pelagic fishes, including pacific salmon and some subtropical and tropical species. Interannual variations in the species composition are determined mainly by changes in the depth of netting and water temperature, but do not depend on the timing of samples collection during a season.

Keywords: demersal fish, zoogeographical complex, ecological group, seasonal migration, interannual change

For citation: Velikanov A.Ya., Mukhametov I.N., Shevchenko G.V., Tshay Z.R., Chastikov V.N. Seasonal and interannual variability of fish species composition in catches of bottom nets in the Russian waters of the Kunashir Strait, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 109–126. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-109-126. EDN: PXDYUI.

Введение

Кунаширский пролив расположен между северо-восточным побережьем о. Хоккайдо (Япония) и о. Кунашир (Россия). Это самый южный пролив Охотского моря, который соединяется с северо-западной частью Тихого океана. Большое влияние на гидрологический режим Кунаширского пролива оказывает теплое течение Соя, проходящее вдоль северного побережья Хоккайдо и являющееся ветвью Цусимского течения. У северной оконечности п-ова Сиретоко (северо-восток Хоккайдо) течение Соя разделяется на три ветви, первая из которых проникает в Кунаширский пролив [Анцулевич, Бобков, 1992]. В зимний период этот пролив почти полностью покрывается дрейфующим из Охотского моря льдом. Максимальное ледовое покрытие наблюдается в марте, но в апреле лед активно разрушается [Yoshida, 1989; Ким Сен Ток, Бирюков, 2009]. В течение года температура воды на глубине 50 м около п-ова Сиретоко (северо-восточное Хоккайдо) может изменяться от минус 1,7 до 20,5 °C [Nobetsu et al., 1998].

В Кунаширском проливе осуществляется многолетний промысел таких видов, как минтай *Theragra chalcogramma*, треска *Gadus macrocephalus*, камбалы (Pleuronectidae), южный одноперый терпуг *Pleurogrammus azonus*, тихоокеанские лососи (род *Oncorhynchus*), и ряда других морских рыб и гидробионтов [Yoshida, 1989; Ким Сен Ток, 2004; Mizushima, Torisawa, 2005; Промысел..., 2013]. Коммерческий лов отдельных видов рыб обычно проводится в этом районе в тот или иной сезон. Например, преднерестовые и нерестовые скопления минтая облавливаются в основном в январе-марте, южного одноперого терпуга — в сентябре-ноябре, тихоокеанских лососей — в августе-октябре, скопления камбал — в мае-сентябре. Первые отечественные сведения о видовом составе рыб из промысловых уловов у южных Курильских островов, вклю-

чая Кунаширский пролив, появились еще в конце 40-х гг. прошлого века [Веденский, 1949]. Обобщающая работа, в которой рассматриваются различные вопросы промысла морских биоресурсов в водах Курильской гряды с указанием основных облавливаемых видов, появилась много десятилетий спустя [Промысел..., 2013]. Некоторые сведения о «пробном лове» японских судов с использованием донных сетей в рамках межправительственных соглашений и составе промысловых уловов у южных Курильских островов, включая Кунаширский пролив, опубликованы в самом начале XXI в. [Ким Сен Ток, 2004; Тарасюк, Ким Сен Ток, 2004].

В биогеографическом плане южная часть Охотского моря, прилегающая к побережью Сахалина, Хоккайдо и южных Курильских островов, включая Кунаширский пролив, относится к Японской низкобореальной подобласти [Шунтов, 1985]. Контрастные условия морской среды этого пролива, географические и абиотические, безусловно, способствуют формированию большого видового разнообразия рыб, встречающихся в пределах рассматриваемой акватории. В предварительном списке рыб, указанных для прол. Немуро [Shinohara et al., 2012], который разделяет восточное побережье Хоккайдо и южные Курильские острова (в российской интерпретации это проливы Кунаширский и Измены), подавляющее большинство видов, более 86 %, относятся к демерсальной группе. Поэтому повышенное внимание к изучению состава донных и придонных видов рыб рассматриваемого района вполне оправданно. Однако, учитывая географическое положение Кунаширского пролива, обозначенные выше особенности этой части моря могут существенно отражаться на сезонной и межгодовой изменчивости видового состава рыб в связи с их сезонными горизонтальными и вертикальными перемещениями в рамках годового миграционного цикла.

Вместе с тем морская ихтиофауна акватории, разделяющей Хоккайдо и Кунашир, остается еще недостаточно изученной не только в плане общей оценки видового разнообразия [Shinohara et al., 2012; Великанов, Мухаметов, в печати], но и по таким аспектам, как сезонная и межгодовая изменчивость видового состава. Значительно больше внимания уделялось исследованиям различных сообществ рыб, встречающихся на больших по площади соседних акваториях. В частности, опубликована обобщающая работа по многолетним исследованиям эпипелагического сообщества рыб и головоногих моллюсков прикурильских вод Тихого океана по данным комплексных экспедиций ТИНРО-центра [Иванов, 1998]. Дополнительные сведения о составе нектонных сообществ и межгодовой изменчивости миграций этих рыб и кальмаров в тихоокеанских водах южных Курильских островов были получены при исследованиях с применением дрейфтерных сетей [Савиных, 1998; Савиных и др., 2003]. В монографии Ким Сен Тока и И.А. Бирюкова [2009], помимо общего списка видового состава ихтиофауны у южных Курильских островов, показаны также сезонные особенности распределения многих промысловых и массовых видов рыб южных Курильских островов, включая Кунаширский пролив (тресковых *Gadidae*, рогатковых *Cottidae*, терпуговых *Hexagrammidae* и камбаловых *Pleuronectidae*). Немало видов рыб, встречающихся в этом южном проливе Охотского моря, используют рассматриваемую акваторию не только для нагула, но и для размножения — минтай, навага *Eleginus gracilis*, южный одноперый терпуг, некоторые виды камбал, рогатковых и др. [Mizushima, Torisawa, 2005; Ким Сен Ток, Бирюков, 2009; Промысел..., 2013; Филатов, 2015].

Ранее [Суханов, Иванов, 2008] для северо-западной части Японского моря, которая биогеографически также входит в Японскую низкобореальную подобласть, было показано, что в течение летнего и зимнего периодов характеристики внешней среды изменяются с незначительной скоростью. В межсезонное время, весной и осенью, в окружающей среде происходят быстрые изменения. Поэтому именно во время этих весенних и осенних перестроек скорость сезонной сукцессии морских биологических сообществ значительно повышается. В частности, было установлено, что видовое разнообразие различных морских сообществ и скорость сезонной сукцессии в демисезонные периоды заметно возрастали. В то же время и в тихоокеанских водах южных Курильских островов, непосредственно граничащих с Кунаширским проливом,

климатические и океанологические факторы также формируют сложную разнообразную и высокоизменчивую среду обитания [Тихий океан, 1982; Муромцев, Гершанович, 1986; Истоки Ойясио, 1997]. Конечно, это отражается на составе биоты в целом и вызывает большую амплитуду сезонных и межгодовых изменений в биологических явлениях, позволяя говорить о сложившейся здесь высокодинамичной системе биотопов, подверженных сезонной трансформации [Шунтов, 2001]. Принимая во внимание все эти внутригодовые особенности естественных изменений морских биотопов и сообществ, исследование сезонных и межгодовых аспектов изменчивости видового состава рыб Кунаширского пролива приобретает немаловажное значение, тем более что изучение изменчивости сообществ демерсальных рыб в Кунаширском проливе с использованием донных ставных сетей прежде не осуществлялось.

В целом изучение ихтиофауны различных водоемов и акваторий важно по многим причинам, в том числе для оценки состояния водных экосистем. Как известно, биологическое разнообразие широко признано одним из краеугольных камней для оценки здоровья экосистем [Worm et al., 2006]. Усиливающаяся антропогенная нагрузка на акватории южных Курильских островов — рыболовство, судоходство и т.д. [Промысел..., 2013; Великанов, 2021] — обуславливает особую актуальность исследования сообществ демерсальных рыб и их изменчивости в Кунаширском проливе.

Таким образом, цель исследований заключалась в разработке характеристики сезонных и межгодовых изменений в составе и числе видов рыб в Кунаширском проливе по промысловым уловам донных сетей в 1998–2014 гг.

Материалы и методы

В основу исследований положены материалы по видовому составу рыб при промысле минтая и южного одноперого терпуга ставными донными сетями на японских рыболовных судах в российской (восточной) части Кунаширского пролива в 1998–2014 гг., которая включает в себя исключительную экономическую зону (ИЭЗ) и 12-мильную зону Российской Федерации.

Промысел этих двух видов в указанном районе проводится на основании Соглашения между Правительством Российской Федерации и Правительством Японии о некоторых вопросах сотрудничества в области промысла морских живых ресурсов, подписанном в 1998 г. В соответствии с Соглашением в начальный период лова каждого из этих объектов в течение двух недель осуществлялся так называемый «пробный» промысел. В этот период специалисты СахНИРО по приглашению японской стороны ежегодно проводили наблюдения и сбор материалов по промыслу минтая и терпуга, их биологическим показателям, а также по составу прилова других видов рыб и беспозвоночных. Одной из важнейших задач при этих наблюдениях была идентификация видового состава прилова объектов. Специалисты СахНИРО выполняли функции наблюдателя, находясь на флагманском судне, при промысле как минтая, так и терпуга. Сбор материалов производился одним наблюдателем непосредственно на рабочей палубе судна во время подъема сетей на борт, при сортировке и раскладке улова в тару.

Основные данные, касающиеся районов и сезонов лова, особенностей технологии промысла, характеристики применяемых орудий лова, представлены в табл. 1. Отметим, что «пробный» лов минтая осуществлялся во второй половине января, тогда как терпуга — в основном в конце сентября — первой половине октября (иногда в начале ноября).

В целом сетной промысел этих двух видов характеризовался заметными различиями не только по сезонам лова, но и по границам районов добычи, глубинам выставления сетей, количеству сетей, параметрам и размерам ячеи сетного полотна, времени застоя сетей. В частности, границы промысла терпуга были немного севернее и восточнее, а время застоя сетей обычно было существенно меньше, чем при добыче минтая, как и размеры ячеи. Все приведенные различия обусловлены особенностями биологии основных облавливаемых видов рыб в указанные сезоны года. На рис. 1

Таблица 1

Данные по районам лова и донным сетям, использованным японскими судами
в качестве орудий добычи в российской зоне Кунаширского пролива

Table 1

Description of the surveyed area and the bottom nets used by Japanese fishermen
in the Russian waters of the Kunashir Strait

Объект лова	Координаты района лова (N, E)	Пробный лов, месяцы	Глубины лова, м	Число порядков сетей, шт.	Кол-во сетей в порядке, шт.	Параметры одной сети (высота; длина), м	Размер ячеи, мм	Время застоя, ч
Минтай	43°52'–43°57' 145°18'–145°30'	Январь	70–315	2–5	20–35	10–18; 40	48x48	5–95
Южный одноперый терпуг	43°54'–44°08' 145°21'–145°37'	Сентябрь — начало ноября	75–220	1–4	10–60	7,5; 40	35x35	4,0–8,5

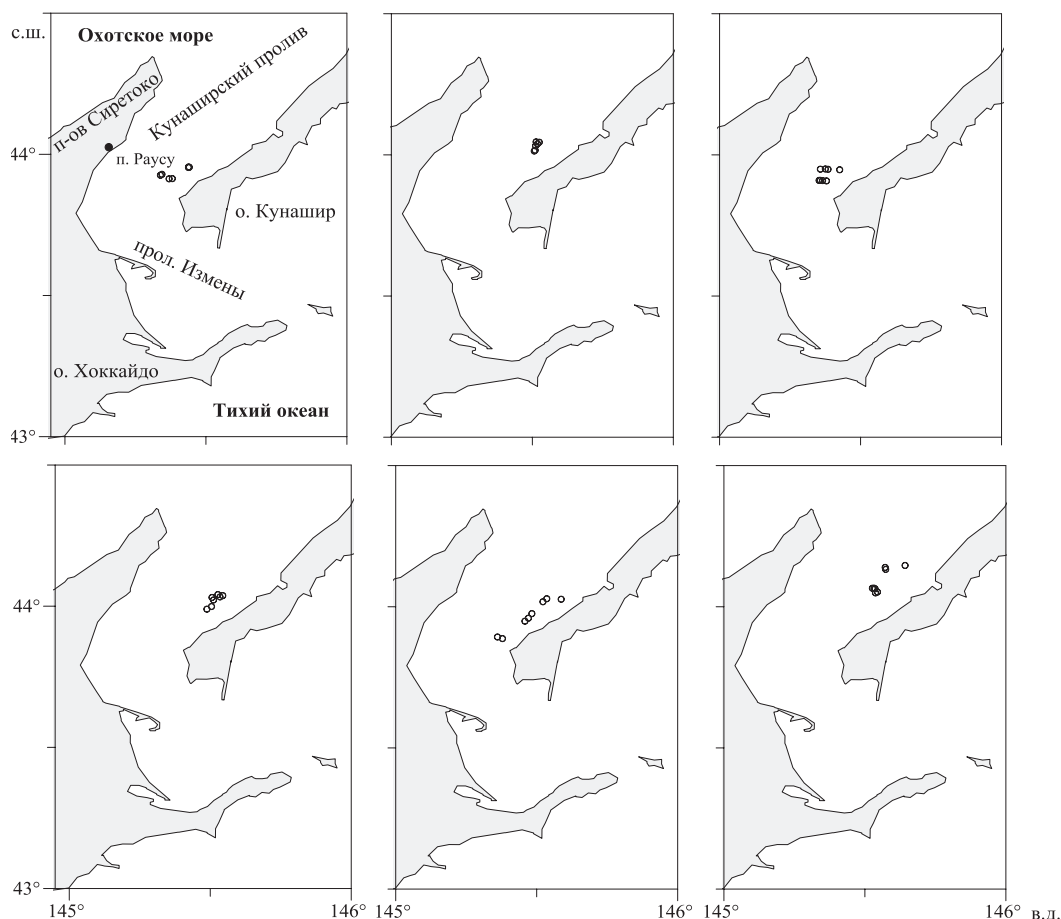


Рис. 1. Схемы района постановки японскими рыболовными судами донных сетей в российской зоне Кунаширского пролива: **верхний ряд** — лов минтая (слева направо 2005, 2007, 2008 гг.); **нижний ряд** — лов южного одноперого терпуга (слева направо 2005, 2008, 2010 гг.)

Fig. 1. Scheme of the bottom nets setting in the Russian waters of the Kunashir Strait by Japanese fishing vessels: **upper pictures** — walleye pollock fishery (from left to right: 2005, 2007, 2008); **bottom pictures** — arabesque greenling fishery (from left to right: 2005, 2008, 2010)

показаны схемы районов постановки донных сетей в восточной части Кунаширского пролива при промысле минтая и терпуга. В качестве примеров приведены годы, когда

район постановки сетей судном с наблюдателем на борту охватывал наиболее широкую акваторию.

Методические аспекты идентификации видов рыб и использования латинских видовых названий подробно описаны ранее [Великанов, Мухаметов, в печати].

Эколого-зоогеографическая систематизация видового состава ихтиофауны проводилась на основе биотопической и зоогеографической принадлежности видов [Федоров, Парин, 1998; Федоров, 2000; Шейко, Федоров, 2000].

Общая графическая и статистическая обработка материалов выполнена с использованием компьютерной программной среды «EXCEL». Схемы районов лова японскими судами в российской зоне Кунаширского пролива построены с помощью программы «Surfer».

Для сравнения видового состава сетных уловов для одного района в разные сезоны использовали индекс сходства Чекановского-Сьеренсена (Ics) в модификациях для качественных данных [Песенко, 1982]: $Ics = 2a/(b + c)$, где b и c — число видов в двух сравниваемых фаунистических списках, a — число общих видов в этих списках.

В декабре 1999–2006 гг. СахНИРО проводил океанологические исследования в Кунаширском проливе на промысловых судах ООО «Остров Сахалин». Всего при помощи гидрологического зонда выполнено 27 станций на глубинах до 600 м.

Результаты и их обсуждение

Общая характеристика видового состава рыб. В 1998–2014 гг. в Кунаширском проливе в уловах донных сетей выявлено 85 видов рыб, принадлежащих к 27 семействам. Более подробная характеристика видового разнообразия демерсальных рыб в районе лова приведена ранее [Великанов, Мухаметов, в печати]. Эпипелагические виды (японский анчоус *Engraulis japonicus*, кета *Oncorhynchus keta* и некоторые другие), хотя и попадали в донные сети ежегодно, также учитывались при формировании общего видового списка уловов рыб.

В осенний период число видов рыб в сетных уловах в разные годы варьировало от 17 до 36 (соответственно 2003 и 2013 гг.). Зимой интервал этих межгодовых изменений был несколько шире — от 16 до 38 (2011 и 2001 гг.).

Проведенная систематизация видового состава рыб в уловах донных сетей в 1998–2014 гг. позволила выявить, что в восточной части Кунаширского пролива все придонное сообщество рыб в период наблюдений на указанных глубинах максимально насчитывало 9 зоогеографических и 8 экологических групп (рис. 2). Наиболее представительными по относительному числу видов (процентная доля) были следующие зоогеографические комплексы: арктическо-бореальный (АБ), широкобореальный тихоокеанский (ШТ), широкобореальный приазиатский (ШП), низкобореальный приазиатский (НП). Виды именно этих 4 комплексов доминировали как в осенних, так и в зимних уловах донных сетей во все годы наблюдений. Тепловодные виды рыб из низкобореальной субтропической, индо-тихоокеанской групп и космополиты, а также представители низкобореальной тихоокеанской и высокобореальной тихоокеанской групп в наших пробах присутствовали нечасто.

Среди экологических групп наиболее представительными в сетных уловах во все годы наблюдений осенью и зимой были такие группы, как сублиторальная (С), элиторальная (Э) и мезобентальная (МБ). Мезопелагические, эпипелагические, неритические и проходные виды рыб были представлены в уловах донных сетей минимально и ежегодно.

Межгодовые изменения. В отдельные годы количество зоогеографических групп осенью варьировало от 5 в 2003 г. до 8 в 2008 г. (рис. 2, а). Зимой состав этих групп немного расширился: до 9 в 2006 г. при таком же минимуме, как осенью, отмеченном в 2011–2014 гг. (рис. 2, б). Доля каждого из указанных выше доминирующих комплексов рыб также претерпевала существенные колебания в межгодовом плане. В частности,

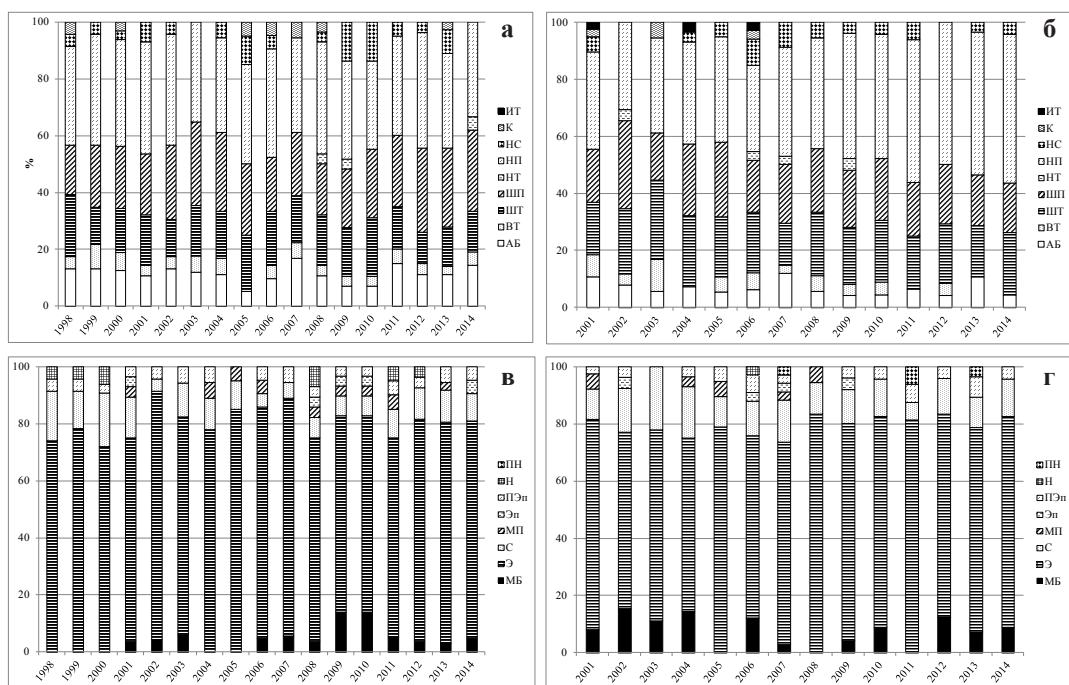


Рис. 2. Состав зоогеографических (**верхний ряд**) и экологических (**нижний ряд**) групп в уловах рыб донными сетями в российской части Кунаширского пролива: **а, в** — сентябрь — начало ноября 1998–2014 гг.; **б, г** — январь 2001–2014 гг. Условные обозначения в тексте

Fig. 2. Species composition of zoogeographical complexes (**upper pictures**) and ecological groups (**bottom pictures**) of fish caught by bottom nets in the Russian waters of the Kunashir Strait: **a, b** — September — early November, 1998–2014; **g, r** — January, 2001–2014. See detailed description in the text

в сентябре-октябре доля видов арктическо-бореального комплекса в уловах изменялась от 5,0 % в 2005 г. до 16,7 % в 2007 г. Доля широкобореального тихоокеанского комплекса изменялась в пределах 11,1–21,7 % (соответственно в 2012 и 1998 гг.). Доля широкобореального приазиатского комплекса варьировала от 17,4 в 1998 г. до 29,6 % в 2012 г. Наиболее высокой в годы наблюдений была доля видов низкобореального приазиатского комплекса: 31,0–40,7 % (соответственно в 2010 и 2012 гг.). Приблизительно в таких же пропорциях, как в сентябре-октябре, наблюдались изменения доли этих же зоогеографических комплексов в январских уловах сетей: АБ — 4,0–11,8 % (2007 и 2009 гг.), ШТ — 14,7–27,8 (2007 и 2003 гг.), ШП — 16,7–30,8 (2003 и 2002 гг.), НП — 30,3–52,1 % (2006 и 2014 гг.).

Количество экологических групп в отдельные годы варьировало осенью от 3 в 2005 г. до 7 в 2008 г. (рис. 2, в). В январе количество этих групп рыб изменялось по годам в тех же пределах: от 3 в 2003 и 2008 гг. до 7 в 2007 г. (рис. 2, г). Вместе с тем зимой 2007, 2011 и 2013 гг. в уловах отмечено появление одного вида рыб (*Osmerus dentex*) дополнительной экологической группы: проходной неритической (ПН).

В сентябре-октябре доля видов сублиторальной группы изменялась в уловах от 4,4 % в 2002 г. до 18,8 % в 2000 г. Наибольшим видовым богатством выделялась элиторальная группа, доля которой варьировала от 69 % в 2009–2010 гг. до 87 % в 2002 г. Наименьшим числом видов рыб из вышеуказанных трех экологических групп характеризовалась мезобентальная. Ее доля максимально достигала 13,8 % (2009–2010 гг.), а в 1998–2000 и 2004–2005 гг. представители этой группы отсутствовали в уловах. В январе изменение в уловах доли этих же трех экологических групп в годы наблюдений оставалось примерно в тех же соотношениях, что и в осенний сезон: С — 6,2–22,2 % (2011 и 2003 гг.), Э — 60,7–83,3 (2004 и 2008 гг.), МБ — 0,0–15,4 % (2005, 2008, 2011 и 2002 гг.).

Непосредственно число видов рыб того или иного зоогеографического комплекса также существенно варьировало в межгодовом плане. Например, в осенний период максимальный показатель составил 11 видов (НП, 2000 г.), минимальный — 1 вид (АБ, 2005 г.). Близкий диапазон изменений выявлен и в январе: 13 видов (НП, 2012 г.) и 1 вид (АБ, 2002, 2004, 2007–2011 гг.). Значительно большее варьирование этого показателя наблюдалось в экологических группах. В оба рассматриваемых сезона число видов рыб в сетных уловах изменялось от 1 до 28. Минимальный показатель отмечен в сублиторальной (2002, 2006–2007, 2010 гг.) и мезобентальной группах (например, в 2001 и 2008 гг.), а максимальный — в элиторальной (2001 и 2013 гг.).

Как показали расчеты, сходство видового состава рыб в восточной части Кунаширского пролива зимой и осенью было достаточно большим. Так, индекс сходства Чекановского-Сьеренсена (Ics) между зимними и осенними уловами изменялся в отдельные годы от 0,41 до 0,76 (2011 и 2013 гг.), а между осенними и зимними уловами — от 0,49 до 0,77 (2005/2006 и 2013/2014 гг.). В целом за серию лет индексы сходства видового состава между осенними и зимними пробами в смежные годы оказались несколько выше, чем между зимними и осенними выборками в один и тот же год. Но в отдельные годы — 2006, 2009 и 2013 — этот показатель был выше в формате «зима-осень» (табл. 2).

Таблица 2

Индексы сходства видового состава рыб в восточной части Кунаширского пролива в зимний и осенний периоды 2004–2014 гг.

Table 2

Indices of similarity for fish species composition in the eastern Kunashir Strait in winter and autumn, 2004–2014

Индекс	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Зима-осень	0,62	0,56	0,58	0,61	0,59	0,54	0,41	0,67	0,76	0,56
Средний	0,59				0,59					
	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014
Осень-зима	0,63	0,49	0,62	0,67	0,57	0,54	0,61	0,67	0,71	0,77
Средний	0,60				0,64					

Общая характеристика видового разнообразия. Список рыб для российской части Кунаширского пролива, выявленный в 1998–2014 гг., оказался на 53 вида меньше, чем предварительный список морских рыб в прол. Немуро, представленный 138 видами из 40 семейств [Shinohara et al., 2012]. По результатам наших исследований отмечено в общем меньше видов, меньше видов в отдельных семействах, а также меньше доминирующих семейств, только два. Это, вероятно, обусловлено рядом ограничивающих факторов: использование только одного типа орудий лова (донные сети), применение двух сравнительно крупных размеров ячеи сетного полотна, определенного диапазона глубин лова и др. [Великанов, Мухаметов, в печати]. В частности, принимая во внимание диапазон глубин, на которых выставлялись донные сети в российских водах Кунаширского пролива (от 70–75 до 315 м), становится очевидным, что верхняя часть шельфа этого района и более глубоководные участки свала остались необследованными.

Тем не менее в нашем списке представлено 35 видов рыб, которые отсутствуют в предварительном списке для прол. Немуро [Великанов, Мухаметов, в печати]. Это свидетельствует о высоком видовом богатстве рыб в проливе, разделяющем южные Курильские острова и о. Хоккайдо, число которых по объединенным данным прол. Немуро и восточной части Кунаширского пролива в настоящее время уже составило 173. Имеется немало оснований говорить о том, что приведенная цифра не является окончательной, а дальнейшие наблюдения и исследования позволят существенно увеличить этот показатель.

Сравнительно большое видовое разнообразие рыб в восточной части Кунаширского пролива, выявленное в 1998–2014 гг., подтверждается также и установленным широким спектром зоогеографических и экологических групп (соответственно 9 и 8). В биогеографическом плане в районе наблюдений доминировали по числу видов такие зоогеографические комплексы, как АБ, ШТ, ШП и НП. В то же время тепловодные виды рыб из низкобореальной субтропической, индо-тихоокеанской групп и космополиты в наших пробах присутствовали нечасто. Виды из доминирующих зоогеографических групп, выявленных в районе исследований, в общем характеризуются широким распространением как в Японской низкобореальной подобласти, так и в некоторых других районах дальневосточных морей и прилегающих водах северо-западной части Тихого океана. В частности, по данным А.С. Соколовского с соавторами [2007] в российских водах Японского моря виды рыб из вышеуказанных зоогеографических групп суммарно составляют 55,1 % от всего количества видов (365), известных для этой части моря. Близкие показатели для этих же зоогеографических групп отмечены и в водах Курильской гряды, от прол. Фриза до п-ова Камчатка, где суммарная доля видов рыб из групп АБ, ШТ, ШП и НП составила 53,5 % от общего количества — 505 видов [Шейко, Федоров, 2000]. Вместе с тем у Курильских островов среди этих групп доминировали широкобореальные виды (38,8 %, или 196 видов), тогда как в российских водах Японского моря преобладали низкобореальные (47,8 %, или 175 видов).

Среди экологических комплексов района наблюдений наибольшее число видов отмечено в сублиторальной, элиторальной и мезобентальной группах. Это обусловлено как диапазоном глубин облова донными сетями, так и сезонами наблюдений (осень и зима), когда в районе наших исследований завершается перемещение многих видов рыб из побережья на большие глубины (для зимовки или других этапов годового цикла). Преобладание в уловах вышеперечисленных экологических групп вполне соответствует имеющимся представлениям о сезонном распределении и миграциях рыб у южных Курильских островов [Ким Сен Ток, Бирюков, 2009] и не является чем-то аномальным. Например, в российских водах Японского моря эти же самые экологические группы также доминируют по числу видов, их доля суммарно составляет 83,5 % от общего количества (248) донных и придонных видов рыб [Соколовский и др., 2007]. Вполне ожидаемо также, что мезопелагические, эпипелагические, неритические и проходные виды рыб были представлены в уловах донных сетей минимально и неежегодно как малодоступные для этих орудий лова и редко встречающиеся в рассматриваемом диапазоне глубин.

Максимальное и минимальное число видов рыб в районе исследований, выявленное как осенью, так и зимой, было достаточно близким, что, видимо, объясняется последовательностью сезонов наблюдений и общим диапазоном глубин. Однако максимальные оценки числа видов, отмеченные в разные сезоны в начале или конце временной серии наблюдений, требуют специального анализа и рассмотрения при обсуждении многолетних изменений.

Сезонные миграции. Промысел терпуга и минтая при помощи донных сетей осуществляется в рассматриваемом районе соответственно осенью и зимой, т.е. в разные по своим основным характеристикам сезоны. Согласно В.В. Суханову и О.А. Иванову [2008], в северо-западной части Японского моря в зимний период изменения во внешней среде протекают достаточно медленно: температура близка к минимуму, кормовая база бедна, интенсивность света низкая. В межсезонное время, весной и осенью, в окружающей среде происходят быстрые изменения всех основных факторов, влияющих на состояние экосистем. Именно во время этих весенне-летних перестроек скорость сезонной сукцессии существенно повышается. При этом было отмечено, что сообщества нектона, макрофитов и фитопланктона реагируют на эти перестройки резким изменением своей видовой структуры: зимние виды заменяются летними и обратно [Кафанов, Жуков, 1993; Шунтов, 2001; Суханов, Иванов, 2008]. Таким образом, видовое разнообразие и скорость сезонной сукцессии в демисезонные периоды возрастают. Очевидно, что указанные

сезонные изменения присущи в меньшей или большей степени большинству районов Японской низкобореальной подобласти, в которую входят, в том числе, северо-западная часть Японского моря и Кунаширский пролив [Шунтов, 1985].

Несомненно, что сезонные перестройки экосистем отражаются также на составе и структуре демерсальных сообществ рыб. Важную роль здесь играют сезонные миграции. Массовые сезонные миграции донных и придонных рыб отмечены в разных морях и регионах: в Балтийском море у берегов Швеции [Thorman, Wiederholm, 1983], у южного побережья Хоккайдо [Tanaka, 1999], у юго-западного Сахалина [Ким Сен Ток, 2001], у юго-восточного побережья Хоккайдо в районе Дото [Yamamura, 2003] и др. Сезонные перемещения наблюдаются также у массовых видов камбал (Pleuronectidae) и рогатковых (Cottidae), обитающих в водах южных Курильских островов. По данным Ким Сен Тока и И.А. Бирюкова [2009] камбала Шренка *Pseudopleuronectes schrenki* размножается в мае-июне на глубинах 5–20 м, зимует глубже, в диапазоне 55–100 м; белобрюхая камбала *Lepidopsetta mochigarei* также размножается в мае-июне, но на глубинах 20–130 м, зимой встречается на глубинах 30–300 м; малорот Стеллера *Glyptocephalus stelleri* нерестится в июле-сентябре на глубинах 20–70 м, но зимой придерживается больших глубин, 200–800 м. Бычки-керчаки (род *Myoxocephalus*) зимой обитают в основном на глубинах 100–250 м, где происходит их нерест, но летом распространяются до глубин 400 м. Бычки-получешуйники (род *Hemilepidotus*) размножаются у южных Курильских островов в августе-сентябре на глубинах 20–50 м, а шлемоносцы (род *Gymnocanthus*) зимой распространены на глубинах 80–400 м, но летом предпочитают более мелководные участки (60–250 м). Все вышеперечисленные виды и группы рыб присутствовали в уловах донных сетей в восточной части Кунаширского пролива в рассматриваемую серию лет [Великанов, Мухаметов, в печати]. Следует сказать, что массовые виды камбал, а также бычки-керчаки и шлемоносцы наиболее широко распространены в Кунаширском проливе с июля по октябрь, но малорот Стеллера обитает в водах этого пролива круглогодично, так же как и тресковые [Ким Сен Ток, Бирюков, 2009].

Свою лепту в видовое разнообразие рыб вносят и миграции представителей nekтона, прежде всего преднерестовые и нагульные миграции тихоокеанских лососей, а также нагульные миграции ряда субтропических и тропических рыб. При этом кета *Oncorhynchus keta*, как и субтропические рыбы (*Seriola quinqueradiata* и др.), отмечалась в уловах сетей только в осенний период, тогда как сима *Oncorhynchus masou* ежегодно встречалась в январских уловах, изредка присутствовала зимой и чавыча *Oncorhynchus tshawytscha*. Такие виды, как японский гипероглиф *Hyperoglyphe japonica* и кинжалозуб *Anotopterus nikparini*, в январе также встречались в наших многолетних пробах намного чаще, чем осенью. Таким образом, сезонные перемещения многих видов демерсальных, а также nekтонных рыб могут отражаться на формировании видового состава уловов донными сетями в восточной части Кунаширского пролива и определять его количественный показатель.

Большее сходство видового состава между осенними и зимними пробами в смежные годы, чем между зимними и осенними выборками в один и тот же год (индекс Чекановского-Сьеренсена), обусловлено, на наш взгляд, различной продолжительностью временного промежутка между периодами сбора проб. В частности, между осенними и зимними сборами этот диапазон составляет всего 2–3 мес., тогда как между январем и сентябрем-октябрем — до 7–8 мес. В связи с этим сезонная смена видов в весенне-летний период более интенсивно корректирует видовой состав к октябрю, соответственно, это влияет на снижение показателя сходства видового состава. В сентябре-октябре и январе большая часть видов, скорее всего, остается в районе лова донными сетями, что и способствует повышению степени сходства видового состава. В целом отметим, что большее сходство видового состава между осенними и зимними пробами в смежные годы было хоть и небольшим (и, вероятно, статистически недостоверным), но стабильно проявлялось на протяжении всей 10-летней серии наблюдений.

Различие в числе видов рыб в районе наблюдений в рассматриваемую серию лет зимой и осенью было относительно небольшим. Соответственно, число видов рыб в пробах по годам в сентябре-ноябре изменялось от 17 до 36, а в январе — от 16 до 38, хотя в январских пробах вариативность этого показателя оказалась несколько выше, чем осенью. Вместе с тем приведенные различия вряд ли сформировались только из-за сезонной составляющей, так как минимальные и максимальные оценки числа видов рыб отмечены в разные периоды наблюдений для каждого сезона (в январе 2011 и 2001 гг., осенью 2003 и 2013 гг.). Можно полагать, что выявленные изменения видового богатства рыб были обусловлены не кратковременным воздействием сезонных факторов осени или зимы, а влиянием каких-то общих долговременных факторов, которые на протяжении серии лет отражались на специфике сезонных условий обитания рыб и их биотопов как осенью, так и зимой.

Межгодовые изменения. Различие количества видов рыб, отмеченное в отдельные годы в каждый из сезонов в районе исследований, определялось, на наш взгляд, рядом факторов. Прежде всего привлекает внимание изменчивость по годам глубин постановки сетей и температурных условий в придонных слоях моря. Например, осенью 2007 г. глубины облова сетями изменялись от 75 до 120 м, а в 2010 г. — от 75 до 200 м. Соответственно, в 2010 г., при более широком охвате глубин, выявлено на 12 видов рыб больше. Сходная картина наблюдалась и в зимний период. Так, в январе 2006 г., когда в уловах было отмечено 33 вида рыб, глубины постановки сетей варьировали в широком интервале — от 90 до 315 м. В 2008 г. охваченный диапазон глубин был более узким, от 70 до 150 м, а число видов рыб в сетных уловах — почти вдвое меньше, только 18. В 2009 и 2010 гг. пробный лов минтая проводился в одном и том же диапазоне глубин — 90–230 м. Число выявленных видов рыб в уловах сетей в эти годы также было очень близким — соответственно 25 и 23, но большим, чем в 2008 г., и меньшим, чем в 2006 г. Очевидно, что в районе наших исследований как осенью, так и зимой при более широком диапазоне глубин лова количество выявленных видов в сетных уловах возрастало и наоборот. Скорее всего, это обусловлено вертикальной зональностью распределения видовых ансамблей демерсальных рыб, установленной ранее для многих шельфовых районов и присваловых участков морей [Bianchi, 1992; Yamamura et al., 1992; Fujita et al., 1995; Колпаков, 2004; Ким Сен Ток, 2005].

Имеются основания предполагать, что температурный режим вод промежуточного слоя в диапазоне глубин 70–275 м мог оказывать существенное влияние на межгодовую изменчивость видового разнообразия рыб в районе исследований. По данным измерений на гидрологических разрезах, выполненных в российской зоне Кунаширского пролива (рис. 3), в декабре 2002 г. промежуточный слой теплой воды располагался на глубинах 100–250 м с температурой 3–5 °C. В декабре 2004 г. этот слой был более обширным, занимая глубины 100–320 м, но температура воды была почти такой же, как и в предыдущем году (3–6 °C). В декабре 2006 г. температурный режим придонных вод был более теплым: промежуточный слой вод был тоже довольно большим, охватывая глубины 50–250 м, а температура воды была заметно выше — 4–8 °C. При этом если в январе 2003 и 2005 гг. в сетных уловах было выявлено соответственно 18 и 19 видов рыб, то в январе 2007 г. — 34 вида, т.е. почти вдвое больше. В то же время диапазон глубин сетного лова минтая в январе 2007 г. (125–280 м) занимал промежуточное положение по сравнению с январскими ловами 2003 и 2005 гг. (соответственно 110–240 и 95–315 м), т.е. этот фактор не играл такой очевидной роли, как в некоторые другие годы. И наоборот, фактор изменения температуры вод проявился в рассматриваемые три года очень отчетливо. Однако осенью 2002, 2004 и 2006 гг. было отмечено в уловах соответственно 23, 18 и 21 вид рыб, т.е. межгодовая динамика этого показателя существенно отличалась от периода, когда наблюдался более холодный (2002/2003 и 2004/2005 гг.) и более теплый (2006/2007 гг.) температурный фон вод. Это также косвенно указывает на то, что видовой состав рыб в декабре-январе указанных лет формировался, скорее всего, под воздействием температурного фактора.

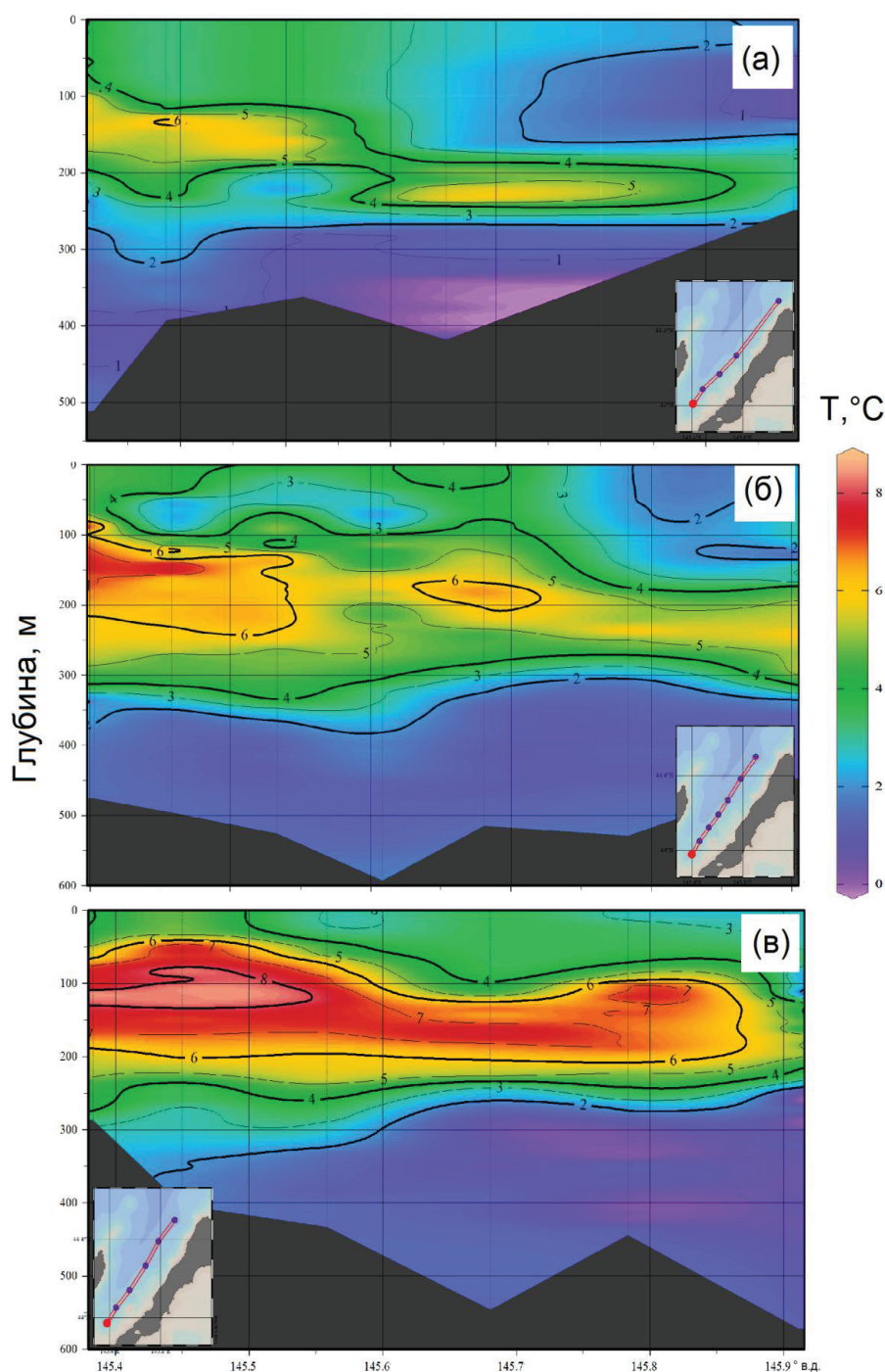


Рис. 3. Вертикальные распределения температуры (°C) морской воды в Кунаширском проливе по результатам съемки на гидрологическом разрезе: **а** — 21.12.2002 г.; **б** — 27.12.2004 г.; **в** — 18.12. 2006 г.

Fig. 3. Water temperature (°C) at the oceanographic section in the Kunashir Strait on December 21, 2002 (**а**), December 27, 2004 (**б**), and December 18, 2006 (**в**)

В то же время сроки сбора информации в пределах сезона наблюдений в каждый конкретный год, по-видимому, не оказывали какого-либо существенного влияния на межгодовую изменчивость числа видов рыб в уловах донных сетей в районе наблюде-

ний. Например, при «пробном лове» терпуга в 2005 г. идентификация видового состава рыб прилова осуществлялась с 30 октября по 8 ноября, а в 2006 г. — существенно раньше — с 26 сентября по 4 октября. Однако число выявленных видов в уловах сетей в эти смежные годы было почти одинаковым — 20 и 21. При этом диапазон глубин постановки сетей осенью в рассматриваемые два года также был довольно близким — соответственно 111–158 и 112–135 м.

В зимний период при «пробном лове» минтая сроки наблюдений за видовым составом прилова рыб, вероятно, были еще менее критичными в формировании межгодовых изменений, так как ежегодно они осуществлялись в узком временном интервале, в основном с 16 по 27 января, тем более что, как указывалось выше при характеристике динамики биологических процессов в разные сезоны, скорость сукцессии различных сообществ зимой существенно замедляется.

Заключение

В 1998–2014 гг. в российских водах Кунаширского пролива в уловах донных сетей выявлено 85 видов рыб, принадлежащих к 26 семействам. По сравнению с опубликованными данными [Shinohara et al., 2012] список рыб в районе наших исследований был на 53 вида меньше, чем в прол. Немуро в целом. В нашем списке представлено 35 видов рыб, которые вообще отсутствуют в предварительном перечне видов для прол. Немуро. Таким образом, список видов рыб, встречающихся в водах, разделяющих восточное побережье Хоккайдо и южные Курильские острова, может быть увеличен до 173 [Великанов, Мухаметов, в печати].

Сравнительно большое видовое разнообразие рыб в восточной части Кунаширского пролива, выявленное в 1998–2014 гг., подтверждается также и установленным широким спектром зоогеографических и экологических групп (соответственно 9 и 8). В биогеографическом плане в районе наблюдений доминировали по числу видов такие зоогеографические комплексы, как арктическо-бореальный, широкобореальный тихоокеанский, широкобореальный приазиатский и низкобореальный приазиатский, а среди экологических групп — сублиторальная, элиторальная и мезобентальная.

Промысел терпуга и минтая при помощи донных сетей осуществляется в рассматриваемом районе соответственно осенью и зимой, т.е. в разные по основным характеристикам сезоны. Несомненно, что сезонные перестройки экосистем отражаются также на составе и структуре демерсальных сообществ рыб. Важную роль здесь играют сезонные миграции. Сезонные перемещения наблюдаются у массовых видов камбал и бычков (Cottidae), обитающих в водах южных Курильских островов [Ким Сен Ток, Бирюков, 2009]. Свою лепту в видовое разнообразие рыб вносят и миграции представителей nekтона, прежде всего преднерестовые и нагульные миграции тихоокеанских лососей, а также нагульные миграции ряда субтропических и тропических рыб.

Индексы сходства видового состава между осенними и зимними пробами в смежные годы в среднем оказались выше, чем между зимними и осенними выборками в один и тот же год. Это обусловлено, на наш взгляд, различной продолжительностью временного промежутка между датами сбора проб — соответственно 2–3 мес. и 7–8 мес., что оказывает существенное влияние на формирование придонных сообществ рыб. Например, в сентябре-октябре (ноябре) и январе большая часть видов, скорее всего, остается в районе лова донными сетями, что и способствует повышению сходства видового состава.

Различие в количестве видов рыб в районе наблюдений в рассматриваемый период лет зимой и осенью было относительно небольшим. Соответственно, число видов рыб в пробах по годам в сентябре-ноябре изменялось от 17 до 36, а в январе — от 16 до 38. Проведенные наблюдения показали, что межгодовые различия разнообразия видов рыб в уловах донных сетей в основном определялись диапазоном глубин лова и отчасти температурным режимом вод. В то же время сроки сбора информации в

пределах сезона наблюдений в каждый конкретный год, по-видимому, не оказывали какого-либо существенного влияния на межгодовую изменчивость числа видов рыб в уловах примененных орудий лова.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарны сотрудникам СахНИРО, участвовавшим в сборе материала на промысловых судах.

The authors are grateful to their colleagues in SakhNIRO who collected materials for the study aboard fishing vessels.

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. Отсутствует потенциальный конфликт интересов в принадлежности данных.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented. No potential conflict of interest was reported by the authors.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования — А.Я. Великанов; сбор материала — А.Я. Великанов, И.Н. Мухаметов, В.Н. Частиков; анализ данных, обсуждение результатов — все авторы; написание текста — А.Я. Великанов.

Concept of the study — A.Ya. Velikanov; data collection — A.Ya. Velikanov, I.N. Mukhametov and V.N. Chastikov; data analysis, discussion of results — all authors; text writing — A.Ya. Velikanov.

Список литературы

Анцулевич А.Е., Бобков А.А. Океанологические основы биогеографического районирования акватории Южно-Курильского района // Океанол. — 1992. — Т. 32, № 5. — С. 910–916.

Веденский А.П. Заметки о рыбах и рыбном промысле на Южно-Курильских островах // Рыб. хоз-во. — 1949. — № 7. — С. 32–39.

Великанов А.Я. Промысел морских биоресурсов и использование сырьевой базы рыболовства в Сахалино-Курильском регионе в первые десятилетия XXI века // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Тр. СахНИРО. — 2021. — Т. 17. — С. 3–29.

Великанов А.Я., Мухаметов И.Н. Видовой состав рыб российской зоны Кунаширского пролива в уловах донных сетей японских рыболовных судов в 1998–2014 гг. // Вопр. ихтиол. (в печати).

Иванов О.А. Эпипелагическое сообщество рыб и головоногих моллюсков прикурильских вод Тихого океана в 1986–1995 гг. // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 3–54.

Истоки Ойясио : моногр. / под ред. В.Р. Фукса, А.Н. Мичурина. — СПб. : СПбГУ, 1997. — 248 с.

Кафанов А.И., Жуков В.Е. Прибрежное сообщество водорослей-макрофитов залива Посъета (Японское море): Сезонная изменчивость и пространственная структура : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 1993. — 156 с.

Ким Сен Ток. Вертикальная и пространственно-временная структура сообществ демерсальных рыб залива Анива в летне-осенние сезоны 1989–2002 гг. // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Тр. СахНИРО. — 2005. — Т. 7. — С. 23–44.

Ким Сен Ток. Зимние миграции шельфовых рыб в зону материкового склона юго-западного Сахалина // Вопр. ихтиол. — 2001. — Т. 41, № 5. — С. 593–604.

Ким Сен Ток. Сетной промысел и некоторые особенности биологии южного одноперого терпуга в Кунаширском проливе в осенний период 1998–2002 гг. // *Вопр. рыб-ва.* — 2004. — Т. 5, № 1(17). — С. 78–94.

Ким Сен Ток, Бирюков И.А. Некоторые черты биологии и промысловые ресурсы донных и придонных видов рыб в шельфовых водах южных Курильских островов в 1987–2006 гг. : моногр. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2009. — 124 с.

Колпаков Н.В. Ихтиоцен прибрежных вод северного Приморья: состав, структура, пространственно-временная изменчивость. I. Видовой состав // *Изв. ТИНРО.* — 2004. — Т. 136. — С. 3–40.

Муромцев А.М., Гершанович Д.Е. Естественные районы Мирового океана // Биотопическая основа распределения морских организмов : Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва. — М. : Наука, 1986. — Т. 27. — С. 90–108.

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

Промысел биоресурсов в водах Курильской гряды: современная структура, динамика и основные элементы / под общ. ред. А.В. Буслова. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2013. — 264 с. DOI: 10.13140/RG.2.1.5173.3206.

Савиных В.Ф. Состав нектона приповерхностных вод зоны субарктического фронта северо-западной части Тихого океана по данным уловов дрейфтерных сетей // *Вопр. ихтиол.* — 1998. — Т. 38, № 1. — С. 22–32.

Савиных В.Ф., Шевцов Г.А., Карякин К.А. и др. Межгодовая изменчивость миграции нектонных рыб и кальмаров в тихоокеанские воды южных Курильских островов // *Вопр. ихтиол.* — 2003. — Т. 43, № 6. — С. 759–771.

Соколовский А.С., Дударев В.А., Соколовская Т.Г., Соломатов С.Ф. Рыбы российских вод Японского моря: аннотированный и иллюстрированный каталог. — Владивосток : Дальнаука, 2007. — 200 с.

Суханов В.В., Иванов О.А. Динамика видовой структуры пелагического нектона северо-западной части Японского моря // Современное состояние водных биоресурсов : мат-лы науч. конф., посвящ. 70-летию С.М. Коновалова. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — С. 271–276.

Тарасюк С.Н., Ким Сен Ток. Предварительные результаты «пробного» промысла, осуществляемого японскими судами в районе Южных Курильских островов // *Рыб. хоз-во.* — 2004. — № 5. — С. 24–28.

Тихий океан : моногр. / под общ. ред. О.К. Леонтьева. — М. : Мысль, 1982. — 316 с.

Федоров В.В. Видовой состав, распределение и глубины обитания видов рыбообразных и рыб северных Курильских островов // Промыслово-биологические исследования рыб в тихоокеанских водах Курильских островов и прилежащих районах Охотского и Берингова морей в 1992–1998 гг. — М. : ВНИРО, 2000. — С. 7–46.

Федоров В.В., Парин Н.В. Пелагические и бентопелагические рыбы тихоокеанских вод России (в пределах 200-мильной экономической зоны) : моногр. — М. : ВНИРО, 1998. — 154 с.

Филатов В.Н. Миграции и формирование скоплений массовых пелагических гидробионтов (на примере тихоокеанской сайры) : моногр. — Ростов н/Д : ЮНЦ РАН, 2015. — 168 с.

Шейко Б.А., Федоров В.В. Глава 1. Рыбообразные и рыбы // Каталог позвоночных Камчатки и сопредельных морских акваторий. — Петропавловск-Камчатский : Камчат. печат. двор, 2000. — С. 7–69.

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

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. — Т. 1. — 580 с.

Bianchi G. Demersal assemblages of the continental shelf and upper slope of Angola // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* — 1992. — Vol. 81, № 2. — P. 101–120.

Fujita T., Inada T., Ishito Y. Depth-gradient structure of the demersal fish community on the continental shelf and upper slope off Sendai Bay, Japan // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* — 1995. — Vol. 118, № 1/3. — P. 13–23.

Mizushima T., Torisawa M. Fisheries and Aquatic Life of Hokkaido. — Sapporo, Japan : Hokkaido Shimbun Press, 2005. — 645 p.

Nobetsu T., Nakagawa H., Yabe M. et al. Ichthyofauna of coastal waters of the Shiretoko Peninsula // *Bull. of the Shiretoko Museum.* — 1998. — Vol. 19. — P. 1–22 (in Jap.).

Shinohara G., Nazarkin M., Nobetsu T., Yabe M. A Preliminary List of Marine Fishes Found in the Nemuro Strait between Hokkaido and Kunashiri Islands // Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. A. — 2012. — Vol. 38, № 4. — P. 181–205.

Tanaka N. Distribution and migration of adult pointhead flounder, *Hippoglossoides pinetorum*, in the Pacific coast of southern Hokkaido // Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr. — 1999. — Vol. 63. — P. 55–60.

Thorman S., Wiederholm A.-M. Seasonal occurrence and food resource use of an assemblage of nearshore fish species in the Bothnian Sea, Sweden // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 1983. — Vol. 10. — P. 223–229.

Worm B., Barbier E.B., Beaumont N. et al. Impact of biodiversity loss on ocean ecosystem services // Science. — 2006. — Vol. 314. — P. 787–790. DOI: 10.1126/science.1132294.

Yamamura O. Demersal fish fauna in the Doto nearshore waters, northern Japan: Species composition and seasonal variation // Fish. Sci. — 2003. — Vol. 69, № 3. — P. 445–455. DOI: 10.1046/j.1444-2906.2003.00644.x.

Yamamura O., Inada T., Shimazaki K. Demersal fish assemblages and macro habitat niche overlaps among gadiform dominant species off Sendai bay, north Japan // Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn. — 1992. — Vol. 42. — P. 241–250.

Yoshida H. Walleye pollock fishery and fisheries management in the Nemuro Strait, Sea of Okhotsk, Hokkaido // Proc. Intern. Symp. Biol. Managem. Walleye Pollock. — Fairbanks, Alaska, 1989. — P. 59–77.

References

Antsulevich, A.E. and Bobkov, A.A., Oceanological foundations of the biogeographical zoning of the South Kuril basin, *Oceanology*, 1992, vol. 32, no. 5, pp. 910–916.

Vedensky, A.P., Notes on fish and fishery in the South Kuril Islands, *Rybn. Khoz.*, 1949, no. 7, pp. 32–39.

Velikanov, A.Ya., Sakhalin-Kuril fishery of marine biological resources and use of fish raw materials in the first ten-year periods of the 21st century, *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 17, pp. 3–29.

Velikanov, A.Ya. and Mukhametov, I.N., Species composition of fish in the Russian zone of the Kunashir Strait in catches of bottom nets of Japanese fishing vessels in 1998–2014, *Vopr. Ikhtiol.* (in press).

Ivanov, O.A., Epipelagic community of fishes and squids in the Kuril Islands area of the Pacific Ocean in 1986–1995, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 124, pp. 3–54.

Istoki Oyyasio (The origins of Oyyashio), Fuchs, V.R., Michurin, A.N., ed., St. Petersburg : S.-Peterb. Gos. Univ., 1997.

Kafanov, A.I. and Zhukov, V.E., Coastal community of macrophytic algae in Possjet Bay (Sea of Japan): Seasonal variability and spatial structure, Vladivostok: Dalnauka, 1993.

Kim, Sen Tok, Vertical and spatial-temporary structure of communities of demersal fishes from Aniva Bay in summer-autumn seasons of 1989–2002, *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 7, pp. 23–44.

Kim, Sen Tok, Winter migrations of shelf-dwelling fishes to the continental slope zone of the south-west Sakhalin, *Vopr. Ikhtiol.*, 2001, vol. 41, no. 5, pp. 593–604.

Kim, Sen Tok, Net fishing and some features of the biology of the southern greenling in the Kunashir Strait in the autumn period of 1998–2002, *Vopr. Rybolov.*, 2004, vol. 5, no. 1(17), pp. 78–94.

Kim, Sen Tok and Biryukov, I.A., *Nekotoryye cherty biologii i promyslovyye resursy donnykh i pridonnykh vidov ryb v shel'fovykh vodakh yuzhnykh Kuril'skikh ostrovov v 1987–2006 gg.* (Some features of biology and commercial resources of bottom and bottom fish species in the shelf waters of the southern Kuril Islands in 1987–2006), Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2009.

Kolpakov, N.V., Fish community of coastal waters of northern Primorye: species composition, structure, spatio-temporal patterns. I. Species composition, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 136, pp. 3–40.

Muromtsev, A.M. and Gershanovich, D. E., Natural regions of the world ocean, *Tr. Vsesoyuz. gidrobiol. o-va*, Moscow: Nauka, 1986, vol. 27, pp. 90–108.

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

Promysel bioresursov v vodakh Kuril'skoy gryady: sovremennaya struktura, dinamika i osnovnyye elementy (Fishing for bioresources in the waters of the Kuril ridge: modern structure, dynamics and main elements), Buslov, A.V., ed., Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr., 2013.

Savinykh, V.F., Composition of nekton in the near-surface waters of the subarctic frontal zone area in the northwestern part of the Pacific Ocean according to drift net catch data, *Vopr. Ikhtiol.*, 1998, vol. 38, no. 1, pp. 22–32.

Savinykh, V.F., Shevtsov, G.A., Karyakin, K.A., Slobodskoi, E.V., and Novikov, Yu.V., Yearly variability of migrations in nekton fishes and squids to the pacific waters of south Kuril Islands, *Vopr. Ikhtiol.*, 2003, vol. 43, no. 6, pp. 759–771.

Sokolovsky, A.S., Dudarev, V.A., Sokolovskaya, T.G., and Solomatov, S.F., *Ryby rossiyskikh vod Yaponskogo morya: annotirovannyi i illyustrirovannyi katalog* (Fishes of the Russian waters of the Sea of Japan: an annotated and illustrated catalogue), Vladivostok: Dal'nauka, 2007.

Sukhanov, V.V. and Ivanov, O.A., Dynamics of species structure of pelagic nekton in the northwestern part of the Sea of Japan, in *Sovremennoye sostoyaniye vodnykh bioresursov: nauchnaya konferentsiya, posvyashch. 70-letiyu S.M. Konovalova* (The current state of aquatic biological resources: scientific conference dedicated 70th anniversary of S.M. Konovalova), Vladivostok: TINRO-Center, 2008, pp. 271–276.

Tarasjuk, S.N. and Kim, Sen Tok, The preliminary results of tentative fishing been conducted by Japanese vessels off the South Kurils, *Rybn. Khoz.*, 2004, no. 5, pp. 24–28.

Tikhyy okean (Pacific Ocean), Leontiev, O.K., ed., Moscow: Mysl', 1982.

Fedorov, V.V., Species composition, distribution and habitat depths of fish-like and fish species of the northern Kuril Islands, in *Promyslovo-biologicheskie issledovaniya ryb v tikhoookeanskikh vodakh Kuril'skikh ostrovov i prilezhashchikh raionakh Okhotskogo i Beringova morei v 1992–1998 gg.* (Fishes and Biological Studies of Fish in the Pacific Waters off the Kuril Islands and Adjacent Areas of the Sea of Okhotsk and the Bering Sea in 1992–1998), Moscow: VNIRO, 2000, pp. 7–46.

Fyodorov, V.V. and Parin, N.V., *Pelagicheskiye i bentopelagicheskiye ryby tikhoookeanskikh vod Rossii (v predelakh 200-mil'noi ekonomicheskoi zony)* (Pelagic and Benthopelagic Fishes in Pacific Waters of Russia (within the 200-mile Economic Zone)), Moscow: VNIRO, 1998.

Filatov, V.N., *Migratsii i formirovaniye skopleniy massovykh pelagicheskikh gidrobiontov (na primere tikhoookeanskoy sayry)* (Migrations and the formation of clusters of massive pelagic aquatic organisms (on the example of Pacific saury)), Rostov-on-Don: Yuzhn. Nauchn. Tsentr, Ross. Akad. Nauk, 2015.

Sheiko, B.A. and Fedorov, V.V., Chapter 1. Fish-like and fishes, in *Katalog pozvonochnykh Kamchatki i sopredel'nykh morskikh akvatoriy* (Catalog of Kamchatka's vertebrates and adjacent marine areas), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatsky Pechatny Dvor, 2000, pp. 7–69.

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

Shuntov, V.P., *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2001, vol. 1.

Bianchi, G., Demersal assemblages of the continental shelf and upper slope of Angola, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1992, vol. 81, no. 2, pp. 101–120.

Fujita, T., Inada, T., and Ishito, Y., Depth-gradient structure of the demersal fish community on the continental shelf and upper slope off Sendai Bay, Japan, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1995, vol. 118, no. 1/3, pp. 13–23.

Mizushima, T. and Torisawa, M., *Fisheries and Aquatic Life of Hokkaido*, Sapporo, Japan: Hokkaido Shimbun Press, 2005.

Nobetsu, T., Nakagawa, H., Yabe, M., Nakayama, K., Masuda, Y., and Amaoka, K., Ichthyofauna of coastal waters of the Shiretoko Peninsula, *Bulletin of the Shiretoko Museum*, 1998, vol. 19, pp. 1–22.

Shinohara, G., Nazarkin, M., Nobetsu, T., and Yabe, M., A Preliminary List of Marine Fishes Found in the Nemuro Strait between Hokkaido and Kunashiri Islands, *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci.*, Ser. A, 2012, vol. 38, no. 4, pp. 181–205.

Tanaka, N., Distribution and migration of adult pinthead flounder, *Hippoglossoides pinetorum*, in the Pacific coast of southern Hokkaido, *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.*, 1999, vol. 63, pp. 55–60.

Thorman, S. and Wiederholm, A.-M., Seasonal occurrence and food resource use of an assemblage of nearshore fish species in the Bothnian Sea, Sweden, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1983, vol. 10, pp. 223–229.

Worm, B., Barbier, E.B., Beaumont, N., Duffy, J.E., Folke, C., Halpern, B.S., Jackson, J.B.C., Lotze, H.K., Micheli, F., Palumbi, S.R., Sala, E., Selkoe, K.A., Stachowicz, J.J., and Watson, R., Impact of biodiversity loss on ocean ecosystem services, *Science*, 2006, vol. 314, pp. 787–790. doi 10.1126/science.1132294

Yamamura, O., Demersal fish fauna in the Doto nearshore waters, northern Japan: Species composition and seasonal variation, *Fish. Sci.*, 2003, vol. 69, no. 3, pp. 445–455. doi 10.1046/j.1444-2906.2003.00644.x

Yamamura, O., Inada, T., and Shimazaki, K., Demersal fish assemblages and macro habitat niche overlaps among gadiform dominant species off Sendai bay, north Japan, *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn.*, 1992, vol. 42, pp. 241–250.

Yoshida, H., Walleye pollock fishery and fisheries management in the Nemuro Strait, Sea of Okhotsk, Hokkaido, *Proc. Intern. Symp. Biol. Managem. Walleye Pollock*, Fairbanks, Alaska, 1989, pp. 59–77.

Поступила в редакцию 28.10.2022 г.

После доработки 13.12.2022 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

*The article was submitted 28.10.2022; approved after reviewing 13.12.2022;
accepted for publication 3.03.2023*

Научная статья

УДК 594.117(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-127-142

EDN: NZGPEC



**СОСТАВ ПОСЕЛЕНИЙ И РЕСУРСЫ ГРЕБЕШКА СВИФТА
(*CHLAMYS SWIFTII*, BIVALVIA) В ПРИБРЕЖЬЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ
(ЯПОНСКОЕ МОРЕ)**

Д.А. Соколенко, Л.Г. Седова*

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

Аннотация. Приведены данные о современном состоянии поселений и ресурсах гребешка Свифта в прибрежных водах Приморского края по материалам работ, выполненных в 2007–2021 гг. Установлено, что моллюски не образуют плотных скоплений, позволяющих вести их промысел. Поселения с наибольшей средней биомассой ($22,5 \pm 5,0$ г/м²) сконцентрированы на участке от мыса Поворотного до мыса Южного, с наименьшей — в зал. Петра Великого ($3,7 \pm 2,1$ г/м²), но для всех них характерен мозаичный характер распределения. Общий запас моллюсков оценен в 1,4 тыс. т, промысловый — 1,3 тыс. т. Около 99 % от суммарного запаса в прибрежье Приморского края сосредоточено на участке от мыса Поворотного до мыса Золотого. Здесь отмечено и более регулярное и интенсивное пополнение поселений молодь, чем в зал. Петра Великого. Доля особей непромыслового размера в разные годы изменялась от 1,9 до 19,0 %. В поселениях *Chlamys swiftii* из зал. Петра Великого по численности преобладали особи промыслового размера с высотой раковины 80–115 мм в возрасте 3–6 лет, на участке от мыса Поворотного до мыса Золотого — размером 70–110 мм и возрастом 3–7 лет. Модальное значение возраста моллюсков в разные годы составляло 4 года, максимальное — варьировало от 7 до 12 лет.

Ключевые слова: гребешок Свифта, *Chlamys swiftii*, ресурсы, размерный и возрастной состав, Японское море

Для цитирования: Соколенко Д.А., Седова Л.Г. Состав поселений и ресурсы гребешка Свифта (*Chlamys swiftii*, Bivalvia) в прибрежье Приморского края (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 127–142. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-127-142. EDN: NZGPEC.

Original article

**Structure of settlements and resources of swifts scallop (*Chlamys swiftii*, Bivalvia)
at the coast of Primorsky Region (Japan Sea)**

Dmitry A. Sokolenko*, Lyudmila G. Sedova**

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

4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

* head of laboratory, dmitriy.sokolenko@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-4431-6571

** Ph.D., chief expert, ludmila.sedova@tinro-center.ru, ORCID 0000-0003-2098-5348

* Соколенко Дмитрий Анатольевич, заведующий лабораторией, dmitriy.sokolenko@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-4431-6571; Седова Людмила Георгиевна, кандидат биологических наук, главный специалист-эксперт, ludmila.sedova@tinro-center.ru, ORCID 0000-0003-2098-5348.

© Соколенко Д.А., Седова Л.Г., 2023

Abstract. Current state of *Chlamys swiftii* settlements and resources of this species in the coastal waters of Primorye (Japan Sea) are considered on the base of surveys conducted in 2007–2021. The data on spatial distribution and abundance of the scallops were obtained by methods of scuba counts at the depth < 20 m. The total biomass and abundance were calculated using the Voronoi diagrams (Thiessen polygons). In total, the data were analyzed for 13457 stations located along the entire coast of Primorye from the Tumannaya/Tumen River mouth to Cape Zolotoy where 2875 scallops were sampled, weighted and measured. The average density of *Ch. swiftii* abundance and biomass distribution was estimated. The scallops do not form dense settlements suitable for commercial fishery. The settlements with the highest mean biomass ($22.5 \pm 5.0 \text{ g/m}^2$) were concentrated in the area from Cape Povorotny to Cape Yuzhny, and the lowest biomass of the settlements was observed in Peter the Great Bay ($3.7 \pm 2.1 \text{ g/m}^2$). The settlements had mosaic distribution. The total stock of the species is estimated as $1.4 \cdot 10^3 \text{ t}$, the commercial stock — as $1.3 \cdot 10^3 \text{ t}$. About 99 % of the total stock was concentrated at the eastern coast of Primorye in the area from Cape Povorotny to Cape Zolotoy. More regular and mass recruitment is noted for the settlements in this area, than in Peter the Great Bay. Percentage of scallops with non-commercial size varied from 1.9 to 19.0 %, by years, whereas the scallops at the age 3–7 years with shell height 70–110 mm dominated in the area from Cape Povorotny to Cape Zolotoy and those at the age 3–6 years with shell height 80–115 mm — in Peter the Great Bay. The modal age of *Ch. swiftii* was 4 years, the oldest specimens reached 7–12 years, by surveys.

Keywords: swifts scallop, *Chlamys swiftii*, clam resources, scallop size, scallop age structure, Japan Sea

For citation: Sokolenko D.A., Sedova L.G. Structure of settlements and resources of swifts scallop (*Chlamys swiftii*, Bivalvia) at the coast of Primorsky Region (Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 127–142. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-127-142. EDN: NZGPEC.

Введение

Двустворчатый моллюск гребешок Свифта — *Chlamys (Swiftopecten) swiftii* (Bernardi, 1858) — тихоокеанский приазиатский низкобореальный сублиторально-элиторальный вид, относится к относительно стенотопным видам, обитающим преимущественно на твердых субстратах, ведет прикрепленный образ жизни [Скарлато, 1981; Лутаенко, Волвенко, 2017]. В прибрежье Приморского края распространение гребешка Свифта впервые было исследовано в 1930-е гг., но запасы вида не оценивались [Разин, 1934]. Наиболее плотные поселения были выявлены на глубинах от 2 до 46 м на участке от зал. Находка до зал. Владимира. В последующие годы изучали распределение, размерный и возрастной состав поселений, рост гребешка Свифта на локальных участках [Понуровский, 1982; Популяционная структура..., 1982*; Понуровский, Силина, 1983; Колпаков, 2005]. По состоянию на 2015 г. ресурсы *Ch. swiftii* в прибрежье Приморского края оценивались в 1,3 тыс. т [Седова, Соколенко, 2015].

В настоящее время недостаточно сведений о распределении, ресурсах и составе поселений гребешка Свифта в прибрежье Приморского края, что имеет большое практическое значение для сохранения ресурсов вида.

Сотрудники ТИНРО осуществляют регулярный мониторинг ресурсов беспозвоночных Приморья, включая гребешок Свифта, а также три других вида морских гребешков семейства Pectinidae: приморский (*Mizuhopecten yessoensis*), японский и бело-розовый (*Ch. farreri*, *Ch. chosonica*)**. Согласно действующим Правилам рыболовства, их промышленный лов в прибрежье Приморского края в настоящее время запрещен***.

* Популяционная структура и рост промысловых и перспективных для промысла морских двустворчатых моллюсков : отчет о НИР / ИБМ АН СССР. № 18278. Владивосток, 1982. 137 с.

** Состояние промысловых ресурсов Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна на 2021 г. (краткая версия). Владивосток: ТИНРО, 2021. 455 с.

*** Правила рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна (с изменениями на 20 июля 2020 г.). 105 с. <https://docs.cntd.ru/document/554767016>.

Обладая сходными органолептическими качествами с гребешком приморским, гребешок Свифта является перспективным объектом марикультуры и может использоваться как сопутствующий вид при экстенсивном культивировании гребешка приморского [Понуровский, 1982; Полякова, 2003; Гостюхина, 2016; Гаврилова, Сухин, 2021].

Цель настоящего исследования — показать распределение и состав поселений гребешка Свифта, оценить его ресурсы в прибрежье Приморского края.

Материалы и методы

Основу настоящей работы составили результаты исследований, выполненных на НИС «Убежденный» БИФ «ВНИРО» в августе-октябре 2007–2021 гг. в прибрежных водах Приморского края от устья р. Туманной на юге до мыса Золотого на севере.

Данные о пространственном распределении и обилии моллюсков были получены с использованием стандартных водолазных гидробиологических методов на глубинах от 1 до 20 м, принятых во ВНИРО [Изучение..., 2005; Седова, Соколенко, 2019, 2021]. На каждой станции фиксировали координаты, глубину, тип грунта и водолаз собирал моллюсков с помощью мерной квадратной рамки площадью 1 м² (в трех повторностях). В разреженных поселениях подсчет и периодический отбор проб животных в зоне видимости осуществляли используя метод трансект.

Для выявления более предпочтительных грунтов для оседания молоди и обитания гребешка Свифта их делили на мягкие (песчаные, илисто-песчаные и илистые субстраты) и твердые, которые подразделяли на несколько категорий: 1 — глыбы, валуны, булыжники, крупные камни; 2 — скалы; 3–5 — грунты с одиночными валунами и камнями (илистые — 3, песчаные — 4, галечные — 5); 6 — галька, мелкие камни, щебень, гравий.

Всего проанализирована информация с 13457 водолазных станций (5911 в зал. Петра Великого и 7546 на участке от мыса Поворотного до мыса Золотого), расположенных на акватории прибрежной зоны Приморского края, за исключением районов, запрещенных для плавания (рис. 1).

Высоту раковины гребешка измеряли штангенциркулем с точностью до 1 мм; прижизненную массу моллюска — на электронных весах с точностью до 1 г у особей массой более 5 г, а у более мелких — с точностью до 0,01 г. Для анализа размерного состава данные группировались в размерные классы с шагом 5 мм. Возраст каждой особи определяли по скульптуре внешней поверхности верхней створки моллюска [Понуровский, Силина, 1983]. Всего было проанализировано 2875 особей, включая осевшую молодь (спат).

Для подготовки картографических материалов применяли ГИС MapInfo Professional [<https://mapinfo.ru/product/mapinfo-professional>]. Численность и запас гребешка Свифта рассчитывали методом диаграмм Вороного (полигоны Тиссена), построенных с учетом батиметрических диапазонов и границ подводных ландшафтов [Седова, Соколенко, 2019, 2021]. Рассчитывали как общий запас вида на разных участках побережья Приморского края, так и его промысловую часть (промысловый запас). Половозрелыми моллюски становятся на 3-м году жизни, когда высота их раковины достигает 70 мм [Понуровский, Силина, 1983]. Эта величина принята за промысловую меру*.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программ Microsoft Excel, STATISTICA [<http://statsoft.ru/>] (определяли средние значения показателей и стандартную ошибку при 5 %-ном уровне значимости).

* Правила рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна (с изменениями на 20 июля 2020 г.). <https://docs.cntd.ru/document/554767016>.

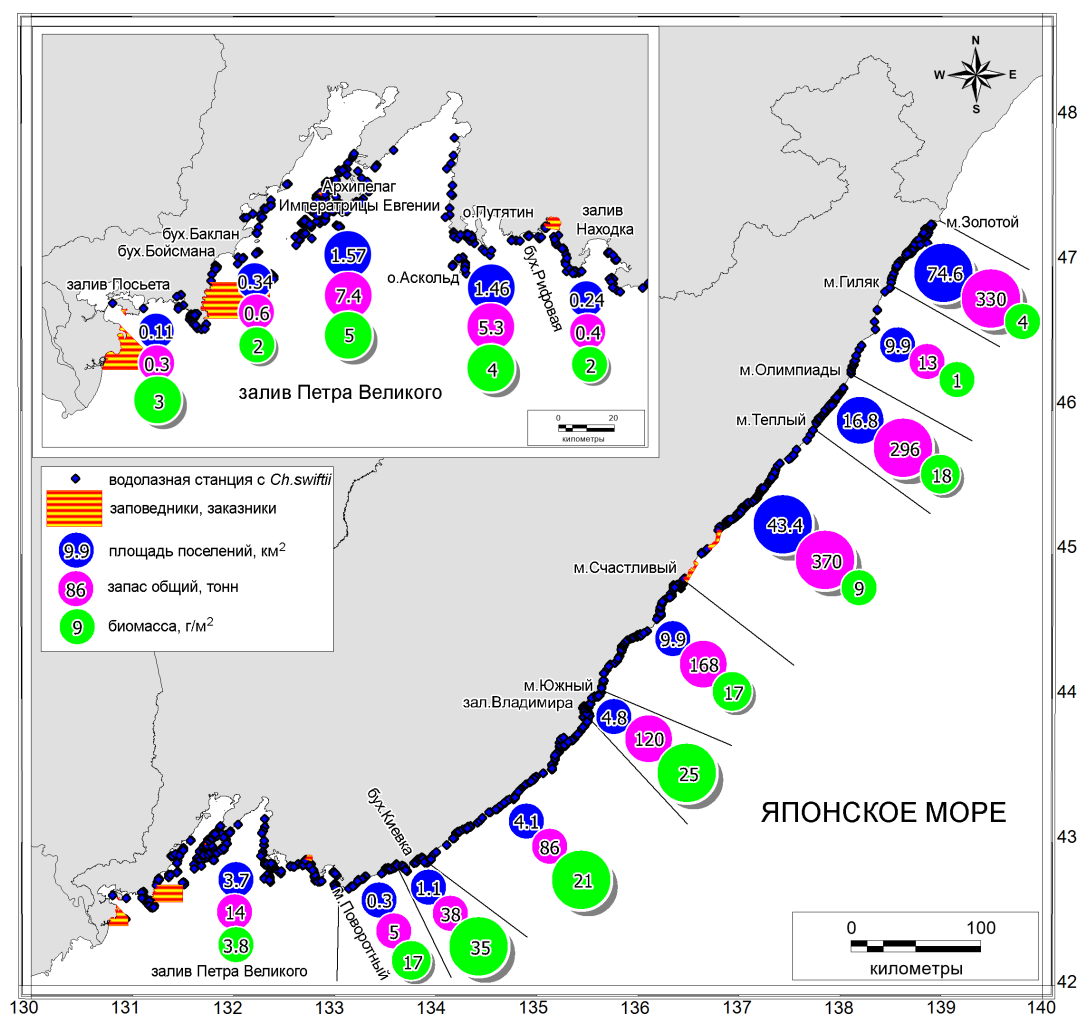


Рис. 1. Карта-схема района работ и некоторые характеристики поселений гребешка Свифта в прибрежье Приморского края

Fig. 1. Scheme of the surveyed area and some parameters of *Ch. swiftii* settlements at the coast of Primorye

Результаты и их обсуждение

Распределение и ресурсы

В зал. Петра Великого из 5911 проанализированных станций твердые грунты были зафиксированы на 1708 станциях (28,9 %). Из них *Ch. swiftii* был обнаружен на 228 станциях (13,3 % от всех станций с твердыми субстратами). К северо-востоку от мыса Поворотного твердые грунты были отмечены на 4264 станциях (56,5 % от общего числа станций). Из них гребешок Свифта был встречен на 726 станциях — 17,0 % от общего количества станций, выполненных на твердых грунтах.

По нашим данным, гребешок Свифта (рис. 2) предпочитает селиться на глыбах, валунах, булыжниках, крупных камнях и выходах коренных пород (скальных плитах и массивах), прикрепляясь биссусными нитями к их твердым поверхностям. Моллюски на этих типах донных субстратов встречались в 61,5 и 49,7 % случаев соответственно в зал. Петра Великого и к северо-востоку от мыса Поворотного (рис. 3). В зал. Петра Великого *Ch. swiftii* чаще обнаруживали на илистых грунтах с выходами скальных пород, одиночными валунами и камнями, а на участке мыс Поворотный — мыс Золотой — на

галечниках, также с выходами коренных пород, одиночными валунами и камнями (рис. 3). В основном моллюски встречались одиночными особями, обитающими на значительном расстоянии друг от друга. Однако на некоторых станциях их количество достигало 15 экз./м² и более.

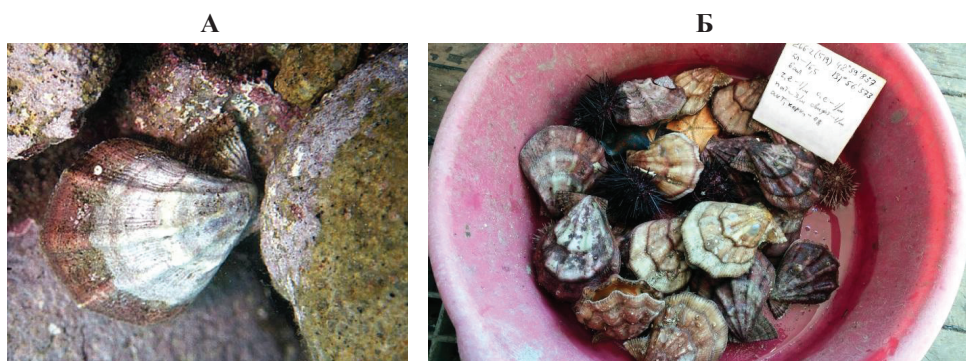


Рис. 2. Гребешок Свифта: А — на дне среди валунов; Б — проба со станции
Fig. 2. *Chlamys swiftii*: А — scallop at the bottom among boulders; Б — a sample from the station

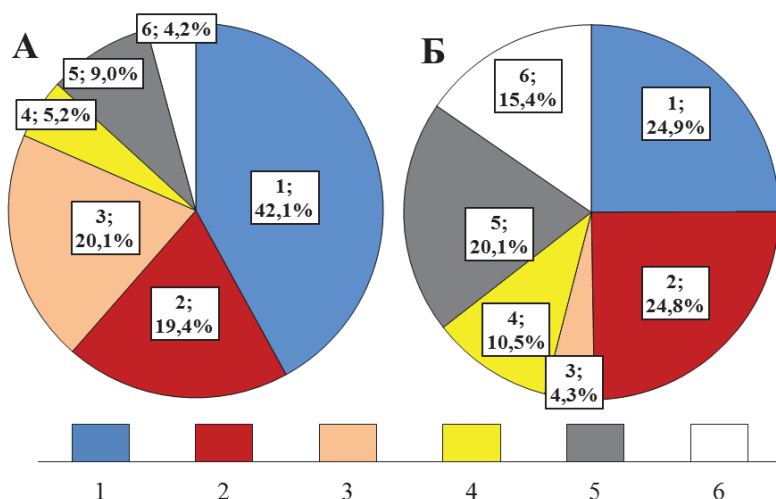


Рис. 3. Встречаемость гребешка Свифта на грунтах разного типа в зал. Петра Великого (А) и на участке от мыса Поворотного до мыса Золотого (Б): 1 — глыбы, валуны, булыжники, крупные камни; 2 — скалы; 3–5 — грунты с выходами скальных пород, одиночными валунами и камнями (илистые — 3, песчаные — 4, галечные — 5); 6 — галька, мелкие камни, щебень, гравий

Fig. 3. Occurrence of *Ch. swiftii* on certain bottom sediments in Peter the Great Bay (А) and in the area between Cape Povorotny and Cape Zolotoy (Б): 1 — blocks, boulders, cobblestones, large stones; 2 — rocks; 3–5 — bottom sediments with rock outcrops, single boulders and stones (muddy — 3, sandy — 4, pebbly — 5); 6 — pebbles, small or crushed stones, gravel

В зал. Петра Великого *Ch. swiftii* формирует небольшие поселения с низкой плотностью (0,01–0,20 экз./м²) и биомассой (до 5 г/м²) в зал. Посыета, бухтах Бойсмана и Рифовая, на акваториях архипелага Императрицы Евгении (о-ва Попова, Русский, Рикорда и др.), о-вов Аскольд и Путятин (см. рис. 1). На скальных грунтах в бухтах Витязь и Бойсмана, акваториях о-вов Русский и Рикорда, зал. Находка в диапазоне глубин 9–16 м нами были отмечены локальные скопления моллюсков плотностью до 5 экз./м² и биомассой до 300 г/м². Наибольшие площади гребешок занимал на акваториях архипелага Императрицы Евгении (1,57 км²) и о-вов Путятин и Аскольд (1,46 км²), здесь же отмечены и более высокие средние значения биомассы (соответственно 5 и 4 г/м²) и общего запаса (7,4 и 5,3 т). На остальных участках площади поселений составляли 0,11–0,34 км², биомасса — 2–3 г/м², а общий запас — 0,3–0,6 т.

В среднем в зал. Петра Великого на глубинах до 20 м биомасса *Ch. swiftii* составляла $3,8 \pm 2,0$ г/м² (с учетом станций, где вид отсутствовал), а биомасса особей промыслового размера — $3,7 \pm 2,1$ г/м² на площади 3,7 км². Общий запас гребешка Свифта оценен в 0,0140 тыс. т, а промысловый — в 0,0137 тыс. т (рис. 4). Однако *Ch. swiftii* обитает и на глубинах свыше 20 м, как показала дражная съемка, проведенная нами в 2012 г., в ходе которой были обнаружены сильно разреженные поселения вида в Амурском и Уссурийском заливах на глубинах соответственно до 34 и 40 м. В данной работе эти результаты не рассматриваем.

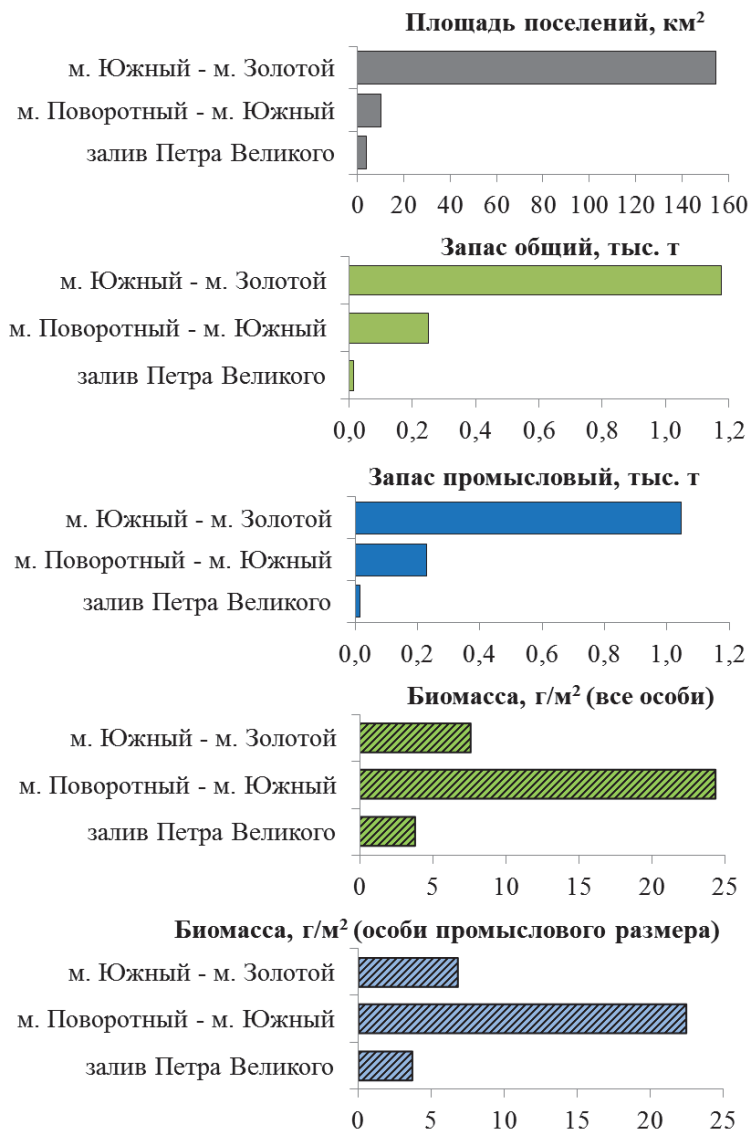


Рис. 4. Соотношение запасов, биомассы и площадей, занимаемых поселениями гребешка Свифта, в прибрежье Приморского края

Fig. 4. Ratio of stock and biomass distribution density of *Ch. swiftii* and the area occupied by their settlements at the coast of Primorye

Плотность поселений гребешка Свифта на акватории от мыса Поворотного до мыса Золотого в разных районах варьировала от 0,03 до 0,40 экз./м², а биомасса — от 3 до 42 г/м². На отдельных станциях в бухте Киевка, зал. Владимира, районе мыса Счастливого плотность моллюсков достигала 5–8 экз./м², а биомасса — более 500 г/м².

Площадь, занятая поселениями гребешка Свифта на участке мыс Поворотный — мыс Южный, составила 10,3 км², общий запас — 0,250 тыс. т; промысловый — 0,230 тыс. т, средняя биомасса всех особей — $24,4 \pm 6,0$ г/м², а особей промыслового размера — $22,5 \pm 5,0$ г/м² (см. рис. 1, 4). Наиболее высокие средние значения биомассы вида зафиксированы для бухты Киевка и участка от зал. Владимира до мыса Южного, соответственно 35 и 25 г/м², где общий запас составил 38 и 120 т на площадях 1,1 и 4,8 км² (рис. 1).

Наибольшую площадь (155 км²) разреженные поселения гребешка Свифта занимают на участке от мыса Южного до мыса Золотого, здесь же отмечен и максимальный запас вида: общий — 1,178 тыс. т; промысловый — 1,054 тыс. т (рис. 1, 4). Однако средняя биомасса *Ch. swiftii* на этом участке более чем в 3 раза ниже, чем на предыдущем, и составляет $7,6 \pm 3,0$ и $6,8 \pm 3,0$ г/м² соответственно всех особей и особей промыслового размера (рис. 4).

Наиболее высокие средние значения биомассы гребешка Свифта (17–18 г/м²) отмечены на участках от мыса Южного до мыса Счастливого (включая бухту Джигит) и от мыса Теплого до мыса Олимпиады, на других участках эти показатели не превышают 9 г/м² (см. рис. 1).

Общий запас гребешка Свифта в поселениях, занимающих разные площади (9,9–74,6 км²), варьирует от 13 до 370 т. Самые низкие значения биомассы (1 г/м²) и общего запаса (13 т) рассчитаны для акваторий от мыса Олимпиады до мыса Гиляк, где поселения моллюска занимают такую же площадь, как и в районе от мыса Южного до мыса Счастливого (9,9 км²) (рис. 1). Общий и промысловый запас *Ch. swiftii* на участке от мыса Поворотного до мыса Золотого на площади 165 км² оценен соответственно в 1,428 и 1,275 тыс. т.

Состав поселений

В зал. Петра Великого гребешок Свифта встречался размером от 5 до 122 мм и массой от 0,03 до 360,0 г (табл. 1). В разные годы средние значения высоты раковины и общей массы гребешка варьировали в пределах 87,0–93,9 мм и 125,0–138,3 г, составляя в среднем $92,5 \pm 0,7$ мм и $133,1 \pm 2,5$ г.

В популяции доминировали особи размером от 80 до 115 мм, доля моллюсков непромыслового размера изменялась от 1,9 (2018 г.) до 16,7 % (2007 г.) (рис. 5, табл. 1). Возраст моллюсков варьировал от 0,3 (осевший спат) до 12,0 года, в основном преобладали 3–6-летние особи (рис. 6, табл. 1). Средний возраст гребешков в поселениях разных лет составлял 4,2–4,5, за период исследований — $4,4 \pm 0,1$ года (модальное значение — 4 года).

Наиболее высокая доля (16,7 %) особей непромыслового размера была отмечена в 2007 г. (табл. 1). Непромысловая часть поселений состояла в основном из особей в возрасте до двух лет (включительно), доля которых составляла 14,8 % от общей численности. Особи старше 8 лет встречались в 2007, 2017 и 2018 гг. (рис. 6, табл. 1). Максимальный возраст — 12 лет, доля таких особей от общей численности составляла 0,7 и 0,5 % соответственно в 2017 и 2018 гг.

Ch. swiftii, обитающий на участке от мыса Поворотного до мыса Золотого, преимущественно имел размеры от 2 до 123 мм и массу от 0,1 до 377,0 г (табл. 2). Моллюски в возрасте 12 лет, имеющие большие размеры, были встречены единично в районе мыса Южного (высота раковины 128 и 144 мм, масса — 303 и 396 г соответственно в 2017 и 2019 гг.) и мыса Счастливого (высота раковины 135 мм, масса — 344 г в 2016 г.).

Наименьшие средние значения высоты раковины (83,4 мм) и массы особи (104,1 г) были выявлены в 2014 г., наибольшие — в 2012 г. (92,6 мм) и в 2019 г. (143,5 г), составляя в среднем соответственно $89,3 \pm 0,4$ мм и $129,8 \pm 1,3$ г.

В размерном составе поселений на протяжении большей части времени доминировали особи с высотой раковины от 70 до 110 мм. Доля моллюсков непромыслового

Биостатистические параметры гребешка Свифта в разные годы (зал. Петра Великого)

Биostatistical parameters of *Ch. swiftii* in Peter the Great Bay, by years

Таблица 1

Table 1

Пара-метр	Год	N, экз.	Мини-мум	Макси-мум	Среднее ± стандартная ошибка	В поселении			Возраст, годы		Модальные группы		Встречаемость особей, %	
						Доля особей промыслового размера, %	Размеры, мм	Доля, %	Пределы	Средний ± стандартная ошибка	Возраст, годы	Доля, %	0,3–2,0 г	8 лет и более
H, мм	2007	54	5	118	87,0 ± 3,9	16,7	80–85	11,1	0,3–9,0	4,5 ± 0,3	0,3–1,0	9,3	14,8	3,7
W, г								42,6						
H, мм	2015	84	42	118	93,3 ± 1,5	2,4	80–95	46,4	1,0–7,0	4,3 ± 0,1	3–6	96,4	2,4	–
W, г								33,3						
H, мм	2017	144	53	114	92,1 ± 1,1	7,6	85–110	69,4	2,0–12,0	4,3 ± 0,2	3–5	70,8	9,7	8,3
W, г								69,4						
H, мм	2018	216	12	122	93,9 ± 0,9	1,9	90–100	49,1	0,3–12,0	4,2 ± 0,1	3–5	85,6	2,8	6,5
W, г								49,1						

размера варьировала от 2,8 (2009 г.) до 19,0 % (2014 г.) (табл. 2, рис. 5). В 2011, 2017 и 2019 гг. в непромысловой части поселений особи в возрасте до 2 лет составляли 10,7–12,8 % общей численности моллюсков.

Ch. swiftii встречался в возрасте до 12 лет, наиболее массово — от 3 до 7 лет (табл. 2, рис. 6). Средний возраст моллюсков в поселениях разных лет варьировал от 3,6 (2008 г.) до 5,8 года (2016 г.), составляя в среднем за все годы — $4,9 \pm 0,1$ года (модальное значение — 4 года). Доля моллюсков в возрасте до 2 лет в поселениях разных лет изменялась от 0,8 (2009 г.) до 12,8 % (2011 г.), а старшевозрастных групп — от полного отсутствия в 2008 г. до 25,1 % в 2016 г. (рис. 6, табл. 2). Особи в возрасте 12 лет были встречены в 2009, 2015–2017 и 2019 гг., их доля в поселениях варьировала от 0,6 (2015 г.) до 1,9 % (2017 г.).

В течение продолжительного времени (2007–2021 гг.) в прибрежных водах Приморского края в популяции гребешка Свифта преобладали особи промыслового размера. Размерный состав поселений преимущественно был бимодальным, хотя в отдельные годы наблюдалось моно- либо полимодальное распределение, последнее было зафиксировано только на акваториях к северо-востоку от мыса Поворотного (см. табл. 1, 2, рис. 5).

Мономодальное распределение типично при неравномерном ежегодном пополнении поселений, которое может быть незначительным или отсутствовать [Золотарев, 2016]. При этом наблюдается снижение доли ранневозрастных особей и постепенное смещение вправо преобладающих размерных классов за счет естественного роста моллюсков. В отдельные годы появлялись высокоурожайные поколения и, при наличии благоприятных условий, наблюдалось массовое оседание молоди, обеспечивающее существование поселений *Ch. swiftii* в течение длительного периода, как было выявлено и для *Ch. islandica* [Золотарев, 2016].

В таких условиях распределение размерных классов в поселениях гребешка Свифта становилось бимодальным и со-

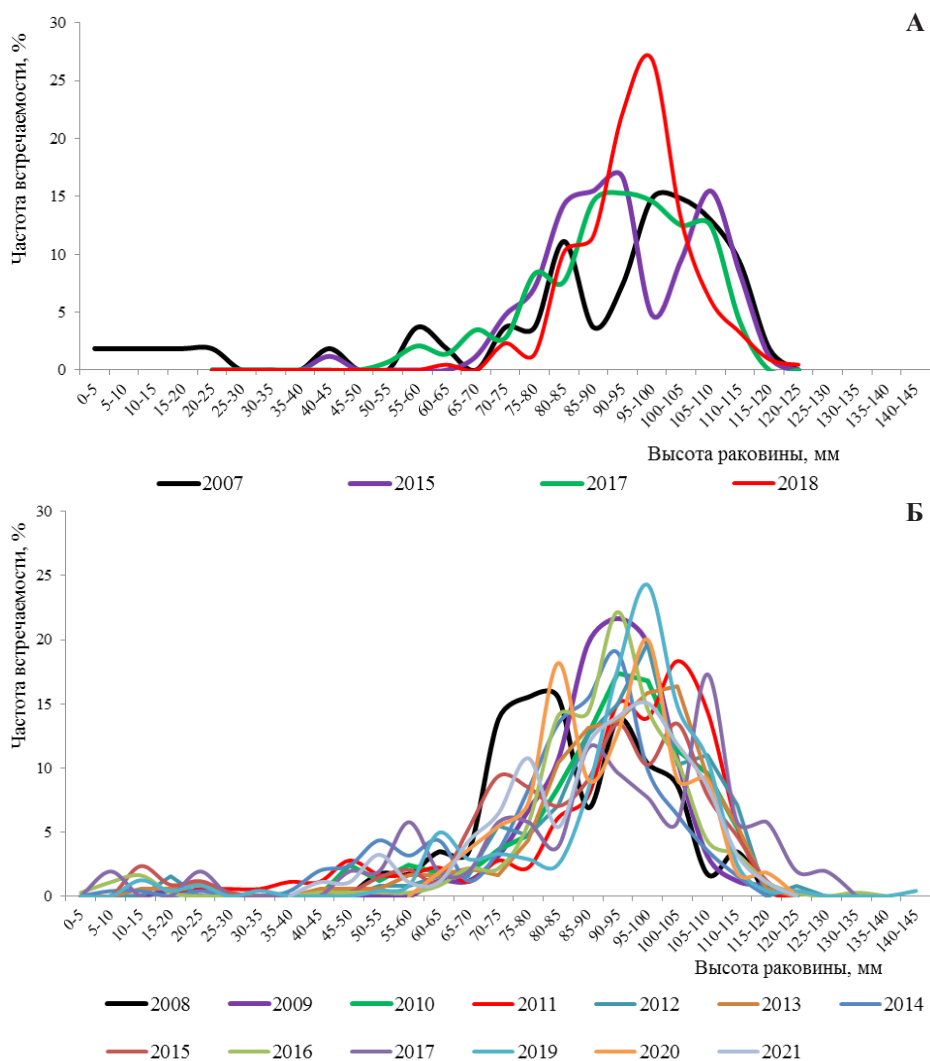


Рис. 5. Размерный состав поселений гребешка Свифта в прибрежье Приморского края в разные годы: А — зал. Петра Великого; Б — мыс Поворотный — мыс Золотой

Fig. 5. Size structure of *Ch. swiftii* settlements at the coast of Primorye, by years: А — Peter the Great Bay; Б — the area between Cape Povorotny — Cape Zolotoy

хранялось таким в течение нескольких лет, пока молодь не становилась половозрелой (3 года) при достижении размера 70 мм. Помимо возникающего модального пика в левой части гистограммы, в ее правой части, в области промысловых размеров, наблюдался постоянный пик, сформированный большим количеством моллюсков старших возрастов, имеющих сходный размер, обусловленный эффектом «накопления возрастов» [Буяновский, 2004]. В разные годы в зал. Петра Великого бимодальное распределение было отмечено в 2007 и 2015 гг., к северо-востоку от мыса Поворотного — почти во все годы, исключая 2009, 2010, 2020 (мономодальное распределение) и 2015, 2017 и 2019 (полимодальное распределение) (рис. 5, табл. 1, 2). Смена бимодального распределения на полимодальное, а не на мономодальное происходила в отдельные годы в связи с тем, что на участке к северо-востоку от мыса Поворотного резких колебаний численности пополнения не наблюдалось.

Возрастной состав поселений в основном имел мономодальный вид. Кривая возрастного состава в зал. Петра Великого была бимодальна только в 2007 г. (рис. 6, табл. 1). К северо-востоку от мыса Поворотного бимодальный тип кривой был зафиксирован

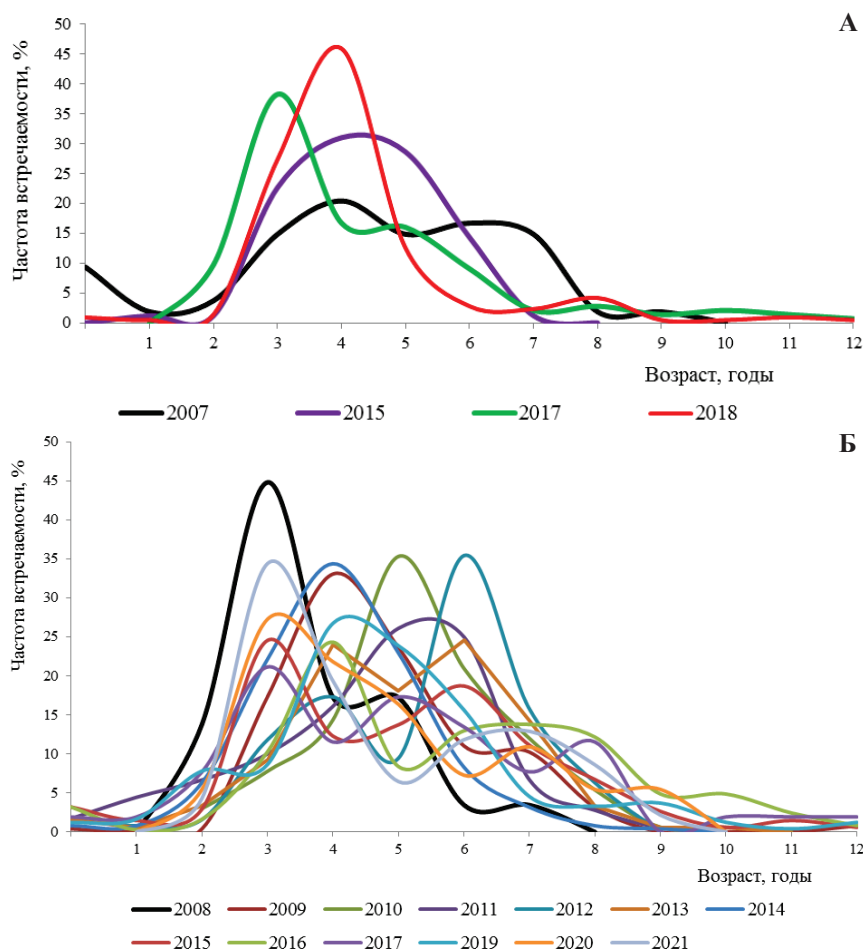


Рис. 6. Возрастной состав поселений гребешка Свифта в прибрежье Приморского края в разные годы: А — зал. Петра Великого; Б — мыс Поворотный — мыс Золотой

Fig. 6. Age structure of *Ch. swiftii* settlements at the coast of Primorye, by years: А — Peter the Great Bay; Б — the area between Cape Povorotny — Cape Zolotoy

в 2012, 2016 и 2021 гг. (рис. 6, табл. 2). Это объясняется тем, что в годы, предшествующие этим, происходило массовое оседание молоди.

Модальный возраст моллюсков за период исследований в прибрежных водах Приморского края составлял 4 года. Такой же показатель был получен и в 1980-е гг. в зал. Петра Великого*.

Исследование размерного и возрастного составов поселений *Ch. swiftii* показало, что они в течение длительного времени находились в относительно стабильном состоянии с различным уровнем пополнения, наиболее регулярным на участке от мыса Поворотного до мыса Золотого. В зал. Петра Великого мелкоразмерные особи в возрасте до 2 лет были более многочисленны в 2007 и 2017 гг. (14,8 и 9,7 % общей численности), а к северо-востоку от мыса Поворотного (более 10 %) — в 2011, 2017 и 2019 гг., в остальные годы их доля варьировала от 0,8 до 7,6 % (см. табл. 1, 2). Низкие показатели пополнения могут быть обусловлены мозаичностью распределения и малочисленностью производителей, не позволяющей создать массовый личиночный пул, а также ограниченностью биотопов, пригодных для оседания и выживания молоди.

* Популяционная структура... [1982].

Таблица 2

Биостатистические параметры гребешка Свифта в разные годы (акватории от мыса Поворотного до мыса Золотого)

Table 2

Biostatistical parameters of *Ch. swiftii* in the area between Cape Povorotny and Cape Zolotoy, by years

Параметр	Год	N, экз.	Минимум	Максимум	Среднее ± стандартная ошибка	В поселении			Возраст, годы		Модальные группы		Встречаемость особей, %		
						Доля особей промыслового размера, %	Размеры, мм	Доля, %	Пределы	Средний ± стандартная ошибка	Возраст, годы	Доля, %	0,3–2,0 г	2,0–8 г	8 лет и более
H, мм	2008	58	55	115	85,3 ± 1,8	10,3	70–85	44,8	2,0–7,0	3,6 ± 0,2	3–5	79,3	1,8	–	–
W, г			30,0	315	112,0 ± 7,7		90–105	32,8							
H, мм	2009	254	18	118	91,6 ± 0,7	2,8	80–105	82,3	0,3–12,0	4,8 ± 0,1	3–5	74,0	0,8	3,9	3,9
W, г			1,1	320	127,3 ± 3,0										
H, мм	2010	167	46	116	91,5 ± 1,1	9,6	80–110	76,0	2,0–10,0	5,3 ± 0,1	4–6	70,7	3,0	6,6	6,6
W, г			12,0	360	130,3 ± 5,1										
H, мм	2011	180	25	116	91,3 ± 1,4	13,3	45–50	2,8	0,3–9,0	4,7 ± 0,1	3–6	77,2	12,8	3,3	3,3
W, г			1,0	290	138,4 ± 5,6		90–110	61,7							
H, мм	2012	127	18	123	92,6 ± 1,4	6,3	15–20	1,6	0,3–8,0	5,3 ± 0,1	3–4	29,1	3,9	3,9	3,9
W, г			0,5	310	137,6 ± 5,8		80–115	82,7			6–7	51,2			
H, мм	2013	183	15	119	91,4 ± 1,3	9,3	20–25	1,1	0,3–10,0	5,1 ± 0,1	4–7	80,9	5,4	4,4	4,4
W, г			1,0	310	126,3 ± 4,6		80–110	78,7							
H, мм	2014	253	10	115	83,4 ± 1,1	19,0	50–65	11,9	0,3–9,0	4,1 ± 0,1	3–5	79,4	6,3	1,2	1,2
W, г			0,1	294	104,1 ± 3,5		75–105	72,3							
H, мм	2015	342	12	122	86,5 ± 1,1	14,9	10–15	2,3	0,3–12,0	5,0 ± 0,1	3–7	80,4	7,6	12,0	12,0
W, г			0,1	377	126,2 ± 3,9		70–80	17,8							
H, мм	2016	370	2	135	89,3 ± 1,0	7,3	10–15	1,6	0,3–12,0	5,8 ± 0,1	3–4	34,6	5,1	25,1	25,1
W, г			0,1	377	140,0 ± 3,4		80–105	75,7			6–8	38,9			
H, мм	2017	52	10	128	89,8 ± 3,3	17,3	5–10	1,9	0,3–12,0	5,0 ± 0,3	3–6	63,5	11,5	17,3	17,3
W, г			0,5	327	141,2 ± 12,6		20–25	1,9							
H, мм	2019	243	13	144	91,6 ± 1,2	11,9	10–15	1,2	0,3–12,0	4,9 ± 0,1	4–6	66,3	10,7	9,9	9,9
W, г			0,5	396	143,5 ± 4,2		60–65	4,9							
H, мм	2020	55	64	117	91,2 ± 1,6	5,5	80–110	78,2	2,0–9,0	4,7 ± 0,3	3–5	65,5	5,5	10,9	10,9
W, г			47,0	288	137,4 ± 8,2		80–110	75,7							
H, мм	2021	93	45	116	89,2 ± 1,7	11,8	50–55	3,2	2,0–9,0	4,7 ± 0,2	3–4	53,8	4,3	10,8	10,8
W, г			13,0	305	129,1 ± 8,1		70–110	83,9			6–8	33,3			

В прибрежье Приморского края личинки гребешка Свифта появляются во 2-й декаде июля — начале сентября [Размножение..., 1980; Понуровский, Силина, 1983; Полякова, 2003; Ляшенко, 2008; Гостюхина, 2016]. Оседание личинок в донные поселения взрослых особей начинается спустя пару недель после их появления в планктоне. В первые месяцы жизни моллюсков, после закрепления осевших личинок биссусом на твердом субстрате, наблюдается их интенсивный рост. Из-за неодновременности оседания личинок размеры молоди осенью колеблются от 2 до 20 мм. До наступления полового созревания у моллюсков (3 года) сохраняется высокий темп роста (21–26 мм в год), который затем постепенно снижается и у особей старше 8 лет составляет примерно 1 мм в год [Понуровский, 1982; Понуровский, Силина, 1983].

Максимальный возраст гребешков в поселениях варьировал от 7 до 12 лет в разные годы (табл. 1, 2). В возрасте 12 лет наиболее крупная особь *Ch. swiftii* на акватории к северо-востоку от мыса Поворотного имела высоту раковины 144 мм, массу — 396 г, а в зал. Петра Великого — 122 мм и 360 г. По литературным данным [Понуровский, 1982; Понуровский, Силина, 1983] в различных районах зал. Петра Великого в 1980-е гг. максимальная высота раковины варьировала от 105 мм у гребешков в возрасте 6–9 лет до 118 мм (возраст — 13 лет) и 121 мм (10 лет) соответственно в зал. Восток и акваториях о. Путятин. В 2000-е гг. в районе мыса Счастливого максимальная высота раковины гребешка Свифта в возрасте 7 лет составляла 107 мм [Колпаков, 2005].

Разрозненные поселения гребешка Свифта обнаружены вдоль всего побережья Приморского края, общий запас вида оценен в 1,4 тыс. т, промысловый — 1,3 тыс. т, на том же уровне, что и в 2015 г. [Седова, Соколенко, 2015]. Около 99 % от суммарного запаса в прибрежье Приморского края сосредоточено на участке от мыса Поворотного до мыса Золотого.

В первую очередь это связано с тем, что зал. Петра Великого имеет риасовый тип побережья с расчлененным рельефом [Мануйлов, 1990], изобилующий заливами и бухтами. Площадь дна залива с глубинами менее 20 м составляет около 1500 км², по нашим данным около 87 % этой площади (1305 км²) занято мелкодисперсными мягкими донными отложениями, в то время как крупнодисперсными твердыми — лишь около 13 % (195 км²). К северо-востоку от мыса Поворотного степень изрезанности побережья гораздо ниже, площадь дна с глубинами менее 20 м оценена примерно в 950 км², доминируют твердые субстраты, доля которых составляет 55 % (520 км²), а мягких — 45 % (430 км²).

Также подобная диспропорция распространения моллюсков между этими районами связана с биогеографическим генезисом вида. Температурный оптимум низкобореальных видов находится в диапазоне от 9 до 13 °C [Скарлато, 1981], и нерест гребешка Свифта к северо-востоку от мыса Поворотного происходит при температуре воды 10–13 °C, как и у других низкобореальных видов [Полякова, 2003]. В северо-западной части Японского моря наибольших значений в году температура воды достигает в августе и в зал. Петра Великого может превышать 20 °C [Гайко, 2009; Лучин, Тихомирова, 2012], что создает неблагоприятные условия для обитания *Ch. swiftii*. К северо-востоку от мыса Поворотного происходит снижение средней летней поверхностной температуры воды от 18,4 °C в районе мыса Поворотного до 15,0 °C в районе мыса Золотого, что обусловлено влиянием холодного Приморского течения [Гайко, 2009]. В придонном слое температура воды на глубинах до 50 м варьирует от 15 до 3 °C в районе бухты Валентина и от 12 до 2 °C в районе мыса Золотого [Рачков, 2000].

Наиболее высокие значения биомассы гребешка Свифта зафиксированы в бухте Киевка и зал. Владимира, а для зал. Петра Великого — на акваториях архипелага Императрицы Евгении (см. рис. 1). В районе о. Русского максимальная численность личинок в отдельные годы достигала 20 экз./м³, в бухте Киевка — от 14 до 1482 экз./м³; среднее количество спата в разные годы значительно варьировало, составляя около

0,2 экз./коллектор в районе о. Русского и от 4,0 до 163,0 экз./коллектор в бухте Киевка [Полякова, 2003; Ляшенко, 2008; Гостюхина, 2016]. Наличие маточного стада и личинок в планктоне позволяет считать эти участки пригодными для экстенсивного выращивания молоди гребешка Свифта наряду с гребешком приморским. Более низкую численность личинок *Ch. swiftii* в планктоне акваторий о. Русского можно объяснить малой плотностью имеющегося там поселения моллюсков, биомасса которых в 7 раз меньше, чем в бухте Киевка (рис. 1).

Заключение

Гребешок Свифта встречается вдоль всего побережья Приморского края, общий и промысловый запас вида оценены соответственно в 1,4 и 1,3 тыс. т. Основные поселения сосредоточены на участке от мыса Поворотного до мыса Золотого, ресурсы в зал. Петра Великого незначительны. *Ch. swiftii* распространен на большой площади мозаично, селится преимущественно на крупных валунах, булыжниках, глыбах или скалах. Значимых скоплений с плотностью, позволяющей вести промысел, не образует.

Максимальный возраст гребешка Свифта составил 12 лет, модальное значение — 4 года. В течение периода, сопоставимого со сроками жизни моллюсков, преобладали особи с высотой раковины 70–115 мм, несмотря на различия в размерном составе в отдельных поселениях гребешка Свифта в разные годы. Доля особей непромыслового размера варьировала от 1,9 до 19,0 %, что свидетельствует о том, что естественное пополнение поселений молодью в разные годы происходит с различной интенсивностью.

Увеличения ресурсов этого ценного промыслового вида, учитывая его быстрый рост в первые годы жизни, можно достичь посредством его промышленного разведения.

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 valuable comments, which were taken into account when preparing the manuscript for publication.

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 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 — Д.А. Соколенко, Л.Г. Седова; сбор биологического материала, оценка ресурсов — Д.А. Соколенко; обработка данных, обсуждение результатов исследования и редактирование — совместно; написание текста — Л.Г. Седова.

Concept of the study — D.A. Sokolenko, L.G. Sedova; samples collection, stock assessment — D.A. Sokolenko; text writing — L.G. Sedova; data processing, results discussing, and the manuscript editing — jointly.

Список литературы

Буяновский А.И. Пространственно-временная изменчивость размерного состава в популяциях двустворчатых моллюсков, морских ежей и десятиногих ракообразных : моногр. — М. : ВНИРО, 2004. — 306 с.

Гаврилова Г.С., Сухин И.Ю. Перспективные объекты марикультуры Приморья // Рыб. хоз-во. — 2021. — № 1. — С. 82–93. DOI: 10.37663/0131-6184-2021-1-82-93.

Гайко Л.А. Изменчивость температуры воды и воздуха вдоль побережья Приморского края за период инструментальных наблюдений // Морские прибрежные экосистемы. Водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки : мат-лы Третьей Междунар. науч.-практ. конф. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2009. — С. 99–105.

Гостюхина О.Б. Перспективы культивирования приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1857) и гребешка Свифта *Swiftopecten swifti* (Bernardi, 1858) в бухте Киевка (Японское море) // Морские биологические исследования: достижения и перспективы : сб. мат-лов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроч. к 145-летию Севастопольской биологической станции. — Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. — Т. 3. — С. 360–363.

Золотарев П.Н. Биология и промысел исландского гребешка *Chlamys islandica* в Баренцевом и Белом морях : моногр. — Мурманск : ПИНРО, 2016. — 288 с.

Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки / сост. Е.И. Блинова, О.Ю. Вилкова, Д.М. Милютин и др. — М. : ВНИРО, 2005. — Вып. 3 : Методы ландшафтных исследований и оценки запасов донных беспозвоночных и водорослей морской прибрежной зоны. — 139 с.

Колпаков Е.В. Распределение, размерно-возрастной состав и рост двустворчатого моллюска *Chlamys swiftii* в прибрежных водах северного Приморья // Вопр. рыб-ва. — 2005. — Т. 6, № 4(24). — С. 666–674.

Лутаенко К.А., Волвенко И.Е. Малый атлас двустворчатых моллюсков залива Петра Великого (Японское море). — Владивосток : ДВФУ, 2017. — 140 с.

Лучин В.А., Тихомирова Е.А. Типовые распределения океанографических параметров в заливе Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 169. — С. 134–146.

Ляшенко С.А. Состояние естественного воспроизводства двустворчатых моллюсков в прибрежной зоне южного Приморья и перспективы их культивирования : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 2008. — 22 с.

Мануйлов А.А. Подводные ландшафты залива Петра Великого : моногр. — Владивосток : ДВГУ, 1990. — 168 с.

Полякова С.А. Гребешок Свифта (*Swiftopecten swifti*) как объект марикультуры // Комплексные исследования и переработка морских и пресноводных гидробионтов : тез. докл. Всерос. конф. мол. ученых. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2003. — С. 69–71.

Понуровский С.К. Гребешок Свифта как возможный объект разведения // Биология шельфовых зон Мирового океана : тез. докл. 2-й Всесоюз. конф. по мор. биологии. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1982. — Ч. 3. — С. 82–84.

Понуровский С.К., Силина А.В. Определение возраста и темпа линейного роста гребешка Свифта // Биол. моря. — 1983. — № 1. — С. 20–24.

Разин А.И. Морские промысловые моллюски южного Приморья : Изв. ТИРХ. — 1934. — Т. 8. — 108 с.

Размножение иглокожих и двустворчатых моллюсков : моногр. / В.Л. Касьянов, Л.А. Медведева, Ю.М. Яковлев, С.Н. Яковлев ; под ред. С.А. Милейковского. — М. : Наука, 1980. — 207 с.

Рачков В.И. Характеристика гидрохимических условий верхней зоны шельфа северного Приморья в сезонном аспекте // Изв. ТИНРО. — 2000. — Т. 127. — С. 61–69.

Седова Л.Г., Соколенко Д.А. Ресурсы гребешка Свифта в прибрежье Приморского края // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование : мат-лы 6-й Всерос. науч.-практ. конф. — Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2015. — Ч. 1. — С. 132–135.

Седова Л.Г., Соколенко Д.А. Ресурсы и состав поселений модиолуса курильского *Modiolus kurilensis* в заливе Петра Великого (Японское море) // Мор. биол. журн. — 2021. — Т. 6, № 2. — С. 83–94. DOI: 10.21072/mbj.2021.06.2.06

Седова Л.Г., Соколенко Д.А. Состояние поселений, ресурсы и промысел мидии Грея *Crenomytilus grayanus* в прибрежье Приморского края (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 198. — С. 33–45. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-33-45.

Скарлато О.А. Двустворчатые моллюски умеренных широт западной части Тихого океана : моногр. — Л. : Наука, 1981. — 480 с.

References

- Buyanovsky, A.I.**, *Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' razmernogo sostava v populyatsiyakh dvustvorchatykh mollyuskov, morskikh ezhei i desyatinogikh rakoobraznykh* (Spatio-temporal Variability of Size Structure in Populations of Bivalve Mollusks, Sea Urchins, and Decapod Crustaceans), Moscow: VNIRO, 2004.
- Gavrilova, G.S. and Sukhin, I.Yu.**, Prospective species for marine aquaculture in Primorski krai, *Rybn. Khoz.*, 2021, no. 1, pp. 82–93. doi 10.37663/0131-6184-2021-1-82-93
- Gayko, L.A.**, Variability of the water and air temperature along the coast of Primorye for the period of instrumental observations, in *Marine coastal ecosystems. Seaweeds, invertebrates and products of their processing: Proc. of Third Intern. Sci.-Pract. Conf.*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2009, pp. 99–105.
- Gostyuhina, O.B.**, Prospects of Japanese scallop *Mizuchopecten yessoensis* (Jay, 1857) and Swift's scallop *Swiftopecten swifti* (Bernardi, 1858) cultivation in Kievka Bay (Sea of Japan), in *Sb. mater. Vseross. nauchno-prakt. konf. mezhdunar. uchastiem, priuroch. k 145-letiyu Sevastopol. biol. stn. "Morskie biologicheskie issledovaniya: dostizheniya i perspektivy"* (Collect. Mater. All-Russ. Sci. Pract. Conf. Int. Participation, Commem. 145th Anniv. Sevastopol Biol. Stn. "Marine Biological Research: Achievements and Prospects"), Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2016, vol. 3, pp. 360–363.
- Zolotarev, P.N.**, *Biologiya i promysel islandskogo grebeshka Chlamys islandica v Barentsevom i Belom moryakh* (Biology and Harvesting of the Icelandic Scallop *Chlamys islandica* in the Barents and White Seas), Murmansk: PINRO, 2016.
- Blinova, E.I., Vilkova, O.Yu., Milyutin, D.M., Pronina, O.A., and Shtrik, V.A.**, Study of ecosystems of fishery waterbodies, collection and processing of data on aquatic biological resources, equipment and technology of their harvesting and processing, in *Metody landshaftnykh issledovaniy i otsenki zapasov donnykh bespozvonochnykh i vodoroslei morskoi pribrezhnoi zony* (Methods of Landscape Studies and Assessment of Stocks of Benthic Invertebrates and Algae in the Marine Coastal Zone), Moscow: VNIRO, 2005, vol. 3.
- Kolpakov, E.V.**, The distribution, size-age composition and growth of the bivalve mollusk *Chlamys swiftii* in coastal water northern Primorye, *Vopr. Rybolov.*, 2005, vol. 6, no. 4, pp. 666–674.
- Lutaenko, K.A. and Volvenko, I.E.**, *Atlas of Common Bivalve Mollusks of Peter the Great Bay (Sea of Japan)*, Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2017.
- Luchin, V.A. and Tikhomirova, E.A.**, Typical distribution of oceanographic parameters in Peter the Great Bay (Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 169, pp. 134–146.
- Lyashenko, S.A.**, The state of natural reproduction of bivalve mollusks in the coastal zone of southern Primorye and the prospects for their cultivation, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2008.
- Manuylov, A.A.**, *Podvodnyye landshafty zaliva Petra Velikogo* (Underwater landscapes of Peter the Great Bay), Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 1990.
- Polyakova, S.A.**, Swift's scallop (*Swiftopecten swifti*) as an object of mariculture, in *Tez. dokl. Vseros. konf. molodykh uchenykh "Kompleksnyye issledovaniya i pererabotka morskikh i presnovodnykh gidrobiontov"* (Proc. All-Russ. Conf. Young Sci. "Comprehensive research and processing of marine and freshwater aquatic organisms"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2003, pp. 69–71.
- Ponurovsky, S.K.**, The scallop *Swiftopecten swifti* as a possible object for cultivation, in *Biologiya shel'fovyykh zon Mirovogo okeana. Ch. 3: tez. dokl. 2-y Vsesoyuz. konf. po mor. biologii* (Biology of shelf zones of the World Ocean. Vol. 3: Abstracts of papers submitted to the 2nd All-Union Conference of Marine Biology), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1982, pp. 82–84.
- Ponurovsky, S.K. and Silina, A.V.**, The determination of age and linear growth rate in the scallop *Swiftopecten swifti*, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1983, no. 1, pp. 20–24.
- Razin, A.I.**, Marine commercial mollusks of southern Primorsky Krai, *Izv. Tikhookean. Inst. Rybn. Khoz.*, 1934, vol. 8.
- Kasyanov, V.L., Medvedeva, L.A., Yakovlev, Yu.M., and Yakovlev, S.N.**, *Razmnzheniye iglokozhih i dvustvorchatykh mollyuskov* (Reproduction of echinoderms and bivalve molluscs), Mileikovskiy, S.A., ed., Moscow: Nauka, 1980.

Rachkov, V.I., The characteristic of hydrochemical conditions of the upper zone of the northern Primorye shelf in seasonal aspect, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2000, vol. 127, pp. 61–69.

Sedova, L.G. and Sokolenko, D.A., Resources of Swift's scallop in the coastal region of Primorsky Krai, in *Mater. 6 Vseross. Nauchno-Pract. Conf. "Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie"* (Proc. 6th All-Russ. Sci. Pract. Conf. "Natural Resources, Their Current State, Conservation, and Commercial and Technical Use"), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatskii Gos. Tekh. Univ., 2015, part 1, pp. 132–135.

Sedova, L.G. and Sokolenko, D.A., Resources and structure of horsemussel *Modiolus kurilensis* settlements in Peter the Great Bay (the Sea of Japan), *Marine Biological Journal*, 2021, vol. 6, no. 2, pp. 83–94. doi 10.21072/mbj.2021.06.2.06

Sedova, L.G. and Sokolenko, D.A., State of settlements, resources and fishery of Gray mussel *Crenomytilus grayanus* at the coast of Primorsky Region (Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 198, pp. 33–45. doi 10.26428/1606-9919-2019-198-33-45

Skarlato, O.A., *Dvustvorchatye mollyuski umerennykh shirot zapadnoi chasti Tikhogo okeana* (Bivalves in Temperate Latitudes of the Western Pacific Ocean), Leningrad: Nauka, 1981.

Otchet Nauchno-Issled. Rab. "Populyatsionnaya struktura i rost promyslovykh i perspektivnykh dlya promysla morskikh dvustvorchatykh mollyuskov" (Res. Rep. "Population structure and growth of commercial and perspective bivalve mollusks for fishing"), Available from TINRO, 1982, Vladivostok, no. 18278.

Sostoyaniye promyslovykh resursov Dal'nevostochnogo rybokhozyaystvennogo basseyna na 2021 g. (kratkaya versiya) (The state of fishing resources of the Far Eastern fisheries basin for 2021 (short version)), Vladivostok: TINRO, 2021.

Pravila rybolovstva dlya Dal'nevostochnogo rybokhozyaystvennogo basseyna (s izmeneniyami na 20 Iyulya 2020 g.) (Fishing Rules for the Far Eastern Fisheries Basin (as amended as of July 20, 2020)). <https://docs.cntd.ru/document/554767016>. Cited January 27, 2021.

Поступила в редакцию 18.11.2022 г.

После доработки 5.12.2022 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

The article was submitted 18.11.2022; approved after reviewing 5.12.2022; accepted for publication 3.03.2023

Научная статья

УДК 594.121

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-143-153

EDN: NKWXEU



**НЕКОТОРЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ТИХООКЕАНСКОЙ УСТРИЦЫ *CRASSOSTREA GIGAS* (THUNBERG, 1793)
В ЛАГУНЕ БУССЕ (ОСТРОВ САХАЛИН) ПО ДАННЫМ 2010–2020 ГГ.**

А.Ч. Ким, Д.М. Ложкин*

Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),
693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196

Аннотация. Проанализированы размерно-возрастная структура и особенности распределения тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* в лагуне Буссе (о. Сахалин) за период 2010–2020 гг. Поселение устрицы находится в депрессивном состоянии. За время наблюдений биологические показатели, такие как высота и масса раковины, возраст, существенно уменьшились. В поселении преобладают непромысловые особи.

Ключевые слова: устрица тихоокеанская, лагуна Буссе, остров Сахалин, распределение, размер, возраст

Для цитирования: Ким А.Ч., Ложкин Д.М. Некоторые биологические характеристики тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) в лагуне Буссе (остров Сахалин) по данным 2010–2020 гг. // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 143–153. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-143-153. EDN: NKWXEU.

Original article

**Some biological parameters of pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793)
in the Busse Lagoon (Sakhalin Island) in 2010–2020**

Anastasia Ch. Kim*, Dmitry M. Lozhkin**

*, ** Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO),
196, Komsomolskaya, Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia
* specialist, stasy.kim89@yandex.ru, ORCID 0000-0003-0535-0061
** specialist, dima-lm@rambler.ru, ORCID 0000-0002-7073-681X

Abstract. Size-age structure and spatial distribution of pacific oyster *Crassostrea gigas* in the Busse Lagoon (Sakhalin Island) in 2010–2020 are analyzed. The oyster colony is in depression. Height of the shells, weight and age of clams have decreased significantly during the decade of observations. The oysters with non-commercial size dominate in the colony.

Keywords: pacific oyster, Busse Lagoon, Sakhalin Island, clam distribution, shell size, oyster age

* Ким Анастасия Чансигиевна, специалист, stasy.kim89@yandex.ru, ORCID 0000-0003-0535-0061; Ложкин Дмитрий Михайлович, специалист, dima-lm@rambler.ru, ORCID 0000-0002-7073-681X.

© Ким А.Ч., Ложкин Д.М., 2023

For citation: Kim A.Ch., Lozhkin D.M. Some biological parameters of pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in the Busse Lagoon (Sakhalin Island) in 2010–2020, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 143–153. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-143-153. EDN: NKWXEU.

Введение

В настоящее время довольно много публикаций, посвященных тихоокеанской устрице *Crassostrea gigas*. Информацию о ней можно встретить как в зарубежной (Китай, США) [Langdon, Robinson, 1996; Harding, Mann, 2006], так и в отечественной (Приморский край) [Полякова, 2002; Радовец, 2007; Ляшенко, 2008; Куликова и др., 2015; Соколенко, Калинина, 2018] литературе. Однако в Сахалинской области этот вид пока мало изучен. Собираемая по нему первичная база данных СахНИРО зачастую фрагментарна и не отвечает требованиям репрезентативности.

На о. Сахалин первые попытки исследования *C. gigas* в зал. Анива были предприняты сотрудниками СахНИРО. Так, в одном из архивных отчетов СахТИНРО (ныне Сахалинский филиал ВНИРО) упоминаются первые данные по устрице*. Затем, после длительного перерыва, время от времени (в 1990–2000-е гг.) исследования проводились попутно с другими работами, которые имели рекогносцировочный характер. Такой эпизодический сбор данных объяснялся отсутствием серьезной заинтересованности у рыбопромышленных организаций в этом виде. Только с началом промысла (2010 г.) работы, проводимые учеными СахНИРО в зал. Анива, стали носить узконаправленный характер. В архивах СахНИРО сохранились отчеты о результатах научных исследований по устрице гигантской начиная с 2012 г.

Первые опубликованные сведения о численности и распределении пелагических личинок этого двустворчатого моллюска в лагуне Буссе представлены в автореферате диссертации В.А. Куликовой [1979], позже в работе В.А. Куликовой, В.А. Сергеевко [2003]. Исследованию биологического состояния ресурсов устрицы и ее промысла в лагуне Буссе и бухте Лососей посвящен ряд работ [Ким, 2020а–в, 2021а, б; Ким, Ложкин, 2021а]. По литературным данным и собственным наблюдениям [Ким, Гон, 2020] описана размерно-возрастная структура вида в бухте Лососей. В работе А.Ч. Ким, Д.М. Ложкина [2021б] показано влияние температурных показателей на размерно-массовые характеристики раковины в зал. Анива. Однако, несмотря на ряд опубликованных статей, очевидным остается дефицит информации. Это обстоятельство послужило поводом для написания очередной статьи.

Цель работы — анализ изменений некоторых биологических показателей тихоокеанской устрицы на отдельных банках в лагуне Буссе в течение периода исследований для оценки современного состояния поселения.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили данные биологических анализов устрицы в устьевой части лагуны Буссе в период 2010–2020 гг. Сбор материала проводили ручным способом на осушаемой части банки, с помощью водолазов — на дне проток. Отбор моллюсков производили с рамки площадью 1 м². Всего было выполнено 253 станции (рис. 1), проанализировано более 3000 экз. данного вида.

Все выловленные особи обрабатывались согласно общепринятой в гидробиологии методике [Методы изучения..., 1990]. Высоту раковины измеряли с помощью штангенциркуля с точностью до 1 мм, общую массу моллюска — на электронных

* Чернышева Э.Р. Некоторые данные по зоопланктону Охотского моря у северо-восточного побережья Сахалина по материалам 1967 г.: отчет о НИР / СахТИНРО. № 1766. Антоново, 1968. 16 с.

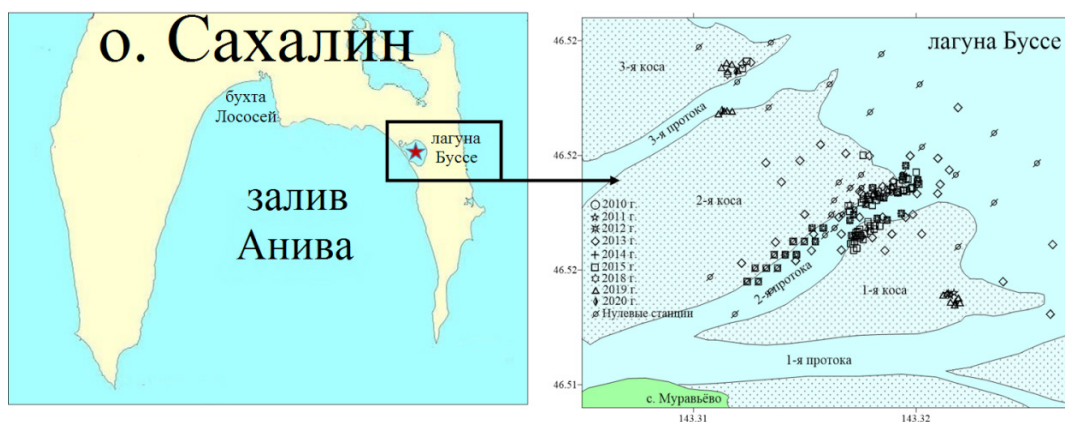


Рис. 1. Обобщенная карта гидробиологических станций, выполненных на скоплениях устрицы в лагуне Буссе в 2010–2020 гг.

Fig. 1. Scheme of sampling stations in the area of oyster aggregations in the Busse Lagoon in 2010–2020

весах с точностью до 1 г. Промысловая мера для устрицы составляет 120 мм*. Для определения возраста устрицы использовали формулу Т.А. Шпаковой, Д.Е. Чумакова [Ким, Ложкин, 2021а].

Обработка полученных данных проводилась с помощью программы Microsoft Excel 2010.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время лагуна Буссе имеет статус природного парка, где официальный промышленный лов запрещен. В туристско-рекреационной зоне, где обитает устрица, допускается любительское рыболовство (без применения сетных орудий добычи (вылова) водных биологических ресурсов, а также без использования аквалангов и другого водолазного снаряжения)**.

Распределение. В устьевой части лагуны Буссе *C. gigas* имеет агрегированный тип распределения, формируя крупные биогенные структуры — устричные банки. В настоящее время можно выделить 5 устричных банок, осушаемых во время отлива (рис. 2). На дне 2-й протоки (с левой стороны) на глубине 1–3 м также можно встретить плотное скопление устрицы. В течение ряда лет площадь устричных банок в целом изменялась в пределах 7 657–8 700 м² [Ким, 2020б]. Индивидуальные характеристики банок за 2020 г. представлены в табл. 1. Поскольку подробных гидрологических съемок в 2020 г. не проводилось, были рассмотрены результаты съемок 2014 г.*** Ранее [Шпилько, Шевченко, 2018] довольно подробно описано влияние приливов и отливов на распространение личинок моллюсков и в целом характеристики приливных течений в данном районе. Что касается взрослых моллюсков, различия в приливно-отливной конфигурации банок не фиксировались.

* Приказ Минсельхоза России от 06.05.2022 № 285 «Об утверждении Правил рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна» (зарегистрировано в Минюсте России 01.06.2022 № 68693).

** Постановление Правительства Сахалинской области от 10.09.2020 г. № 424 «О создании природного парка Лагуна Буссе».

*** Выпряжкин Е.Н. Мониторинг условий обитания и воспроизводства водных биологических ресурсов лагуны Буссе в 2014 г.: отчет о НИР / СахНИРО. № 11977. Южно-Сахалинск, 2014. 45 с.



Рис. 2. Карта-схема расположения 5 устричных банок в лагуне Буссе
Fig. 2. Scheme of five oyster banks location in the Busse Lagoon

Индивидуальные характеристики устричных банок в лагуне Буссе в 2020 г.
Table 1

Characteristics of oyster banks in the Busse Lagoon in 2020

№ банки	Площадь, м²	Максимальная глубина в максимальный прилив, м	Основные направления течения	Максимальная скорость течения в отлив/прилив, см/с
1	2142	1,5	Восток–запад	91,88/88,51
2	1000	1,5		
3	1470	5,2		
4	1155	1,5		
5	1890	1,5		

Приведем лишь самые основные характеристики приливных течений. Поскольку протоки расположены зонально, во время прилива поток воды направлен на восток, а во время отлива — на запад. Максимальные наблюдаемые скорости течения на разных фазах приведены в табл. 1. Эти скорости характерны для всего теплого периода года. Разница в уровне моря во время приливного цикла достигает 1,3 м. Зафиксировано понижение температуры воды в начальной фазе прилива на 3–4 °С (в течение часа) с менее резким прогревом во время отлива. Помимо этого, отмечены колебания солености, максимум которой соответствует приливу, а минимум — отливу.

По состоянию на 2020 г. наибольшая плотность поселения моллюска была сосредоточена на первой банке (до 124 экз./м²) (рис. 3). Это, скорее всего, объясняется пополнением поселения представителями мелкоразмерных особей (молодь). На остальных банках, за исключением третьей, плотность поселения не превышала 60 экз./м². Состояние третьей банки можно охарактеризовать как угнетенное. Подавляющая часть моллюсков представлена мертвыми особями, лишь единичные экземпляры оказывались живыми. Именно на этот участок на протяжении нескольких лет приходился весь пресс любительского лова устрицы, что привело к разорению банки. Для сравнения — в 2010 г. по обеим сторонам 2-й протоки можно было встретить от 201 до 300 экз./м² моллюсков. В том же году на второй банке была зафиксирована максимальная плотность поселений (488 экз./м²). В течение исследуемого периода (с 2010 по 2020 г.) происходило снижение показателей плотности. Количество экземпляров *C. gigas* на одном квадратном метре варьировало от 101 до 300 экз./м². С 2010 по 2015 г. такую плотность поселения можно было наблюдать на второй и третьей устричных банках. К 2019 г. массово устрица уже концентрировалась на банках, расположенных вдоль 3-й протоки. Учитывая огромный туристический спрос

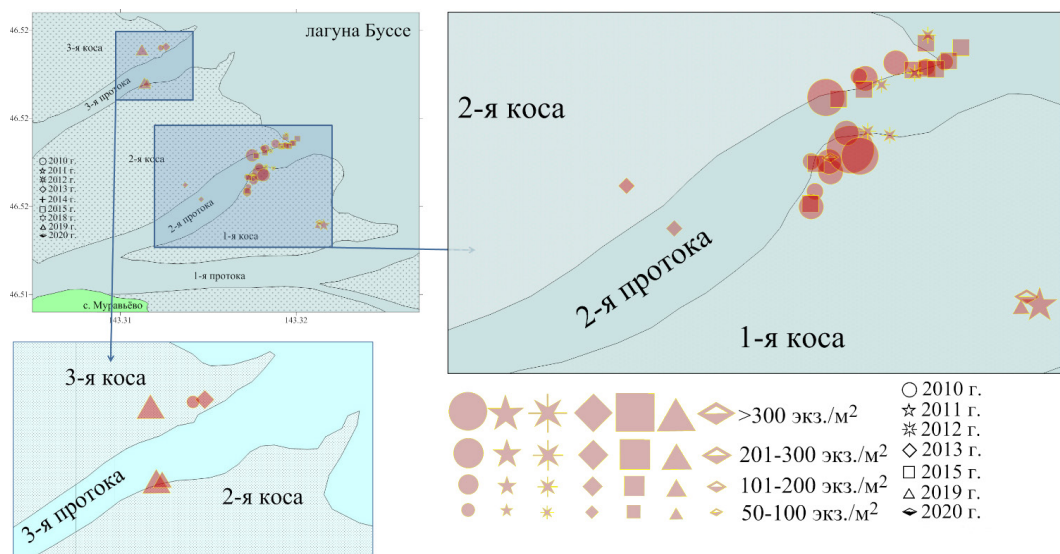


Рис. 3. Карта-схема плотности (экз./м²) скопления устрицы в лагуне Буссе в 2010–2020 гг.
Fig. 3. The oyster aggregation density (ind./m²) in the Busse Lagoon in 2010–2020

на устрицу, предполагается, что существенного увеличения численности поселения моллюсков в ближайшие год или два не предвидится.

Размерно-массовый состав. Внешний вид раковины моллюсков в южной части лагуны Буссе в общей массе имеет вытянутую форму. Величина размерных (высота раковины) и массовых показателей устрицы с каждой отдельно взятой банки претерпела значительные изменения в межгодовом аспекте (рис. 4 и 5). В целом прослеживалась тенденция снижения параметров размерно-массового состава поселений устрицы. Так, в 2012 г. на третьей устричной банке единично зафиксирован максимальный размер (высота раковины) устрицы (381 мм), а в 2013 г. на пятой устричной банке — максимальное значение массы раковины (1441 г). В последующие годы просматривалось уменьшение размерного и массового рядов, о чем свидетельствуют их средние показатели. К 2020 г. максимальные пределы высоты и массы раковины моллюсков достигли исторического минимума.

Изъятие устрицы из лагуны Буссе в результате активного любительского лова закономерным образом сказалось на соотношении размерных групп моллюсков. Для оценки изменений, происходящих в популяции, было условно выделено три размерных класса по высоте раковины: мелкоразмерные — < 50 мм, среднеразмерные — 50–120 мм и крупноразмерные (промысловые) — > 120 мм (рис. 6).

В целом в межгодовом аспекте выражено смещение модальных классов в сторону более мелких (непромысловых) раковин устрицы (рис. 6). К 2019–2020 гг. основу размерного состава скоплений устрицы составляли особи, высота раковины которых варьировала в пределах 50–120 мм. Это, скорее всего, можно объяснить большим потребительским спросом на объект (не исключая браконьерский лов), который привел к существенному снижению доли промысловых особей или даже к их полному отсутствию на некоторых устричных банках (первая и третья банки). Согласно Правилам рыболовства (с 2018 г.), разрешенная суточная норма изъятия для одного человека составляет 50 экз.*

В то же время молодь отмечалась не во все годы, что, скорее всего, объяснялось большей частью селективностью собранного материала в тот или иной период. Однако по имеющемуся материалу (рис. 6) можно утверждать, что естественный уровень

* Приказ Минсельхоза России от 06.05.2022 № 285.

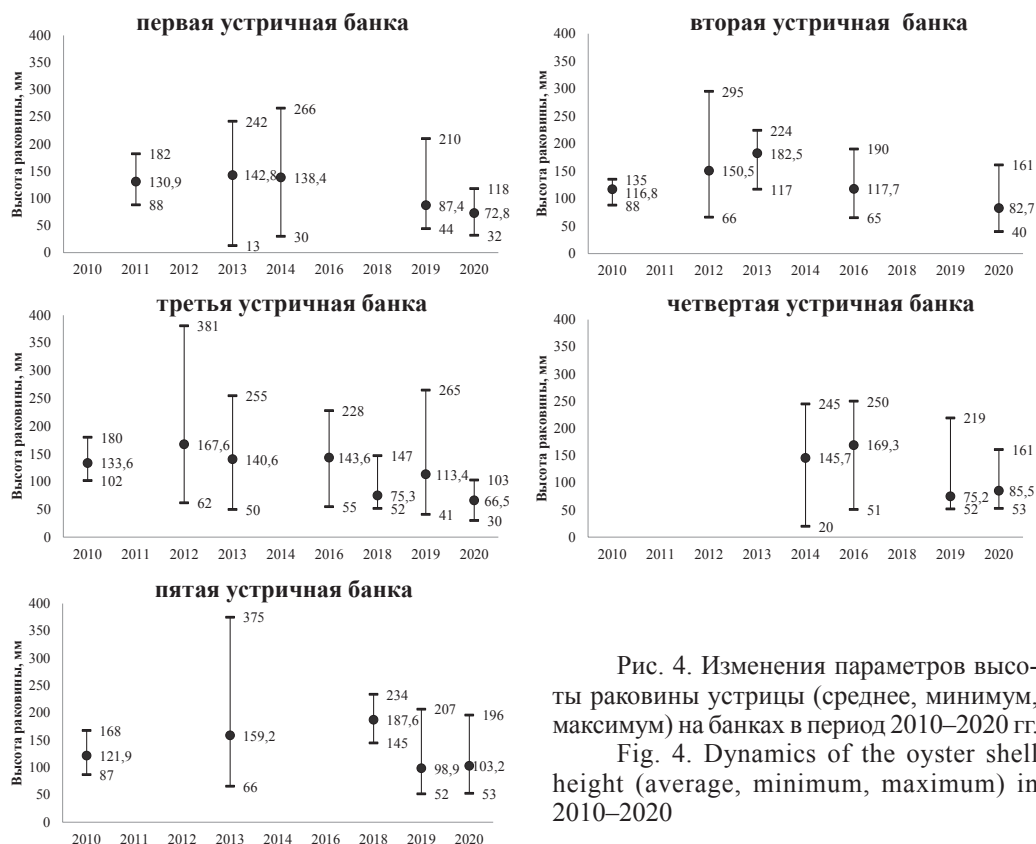


Рис. 4. Изменения параметров высоты раковины устрицы (среднее, минимум, максимум) на банках в период 2010–2020 гг.

Fig. 4. Dynamics of the oyster shell height (average, minimum, maximum) in 2010–2020

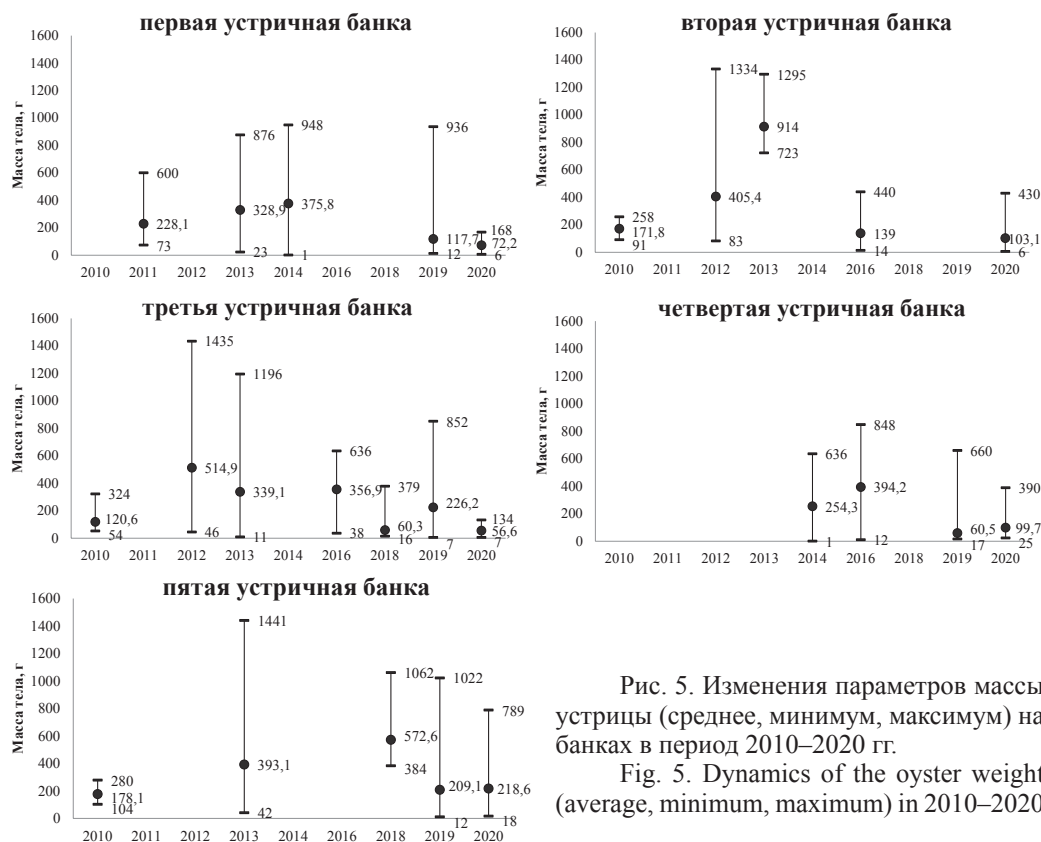


Рис. 5. Изменения параметров массы устрицы (среднее, минимум, максимум) на банках в период 2010–2020 гг.

Fig. 5. Dynamics of the oyster weight (average, minimum, maximum) in 2010–2020

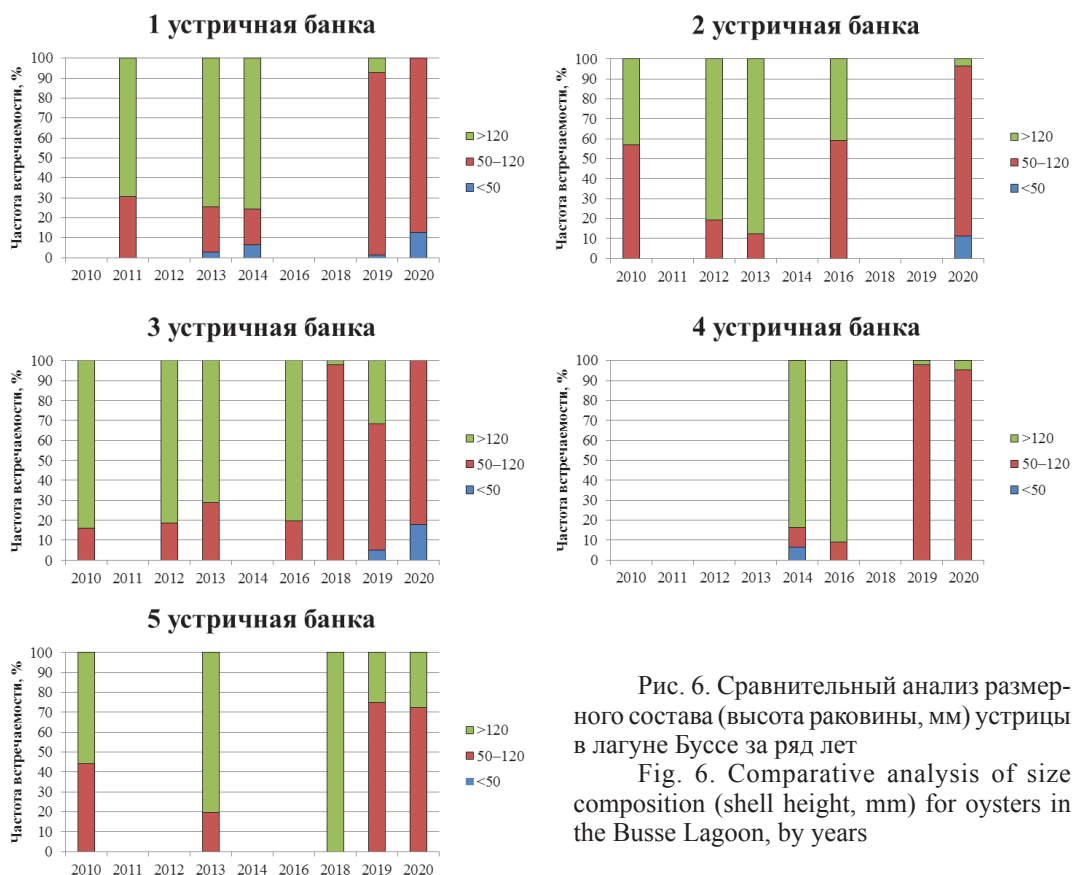


Рис. 6. Сравнительный анализ размерного состава (высота раковины, мм) устрицы в лагуне Буссе за ряд лет

Fig. 6. Comparative analysis of size composition (shell height, mm) for oysters in the Busse Lagoon, by years

воспроизводства устрицы на ее традиционном участке лова сохраняется, на что указывает увеличение доли среднеразмерной группировки по отношению к старшей. Для оценки достоверности различий биологического параметра (высота раковины) между 5 устричными банками использовали t-критерий Стьюдента, рассчитываемый как разность средних значений, поделенная на сумму квадратов их ошибок. При уровне значимости 0,05 рассчитанные значения критерия практически везде оказывались больше критического (табличного), т.е. выборки в большинстве достоверно различимы. Это свидетельствует о неравности генеральных параметров разных групп, что объясняется концентрацией на том или ином участке мелких, средних или крупноразмерных особей.

Возрастной состав. Подобную картину встречаемости размерных классов устрицы можно проследить по ее возрастному ряду (табл. 2). Известно, что промыслового размера в лагуне Буссе устрица достигает в 3–4 года*. На протяжении рассматриваемого периода отчетливо видна динамика доминирования младшевозрастных групп (1+...2+) над средними (3+...4+) и старшими (от 5+ и более). Максимальный возраст устрицы отмечен в 2012 и 2013 гг. соответственно на третьей и пятой устричных банках (29+ лет), в то время как в 2020 г. наибольший возраст составил 16+ лет (пятая банка). В начале периода исследований основная масса особей приходилась на средне- и старшевозрастные группировки устрицы — от 4+ лет и более. А к концу рассматриваемого периода произошла перестройка в возрастной структуре поселения моллюска. Начали преобладать особи в возрасте до 3+ лет. Выявленная смена поколений в межгодовом

* Ким А.Ч., Ложкин Д.М. Промысел и биологическая характеристика устрицы гигантской *Crassostrea gigas* в заливе Анива: отчет о НИР (промежуточ.) / СахНИРО. № 12963. Южно-Сахалинск, 2020. 49 с.

Таблица 2
Table 2

Возрастной состав устрицы в лагуне Буссе за ряд лет по частоте встречаемости, %
Age composition (%) for oysters in the Busse Lagoon, by years

Год	Возраст, годы																													
	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	11+	12+	13+	14+	15+	16+	17+	18+	19+	20+	21+	22+	23+	24+	25+	26+	27+	28+	29+	
Первая устричная банка																														
2011	0,6	5,3	18,9	32,5	18,9	16,6	3,0	1,8	1,8			0,6																		
2013	12,7	11,3		1,4	4,2	12,7	21,1	16,9	4,2	4,2	2,8	2,8	1,4		1,4		1,4													
2014	9,4	5,6	2,8	3,8	5,2	5,2	10,8	15,5	14,1	10,8	5,2	4,7	2,8		1,9	1,4			0,9											
2019	45,7	40,0	4,3	2,9	2,9										1,4	1,4			1,4											
2020	51,6	37,1	11,3																											
Вторая устричная банка																														
2010		9,5	42,9	38,1	9,5																									
2012		7,4	2,1	1,6	8,5	14,4	22,9	9,6	10,1	7,4	2,7	2,1	1,1	3,2			2,7	1,1		0,5			0,5	1,1		0,5				
2013														12,5	25,0	12,5		12,5			25,0					12,5				
2016	10,6	43,9	27,3	6,1	6,1	3,0	1,5		1,5																					
2020	29,6	48,1	14,8	3,7					3,7																					
Третья устричная банка																														
2010	40,0	12,0	30,0	14,0	2,0	2,0																								
2012	0,7	4,8	3,4	4,8	8,2	11,6	13,7	6,8	4,8	4,8	2,1	2,1	1,4	2,7	3,4	5,5	2,7	3,4	1,4	4,1	2,1	1,4	1,4	0,7	0,7			0,7	0,7	
2013	20,8	3,8	2,3	3,2	4,3	6,1	11,5	12,9	9,9	7,7	6,5	4,1	2,5	1,8	0,2	0,5	0,2	0,7	0,5		0,2	0,2		0,2						
2016	4,9	2,8	2,1	4,9	9,2	16,9	14,1	12,7	11,3	9,2	7,7	3,5	0,7																	
2018	88,5	7,7	1,9					1,9																						
2019	46,9	13,3	3,1	6,1	2,0	1,0		2,0	1,0	2,0	5,1	6,1	4,1	3,1	2,0	2,0														
2020	71,4	25,0	3,6																											
Четвертая устричная банка																														
2014	11,0	2,2	7,8	16,0	17,7	18,7	11,4	8,2	3,7	1,9	1,1		0,2																	
2016	6,7	3,3		4,4	5,6	11,1	11,1	14,4	15,6	10,0	4,4	5,6	2,2	2,2	1,1	1,1	1,1													
2019	85,1	11,0	1,9		0,6	0,6							0,6																	
2020	32,6	53,5	9,3	2,3				2,3																						
Пятая устричная банка																														
2010		12,0	46,0	28,0	10,0	4,0																								
2013	5,4	9,8	3,3	4,3	4,3	16,3	13,0	9,8	7,6	3,3	5,4	6,5	1,1	2,2	1,1	1,1		1,1		1,1		2,2						1,1	1,1	
2018								8,6	8,6	17,1	28,6	11,4	8,6	8,6	2,9	2,9					2,9									
2019	61,1	10,2	0,9	1,9	0,9	0,9		1,9	0,9	2,8	1,9	5,6	3,7	3,7		2,8				0,9										
2020	34,0	29,8	6,4	4,3					6,4	2,1	2,1	4,3	4,3		4,3	2,1														

Примечание. Цветом выделены доминирующие группы по каждому году.

сравнении подтверждается F-критерием Фишера. Его значения при уровне значимости 0,05 показали динамичное изменение возрастного ряда на каждой устричной банке за годы исследования.

Заключение

За период 2010–2020 гг. в популяции тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* в лагуне Буссе (о. Сахалин) произошли существенные изменения. Поселение моллюска перешло в депрессивное состояние. В целом проанализированный материал за ряд лет показал снижение биологических показателей (высота, масса раковины, возраст). В поселении устрицы стали преобладать непромысловые особи.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают искреннюю благодарность рецензентам за их конструктивную критику, позволившую улучшить эту статью.

The authors are sincerely grateful to reviewers for their constructive criticism that improved the manuscript.

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.

The authors declare no conflict of interests.

Список литературы

Ким А.Ч. Проблема рационального использования ресурсов устрицы тихоокеанской *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) в бухте Лососей (залив Анива) // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана : мат-лы VI Междунар. науч.-техн. конф. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2020а. — Ч. 1. — С. 71–74.

Ким А.Ч. Распределение и ресурсы гигантской устрицы *Crassostrea gigas* в лагуне Буссе (залив Анива, Охотское море) // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Тр. СахНИРО. — 2020б. — Т. 16. — С. 3–12.

Ким А.Ч. Результаты исследований устричной «банки» в бухте Лососей в 2020 году // Вестн. Сахалинского музея. — 2020в. — № 4(33). — С. 91–95.

Ким А.Ч. Состояние популяции тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) в бухте Лососей (остров Сахалин) в 2013–2020 гг. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2021а. — Вып. 61. — С. 67–73. DOI: 10.15853/2072-8212.2021.61.67-73.

Ким А.Ч. Состояние популяции тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) в лагуне Буссе (остров Сахалин) // Биол. моря. — 2021б. — Т. 47, № 2. — С. 138–140. DOI: 10.31857/S0134347521020054.

Ким А.Ч., Гон Р.Т. Размерно-возрастная структура тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* в бухте Лососей (залив Анива, Охотское море) // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 4. — С. 873–883. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-873-883.

Ким А.Ч., Ложкин Д.М. Промысел и биологическое состояние тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) в заливе Анива (остров Сахалин) // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование : мат-лы 12-й Нац. (Все-рос.) науч.-практ. конф. — Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2021а. — Ч. 1. — С. 105–109.

Ким А.Ч., Ложкин Д.М. Влияние суммарного значения температуры воды на размерно-массовые характеристики тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) в заливе

Анива (о. Сахалин) по спутниковым данным // Исслед. Земли из космоса. — 2021б. — № 5. — С. 85–93. DOI: 10.31857/S0205961421050067.

Куликова В.А. Пелагические личинки двустворчатых моллюсков лаг. Буссе (Охотское море) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 1979. — 25 с.

Куликова В.А., Колотухина Н.К., Омеляненко В.А. Динамика численности и распределение личинок тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) в Амурском и Уссурийском заливах Японского моря // Биол. моря. — 2015. — Т. 41, № 5. — С. 312–318.

Куликова В.А., Сергеев В.А. Численность и распределение пелагических личинок двустворчатых моллюсков и иглокожих в лагуне Буссе (залив Анива, остров Сахалин) // Биол. моря. — 2003. — Т. 29, № 2. — С. 97–105.

Ляшенко С.А. Состояние естественного воспроизводства двустворчатых моллюсков в прибрежной зоне южного Приморья и перспективы их культивирования : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 2008. — 22 с.

Методы изучения двустворчатых моллюсков : моногр. / под ред. Г.Л. Шкорбатова, Я.И. Старобогатова. — Л. : ЗИН, 1990. — 205 с. (Тр. ЗИН АН СССР, т. 219.)

Полякова С.А. Динамика численности личинок приморского гребешка, тихоокеанской устрицы и тихоокеанской мидии в Амурском и Уссурийском заливах (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 131. — С. 409–422.

Радовец А.В. Влияние климатических изменений на динамику численности личинок двустворчатых моллюсков в планктоне бухты Миноносок (залив Посыета, Японское море) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 2007. — 22 с.

Соколенко Д.А., Калинин М.В. Современное состояние и структура естественных поселений тихоокеанской устрицы в северной части Амурского залива (залив Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 195. — С. 48–60. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-195-48-60.

Шпилько Т.С., Шевченко Г.В. Влияние приливо-отливной динамики на обмен меропланктона (Bivalvia, Gastropoda) между лагуной Буссе и прилегающей морской акваторией залива Анива // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 195. — С. 92–110. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-195-92-110.

Harding J.M., Mann R. Age and growth of wild Suminoe (*Crassostrea ariakensis*, Fugita 1913) and Pacific (*C. gigas*, Thunberg 1793) oysters from Laizhou Bay, China // J. Shellfish Res. — 2006. — Vol. 25, № 1. — P. 73–82. DOI: 10.2983/0730-8000(2006)25[73:AAGOWS]2.0.CO;2.

Langdon C., Robinson A. Aquaculture potential of the Suminoe oyster (*Crassostrea ariakensis* Fugita 1913 // Aquaculture. — 1996. — № 144. — P. 321–328.

References

Kim, A.Ch., Problem of the rational use of resources of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in the Salmon Bay (Aniva Bay), in *Proc. 6th Int. Sci. Tech. Conf. "Urgent Problems of the World Ocean Biological Resources Development"*, Vladivostok: Dal'rybvtuz, 2020, part 1, pp. 71–74.

Kim, A.Ch., Distribution and resources of oyster *Crassostrea gigas* in the Busse Lagoon (Aniva Bay, Okhotsk Sea), *Water life biology, resources status and condition of inhabitation in Sakhalin-Kuril region and adjoining water areas: Transactions of the "SakhNIRO"*, 2020, vol. 16, pp. 3–12.

Kim, A.Ch., Results of research into an oyster "bank" in the Salmon Bay in 2020, *Vestn. Sakhalinskogo muzeia*, 2020, no. 4(33), pp. 91–95.

Kim, A.Ch., State of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) population in the Losos Bight (Sakhalin Island) in 2013–2020, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2021, vol. 61, pp. 67–73. doi 10.15853/2072-8212.2021.61.67-73

Kim A.Ch., The Status of the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793), Population in the Busse Lagoon, Sakhalin Island, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2021, vol. 47, no. 2, pp. 150–152. doi 10.1134/S106307402102005X

Kim, A.C. and Gon, R.T., Size-age structure of oyster *Crassostrea gigas* in the Losos Bight (Aniva Bay, Okhotsk Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 4, pp. 873–883. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-873-883

Kim, A.Ch. and Lozhkin, D.M., Fishery and biological state of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in the Aniva Bay (Sakhalin Island), in *Mater. 12-y Nats. (Vseross.) nauchno-pract. konf. "Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie"* (Proc. 12th Nat. (All-Russ.) Sci.-Pract. Conf. "Natural Resources, Their Current State, Conservation, and Commercial and Technical Use"), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatskii Gos. Tekh. Univ., 2021, part 1, pp. 105–109.

Kim, A.C. and Lozhkin, D.M., Influence of Total Water-Temperature Value on the Size and Weight Characteristics of Pacific Oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in the Aniva Bay (Sakhalin

Island) According to Satellite Data, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2021, vol. 57, no. 12, pp. 1712–1719. doi 10.1134/S0001433821120124

Kulikova, V.A., Pelagic larvae of bivalves in Busse Lagoon (Sea of Okhotsk), *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 1979.

Kulikova, V.A., Kolotukhina, N.K., and Omelyanenko, V.A., The dynamics of the density and distribution of larvae of the pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in the Amursky and Ussuriysky Bays of the Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2015, vol. 41, no. 5, pp. 335–342. doi 10.1134/S1063074015050089

Kulikova, V.A. and Sergeenko, V.A., Abundance and distribution of pelagic larvae of bivalves and echinoderms in Busse Lagoon (Aniva Bay, Sakhalin Island), *Russ. J. Mar. Biol.*, 2003, vol. 29, no. 2, pp. 81–89. doi 10.1023/A:1023944322349

Lyashenko, S.A., The state of natural reproduction of bivalve molluscs in the coastal zone of southern Primorye and the prospects for their cultivation, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2008.

Metody izucheniya dvustvorchatykh mollyuskov (Methods of Studying Bivalves), Shkorbatova, G.L. and Starobogatova, Ya.I., eds, Leningrad: Zool. Inst., 1990. [Tr. Zool. Inst. Akad. Nauk SSSR, vol. 219]

Polyakova, S.A., Dynamics of the number of *Mizuhopecten yessoensis*, *Crassostrea gigas* and *Mytilus trossulus* larvae in the Amur and Ussury Bays (Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 131, pp. 409–422.

Radovets, A.V., Influence of climatic changes on the population dynamics of bivalve larvae in the plankton of Minonosok Bay (Posyet Bay, Sea of Japan), *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2007.

Sokolenko, D.A. and Kalinina, M.V., Current state and structure of native aggregations of pacific oyster in the northern Amur Bay (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 195, pp. 48–60. doi 10.26428/1606-9919-2018-195-48-60

Shpilko, T.S. and Shevchenko, G.V., The influence of tidal dynamics on exchange of meroplankton (Bivalvia, Gastropoda) between the Busse Lagoon and adjacent marine area of the Aniva Bay, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 195, pp. 92–110. doi 10.26428/1606-9919-2018-195-92-110

Harding, J.M. and Mann, R., Age and growth of wild Suminoe (*Crassostrea ariakensis*, Fugita 1913) and Pacific (*C. gigas*, Thunberg 1793) oysters from Laizhou Bay, China, *J. Shellfish Res.*, 2006, vol. 25, no. 1, pp. 73–82. doi 10.2983/0730-8000(2006)25[73:AAGOWS]2.0.CO;2

Langdon, C. and Robinson, A., Aquaculture potential of the Suminoe oyster (*Crassostrea ariakensis* Fugita 1913), *Aquaculture*, 1996, no. 144, pp. 321–328.

Chernysheva, E.R., *Otchet Nauchno-Issled. Rab. "Nekotoryye dannyye po zooplanktonu Okhotskogo morya u severo-vostochnogo poberezh'ya Sakhalina po materialam 1967 g."* (Res. Rep. "Some data on the zooplankton of the Sea of Okhotsk off the northeastern coast of Sakhalin based on materials from 1967"), Available from SakhtINRO, 1968, Yuzhno-Sakhalinsk, no. 1766.

Pravila rybolovstva dlya Dal'nevostochnogo rybkhozyaystvennogo basseyna. Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 06.05.2022 № 285 (Fishing rules for the Far Eastern fishery basin. Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated June 1, 2022, no. 68693).

Postanovleniye Pravitel'stva Sakhalinskoy oblasti ot 10.09.2020 g. № 424 «O sozdanii prirodnogo parka Laguna Busse» (Decree of the Government of the Sakhalin Region dated September 10, 2020, no. 424 "On the Creation of the Laguna Busse Natural Park").

Vypyazhkin, E.N., *Otchet Nauchno-Issled. Rab. "Monitoring usloviy obitaniya i vosпроизводства vodnykh biologicheskikh resursov laguny Busse v 2014 g"* (Res. Rep. "Monitoring of habitat conditions and reproduction of aquatic biological resources of the Busse lagoon in 2014"), Available from SakhtINRO, 2014, Yuzhno-Sakhalinsk, no. 11977.

Kim, A.Ch. and Lozhkin, D.M., *Otchet Nauchno-Issled. Rab. "Promysel i biologicheskaya kharakteristika ustritsy gigantskoy Crassostrea gigas v zalive Aniva"* (Res. Rep. "Fishery and biological characterization of the giant oyster *Crassostrea gigas* in Aniva Bay"), Available from SakhtINRO, 2020, Yuzhno-Sakhalinsk, no. 12963.

Поступила в редакцию 28.10.2022 г.

После доработки 13.12.2022 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

The article was submitted 28.10.2022; approved after reviewing 13.12.2022;
accepted for publication 3.03.2023

Научная статья

УДК 597.552.511(282.257.3)

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-154-162

EDN: QWWNMR

О КИЖУЧЕ *ONCORHYNCHUS KISUTCH* ОСТРОВА ИТУРУПА.Н. Ельников¹, О.В. Зеленников^{2*}¹ Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,
105187, г. Москва, Окружной проезд, 19;² Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

Аннотация. Исследовали 122 экз. кижуча, отловленных в ходе нерестовой миграции в августе-октябре 2021 г. в прибрежных морских водах и реках о. Итуруп (южные Курильские острова). Все близкие к половому созреванию самки и самцы текущего года нереста провели в море один год и имели возраст 1.1+ (66,7 %) и 2.1+ (30,0 %). Рыбы, которые провели в море два года, встретились нам единично — 1 экз. в возрасте 1.2+ и 3 экз. в возрасте 2.2+ (2,5 %). Учитывая возраст полового созревания и массу рыб — в среднем 2,63 кг у самок и 2,44 кг у самцов, можно полагать, что исследованные рыбы воспроизводились в коротких водотоках. При этом величина гонадосоматического индекса — у отдельных самок до 20–22 % — не предусматривала, что все особи, пойманные в прибрежье, должны были проследовать в другие регионы Северной Пацифики. По крайней мере часть из них зайдет на нерест в водотоки о. Итуруп, о чем свидетельствует поимка непосредственно в реках отдельных особей кижуча. Помимо рыб, идущих на нерест, ставными неводами были пойманы две активно питающиеся самки кижуча в возрасте 0.0+ (0,55 кг) и 1.0+ (1,11 кг).

Ключевые слова: кижуч, *Oncorhynchus kisutch*, нерестовая миграция, Итуруп, южные Курильские острова

Для цитирования: Ельников А.Н., Зеленников О.В. О кижуче *Oncorhynchus kisutch* острова Итуруп // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 154–162. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-154-162. EDN: QWWNMR.

Original article

On coho salmon *Oncorhynchus kisutch* from Iturup Island

Andrey N. Elnikov*, Oleg V. Zelennikov**

* Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
19, Okružnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

** St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya Emb., St. Petersburg, 199034, Russia

* Ph.D., senior researcher, elnikov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-5511-2382

** D.Biol., assistant professor, oleg_zelennikov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-8779-7419

* Ельников Андрей Николаевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, elnikov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-5511-2382; Зеленников Олег Владимирович, доктор биологических наук, доцент, oleg_zelennikov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-8779-7419.

© Ельников А.Н., Зеленников О.В., 2023

Abstract. Results of biological analysis are presented for 162 specimens of coho salmon caught at the coast and in the rivers of Iturup Island (southern Kuril Islands) during their spawning migration in August–October, 2021. Almost all females and males close to puberty in the current year spent one year in the sea and were aged 1.1+ (66.7 %) and 2.1+ (30.0 %). The fish that spent two years in the sea were single — 1 specimen aged 1.2+ and 3 specimens aged 2.2+ (2.5 %). Taking into account the age of puberty and the body weight (2.63 kg for females and 2.44 kg for males, on average) the spawners reproduction in short streams is assumed. The high value of the gonad-somatic index (up to 20–22 % for some females) is other evidence that all these fish cannot run to other spawning areas but at least a part of them should spawn in the water bodies of Iturup Island. Indeed, some coho salmon were captured directly in the rivers. Beside the spawning fish, two actively feeding coho females aged 0.0+ (0.55 kg) and 1.0+ (1.11 kg) were caught with fixed nets.

Keywords: coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, anadromous migration, Iturup, Kuril Islands

For citation: Elnikov A.N., Zelennikov O.V. On coho salmon *Oncorhynchus kisutch* from Iturup Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 154–162. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-154-162. EDN: QWWNMR.

Введение

До настоящего времени вопрос о воспроизводстве кижуча *Oncorhynchus kisutch* на о. Итуруп в научной литературе остается дискуссионным. Одни авторы, имея сведения о поимке кижуча в реках острова, включали этот вид в состав его ихтиофауны [Pietsch et al., 2001; Шедько, 2002]. Другие исследователи не считали кижуча представителем нативной фауны, мотивируя тем, что производителей массово отлавливали в прол. Фриза, т.е. на пути миграции, обнаружение рыб этого вида в реках было единичным, при этом фактов нереста не отмечали, как не выявляли и присутствия молоди [Сидоров, 2005; Сидоров, Пичугин, 2005]. В результате в последней обобщающей работе по ихтиофауне Курильских островов [Рыбы Курильских островов, 2012] кижуч для о. Итуруп не указан.

Однако есть сообщения, что в водоемах о. Итуруп ловили как молодь кижуча, в частности при исследовании ихтиофауны оз. Сопочного [Зеленников и др., 2016], так и производителей. Например, в октябре 1996 г. на забоечном пункте лососевого рыбоводного завода «Рейдовый» в ходе кетовой путины практически одновременно выловили группу из 7 самцов и 3 самок кижуча, икра от которых была заложена на инкубацию.

На о. Итуруп осуществляется промысел двух массовых видов тихоокеанских лососей — горбуши, у которой, помимо воспроизводства на рыбоводных заводах [Зеленников и др., 2020], в водотоках и водоемах острова есть значительные по площади природные нерестилища [Каев, Чупахин, 2003], и кеты, у которой здесь искусственно создано крупное промысловое стадо [Klovach et al., 2021]. Представителей других видов ловят в незначительном количестве, и сведения о них в литературе являются немногочисленными [Иванков, 1984; Жульков и др., 2012; Погодин и др., 2019].

Наши данные по кижучу также получены в ходе исследования производителей горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *O. keta*. Однако собирали и анализировали эти данные целенаправленно, зная о дискуссии по поводу присутствия этого вида в водоемах и водотоках острова. В результате цель работы — представить первые данные, характеризующие производителей кижуча в прибрежье и реках о. Итуруп в свете анализа принадлежности этого вида к ихтиофауне острова.

Материалы и методы

Производителей кижуча брали из улова ставных неводов, а также из партий, самостоятельно подошедших к рыбоучетному заграждению или пункту сбора икры рыбоводных заводов в день проведения анализа горбуши или кеты на предприятиях ЗАО «Курильский рыбак» в период с 12 августа по 23 октября 2021 г. На о. Итуруп предприятие добывает горбушу, кету и нерку *Oncorhynchus nerka* в прибрежной акватории и в базовых реках лососевых рыбоводных заводов в северной части охотоморского

побережья от р. Медвежьей, впадающей в прол. Фриза, до р. Рыбацкой, впадающей в зал. Курильский (рис. 1).

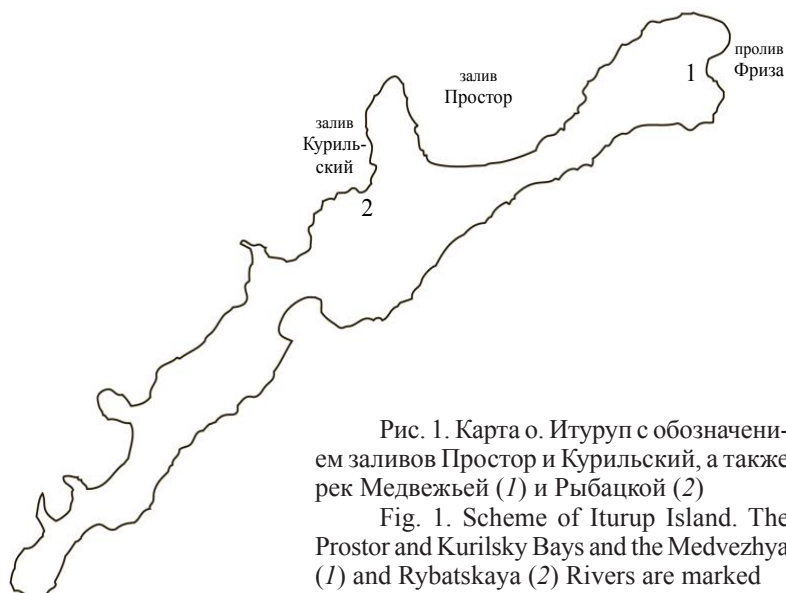


Рис. 1. Карта о. Итуруп с обозначением заливов Простор и Курильский, а также рек Медвежьей (1) и Рыбацкой (2)

Fig. 1. Scheme of Iturup Island. The Prostor and Kurilsky Bays and the Medvezhya (1) and Rybatskaya (2) Rivers are marked

Всего обследовали 122 экз. кижуча при равном (по 61 экз.) соотношении самок и самцов. Из них 20 экз. выловили в северной части острова, 14 экз. — в акватории зал. Простор и 88 экз. — в акватории зал. Курильского. Рыб измеряли, взвешивали, определяли возраст, величину гонадосоматического индекса (ГСИ), величину абсолютной плодовитости и стадию зрелости [Правдин, 1966]. При статистическом анализе достоверность различий средних значений устанавливали при помощи t-критерия Стьюдента ($p < 0,05$). Связь между датой вылова и величиной ГСИ оценивали используя коэффициент парной корреляции Пирсона.

Результаты и их обсуждение

При исследовании производителей кижуча, нерест которых предполагался в текущем году, были выявлены особи четырех возрастных групп — 1.1+, 2.1+ 1.2+ и 2.2+ — при выраженном преобладании особей первых двух групп. Среди самок выявили 39 экз. (64,4 %) в возрасте 1.1+ и 18 экз. (32,2 %) в возрасте 2.1+ (см. таблицу). Таким образом, рыб, проживших в пресной воде два года, было ровно в два раза меньше. Помимо этих рыб, были пойманы 2 самки, прожившие 2 года в пресной и 2 года в морской воде (рис. 2).

Длина, масса тела, масса яичников и величина абсолютной плодовитости у самок самой массовой группы в возрасте 1.1+ в среднем составили 55,7 см, 2,36 кг, 256,8 г и 3822,0 шт. (см. таблицу). У рыб, проживших два года в пресной воде, эти показатели были достоверно больше. Длина, масса и величина абсолютной плодовитости у самок в целом были более близки к показателям самой многочисленной группы в связи с ее значительным численным доминированием.

Среди самцов выявили 41 экз. (67,2 %) в возрасте 1.1+ и 18 экз. (29,5 %) в возрасте 2.1+ (см. таблицу). Таким образом, возраст абсолютного большинства самцов, а также соотношение рыб двух возрастных групп оказались практически такими же, как у самок. Самцы других возрастных групп встретились нам единично — по 1 экз. в возрасте 1.2+ и 2.2+ (см. таблицу).

Длина и масса самцов в возрасте 1.1+ составили в среднем 54,0 см и 2,18 кг (см. таблицу); у рыб, проживших два года в пресной воде, эти показатели также достоверно увеличились.

Размерно-возрастная характеристика производителей кижуча, выловленных в прибрежье и реках о. Итуруп в период с 12 августа по 23 октября 2021 г.

Size and age parameters of coho salmon spawners caught in the coastal waters and rivers of Iturup Island in the period from August 12 to October 23, 2021

Возраст	Число рыб, шт.	Длина рыб АС, см	Длина рыб АД, см	Масса рыб, кг	Масса рыб без внутренностей, кг	Масса гонад, мг	Абсолютная плодовитость, шт.
Самки							
0.0+	1	36	34	0,55	0,48	3,0	—
1.0+	1	49	46	1,17	1,11	7,0	—
1.1+	39	<u>55,7±0,7</u> 47–66	<u>51,9±0,7</u> 43–63	<u>2,36±0,09</u> 1,37–3,76	<u>1,95±0,08</u> 1,12–3,07	<u>256,8±16,0</u> 118–496	<u>3822,0±153,9</u> 2120–6195
2.1+	18	<u>59,7±0,7</u> 52–64	<u>56,3±0,5</u> 50–60	<u>3,14±0,09</u> 2,33–3,82	<u>2,63±0,09</u> 1,94–3,21	<u>312,0±24,0</u> 176–524	<u>4239,3±140,5</u> 3289–5292
2.2+	2	<u>61,5</u> 60–63	<u>57,5</u> 56–59	<u>3,16</u> 2,83–3,48	<u>2,56</u> 2,27–2,83	<u>433</u> 378–488	<u>4634</u> 3787–5481
Среднее	59*	<u>57,1±0,6</u> 47–66	<u>53,4±0,5</u> 43–63	<u>2,63±0,08</u> 1,37–3,82	<u>2,18±0,07</u> 1,12–3,21	<u>280,0±13,9</u> 118–524	<u>3979,5±116,3</u> 2120–6195
Самцы							
1.1+	41	<u>54,0±0,7</u> 46–65	<u>50,3±0,6</u> 43–61	<u>2,20±0,10</u> 1,13–4,11	<u>1,93±0,09</u> 1,01–3,65	<u>153,6±6,7</u> 58–264	—
1.2+	1	57	53	2,26	2,00	146	—
2.1+	18	<u>59,4±1,0</u> 51–69	<u>55,4±0,9</u> 48–64	<u>3,04±0,18</u> 1,80–4,93	<u>2,69±0,16</u> 1,54–4,35	<u>188,0±15,2</u> 98–354	—
2.2+	1	56	52	2,34	2,01	150	—
Среднее	61	<u>55,7±0,6</u> 46–69	<u>51,8±0,6</u> 43–64	<u>2,44±0,10</u> 1,13–4,93	<u>2,16±0,09</u> 1,10–4,35	<u>163,1±6,5</u> 58–354	—

Примечание. Над чертой — среднее значение показателя и его ошибка; под чертой — предел варьирования показателя.

* Суммированы данные только по рыбам, близким к половому созреванию.

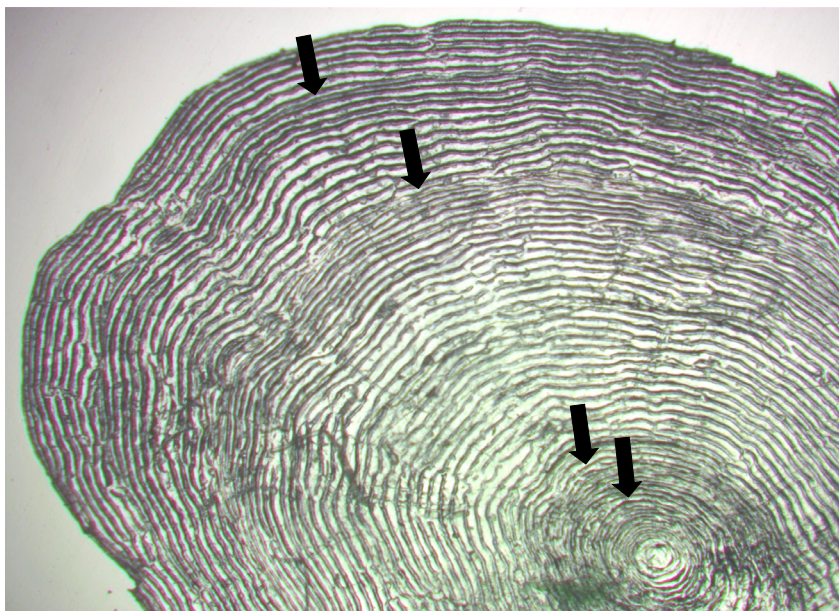


Рис. 2. Пример чешуи самки массой 3,48 кг в возрасте 2.2+. Ближе к центру чешуи можно видеть два кольца пресноводного возраста, а ближе к краю — два кольца морского возраста

Fig. 2. An example of scales of female with weigh 3.48 kg at age 2.2+. Two rings of freshwater age can be seen closer to the center of scale, and two rings of marine age can be seen closer to the edge of scale

Поскольку практически все рыбы были пойманы ставными неводами в морском прибрежье, возникает вопрос, предполагался ли их заход на нерест в реки острова, или рыб поймали на пути миграции в другие регионы Северной Пацифики? На наш взгляд, хоть и косвенно, ответ на этот вопрос дает изменение величины ГСИ у самок. Мы можем видеть (рис. 3, А), что до 22 августа 2021 г. величина ГСИ у большинства самок была менее 10 %, а максимальное значение не превышало 15 %. У рыб, пойманных позднее, этот показатель достоверно ($p < 0,01$) увеличился. При этом у половины всех рыб, пойманных после 11 сентября, величина ГСИ превысила 19 % (рис. 3, А). Таким образом, к середине сентября масса яичников приближалась к дефинитивной величине.

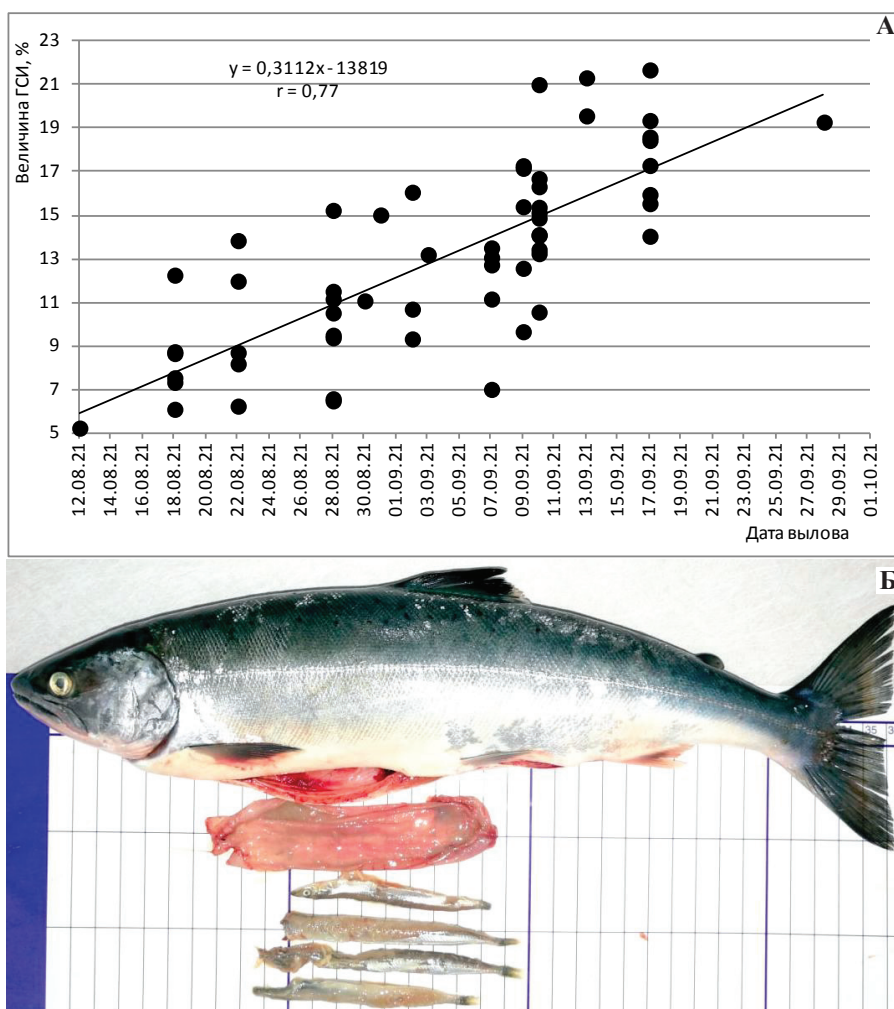


Рис. 3. Изменение величины ГСИ у самок кижуча в зависимости от даты вылова (А). Самка кижуча в возрасте 0.0+ (Б)

Fig. 3. Change of gonad-somatic index for coho salmon females in dependence on the date of capture (А). Female coho salmon aged 0.0+ (Б)

Помимо близких к половому созреванию рыб, выловленных в прибрежье, в уловах оказались несколько особей, требующих отдельного упоминания. Во-первых, 8 октября в зал. Курильском нами были пойманы две самки: в возрасте 1.0+ массой 1,11 кг и в возрасте 0.0+ массой 0,55 кг (рис. 3, Б). Масса яичников у этих рыб была равна 7 и 3 г, ооциты находились в периоде превителлогенеза, т.е. эти самки точно не могли достичь полового созревания в текущем году. При этом рыбы активно питались; в составе пищевого комка были хорошо различимы особи тихоокеанской песчанки

Ammodytes sp. (рис. 3, Б). Во-вторых, нам попались два экземпляра (в возрасте 1.1+), уже зашедшие в пресную воду: самка в V стадии зрелости, отобранная для проведения анализа из общих уловов 26 сентября на забойке рыбоводного завода «Рейдовый», и самец в IV стадии зрелости, пойманный 9 октября у рыбоучетного заграждения через р. Рейдовую (около 0,5 км от устья реки).

Перед тем как проанализировать полученные данные, отметим, что, поскольку объемы кижуча для промысла в акватории о. Итуруп не устанавливаются, его фактический вылов не отражается в статистике рыбодобывающих предприятий. Мы не можем знать, сколько экземпляров выловили в разных районах промысла, однако полагаем, что производители этого вида неравномерно распределялись в пределах облавливаемой акватории по крайней мере в 2021 г. Так, в северной части острова ЗАО «Курильский рыбак» осуществляет только вылов горбуши, для исследования которой в 2021 г. взяли 6 выборок по 100 экз. Промысел кеты в северной части острова не осуществляют и, соответственно, производителей этого вида не исследуют. В отличие от этого, в заливах Простор и Курильский вылавливают оба вида; в 2021 г. для оценки биологических показателей производителей взяли соответственно 19 и 18 выборок горбуши, а также 16 и 17 выборок кеты. Таким образом, при сходном количестве проанализированных рыб в зал. Курильском выявили в 4,5 раза больше производителей кижуча, чем в зал. Простор, расположенном севернее и ближе к прол. Фриза, через который осуществляется заход в Охотское море производителей разных видов тихоокеанских лососей.

Заходят ли производители кижуча, пойманные в морском побережье, хотя бы какой-либо своей частью в реки острова? Поскольку производителей кижуча характеризует наиболее поздний нерест [Sandercock, 1991; Марченко и др., 2013], сроки их поимки — с 12 августа по 23 октября — ответить на этот вопрос не позволят. Например, нерестовый ход крупнейшей на о. Сахалин популяции кижуча р. Тымь продолжается до 11 декабря [Гриценко, 2002], а, следовательно, пойманные нами особи имели большой резерв времени для перемещения в район этого водотока. В пользу транзитного статуса исследованных рыб свидетельствует поимка неполовозрелых самок, нагуливающих в акватории, прилегающей к острову.

Вместе с тем есть основания полагать, что выловленные в морских прибрежных акваториях производители могут мигрировать для нереста к рекам о. Итуруп. Во-первых, среди исследованных рыб преобладали самки и самцы в возрасте 1.1+, что является характерным для популяций сравнительно коротких водотоков, например для рек северных Курильских островов [Рыбы Курильских островов, 2012]. Во-вторых, среди многочисленных данных [Sandercock, 1991; Зорбиди, 2010; Марченко и др., 2013; Марченко, 2022] мы не обнаружили ни одного факта, чтобы масса самок и самцов кижуча в среднем была бы меньше, чем в нашем случае, — 2,63 и 2,44 кг. Это также указывает на воспроизводство рыб в наиболее коротких водотоках. Например, для материкового побережья Охотского моря показано, что в больших по протяженности реках воспроизводится более крупный кижуч и наоборот [Марченко и др., 2013]. Однако основной показатель из тех, которыми мы располагаем, позволяющий с определенной уверенностью относить пойманных в прибрежных водах производителей к местам воспроизводства на о. Итуруп, — это состояние их яичников. У самок с величиной ГСИ в 19–22 % яичники фактически уже находились в состоянии готовности к нересту. Вероятнее всего, самки с таким состоянием гонад в самое ближайшее время начнут миграцию в реки в непосредственной близости от места их поимки в прибрежной акватории.

Заключение

По совокупности полученных данных и высказанных соображений мы можем заключить, что абсолютное большинство самок и самцов кижуча, пойманных в прибрежье и реках о. Итуруп в августе-октябре 2021 г., принадлежали к двум возрастным группам 1.1+ и 2.1+ при значительном преобладании особей первой из них. Учитывая

возраст рыб, сравнительно небольшую массу производителей, но главный уровень зрелости икричников, мы считаем, что по крайней мере часть учетных рыб направлялась на нерест в реки острова. На это прямо указывает поимка рыб в пресной воде. Можно полагать, что популяция кижуча на о. Итуруп является немногочисленной. Впрочем, поскольку кижуч нерестится позже кеты, часть производителей может пройти на нерест в тот период, когда кету на о. Итуруп уже не ловят, а, следовательно, сам ход производителей тихоокеанских лососей в реки не учитывают и не исследуют.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность мастерам перерабатывающих комплексов «Рейдово» и «Ясный», благодаря которым состоялась возможность дополнительно к запланированным ранее анализам горбуши и кеты исследовать производителей кижуча.

The authors express their gratitude to masters of the processing complexes Reidovo and Yasny who made possible to analyse coho salmon spawners in addition to the planned analyzes of pink salmon and chum salmon.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.
The study had no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Для биологических анализов использовали рыбу только из промысловых уловов. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.
Fish from commercial catches only were subjected to biological analyses.
The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

А.Н. Ельников организовал все работы, лично провел биологический анализ производителей и определил их возраст. Оба автора совместно анализировали данные. О.В. Зеленников инициировал написание статьи и подготовку ее к печати.

A.N. Elnikov organized and managed the field investigations and personally conducted biological analysis of coho salmon and determined their age. The data were analyzed by both authors jointly. The text was written and prepared for publication by O.V. Zelennikov.

Список литературы

- Гриценко О.Ф. Проходные рыбы острова Сахалин (систематика, экология, промысел) : моногр. — М. : ВНИРО, 2002. — 248 с.
- Жульков А.И., Шубин А.О., Чупахин В.М. и др. Нерка о. Итуруп // Рыбы Курильских островов / под ред. О.Ф. Гриценко. — М. : ВНИРО, 2012. — С. 153–165.
- Зеленников О.В., Погодин В.П., Отставная Е.Г. Распределение молоди тихоокеанских лососей и сопутствующих видов рыб в озере Сопочное (остров Итуруп) // Биол. моря. — 2016. — Т. 42, № 2. — С. 153–155.
- Зеленников О.В., Проскуряков К.А., Рудакова Г.С., Мякишев М.С. Сравнительная характеристика молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) при ее естественном и заводском воспроизводстве в Сахалинской области // Биол. моря. — 2020. — Т. 46, № 1. — С. 14–23. DOI: 10.31857/S0134347520010118.
- Зорбиди Ж.Х. Кижуч азиатских стад : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2010. — 308 с.
- Иванков В.Н. Проходная и жилая формы нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) о. Итуруп (Курильские острова) // Биология проходных рыб Дальнего Востока. — Владивосток : ДВГУ, 1984. — С. 65–73.
- Каев А.М., Чупахин В.М. Динамика стада горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* о. Итуруп (Курильские острова) // Вопр. ихтиол. — 2003. — Т. 43, № 6. — С. 801–811.

Марченко С.Л. Кижуч *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum) материкового побережья Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 3. — С. 556–579. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-556-579. EDN: FRJIJM.

Марченко С.Л., Волобуев В.В., Макаров Д.В. Биологическая структура кижуча *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum) материкового побережья Охотского моря // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2013. — Вып. 29. — С. 70–83.

Погодин В.П., Борзов С.И., Мякишев М.С. и др. Опыт двухлетнего выращивания молоди сима *Oncorhynchus masou* на рыбоводном заводе острова Итуруп // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 196. — С. 182–192. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-182-192.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) : моногр. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Пищепромиздат, 1966. — 375 с.

Рыбы Курильских островов / под ред. О.Ф. Гриценко. — М. : ВНИРО, 2012. — 384 с.

Сидоров Л.К. Ихтиофауна пресных вод южных Курильских островов : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 2005. — 24 с.

Сидоров Л.К., Пичугин М.Ю. Состав ихтиофауны и особенности биологии рыб южных Курильских островов в связи с абиотическими условиями и происхождением водоемов // Тр. ВНИРО. — 2005. — Т. 144. — С. 151–175.

Шедько С.В. Обзор пресноводной ихтиофауны // Растительный и животный мир Курильских островов (материалы Международного Курильского проекта). — Владивосток : Дальнаука, 2002. — С. 118–134.

Klovach N., Leman V., Gordeev I. The relative importance of enhancement to the production of Salmon on Iturup Island (Kuril Islands, Russia) // Reviews in Aquaculture. — 2021. — Vol. 13, Iss. 1. — P. 664–675. DOI: 10.1111/raq.12493.

Pietsch T.W., Amaoka K., Stevenson D. et al. Freshwater fishes of the Kuril Islands and adjacent regions // Species Diversity. — 2001. — Vol. 6. — P. 133–164. DOI: 10.12782/specdiv.6.133.

Sandercock F.K. Life history of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) // Pacific Salmon Life Histories / eds C. Groot and L. Margolis. — Vancouver : UBC press, 1991. — P. 395–446.

References

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

Zhulkov, A.I., Shubin, A.O., Chupakhin, V.M., Kovalenko, S.A., Borzov, S.I., Sidorov, L.K., and Pichugin, M.Yu., Nerka Iturup island, in *Ryby Kuril'skikh ostrovov* (Fishes of the Kuril Islands), Gritsenko, O.F., ed., Moscow: VNIRO, 2012, pp. 153–165.

Zelennikov, O.V., Otstavnaya, E.G., and Pogodin, V.P., The distribution of juvenile pacific salmon and associated fish species in Lake Sopochnoye, Iturup Island, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2016, vol. 42, no. 2, pp. 190–192. doi 10.1134/S1063074016020139

Zelennikov, O.V., Proskuryakov, K.A., Rudakova, G.S., and Myakishev, M.S., The comparative characteristics of naturally produced and hatchery-reared juvenile pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792), from Sakhalin Oblast, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2020, vol. 46, no. 1, pp. 12–21. doi 10.31857/S0134347520010118

Zorbidi, J.H., *Kizhuch aziatskikh stad* (Coho salmon of Asian herds), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2010.

Ivankov, V.N., Anadromous and residential forms of the sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) Iturup Island (Kuril Islands), in *Biologiya prokhnodnykh ryb Dal'nego Vostoka* (Biology of Anadromous Fishes in the Far East), Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 1984, pp. 65–73.

Kaev, A.M. and Chupakhin, V.M., Dynamics of the school of the pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* of Iturup Island (the Kuril Islands), *J. Ichthyol.*, 2003, vol. 43, no. 6, pp. 801–811.

Marchenko, S.L., Coho salmon *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum) on the continental coast of the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 3, pp. 556–579. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-556-579. EDN: FRJIJM.

Marchenko, S.L., Volobuev, V.V., and Makarov, D.V., Biological structure of coho *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum) of the continental sea-shore of the Sea of Okhotsk, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean*, 2013, vol. 29, pp. 70–83.

Pogodin, V.P., Borzov, S.I., Myakishev, M.S., Varaksin, I.A., and Zelennikov, O.V., Experience of two-year rearing of cherry salmon *Oncorhynchus masou* juveniles at fish farm on Iturup Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 196, pp. 182–192. doi 10.26428/1606-9919-2019-196-182-192

Pravdin, I.F., *Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh)* (Guide to the Study of Fish (Mainly Freshwater)), 4th ed., Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1966.

Ryby Kuril'skikh ostrovov (Fishes of the Kuril Islands), Gritsenko, O.F., ed., Moscow: VNIRO, 2012.

Sidorov, L.K., Ichthyofauna of fresh waters of the southern Kuril Islands, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow, 2005.

Sidorov, L.K. and Pichugin, M.Yu., The composition of the ichthyofauna and the peculiarities of the biology of fish of the southern Kuril Islands in connection with abiotic conditions and the origin of water bodies, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 144, pp. 151–175.

Shedko, S.V., The review of the freshwater ichthyofauna, in *Flora and fauna of Kuril Island (materials of International Kuril Island Project)*, Vladivostok: Dal'nauka, 2002, pp. 118–134.

Klovach, N., Leman, V., and Gordeev, I., The relative importance of enhancement to the production of Salmon on Iturup Island (Kuril Islands, Russia), *Reviews in Aquaculture*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 664–675. doi 10.1111/raq.12493

Pietsch, T.W., Amaoka, K., Stevenson, D., MacDonald, E.L., Urbain, B.K., and López, J.A., Freshwater fishes of the Kuril Islands and adjacent regions, *Species Diversity*, 2001, vol. 6, pp. 133–164. doi 10.12782/specdiv.6.133

Sandercock, F.K., Life history of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*), *Pacific Salmon Life Histories*, Groot, C. and Margolis, L., eds, Vancouver: UBC Press, 1991, pp. 395–446.

Поступила в редакцию 20.02.2023 г.

После доработки 3.03.2023 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

*The article was submitted 20.02.2023; approved after reviewing 3.03.2023;
accepted for publication 3.03.2023*

**УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ
ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES**

Научная статья

УДК 599.745.3:556.124.4(282.256.341)**DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-163-178****EDN: OHNBIA****ВЛИЯНИЕ РАННЕГО РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА
И ВЫСОКОГО УРОВНЯ ВОДЫ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ
БЕРЕГОВОГО ЛЕЖБИЩА БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ (*PUSA SIBIRICA* GM.)
НА О. ДОЛГОМ (ОЗ. БАЙКАЛ) ПО МАТЕРИАЛАМ 2020 Г.****Е.А. Петров, А.Б. Купчинский***Байкальский музей Сибирского отделения РАН,
664520, Иркутская обл., пос. Листвянка, ул. Академическая, 1

Аннотация. На примере регулярно посещаемого байкальской нерпой *Pusa sibirica* Gm. лежбищного участка на о. Долгом, за которым ведется постоянное видеонаблюдение, дана характеристика функционирования одного из основных береговых лежбищ в 2020 г. при воздействии двух абиотических факторов — значительно более раннего (по сравнению с 2011–2019 гг.) разрушения и исчезновения ледяного покрова в северной части оз. Байкал и быстрого повышения уровня воды в летне-осенний период. Время выхода животных на берег и их численность зависят от первого фактора по схеме «меньше льда — раньше выход и выше численность». Уже в начале формирования залежек (май) на лежбище одновременно залегали до 400 животных. С преждевременным исчезновением плавающих льдов связана необычно большая доля в залежках особей с неоконченной линькой, а задержка линьки, вероятно, негативно отражается на здоровье животных. Увеличение потребности животных в береговых лежбищах происходит на фоне сокращения доступной площади твердого субстрата, что обусловлено быстрым повышением уровня воды. Высокий уровень воды, особенно в начале летнего сезона, выступает вторым негативным фактором, ограничивающим площадь среды обитания тюленей, испытывающих потребность в береговых лежбищах. Вследствие большого количества очень хорошо упитанных взрослых самок и самцов на лежбище в мае выдвинуто предположение о неучастии этих особей в воспроизводстве популяции в 2020 г.

Ключевые слова: байкальская нерпа *Pusa sibirica* Gm., береговое лежбище, потепление климата, остров Долгий, ледяной покров

Для цитирования: Петров Е.А., Купчинский А.Б. Влияние раннего разрушения ледяного покрова и высокого уровня воды на функционирование берегового лежбища байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gm.) на о. Долгом (оз. Байкал) по материалам 2020 г. // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 163–178. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-163-178. EDN: OHNBIA.

* Петров Евгений Аполлонович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, evgen-p@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8976-8291; Купчинский Александр Борисович, кандидат биологических наук, директор, albor67@mail.ru, ORCID 0000-0001-8884-8636.

© Петров Е.А., Купчинский А.Б., 2023

Influence of early destruction of the ice cover and high water level on functioning of the coastal rookery for baikal seal (*Pusa sibirica* Gm.) on Dolgiy Island (Lake Baikal), on materials of 2020

Evgeny A. Petrov*, Alexander B. Kupchinsky**

*, ** Baikal Museum, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
1, Akademicheskaya Str., Listvyanka, Irkutsk Region, 664520, Russia

* D. Biol., principal researcher, evgen-p@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8976-8291

** Ph.D., director, albor67@mail.ru, ORCID 0000-0001-8884-8636

Abstract. Functioning of a coastal seal rookery is considered on example of those located on Dolgiy Island in Lake Baikal, regularly visited by baikal seal *Pusa sibirica* Gm., which is constantly monitored by video surveillance. A case of the year 2020 with extremely early (comparing to 2011–2019) destruction and disappearance of ice in the northern part of the lake and rapid rise of the water level in summer-autumn is analyzed. Timing of the seals haul onshore and their abundance in rookery depend on the ice conditions: the lower ice cover — the earlier hauling-out and the higher abundance. Since the beginning of the rookery formation in May, up to 400 animals roosted there at the same time. Too early disappearance of the floating ice caused an abnormally large portion of individuals with incomplete molting on the rookery, and the delay in molting affected likely negatively on the animals health. Other negative factor was the deficit of available solid substrate for hauling-out because of rapid rise of the water level, particular in early summer. However, a large number of very well-fed adult females and males was observed on the rookery in May; presumably they did not participate in reproduction of population in 2020.

Keywords: Baikal seal, *Pusa sibirica* Gm., coastal rookery, climate warming, Dolgiy Island, ice cover

For citation: Petrov E.A., Kupchinsky A.B. Influence of early melting of the ice cover and high water level on functioning of the coastal rookery for baikal seal (*Pusa sibirica* Gm.) on Dolgiy Island (Lake Baikal), on materials of 2020, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 163–178. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-163-178. EDN: OHNBIA.

Введение

Байкальская нерпа *Pusa sibirica* Gm. — эндемичный пагетодный вид настоящих тюленей, обитающий в глубоководном пресноводном озере в центре Евразии, завершает трофическую цепь водоема и служит индикатором состояния экосистемы оз. Байкал. Нерпа является одним из основных объектов биомониторинга*. В условиях планетарного потепления климата соответствующие процессы в байкальском регионе идут ускоренными темпами. На Байкале (в аспекте байкальской нерпы) главными являются изменения ледового режима, когда периоды ледостава становятся короче как за счет более позднего становления ледяного покрова, так и за счет утончения льда и его раннего разрушения и исчезновения [Шимараев и др., 2002, 2019]. Такие процессы несут угрозу прежде всего репродуктивному успеху нерп, но одновременно они заметно удлиняют периоды безо льда (для нерпы — время активного нагула), влияют на поведение животных. В этих условиях, несмотря на преимущественное обитание нерп в пелагиали, возрастает значение берега в жизни тюленей [Петров и др., 2021a]. Недавно на примере одного из основных береговых лежбищ байкальской нерпы описаны некоторые характеристики его функционирования в разные годы [Petrov et al., 2022] и показано, что время появления нерп в районе лежбища, а также численность первых залежек и доля линяющих особей в них зависят от степени «ледовитости» и времени исчезновения плавающих льдов

* Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2020 году». Иркутск: ФГБУН Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2021. 370 с.

в северной части оз. Байкал [Купчинский и др., 2021]. В 2020 г. природа поставила эксперимент, позволивший проследить, как происходит освоение берегового лежбища нерпами в условиях одновременного влияния двух мощных абиотических факторов. Первый — исчезновение плавающих льдов в северной части Байкала значительно раньше обычных сроков (11 мая). В 2011–2019 гг. это случалось между 20 мая — 2 июня. Второй фактор — уровень воды: относительно высокий на дату начала наблюдений (456,23 м над уровнем моря). Он быстро увеличивался летом и особенно осенью. К августу уровень воды поднялся на 39 см, а к октябрю — еще на 50 см, что привело к затоплению значительных площадей обитания тюленей во время пребывания на лежбищах. Оценка одновременного влияния этих двух, негативных для животных, абиотических факторов на «береговой» период жизни и поведение байкальской нерпы и является целью настоящей работы.

Материалы и методы

Информационной основой для статьи стали видеонаблюдения, проводимые Байкальским музеем на северной оконечности о. Долгого — одного из основных береговых лежбищ, ежегодно посещаемых байкальской нерпой. Остров входит в состав архипелага Ушканьи острова (рис. 1), расположенного на границе между северной и средней частями оз. Байкал. Схема организации дистанционных наблюдений и основные технические параметры используемой аппаратуры подробно описаны В.А. Фиалковым с соавторами [2013]. Использовалась купольная камера Axis Q6035-E; передача информации с острова и управление видеокамерой осуществлялись по высокоскоростному каналу связи через промежуточные пункты (ретрансляторы) с помощью оборудования RADWIN 2000C; электропитание получали с помощью солнечных батарей и ветрогенератора «Аполло-650», смонтированных на острове (работа видеокамеры ограничивалась преимущественно световым днем). Изображения с места наблюдений в режиме реального времени поступали непосредственно в интернет, в настоящее время они заархивированы (ресурсоемкий стандарт сжатия M-JPEG) и хранятся в фондах Байкальского музея.

Для сообщения использованы видеоматериалы, полученные в сезон 2020 г. Характеристика животных в залежках (размерно-возрастной состав, состояние волосяного покрова, упитанность и физическое состояние животных) проведена преимущественно по предварительно изготовленным стоп-кадрам (методом срезов) [Попов, Ильченко, 1990]. Численность нерп на том или ином участке определяли прямым подсчетом животных на стоп-кадрах, если численность за день была меньше 10, считали, что животные отсутствовали (они фиксировались, но не обсуждаются).

Размерную (возрастную) принадлежность нерп оценивали визуально по физическому состоянию животных. Выделяли три группы: молодые (мелкие) животные в возрасте $\leq 3+$ лет; неполовозрелые особи в возрасте $4+...7+$ лет и взрослые (крупные) особи старше $7+$ лет (масса тела этих особей приблизительно составляла соответственно 15–30 кг, 30–40/50 и ≥ 50 кг). Упитанность животного (у ластоногих — отношение массы подкожного жира + шкура к общей массе тела, %) оценивали визуально с учетом возраста (по возможности — половой принадлежности) и сезона. Всех нерп подразделяли на четыре группы: с высокой упитанностью (для данного сезона), когда упитанность превышает 50 %; с нормальной (средней) упитанностью (40–50 %); с недостаточной (низкой) упитанностью (до 40 %) и так называемые «заморыши». Под последними понимают животных, которые практически находятся на грани жизни и смерти и их физическое состояние является, как правило, результатом позднего рождения и недостаточного питания в первые месяцы жизни [Пастухов, 1993].

Главными признаками линьки служили специфическая окраска животных (преобладание буро-желто-ржавых оттенков), «вздыбленность» волосяного покрова на спине и по бокам, неотросшие вибриссы.

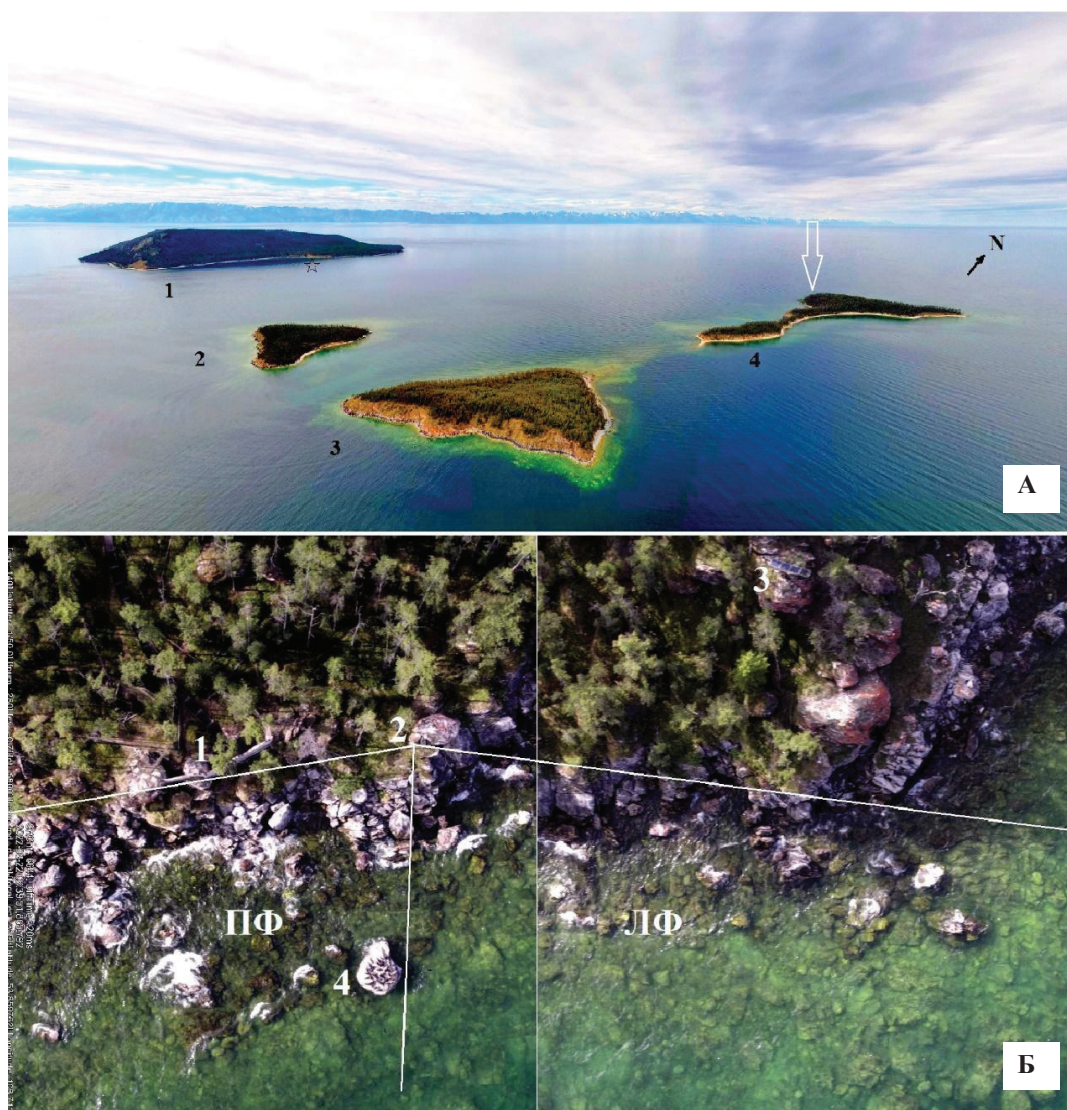


Рис. 1. Общий вид архипелага Ушканьи острова (А): 1 — о. Большой, 2 — о. Тонкий, 3 — о. Круглый, 4 — о. Долгий (Длинный), *стрелкой* показано место установки видеосистемы; северо-западный мыс о. Долгого (Б), на котором смонтирована видеосистема: 1 — тропа и смотровая площадка, 2 — место расположения видеокамеры, 3 — солнечные батареи и другая аппаратура, 4 — прибрежная глыба (Камушек), ПФ и ЛФ — правый и левый фланги сектора видеосъемки (фото Д.Е. Шабанова)

Fig. 1. General view of Ushkany Islands archipelago (А: 1 — Bolshoi Island, 2 — Tonkiy Island, 3 — Krugly Island, 4 — Dolgiy Island, the *arrow* shows location of the video system) and view of the northwestern cape of Dolgiy Island where the video system is mounted (Б: 1 — trail and observation deck, 2 — video camera, 3 — solar panels and other equipment, 4 — coastal rock Kamushek, ПФ and ЛФ — right and left flanks of the monitored sector), photo by D.E. Shabanov

Весь сектор осмотра для удобства мы разделили на правый и левый фланги (ПФ, ЛФ), границей между ними служила большая прибрежная глыба — Камушек (рис. 1). Наблюдения начали 11 мая, прекратили — 22 октября; по техническим причинам камера не работала 1 день в июле и 2 дня в августе.

В статье использованы фотографии (стоп-кадры), полученные с видеоматериалов, некоторые данные обсчитаны стандартными методами вариационной статистики

(Microsoft Excel), приведены $m_x \pm SE$ и n — количество определений изучаемого показателя. Ледовая обстановка оценивалась по космическим снимкам [сайт <http://sputnik.irk.ru>], уровень воды в Байкале — по сайту www.rushydro.ru.

Результаты и их обсуждение

Численность

Начальный период освоения лежбища (май). Наблюдения начались 11 мая, когда на скалах лежбища еще сохранялись сакуи (наледы), но акватория была свободной ото льда (рис. 2, А). Первые нерпы в акватории лежбища появились 17 мая, первые залежки возникли 18 мая и сразу наблюдался массовый подход — *привал* (термин Т.М. Иванова [1938]): около 60 нерп заняли камни и берег, но низкий уровень воды делал Камушек труднодоступным. На камнях ПФ и ЛФ, расположенных на литорали, в силу их небольшой площади и сложной конфигурации (архитектуры) численность животных в залежках всегда небольшая (18 — на ПФ и 22 — на ЛФ), но непосредственно на каменистом берегу и на небольших камнях в урезе воды (участок ПФ, обозначенный как «дворик», рис. 2) залежки были достоверно многочисленней (в среднем по 32) (табл. 1).



Рис. 2. Заполняемость берегового участка на ПФ (локация «дворик») в первые дни освоения лежбища (19 мая, А) и позже (1 июня, Б) (стоп-кадры видеосъемки, 2020 г.)

Fig. 2. Occupancy of the coastal area on right flank of the monitored sector («courtyard») in the beginning of the rookery formation: on May 19 (А) and June 1 (Б), by video stills

После формирования первых относительно малочисленных залежек 18 мая численность животных быстро увеличивалась, и уже 21 мая залежки стали массовыми, а пик численности пришелся на 31 мая. В мае нерпы явно предпочитали лежать на ПФ, в отдельные дни (и часы) их количество достигало 200–245 особей, в то время как на ЛФ — не более 170. Минимальные и максимальные среднесуточные значения численности нерп на разных флангах различались статистически достоверно (табл. 2). Посуточная динамика средней численности нерп в залежках (экз./ч) в первые дни освоения лежбища показана на рис. 3. Отметим, что превосходство численности нерп

Таблица 1

Численность и количество линяющих особей в исследованных залежках байкальской нерпы на лежбище на о. Долгом в 2020 г.

Table 1

Total number and the number of molting individuals in monitored haulouts of baikal seal on the rookery on Dolgiy Island in 2020

Участок лежбища	Дата	Численность нерп		
		Средняя в залежке, шт.	Всего в залежках, шт.	Линяющих в залежке, %
Правый фланг, берег	Май, 19–26	32 ± 3 (17)	548	81 ± 2
Правый фланг, камни в литорали	Май, 18–30	18 ± 2 (37)	673	88 ± 2
Левый фланг, камни в литорали	Май, 19–30	22 ± 2 (23)	505	81 ± 3
Правый и левый фланги (без Камушка)	Июнь	30 ± 2 (80)	2374	81 ± 1
	Июль	22 ± 2 (88)	1962	80 ± 1
	Август	16 ± 1 (23)	369	78 ± 3
	Сентябрь	12 ± 2 (23)	288	80 ± 3
	Октябрь	14 (1)	14	85
Камушек	Май, 20–31	31 ± 1 (44)	1354	85 ± 2
	Июнь	35 ± 2 (43)	1491	83 ± 2
	Июль, 1–23	36 ± 1 (118)	4207	79 ± 1
	Июль, 24–30	41 ± 2 (16)	657	69 ± 3
	Август	42 ± 2 (29)	1231	71 ± 2
	Сентябрь	36 ± 2 (57)	2072	83 ± 1
	Октябрь	35 ± 1 (34)	1198	86 ± 1

Примечание. В скобках количество залежек.

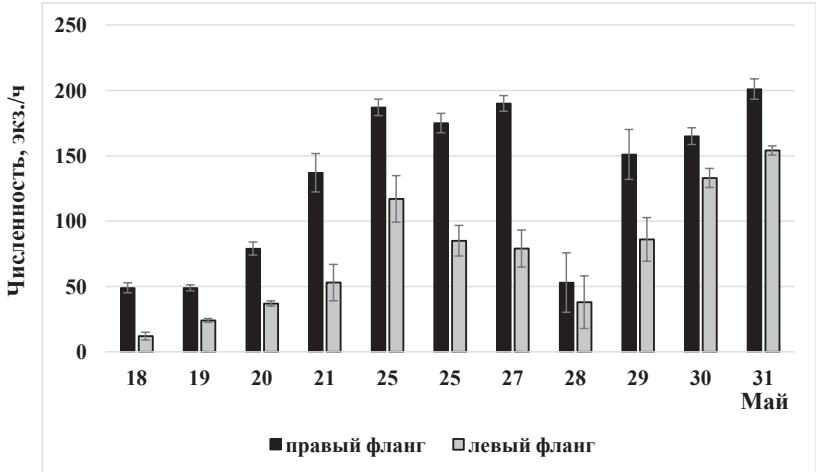


Рис. 3. Динамика средней численности нерп в залежках в первые дни освоения лежбища (с 18 по 31 мая 2020 г.), экз./ч

Fig. 3. Dynamics of average number of seals in haulouts in the beginning of the rookery formation (from May 18 to May 31, 2020), ind. per hour

на ПФ по сравнению с таковой на ЛФ сохранялось весь май, и оно было достоверно (кроме значений 28.05.2020 г.) (рис. 3), но позже нивелировалось.

Сравнивая данные 2020 г. с полученными ранее [Купчинский и др., 2021; Петров и др., 2021б; Petrov et al., 2022], можно увидеть, как четко прослеживаются особенности сезона.

В первую очередь это ранние сроки начала выхода животных на берег и массовость первых привалов. В конце мая и в начале июня в отдельные дни на обследуемом леж-

бище одновременно залегало > 400 особей, а с учетом нерп, залегающих в «мертвой» зоне (за правым мысом на ПФ), не менее 600 особей (рис. 4). Мы считаем, что такой массовости, скорее всего, поспособствовали ледовые условия на завершающем этапе ледолома.

В 2020 г. продолжительность стояния сплошного ледяного покрова в южной части озера составила 118 дней (с 12.01 по 9.05), а время ледолома (от начала разрушения до полного исчезновения льда) — 19 дней. В северной части лед стоял дольше (129 дней, со 2.01 по 11.05), но период ледолома был почти вдвое короче (10 дней). Однако время «жизни» именно плавающих льдов, на которых должны формироваться многотысячные залежки («урганы») и в течение двух недель происходить линька всех животных (за исключением сеголеток, вылинявших зимой) [Иванов, 1982], было еще короче. Очевидно, что большое количество животных не успели завершить линьку на льдах и вынуждены были выходить не только на прибрежные камни, но и непосредственно на берег. Отметим, что в прошлом веке нерпы появлялись на лежбищах лишь в июле, и то в небольшом количестве [Иванов, 1938; Пастухов, 1993]. Однако уже в 1990-е гг. летние залежки на Ушканьих островах начинали образовываться в июне вслед за исчезновением плавающих льдов и во второй половине месяца бывали многочисленными, а в июле — массовыми (сотни особей). При этом нерпы в основном успевали вылинять на льдах и имели нормальную упитанность [Петров, 1997].

Нагульный период (июнь-август). В июне нерпы находились на лежбище весь месяц, причем сравнительно в большом количестве, особенно на ЛФ. В течение месяца никакой закономерности в изменении численности залежек не отмечено, не соблюдалась и прежняя избирательность в отношении флангов лежбища (табл. 2). По дням средняя численность нерп (без учета нулевых значений) на лежбищах ПФ колебалась от 60 до 167, составляя в среднем для месяца 131 нерпу в день. На ЛФ среднесуточная численность колебалась от 49 до 170 (табл. 2), составляя в среднем для июня 123 нерпы в день.

Таблица 2

Table 2

Интенсивность посещения байкальской нерпой разных участков лежбища на о. Долгом в 2020 г.

Intensity of baikal seals visiting to certain parts of the rookery on Dolgiy Island in 2020

Месяц (кол-во дней наблюдений)	Уровень воды на начало месяца, м над уровнем моря (месячный прирост, м)	Правый фланг (ПФ) лежбища			Левый фланг (ЛФ) лежбища		
		Кол-во дней, когда нерпа присутствовала	Min средняя численность в отдельные дни, шт.	Max средняя численность в отдельные дни, шт.	Кол-во дней, когда нерпа присутствовала	Min средняя численность в отдельные дни, шт.	Max средняя численность в отдельные дни, шт.
Май (21)	456,18	11	49 ± 4	201 ± 8	11	12 ± 3	154 ± 4
Июнь (30)	456,29 (+11)	30	60 ± 10	167 ± 5	30	49 ± 11	170 ± 8
Июль (30)	456,48 (+19)	23	12 ± 6	125 ± 7	23	18 ± 2	140 ± 8
Август (29)	456,62 (+14)	14	11 ± 2	72 ± 8	10	15 ± 6	96 ± 12
Сентябрь (30)	456,88 (+26)	6	14 ± 4	62 ± 12	6	17 ± 8	73 ± 11
Октябрь (21)**	457,12 (+24)	1	—	18 ± 5	1	—	27 ± 4

* Не считая «нулевых» дней, когда нерп не было.

** Данные по ПФ за 08.10.2020 г., по ЛФ — за 06.10.2020 г.

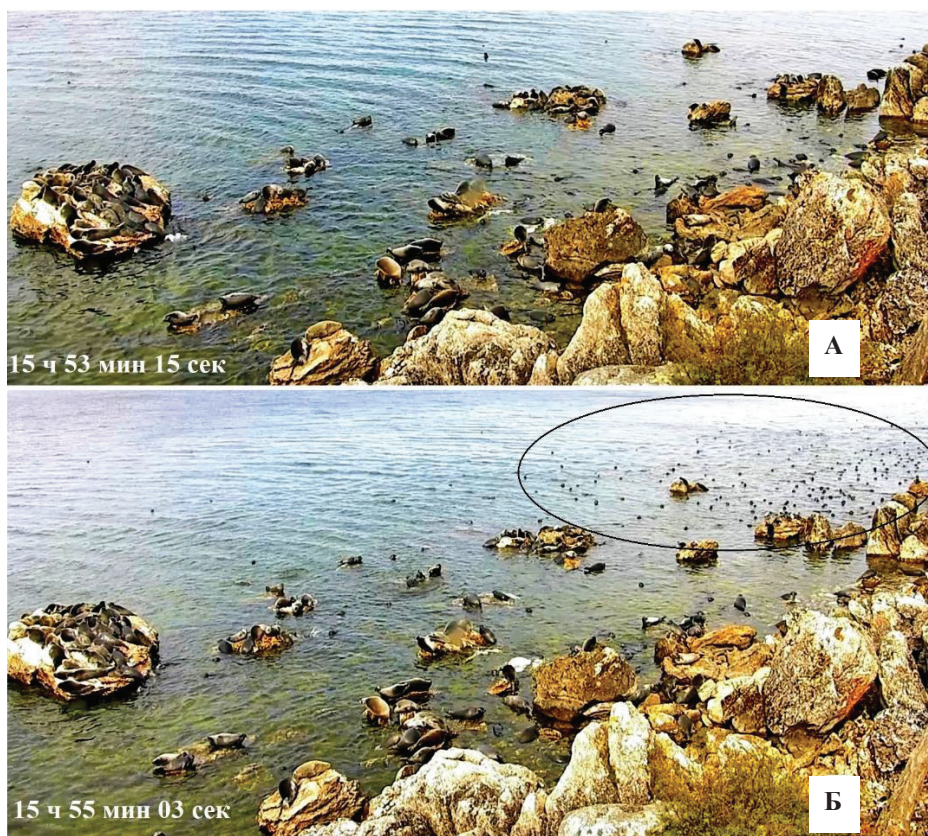


Рис. 4. Два фрагмента видеосъемок залежек байкальских нерп: **А** — правый фланг и Камушек, лежат ≈ 150 животных; **Б** — разница в 2 мин., на лежбище те же особи, в правом верхнем углу — головы тюленей (> 150 шт.), сошедших в воду с участка лежбища, не просматриваемого видеокамерой («мертвая» зона), в результате сгона нерп людьми (фото-срез 16.06.2020 г.)

Fig. 4. Two fragments of video footage of the baikal seal haulouts on June 16, 2020: **A** — right flank of the monitored sector and rock Kamushek, ≈ 150 animals lie; **B** — the same haul-out site after 2 min: the same animals lie and other > 150 individuals show their heads in the upper right corner being descended to the water driven by people from the area not viewed by video camera («dead» zone). Time is indicated

В июле залежки оставались многочисленными только в начале месяца, после чего количество животных, выходящих на твердый субстрат, резко сократилось, отчего средняя численность залежек достоверно была ниже, чем в июне (см. табл. 1). На ПФ в течение месяца оно колебалось от 125 до 12, составляя в среднем 52 особи. На ЛФ — от 145 до 18 (табл. 2), в среднем — 61.

В августе динамика численности была как в июле — до 10 августа нерп было относительно много, но потом их численность сократилась, и средняя численность залежек была достоверно меньше, чем в июле (см. табл. 1). В августе больше животных было на ЛФ — средняя численность колебалась от 15 до 96 особей, в то время как на ПФ — от 11 до 72 (табл. 2), но с учетом «нулевых» дней каждый день на камнях лежало в среднем соответственно по 19 и 18 нерп.

Суточная динамика численности нерп на лежбище летом, по-видимому, может быть разной: обычно привалы случались с раннего утра (или ночью, в предрассветные часы), реже численность животных увеличивалась до максимума в дневное время и еще реже — к вечеру.

Осенний период. В сентябре нерпы появлялись на лежбище только в течение 6 дней, но минимальная и максимальная численность животных на лежбище почти не от-

личались от таковых в августе (табл. 2). В октябре лежбища посещали единичные особи. Только раз на ПФ лежбища в среднем лежали 18 нерп, а на левом — 27 (в разные дни).

Посещаемость лежбища. Если в июне нерпы присутствовали на лежбище каждый день (и в большом количестве), то в июле — только 23 дня (что можно связать с непогодой). Отличительной чертой августа были многочисленные «нулевые» дни (15), когда нерпы не посещали лежбище, причем не всегда из-за неблагоприятной погоды. На ПФ нерп фиксировали в течение 14 дней, на ЛФ — только 10 дней, и их численность заметно понизилась, возможно, в связи с затоплением части лежбища (табл. 2). То же самое наблюдали в сентябре — с продолжающимся быстрым затоплением берега и прибрежных камней (уровень воды за месяц повысился на 26 см) нерпы в небольшом количестве выходили на лежбище всего 6 дней, а в октябре — 2 дня.

Размерно-возрастной состав залежек

В начальный период освоения лежбища (в мае) на всех исследуемых лежбищных участках (указаны в табл. 1) доминировали крупные (взрослые) особи. Так, в залежках на береговой линии (локация «дворик») взрослых нерп было ≈64 %.

Мелких животных было мало (10 %), а 26 % составляли нерпы средних размеров (неполовозрелые). Доминирование крупных особей в залежках отмечали на камнях и скалах литорали обоих флангов (рис. 5), но на ЛФ крупных особей было достоверно больше, чем на ПФ ($p = 0,05$) — 66 против 49 %, а мелких, напротив, было меньше (11 против 20 %), т.е. на ЛФ залегали животные тех же размеров, что и на берегу ПФ (во «дворике»).

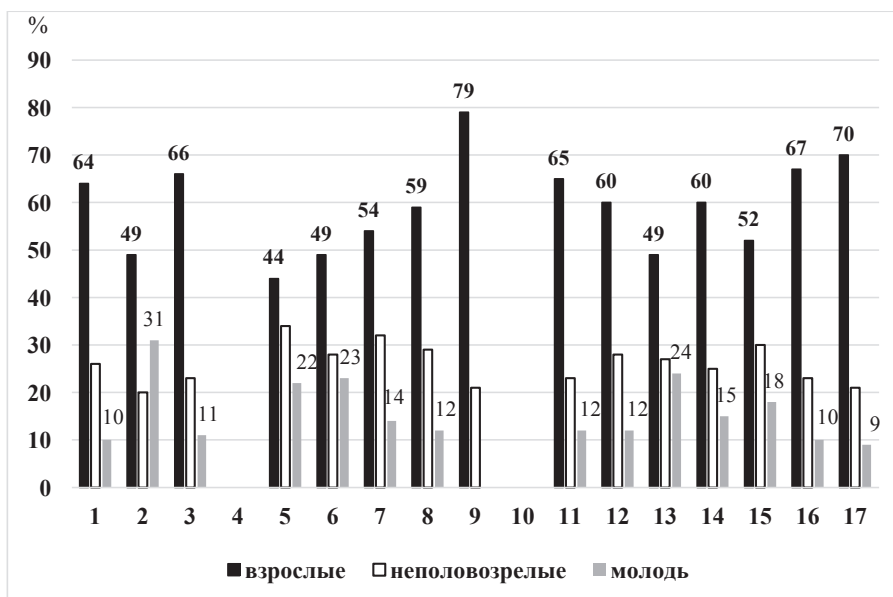


Рис. 5. Возрастной (размерный) состав залежек байкальской нерпы на разных участках лежбища в сезонном аспекте. В мае (1–3): 1 — берег правого фланга (ПФ), 2 — камни в литорали ПФ, 3 — камни в литорали левого фланга (ЛФ). Летом и осенью (4–8) на берегу и камнях в литорали (ПФ+ЛФ, без Камушка): 4 — июнь, 5 — июль, 6 — август, 7 — сентябрь, 8 — октябрь. Летом и осенью (9–15) на Камушке: 9 — 20–31 мая, 10 — июнь, 11 — 1–23 июля, 12 — 24–30 июля, 13 — август, 14 — сентябрь, 15 — октябрь (о. Долгий, 2020 г.)

Fig. 5. Seasonal dynamics of the baikal seal age (size) composition in certain parts of the rookery on Dolgiy Island in 2020: 1 — shore on the right flank of the monitored sector in May; 2 — littoral rocks on the right flank in May; 3 — littoral rocks on the left flank in May; 4 — shore and littoral rocks on the right and left flanks of the monitored sector (beyond rock Kamushek) in June; 5 — same areas in July; 6 — same areas in August; 7 — same areas in September; 8 — same areas in October; 9 — rock Kamushek on May 20–31, 10 — rock Kamushek in June, 11 — rock Kamushek on July 1–23, 12 — rock Kamushek on July 24–30, 13 — rock Kamushek in August, 14 — rock Kamushek in September, 15 — rock Kamushek in October

В июне крупных (взрослых) особей было меньше ($\approx 48\%$), а мелких нерп — больше (22%), т.е. увеличилась относительная численность не маленьких, но предположительно неполовозрелых животных (до 34%). Однако в дальнейшем, к осени, количество взрослых нерп только увеличивалось, достигнув в октябре 79% . Одновременно молодые (мелкие) особи постепенно исчезли из залежек (рис. 5). Возрастной состав залежек, вероятно, отражает состав той группы, которая подошла на лежбище, или тех животных, которые в данное время обитают в окрестностях лежбища (но не всей популяции).

Упитанность

В мае среди лежащих нерп многие особи ($26\text{--}34\%$) были «не по сезону» очень хорошо упитаны, тощих особей («заморышей») не было вовсе. Около $52\text{--}57\%$ нерп имели нормальную упитанность и остальные ($\approx 16\%$) отнесены к худым (рис. 6). В июне и июле количество хорошо упитанных особей уменьшилось (до $22\text{--}23\%$), $58\text{--}52\%$ животных имели нормальную (среднюю) упитанность, но количество недостаточно упитанных нерп с 20% в июне увеличилось до 25% в июле. Однако в августе хорошо упитанных особей стало заметно больше (почти 32%), а плохо упитанных — меньше (17%). Эта динамика — увеличение относительного количества хорошо упитанных животных в залежках и уменьшение численности плохо упитанных — продолжалась и дальше, и в октябре доля хорошо упитанных особей составила 57% , а особи с недостаточной упитанностью исчезли (рис. 6). Отметим, что за все время наблюдений в залежках было очень мало «заморышей» ($< 1\%$).

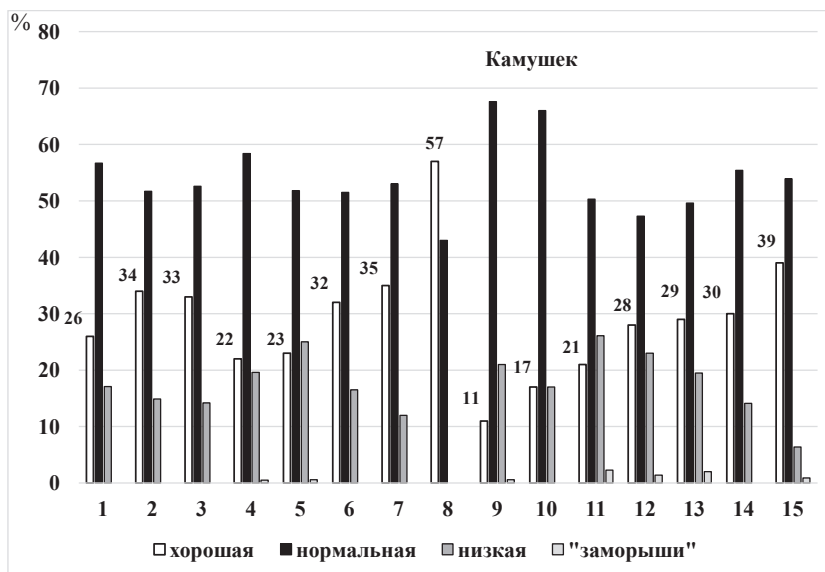


Рис. 6. Упитанность байкальской нерпы на лежбище в сезонном аспекте. В мае (1–3): 1 — берег правого фланга (ПФ), 2 — камни в литорали ПФ, 3 — камни в литорали левого фланга (ЛФ). Летом и осенью (4–8) на берегу и камнях в литорали (ПФ+ЛФ, без Камушка): 4 — июнь, 5 — июль, 6 — август, 7 — сентябрь, 8 — октябрь. Летом и осенью (9–15) на Камушке: 9 — 20–31 мая, 10 — июнь, 11 — 1–23 июля, 12 — 24–30 июля, 13 — август, 14 — сентябрь, 15 — октябрь (о. Долгий, 2020 г.)

Fig. 6. Seasonal dynamics of the baikal seal fatness on the rookery on Dolgiy Island in 2020: 1 — shore on the right flank of the monitored sector in May; 2 — littoral rocks on the right flank in May; 3 — littoral rocks on the left flank in May; 4 — shore and littoral rocks on the right and left flanks of the monitored sector (beyond rock Kamushek) in June; 5 — same areas in July; 6 — same areas in August; 7 — same areas in September; 8 — same areas in October; 9 — rock Kamushek on May 20–31, 10 — rock Kamushek in June, 11 — rock Kamushek on July 1–23, 12 — rock Kamushek on July 24–30, 13 — rock Kamushek in August, 14 — rock Kamushek in September, 15 — rock Kamushek in October

Очень высокая упитанность заметного количества взрослых самцов и самок в начале освоения лежбища в 2020 г. (в мае) — явление, наблюдаемое в последнее время в отдельные годы. В прежних работах либо только упоминается наличие очень хорошо упитанных взрослых самок на лежбищах Ушканьих островов [Иванов, 1938], либо утверждается, что животные «имели обычную для этого времени упитанность» [Пастухов, 1993, с. 116]. Однако в обоих случаях речь шла об июле. У байкальской нерпы в мае индекс упитанности самый низкий в течение года. Особенно это касается взрослых самцов, участвующих в гоне, и самок, недавно переставших кормить щенков [Пастухов, 1993].

Кроме того, считается, что зимой все нерпы недоедают [Гурова, Пастухов, 1974; Пастухов, 1993], точнее, их питание не адекватно энергетическим затратам при подледном обитании. Однако взрослые самки, не рожавшие и не выкармливающие щенка в данном году («яловухи»), а также самцы, пропустившие гон, к весне обычно сохраняют высокую упитанность.

В нашем случае большое количество хорошо упитанных животных на лежбище сразу после очищения озера ото льда (в мае) объясняется не результатом нагула (слишком короткий период) и не только хорошей кормовой базой в зимнее время и относительно коротким ледовым периодом зимы 2019–2020 гг. (смотрите выше), требующим меньших затрат энергии (без чего сохранить высокую упитанность было бы невозможно). Основная причина феномена — неучастие многих взрослых самок в воспроизводстве популяции. Заметное количество взрослых самцов, очевидно, также не принимали участия в гоне в 2020 г. (о чем свидетельствует их хорошая упитанность в мае-июне). Постепенное увеличение в залежках доли хорошо упитанных животных от весны к осени — нормальное явление, отражающее интенсивный нагул в условиях хорошей кормовой базы. Например, в августе многие животные были упитаны не хуже, чем обычно бывает в октябре-ноябре, когда у нерп наблюдается максимальная сезонная упитанность и масса тела [Пастухов, 1993].

Линька и патологии

В мае большинство (> 80 %) животных были с признаками незаконченной линьки, причем в залежках на камнях и скалах литоральной зоны ПФ линяющих нерп было достоверно больше, чем на соседних локациях, — продолжали линять 88 % животных (см. табл. 1). Очевидно, что связано это с недостаточным временем пребывания тюленей на плавающих льдах, т.е. с преждевременным исчезновением обычного субстрата для линьки.

С июня по октябрь количество линяющих животных в залежках достоверно не менялось, оставаясь в границах 78–85 % (табл. 1). Сохранение огромного количества линяющих нерп вплоть до поздней осени мы отмечали и в другие годы, но этот феномен совершенно необычный, немислимый в 1960–1990-е гг. В 1930-е гг. функционально летние береговые лежбища рассматривали как продолжение ледовых линных лежбищ, как место, куда выходят почти исключительно начинающие или уже линяющие животные [Иванов, 1938]. Однако на основании материалов 1962–1979 гг. это утверждение было отвергнуто, поскольку на береговых лежбищах линяющих нерп было только 9 % численности [Пастухов, 1993]. По нашим данным, начиная по крайней мере с 2011 г., основной причиной выхода байкальской нерпы на береговые лежбища является растянутая линька, протекающая на фоне процессов, связанных с потеплением климата [Петров и др., 2021а, б]. В этом ключе данные В.Д. Пастухова согласуются с нашими: в 60–70-е гг. прошлого века плавающие льды в северном Байкале сохранялись вплоть до 20-х чисел июня (поэтому, по мнению авторов, животные успевали вылинять на них), а после окончательного очищения акватории ото льда нерпы не сразу выходили на лежбища [Пастухов, 1993, с. 116–117], вероятно потому, что у них не было такой потребности.

Неуменьшающееся количество линяющих особей в течение летне-осеннего периода объясняется постоянной ротацией состава залежек [Petrov et al., 2021], т.е. подходом

на лежбище новых групп животных, которые до этого, не найдя подходящего места для выхода на берег, нагуливались в пелагиали. Возможно, какие-то группы мигрировали из южной части озера, где подходящих мест для формирования лежбищ очень мало (из-за высокого антропогенного пресса).

Если распространить наблюдаемую на лежбище картину на всю популяцию, получается, что какое-то количество животных уходит «на зимовку», так и не завершив смену волосяного покрова. Однако при этом они хорошо упитаны. Важно, что у животных с сильно затянувшейся во времени линькой, судя по видеозаписям крупным планом, развиваются болезни кожно-волосяного покрова различной (неустановленной) этиологии (рис. 7). Примеры внешнего проявления патологий кожно-волосяного покрова байкальской нерпы приведены на рис. 5, 7 и 12 в статье Е.А. Петрова с соавторами [2021б].



Рис. 7. Примеры патологий кожно-волосяного покрова байкальской нерпы: **А** — байкальские нерпы на Камушке; красными точками помечены особи, явно имеющие патологии; **Б** — фрагмент залежки нерп на отдельном камне, все особи невылинявшие, что для сентября также можно считать патологией (фото-срезы 15.09.2020 г., уровень воды — 457,04 м)

Fig. 7. Examples for pathologies of skin and hair coat of baikal seal: **A** — seals on rock Kamushek, the individuals with clear pathologies marked by red dots; **B** — unmolted seals on a separate rock on September 15, 2020 (water level 457.04 m) — such delay in molting is considered a pathology

Примечательно, что прежние авторы [Иванов, 1938; Пастухов, 1993] при описании береговых лежбищ не упоминают о больных нерпах. Однако наблюдения за лежбищами летом 1990, 1991, 1993 гг. показали, что заметная доля животных, находящихся на лежбище, это ослабленные, плохо упитанные животные: подранки, нуждающиеся в отдыхе, а также больные и продолжающие линять животные* [Петров, 1997].

Массовые патологии, возможно, являются очень негативным результатом нарушения важнейшего физиологического процесса в жизни нерпы — смены волосяного покрова [Пастухов, 1993]. Это обстоятельство повышает значение пребывания животных на суше под солнечными лучами, поскольку они оказывают оздоровительный эффект как на кожно-волосяной покров млекопитающих, так и на организм в целом (преимущественно через кожу) [Чередниченко, 1979].

* Тогда линяющих нерп было немного и их количество не связывалось с ледовым режимом.

Возможно, именно потребность в солнечных лучах является основополагающей мотивацией выхода животных на берег [Petrov et al., 2021]. В этом же ключе можно объяснить упомянутую выше избирательность места залегания нерп, т.е. выбор места связан с его освещенностью. В погожие дни продолжительность воздействия солнечного освещения на лежащих на берегу нерп на ПФ больше, чем на ЛФ (причем как утром, так и вечером), но это соотношение меняется в течение летне-осеннего периода. В наших широтах естественная освещенность в течение года максимальная летом, в июле, а в течение суток — с 11 до 14 час (полуденные часы). Эта рабочая гипотеза требует более тщательного анализа видеозаписей, а пока показано, что проявление или не проявление избирательности места залегания с погодными условиями (направление ветра, волнение, осадки) мало связаны [Petrov et al., 2022].

Лежбищный участок Камушек

В значительной степени численность нерп и в какой-то степени состав залежек на Камушке зависят от уровня воды. Эта локация (рис. 1 (Б), 4, 7, (А)) не всегда доступна мелким нерпам, и даже взрослые животные при низком уровне воды испытывают трудности при вылезании на этот камень. Поэтому, во всяком случае при низком уровне воды, залежкам на Камушке свойственна некая селективность — на нем практически не бывает молодых (мелких) нерп. Однако в мае 2020 г. начальный уровень воды был достаточно высоким (456,23–456,29 м над уровнем моря), чтобы размерно-возрастной состав залежек на Камушке был практически такой же, как на ЛФ (см. табл. 1). Но с 18 по 21 мая залежки были небольшими — средней численностью 9 ± 2 особи ($n = 5$; суммарная численность животных в залежках — 46).

Впоследствии по мере повышения уровня воды численность животных, залегающих на Камушке, увеличилась: поначалу превышала 30 особей, а со второй половины июля и в августе она достоверно увеличилась до > 40 (табл. 1). На Камушек, с одной стороны, чаще стали выбираться мелкие особи, с другой — увеличивалось количество взрослых, хорошо упитанных животных, и в залежке всегда преобладали крупные сильные особи (рис. 5), которым физически легче преодолеть высоту (порог) лаза. К ним относятся и взрослые самцы, многих из которых формально мы относим к категории нерп с низкой/недостаточной упитанностью [Пастухов, 1993]. Таким образом, если в залежках относительно много взрослых самцов, то доля нерп с высокой упитанностью уменьшается.

Однако осенью численность нерп вернулась к прежним значениям, что опять-таки может быть связано с высоким уровнем воды, поскольку заметно уменьшилась доступная площадь камня, остающаяся незатопленной.

На Камушке с мая по октябрь было заметно меньше нерп с высокой упитанностью (чем на других участках) (рис. 6), что, на наш взгляд, объясняется их меньшей двигательной активностью вне воды — толстым особям трудно выбираться на скалу. По мере затопления Камушка эта задача облегчалась и количество хорошо упитанных особей увеличивалось, достигнув в октябре 38 %, что все равно было значительно меньше, чем в залежках на других участках (табл. 1). Осенью Камушек остается практически единственным местом на изучаемом лежбище (при высоком уровне воды — легкодоступным), где нерпы образуют залежки (до октября включительно).

В мае в первых немногочисленных залежках на Камушке линяющих особей было 58 ± 14 %, но уже в конце месяца залежки стали многочисленней и животных, продолжающих линьку, стало значительно больше (85 %) (табл. 1). В июне численность линных особей оставалась прежней, но в июле и августе она достоверно понизилась (впрочем, оставаясь большой), а осенью вернулась к прежним значениям. Причина сохранения на залежках большого количества линяющего зверя в течение всего сезона озвучена выше (ротация).

Мы уже отмечали, что в связи с потеплением климата и изменением ледового режима (в том числе в сроках ледостава) увеличилась продолжительность функцио-

нирования береговых лежбищ [Петров и др., 2021а, б] и их правильное считать не летними, а летне-осенними. В 2020 г. это также прослеживается, хотя численность нерп, посещающих берег в осеннее время, невелика, что, возможно, определяется уровнем воды (поскольку залежка на незатопляемом Камушке всегда относительно крупная). До значимого изменения ледового режима на Байкале численность нерп на береговых лежбищах была минимальной в июле, максимальная численность отмечалась в сентябре, а в октябре нерпы перемещались на мелководные участки озера, к «фабрикам льда», в частности в Чивыркуйский залив, ближайший к Ушканьим островам [Пастухов, 1993]. Теперь сезонная динамика численности обратная, а нерпы не спешат в заливы, поскольку формирование первого льда там начинается намного позже, чем было в 1960–1990 гг.

Заключение

Показано, что в связи с очень ранним исчезновением плавающих льдов в 2020 г. освоение лежбищ (на примере о. Долгого) началось значительно раньше обычных сроков, а первые привалы были очень мощными. На берег сразу пошли сотни животных, большинство из которых не успели закончить сезонную линьку. Этот факт является резко отрицательным последствием раннего разрушения льда, поскольку процесс смены волосяного покрова растягивается и приобретает патологические черты. Животные с нарушенным кожно-волосяным покровом подвержены развитию кожных заболеваний.

Водный режим озера влияет на сезонную динамику численности нерп в залежках и их распределение по участкам лежбища. Этот абиотический фактор (быстрый и значительный подъем уровня воды) негативно влияет на тюленей: в течение лета, когда значительная часть популяции нуждается в береговых лежбищах, многие лежбищные участки затапливаются, и, возможно, именно поэтому численность нерп на лежбище сокращается уже в августе, не говоря об осени. Только огромный Камушек, становясь более доступным, является единственным местом (на изучаемом лежбище), где нерпы могут образовывать залежки до поздней осени.

Отмечено наличие в залежках заметного количества очень хорошо упитанных особей в мае, что нехарактерно для вида. Несомненно, что на массу и упитанность нерп повлияли хорошая кормовая база пелагиали и относительно короткий период жизни подо льдом прошедшей зимой. Однако, принимая во внимание, что чрезмерно упитанными (для сезона) являются преимущественно заведомо взрослые самки и часть взрослых самцов, мы полагаем, что сохранение такой упитанности у этих особей возможно только в одном случае — если они не участвовали в воспроизводстве популяции в 2020 г. Большая относительная численность таких животных (25 %), в свою очередь, может свидетельствовать о процессах саморегуляции в популяции нерпы, направленных на стабилизацию или сокращение ее численности.

Продолжающееся потепление, сокращающее продолжительность ледостава и ускоряющее распадение ледяного покрова на Байкале, следует рассматривать как угрозу для нормальной жизнедеятельности байкальской нерпы не только в зимний период (деторождение), — что очевидно, этой темы мы не касались, — но и в нагульный период.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность техническому персоналу, обеспечивающему видеосъемку и передачу информации в музей.

The authors express their gratitude to the technical staff who made the video images and provided this information to the Baikal museum.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках бюджетной темы № 121032900077-4 «Экологическая диагностика изменений некоторых элементов биogeоценозов территории Восточной Сибири».

The study was conducted within the framework of the budget project No. 121032900077-4 «Ecological diagnostics of changes in some elements of biogeocenoses in the territory of East Siberia».

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Настоящая статья не содержит исследований с участием людей или животных в качестве объектов экспериментальных исследований. Библиографические ссылки на все использованные источники оформлены в соответствии с правилами данного издания.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

This article does not contain studies involving humans or animals as subjects of experimental studies. 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.

Список литературы

Гурова Л.А., Пастухов В.Д. Питание и пищевые взаимоотношения пелагических рыб и нерпы Байкала : моногр. — Новосибирск : Наука, 1974. — 184 с.

Иванов М.К. Кожно-волосной покров байкальской нерпы // Морфо-физиологические и экологические исследования байкальской нерпы. — Новосибирск : Наука, 1982. — С. 20–39.

Иванов Т.М. Байкальская нерпа, ее биология и промысел // Изв. Биол.-геогр. НИИ при Вост.-Сиб. гос. ун-те. — 1938. — Т. 8, вып. 1–2. — С. 5–119.

Купчинский А.Б., Петров Е.А., Овдин М.Е. Первый опыт применения дистанционного мониторинга лежбища байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gm.) // Биота и среда природных территорий. — 2021. — № 2. — С. 77–94. DOI: 10.37102/2782-1978_2021_2_6.

Пастухов В.Д. Нерпа Байкала. Биологические основы рационального использования и охраны ресурсов : моногр. — Новосибирск : ВО Наука, Сибирская издательская фирма, 1993. — 262 с.

Петров Е.А. Распределение байкальской нерпы *Pusa sibirica* (Pinnipedia, Phocidae) // Зоол. журн. — 1997. — Т. 76, № 10. — С. 1208–1209.

Петров Е.А., Купчинский А.Б., Фиалков В.А. К вопросу о значении береговых лежбищ в жизни байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gm.) в условиях потепления климата // Междунар. науч.-исслед. журн. — 2021а. — № 3(105), ч. 2. — С. 42–47. DOI: 10.23670/IRJ.2021.105.3.032.

Петров Е.А., Купчинский А.Б., Фиалков В.А., Бадардинов А.А. Значение береговых лежбищ в жизни байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gmelin, 1788, Pinnipedia). 3. Функционирование лежбищ байкальской нерпы на острове Тонкий (Ушканьи острова, оз. Байкал) по материалам видеонаблюдений // Зоол. журн. — 2021б. — Т. 100, № 7. — С. 823–840. DOI: 10.31857/S0044513421070102.

Попов С.В., Ильченко О.Г. Методические рекомендации по этологическим наблюдениям за млекопитающими в неволе. — М. : Московский зоопарк, 1990. — 76 с.

Фиалков В.А., Бадардинов А.А., Кузеванова Е.Н., Егранов В.В. Совершенствование системы дистанционного мониторинга за флорой и фауной ООПТ Байкальской природной территории // Вестн. ИрГСХА. — 2013. — Вып. 57-2. — С. 149–156.

Чередниченко Л.К. Природные факторы среды и их влияние на организмы // Экологическая физиология животных. Ч. 1. Общая экологическая физиология и физиология адаптаций. — Л. : Наука. 1979. — С. 36–78.

Шимараев М.Н., Куимова Л.Н., Синюкович В.Н., Цехановский В.В. О проявлении на Байкале глобальных изменений климата в XX столетии // ДАН. — 2002. — Т. 383, № 3. — С. 397–400.

Шимараев М.Н., Сизова Л.Н., Троицкая Е.С. и др. Ледово-термический режим озера Байкал в условиях современного потепления (1950–2017 гг.) // Метеорол. и гидрол. — 2019. — № 10. — С. 67–76.

Petrov E.A., Kupchinsky A.B., Fialkov V.A. Summer coastal rookeries and perspectives of the Baikal seal (*Pusa sibirica*) population in the conditions of the global warming // Biosyst. Divers. — 2021. — Vol. 29(4). — P. 387–392. DOI: 10.15421/012149.

Petrov E.A., Kupchinsky A.B., Fialkov V.A., Badardinov A.A. The Importance of Coastal Hauling Grounds in the Life of the Baikal Seal (*Pusa sibirica* Gmelin 1788, Pinnipedia): 3. Utilization of Coastal Hauling Grounds by the Baikal Seal on Tonkii Island (Tonkii Ushkan Islet), Ushkan Islands, Lake Baikal, Based on Video Observations // Biology Bulletin. — 2022. — Vol. 49, № 7. — P. 975–991. DOI: 10.1134/S1062359022070159.

References

- Gurova, L.A. and Pastukhov, V.D.,** *Pitaniye i pishchevyye vzaimootnosheniya pelagicheskikh ryb i nerpy Baykala* (Nutrition and food relationships between pelagic fish and seals of Baikal), Novosibirsk: Nauka, 1974.
- Ivanov, M.K.,** Skin and hair cover of the Baikal seal, in *Morfo-fiziologicheskiye i ekologicheskkiye issledovaniya baykal'skoy nerpy* (Morphological and ecological studies of the Baikal seal), Novosibirsk: Nauka, 1982, pp. 20–39.
- Ivanov, T.M.,** On Baikal seal *Phoca sibirica* Gmelin, its biology and fishing, *Izv. biol.-geogr. Nauchno-Issled. Inst. pri Vostochnosib. Gos. Univ.*, 1938, vol. 8, no. 1–2, pp. 5–119.
- Kupchinsky, A.B., Petrov, E.A., and Ovdin M.E.,** First attempt at remote monitoring the Baikal Seal's (*Pusa sibirica* Gm.) coastal rookery, *Biota i sreda prirodnikh territory*, 2021, no. 2, pp. 77–94. doi 10.37102/2782-1978_2021_2_6
- Pastukhov, V.D.,** *Nerpa Baykala. Biologicheskkiye osnovy ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany resursov* (Baikal seal. Biological foundations of rational use and protection of resources). Novosibirsk: Nauka, Sibirskaya izdatel'skaya firma, 1993.
- Petrov, E.A.,** Current distribution of Baikal Seal *Pusa sibirica* (Pinnipedia, Phocidae), *Zool. Zh.*, 1997, vol. 76, no. 10. pp. 1208–1209.
- Petrov, E.A., Kupchinsky, A.B., and Fialkov, V.A.,** On the importance of coastal rookeries in the life of Baikal Seals (*Pusa sibirica* Gm.) in warming climate conditions, *Mezhdunar. nauch.-issled. Zhurnal*, 2021, no. 3(105), part 2, pp. 42–47. doi 10.23670/IRJ.2021.105.3.032
- Petrov, E.A., Kupchinsky, A.B., Fialkov, V.A., and Badardinov, A.A.,** The importance of coastal rookeries in the life of the Baikal Seal (*Pusa sibirica* Gmelin 1788, Pinnipedia). 3. Functioning of the Baikal Seal rookeries on Tonkiy Island, Ushkany Islands, Lake Baikal, based on video observations, *Zool. Zh.*, 2021, vol. 100, no. 7, pp. 823–840. doi 10.31857/S0044513421070102
- Popov, S.V. and Ilchenko, O.G.,** *Metodicheskkiye rekomendatsii po etologicheskim nablyudeniyam za mlekopitayushchimi v nevole* (Methodological recommendations for ethological observations of mammals in captivity), Moscow: Moskovskiy zoopark, 1990.
- Fialkov, V.A., Badardinov, A.A., Kuzevanova, E.N., and Egranov, V.V.,** Improving the remote monitoring system for the flora and fauna of the protected areas of the Baikal natural territory, *Vestn. Irkutsk. Gos. Sel'skokhoz. Akademii*, 2013, no. 57-2, pp. 149–156.
- Cherednichenko, L.K.,** Natural factors of the environment and their influence on organisms, in *Ekologicheskaya fiziologiya zhivotnykh. Ch. 1. Obshchaya ekologicheskaya fiziologiya i fiziologiya adaptatsiy* (Ecological animal physiology. Part 1. General ecological physiology and physiology of adaptations), Leningrad: Nauka, 1979, pp. 36–78.
- Shimaraev, M.N., Kuimova, L.N., Sinyukovich, V.N., and Tsekhanovskii V.V.,** Manifestation of Global Climatic Changes in Lake Baikal during the 20th Century, *Doklady Earth Sciences*, 2002, vol. 383A, no. 3, pp. 288–291.
- Shimaraev, M.N., Sizova, L.N., Troitskaya, E.S., Kuimova, L.N., and Yakimova, N.I.,** Ice-thermal regime of Lake Baikal under conditions of modern warming (1950–2017), *Russ. Meteorol. and Hydrol.*, 2019, vol. 44, no. 10, pp. 679–686. doi 10.3103/S1068373919100066
- Petrov, E.A., Kupchinsky, A.B., and Fialkov, V.A.,** Summer coastal rookeries and perspectives of the Baikal seal (*Pusa sibirica*) population in the conditions of the global warming, *Biosyst. Divers.*, 2021, vol. 29, no. 4, pp. 387–392. doi 10.15421/012149
- Petrov, E.A., Kupchinsky, A.B., Fialkov, V.A., and Badardinov, A.A.,** The Importance of Coastal Hauling Grounds in the Life of the Baikal Seal (*Pusa sibirica* Gmelin 1788, Pinnipedia): 3. Utilization of Coastal Hauling Grounds by the Baikal Seal on Tonkii Island (Tonkii Ushkan Islet), Ushkan Islands, Lake Baikal, Based on Video Observations, *Biology Bulletin*, 2022, vol. 49, no. 7, pp. 975–991. doi 10.1134/S1062359022070159
- Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii ozera Baykal i merakh po yego okhrane v 2020 godu»* (State report “On the state of Lake Baikal and measures for its protection in 2020”), Irkutsk: FGBUN Institute geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2021.

Поступила в редакцию 31.10.2022 г.

После доработки 25.12.2022 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

The article was submitted 31.10.2022; approved after reviewing 25.12.2022;
accepted for publication 3.03.2023

Научная статья

УДК 597.555.5–153(268.56)

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-179-199

EDN: QXIAMK



ПИТАНИЕ МИНТАЯ И ЕГО КОРМОВАЯ БАЗА В ЧУКОТСКОМ МОРЕ В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД

Н.А. Кузнецова, М.А. Шебанова*

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

Аннотация. В летне-осенний период 2017–2020 гг. в Чукотском море в кормовую базу минтая (*Gadus chalcogrammus*, длиной 3–70 см) входили: зоопланктон, бентосные беспозвоночные и рыбы. В северо-западном районе моря молодь минтая (сеголетки и годовики) за сутки потребляли 0,033 т/км² кормовых организмов, в основном амфипод — 13,9, мизид — 20,1 и рыб — 30,9 %, копеподы и эвфаузииды составляли 5,0–7,6 % рациона. В юго-западной части моря молодь минтая за сутки использовала 0,2 т/км² кормовых организмов, преимущественно эвфаузиид и копепод (51,1–24,9 %), а доминировал минтай длиной 40–70 см, который за сутки потреблял 13,2 т/км² кормовых объектов. У крупного минтая 42 % рациона составляли рыбы, из кормовых ресурсов зоопланктона на эвфаузиид приходилось около 20, копепод — 6, декапод — 11 %. Состав и структура планктонного сообщества зависят от распространения на шельфе Чукотского моря тех или иных водных масс. В северо-западной части моря плотность зоопланктона составляла 56,3 т/км², доминировали сагитты (35,3 т/км²) и копеподы (12,6 т/км²). В юго-западной части моря плотность зоопланктона находилась на уровне среднеголетних значений 2000-х гг. и равнялась 49,2 т/км², за счет эвфаузиид — 17,3, сагитт — 15,8 и копепод — 9,2 т/км². Наблюдалось некоторое снижение биомассы щетинкочелюстных и копепод, в основном холодноводного вида *Calanus glacialis*, биомасса эвфаузиид, особенно *Thysanoessa inermis*, возросла почти в два раза по сравнению с 2000-х гг. Плотность основных групп зоопланктона, доминирующих в рационе минтая, — копепод и эвфаузиид — в 12–6 раз превышала объем их потребления, что может свидетельствовать об их достаточном количестве. Кроме того, находясь в придонном слое, минтай питался креветками, гаммаридами, донными полихетами, эхиуридами, моллюсками, а также рыбами. Индексы наполнения желудка были в пределах 218–228 ‰. Таким образом, минтай успешно питался и был обеспечен кормом.

Ключевые слова: Чукотское море, минтай, питание, рацион, потребление, зоопланктон, биомасса, плотность

Для цитирования: Кузнецова Н.А., Шебанова М.А. Питание минтая и его кормовая база в Чукотском море в летне-осенний период // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 179–199. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-179-199. EDN: QXIAMK.

* Кузнецова Наталья Алексеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, natalya.kuznetsova@tinro-center.ru, ORCID 0009-0005-8932-1744; Шебанова Марина Анатольевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, marina.shebanova@tinro-center.ru, ORCID 0009-0002-9859-0696.

© Кузнецова Н.А., Шебанова М.А., 2023

Feeding of walleye pollock and its feeding base in the Chukchi Sea in summer-autumn period

Natalia A. Kuznetsova*, Marina A. Shebanova**

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

4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

* Ph.D., leading researcher, natalya.kuznetsova@tinro-center.ru, ORCID 0009-0005-8932-1744

** Ph.D., leading researcher, marina.shebanova@tinro-center.ru, ORCID 0009-0002-9859-0696

Abstract. Data on feeding of walleye pollock *Gadus chalcogrammus* (3–70 cm long) in the Chukchi Sea in summer-autumn of 2017–2020 are presented. The food base includes zooplankton, benthic invertebrates and fish. The juveniles in the northwestern part of the sea consumed 0.033 t/km² of prey per day, mainly fish (30.9 %), mysids (20.1 %) and amphipods (13.9 %), whereas the portion of copepods and euphausiids was 5.0–7.6 % of the diet. In the southwestern part of the sea, the juveniles consumption was much higher, as 0.200 t/km² of prey per day, and included mainly euphausiids and copepods (24.9–51.1 %). The adults with length 40–70 cm long dominated in the southwestern Chukchi Sea and consumed on average 13.2 t/km² of prey per day, shared between fish (42 %), euphausiids (20 %), copepods (6 %), and decapods (11 %). Composition and structure of plankton was different between the main water masses on the shelf occupied the northern and the southern parts of the sea. In the northwestern Chukchi Sea, zooplankton distributed with the mean spatial density of 56.3 t/km², formed mostly by chaetognaths (35.3 t/km²) and copepods (12.6 t/km²). In the southwestern Chukchi Sea, the mean spatial density of zooplankton was 49.2 t/km², mostly euphausiids (17.3 t/km²), chaetognaths (15.8 t/km²) and copepods (9.2 t/km²). The total density was close to the level observed in the 2000s, but slight decreasing in biomass of chaetognaths and copepods was observed, mainly due to the recent lack of cold-water species *Calanus glacialis*, whereas the biomass of euphausiids, in particularly *Thysanoessa inermis*, had almost doubled. Biomass of the main groups of zooplankton prevailing in the diet in the Chukchi Sea in summer-autumn, as copepods and euphausiids, exceeded daily consumption of these groups by walleye pollock in 6–11 times that may indicate a sufficient food supply for this species. Besides, walleye pollock dwelled at the sea bottom and fed on shrimps, gammarids, bottom polychaetes, echinurids, mollusks, and also bottom fish. Total fullness of the pollock stomachs was in the range of 218–228 ‰ that also suggested successful feeding.

Keywords: Chukchi Sea, walleye pollock, feeding, diet, consumption, zooplankton, zooplankton biomass, spatial density

For citation: Kuznetsova N.A., Shebanova M.A. Feeding of walleye pollock and its feeding base in the Chukchi Sea in summer-autumn period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 179–199. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-179-199. EDN: QXIAMK.

Введение

Согласно исследованиям 2000-х гг. богатство видового состава и обилие обитателей Чукотского моря связаны с поступлением тихоокеанских вод, несущих в Арктику субарктическую фауну [Волков, Murphy, 2007; Кузнецова, Слабинский, 2007; Moss et al., 2009; Кособокова, 2010, 2012; Фигуркин, Слабинский, 2012; Ефимкин, 2013; Eisner et al., 2013; Gann et al., 2013; Слабинский, Фигуркин, 2014; Ershova et al., 2015; Pinchuk, Eisner, 2017]. Основу ихтиомассы в Чукотском море традиционно в эти годы составляла сайка *Boreogadus saida*, а начиная с 2018 г. — минтай *Gadus chalcogrammus*. В 2018 г. плотность всех рыб увеличилась почти в 4 раза по сравнению с 2010 г. и достигла 1,99 т/км². Основной причиной являлась возросшая биомасса минтая. В предыдущих съемках минтай отмечался лишь единичными экземплярами. Запасы сайки в 2018 г. составили 0,57 т/км² и находились на уровне 2010 г. — 0,44 т/км² [Борилко, 2018]. Но уже в 2020 г. уровень запаса сайки на южном полигоне сильно снизился — менее 1 т/км², и доминирующим видом стал минтай — 5,5 т/км² [Шейбак и др., 2020; Савин, 2021].

В теплые годы, когда на севере Берингова моря холодные воды занимают незначительную акваторию или отсутствуют, Берингов пролив открывается для минтая,

который может мигрировать на север, что приводит к его кратковременной миграции в южную часть Чукотского моря в нагульный период [Савин, 2019]. Пространственное распределение и максимальные уловы указывают на предпочтение минтаем южного участка моря как более комфортного для нагула [Борилко, 2018; Орлов и др., 2019; Савин, 2019; Шейбак, 2020]. На акватории, расположенной севернее южного участка, которая по своим термическим характеристикам в летний период суровее, а по батиметрическим — глубоководнее, преобладает сайка. Ихтиомасса северного участка на 97 % определяется ею [Савин, 2019, 2021]. Возросшая численность и биомасса минтая, а также его широкое распространение в Чукотском море оказывают влияние на состояние планктонного сообщества и обеспеченность этого вида пищей.

Цель работы — определение состава рациона минтая и его кормовой базы для оценки обеспеченности пищей в Чукотском море в 2017–2020 гг.

Материалы и методы

При проведении комплексных исследований в экспедициях ТИНРО в Чукотском море в 2003–2010 гг. были собраны материалы по численности и биомассе планктона и питанию nekтона, которые систематизированы и структурированы А.Ф. Волковым [2019] в базы данных по планктону и трофологии. Это дало возможность получить детальные характеристики по трофологии и планктонным сообществам, проводить сравнение и оценку количественных показателей планктона в море и в питании рыб.

В летне-осенний период 2018–2020 гг. в соответствии с Планом ресурсных исследований и государственного мониторинга водных биоресурсов и в западной части Чукотского моря были продолжены комплексные исследования, в том числе сбор данных по зоопланктону и питанию рыб моря на НИС «Профессор Леванидов» и «ТИНРО», в 2017 и 2019 гг. в восточной части моря по американской программе «Комплексное исследование экосистем Арктики» (The Arctic Integrated Ecosystem Survey, Arctic IES) — на НИС «Ocean Star». В западном районе моря исследования были проведены в диапазоне глубин 57–265 м, в восточном — 24–64 м (лишь на северо-востоке на 5 станциях глубины были от 93 до 1156 м); на юге — 35–64 м (на юго-востоке 20–59 м). Схема станций и положение районов, по которым осреднялись полученные материалы, показаны на рис. 1. Во всех экспедициях сборы, обработка и интерпретация полученных данных по планктону были проведены по единой методике, принятой в ТИНРО [Борисов и др., 2004; Волков, 2008].

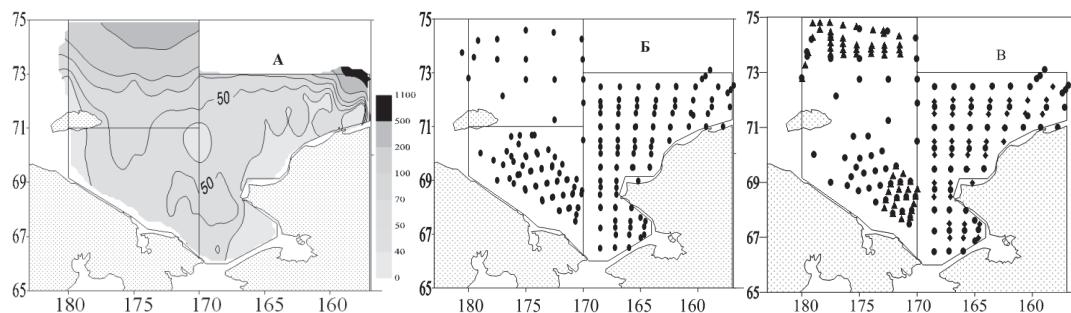


Рис. 1. Карты глубин (А), планктонных (Б) и трофологических (В) станций в Чукотском море в 2017–2020 гг.

Fig. 1. Bathymetric map of the Chukchi Sea (A) and schemes of plankton tows (Б) and trophological samplings (В) in 2017–2020

Материалы по питанию минтая получали из траловых уловов. Всего было взято 159 проб из 1367 желудков. Проба на питание обычно составляла до 30–50 желудков сеголеток (3–7 и 5–10 см) и по 10 каждой размерной группы (10–20, 20–30 см и т.д.). Обработка желудочно-кишечных трактов проводилась без предварительной фиксации,

содержимое желудков взвешивали, определяли массу каждого пищевого компонента, степень его переваренности по 5 стадиям, затем его значимость (% по массе, общие и частные индексы наполнения желудков (ИНЖ)) [Волков, 2008].

Планктон облавливался сетью БСД, площадь входного отверстия 0, 1 м², капроновое сито № 49, размер ячеи 0, 168 мм, в слое 200–0 м или «дно» – 0 м. Пробы зоопланктона (180 проб) при обработке разделяли на размерные фракции посредством процеживания через набор сит. В итоге получались 3 фракции: мелкая (длина животных от 0,6 до 1,2 мм), средняя (1,2–3,2 мм) и крупная (> 3,2 мм). Численность мелкой и средней фракций подсчитывалась в камере Богорова, а крупной — тотально. Биомасса рассчитывалась по численности и по сырым стандартным весам планктеров. В полученные результаты вводились поправки на недолов: для мелкой — 1,5; для средней — 2,0. Для планктона крупной фракции применялись группо-специфические поправки: для эвфаузиид, мизид и щетинкочелюстных длиной до 10 мм — 2; 10–20 мм — 5; более 20 мм — 10; для гипериид длиной до 5 мм — 1,5; 5–10 мм — 3; более 10 мм — 5; для копепод длиной до 5 мм — 2; более 5 мм — 3; для полихет, мелких медуз, птеропод и других малоподвижных животных — 1 [Борисов и др., 2004; Волков, 2008].

Результаты и их обсуждение

Климато-океанологические условия

Чукотское море относится к окраинным морям, его северная часть свободно сообщается с холодными водами Северного Ледовитого океана между меридианами 180° в.д. и 156° з.д. Океанологические условия (температура, соленость и др.) в Чукотском море во многом зависят от преобладания в районе тех или иных водных масс и вследствие этого влияют на распределение и концентрацию зоопланктона и нектона. На северо-запад моря распространяются атлантические воды, на северо-восток поступает холодная вода из Арктического бассейна и из моря Бофорта. Центральную часть моря занимают относительно теплые и соленые тихоокеанские воды, поступающие через Берингов пролив. Берингоморское течение, двигаясь на север, разделяется на два потока: Лонговская ветвь идет на запад, другая, Геральдовская, ветвь распространяется на северо-запад. В теплую часть года неперриодическую составляющую циркуляции вод южной части Чукотского моря обеспечивают эти два основных течения [Коучмен и др., 1979; Добровольский, Залогин, 1982; Weingartner et al., 2005]. Заток более теплых и соленых тихоокеанских вод через Берингов пролив, составляющий ежегодно в среднем 25–30 тыс. км³, существенно влияет на гидрологический режим Чукотского моря [Коучмен и др., 1979; Добровольский, Залогин, 1982; Weingartner et al., 2005; Woodgate et al., 2012]. Воды, вносимые из Восточно-Сибирского моря через прол. Лонга, следуют вдоль материкового побережья в виде Чукотского прибрежного течения (рис. 2) [Думанская, 2017]. Согласно данным И.О. Думанской [2017] связь Чукотского моря с Арктическим бассейном и Тихим океаном определяет ледовый режим моря. В 2000-е гг. количество теплых зим в морях восточной

Арктики выросло в среднем на 36 % по сравнению с данными за XX век.

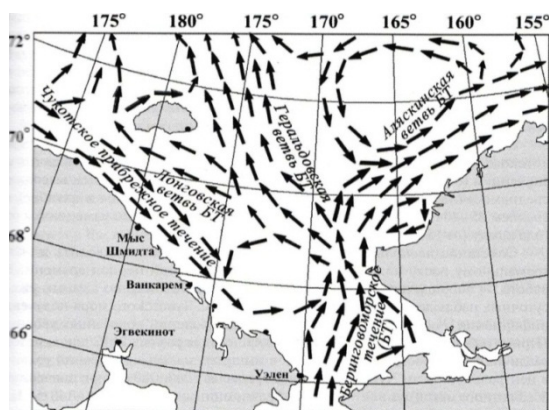


Рис. 2. Схема течений Чукотского моря [Думанская, 2017]

Fig. 2. Scheme of currents in the Chukchi Sea [Dumanskaya, 2017]

В 2019–2020 гг. в северной части Чукотского моря, к северу от 73° с.ш., температура вод на поверхности изменялась от 0,5 до 4,0 °С при солёности 26,5–29,5 ‰. Такое распределение было обусловлено доминированием вод арктического происхождения. На глубинах преимущественно от 180 м до дна отмечены воды переходной зоны атлантического происхождения с характерными значениями температуры более 0 °С и солёности более 34,5 ‰ [Орлов и др., 2019]. На весь слой юго-западного участка Чукотского моря оказывали интенсивное влияние теплые и солёные берингоморские воды, что связано с увеличением их затока. Наибольшие скорости, более 5 см/с (максимум 14 см/с), движения воды в пределах исследуемой акватории приурочены к стречню северо-западного переноса берингоморских вод Центрального течения [Орлов и др., 2019; Шейбак и др., 2020]. В поверхностных водах температура и солёность, формируемые проникновением через Берингов пролив берингоморских вод, варьировали от 7,6 до 9,6 °С и 31,0–32,5 ‰. Распространению тихоокеанских вод в западном направлении препятствовали воды Восточно-Сибирского моря (поверхностная прибрежная водная масса (летней вариации), хорошо прогретая более 7 °С, с солоноватыми водами (значения солёности менее 30 ‰) — результат смешения речных и морских вод). Фронтальная зона, разделяющая эти водные массы, была отчетливо выражена. В пространственном распределении температуры и солёности (от 1,0 до 4,5 °С и 32,7–32,8 ‰) в придонном слое относительно окружающих вод выделялись теплые, более 3 °С, берингоморские воды. Восточнее 178° з.д. у дна распределялись распресненные воды Восточно-Сибирского моря с температурой ниже 0,5–1,0 °С и солёностью 31,5–32,6 ‰. В районе американского шельфа, находящегося под влиянием Аляскинской прибрежной ветви берингоморских вод, температура воды на поверхности изменялась от 10,5 °С на южных до 5,0 °С — на северных станциях. В районе глубоководных станций, где на шельф восточной части моря поступала холодная вода из Арктического бассейна и из моря Бофорта, максимальная температура на поверхности была в пределах 2,0–3,5 °С [Farley et al., 2019].

Питание минтая в Чукотском море

В Чукотском море у минтая *G. chalcogrammus* длиной от 3 до 70 см наблюдалось большое разнообразие пищевого рациона, включая планктон, бентосных беспозвоночных и рыб (табл. 1).

В рационе сеголеток минтая 3–7 см, встреченных только в юго-восточной части моря, доминировали копеподы (61,0 %), эвфаузииды (11,0 %), сагитты (10,8 %), аппендикулярии (7,8 %). Интенсивность питания была средней, ИНЖ составил 107 ‰. В течение дня сеголетки активно питались, доля свежей пищи составляла 23–53 %. В рационе был отмечен как крупный, так и средний и мелкий зоопланктон. Доминировали копеподы р. *Pseudocalanus*, *C. glacialis/marshallae*, *E. bungii*, прибрежные *Epilabidocera amphitrites*, *Tortanus discaudatus*, *Centropages abdominalis* (табл. 1, рис. 3).

В среднем по морю сеголетки 5–10 см почти в равной степени потребляли копепод и эвфаузиид — 48–42 %, они интенсивно питались, ИНЖ были высокими (табл. 1). У сеголеток 5–10 см и годовиков минтая длиной 10–20 см в рационе присутствовал только планктон с преобладанием копепод: бореально-арктические виды *Neocalanus plumchrus+flemingeri*, *C. glacialis* и арктические — *Calanus finmarchicus* и *Calanus hyperboreus* и эвфаузиид *Th. inermis* и *Th. raschii*, доля которых в пище увеличивалась по мере роста минтая (табл. 1). У годовиков длиной 10–20 см в питании доминировали эвфаузииды (38 %), отмечены также гиперииды, мизиды, декаподы, аппендикулярии (от 9 до 6 %) и рыбы — около 5 %.

Сеголетки минтая длиной тела 5–10 см и молодь 10–20 см были сосредоточены в основном в северной части моря, а встречавшиеся на юге составляли не более 0,8 % общей биомассы минтая. Как видно на рис. 4, в северной части моря в рационе минтая доля эвфаузиид, а особенно копепод, весьма незначительна, 50 % рациона составляли амфиподы и мизиды, на долю рыб приходилось около 17 %. Кроме того, отмечены сагитты, ойкоплев-

Таблица 1

Состав пищи минтая в Чукотском море в 2017–2020 гг., %

Table 1

Walleye pollock food composition in the Chukchi Sea in 2017–2020, %

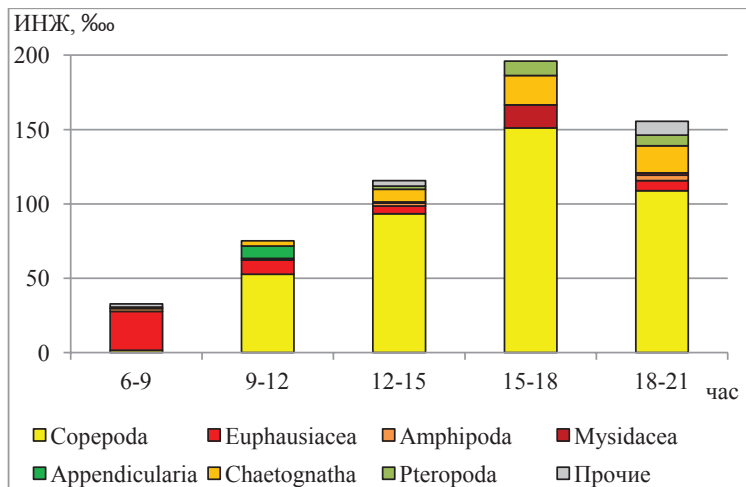
Компонент	Юго-восточная часть моря	Западная часть моря					
	Размерный ряд, см						
	3–7	5–10	10–20	20–31	40–50	50–60	60–70
Copepoda , в том числе:	61,4	48,28	19,38	2,73	15,36	8,55	3,18
<i>Calanus glacialis/C. marshallae</i>	12,5	4,48	1,24	0	4,08	0,04	0,02
<i>Neocalanus plumchrus+flemingeri</i>		34,95	8,46	1,82	10,17	8,07	2,64
<i>Neocalanus cristatus</i>	1,0		1,09		0,67		0,40
<i>Calanus hyperboreus</i>		0,48	0,37		0,03		
<i>Calanus finmarchicus</i>		1,31	0,32		0,03		
<i>Metridia pacifica</i>	0,5	6,33	2,76		0,02		
<i>Metridia longa</i>		0,50	0,14			0,43	0,13
<i>Pseudocalanus</i> spp.	25,7		0,67	0,91			
<i>Centropages abdominalis</i>	2,3		0,36				
<i>Epilabidocera amphitrites</i>	9,7						
<i>Tortanus discaudatus</i>	3,7						
<i>Eucalanus bungii</i>	5,2						
Прочие Copepoda	0,8	0,24	3,97		0,37	0	0
Euphausiacea , в том числе:	11,0	41,58	37,89	10,24	44,23	16,81	13,20
<i>Thysanoessa raschii</i>	4,2	12,09	13,82		8,60	6,78	4,50
<i>Thysanoessa inermis</i>	2,4	2,40	3,98		4,93	3,53	2,32
<i>Thysanoessa longipes</i>			2,62		5,13	0,95	0,26
<i>Euphausia pacifica</i>			2,13		7,82		
<i>Furcilia Euphausiacea</i>	4,4	27,08	9,00		5,55	1,47	1,98
<i>Euphausiacea</i> spp.			6,34	10,24	12,20	4,33	4,14
Hyperiidae , в том числе:	1,1	4,10	8,66	0,83	1,34	0,46	0,61
<i>Themisto pacifica</i>	0,8		1,94	0,27	0	0	0,19
<i>Themisto libellula</i>		4,10	1,61		0,08	0,03	
<i>Themisto</i> sp.			2,30	0,26			
<i>Hyperia</i> sp.	0,3		2,09	0,29	1,09	0,35	0,42
<i>Scina spinosa</i>			0,72		0,08	0,09	
Gammaridea	0,1		0,76		0	0,66	0,40
Mysidacea	2,5	1,60	7,36	14,48	0,08	0,71	0,99
<i>Appendicularia</i>	7,8	0,67	5,97		0,32	0,18	0,26
<i>Chaetognatha</i>	10,8	2,89	1,89		0,16	0,01	0,53
Coelenterata		0,93	1,31		0,32		0,16
Decapoda , в том числе:	2,0		6,71	1,57	11,72	13,29	11,05
<i>Chionoecetes opilio</i> (larv.)					1,59	0,62	0,19
<i>Argis lar</i>						0,71	2,06
<i>Crangon communis</i>						1,70	1,00
<i>Eualis</i> sp.				1,57		0,53	0,59
<i>Pandalus goniurus</i>			2,58		3,15	6,18	5,76
<i>Pandalus borealis</i>			0			0,01	0,11
<i>Pandalus</i> sp.			2,45		2,86	2,17	0,66
<i>Decapoda</i> (larv.)	1,0		1,53		3,87	0,61	0,59
<i>Zoea decapoda</i>	1,0		0,00		0,17	0,43	0,09
<i>Decapoda</i> sp.			0,15			0,52	
Gastropoda , в том числе:	2,6				6,56	4,44	4,44
Buccinidae (larv.)					6,56	4,44	4,28
Pteropoda	2,6						0,16

Окончание табл. 1
Table 1 finished

Компонент	Юго-восточная часть моря	Западная часть моря					
	Размерный ряд, см						
	3–7	5–10	10–20	20–31	40–50	50–60	60–70
Bivalvia , в том числе:	0,04				0,42	0,95	4,25
<i>Nuculana pernula</i>							0,17
<i>Yoldia mialis</i>					0,42	0,95	3,53
Echinodermata	0,3		0				0,13
Sipunculoidea							0,82
Echiuioidea					4,12	19,74	4,78
Polychaeta	0,2		0,77		0,17	2,44	0,73
Cumacea	0,2		0,76	0,73			
Izopoda			0,27				0,07
Pisces , в том числе:			4,16	238,0	15,52	31,40	54,54
<i>Boreogadus saida</i>					0,48	2,13	13,61
<i>Gadus chalcogrammus</i>					0	0,34	1,36
<i>Ammodytes hexapterus</i>					0,76	7,91	2,37
<i>Lumpenus fabricii</i>					9,34	7,02	6,10
<i>Lumpenus sagitta</i>					0,17	2,08	1,91
<i>Mallotus villosus</i>					0	0,65	0,09
<i>Gymnocanthus tricuspis</i>					0,32	0,52	0,47
<i>Gymnocanthus juv.</i>					0,84	2,34	6,39
<i>Leptoclinus maculatus</i>						1,19	1,73
<i>Hippoglosoides robustus</i>							2,08
<i>Cottidae</i> sp.						1,34	
<i>Lycodes pobaris</i>							2,24
<i>Pisces</i> (larv.)			0,48	238,00			
Прочие рыбы			4,16		3,62	5,90	16,20
Переваренная пища			3,63			0,09	
Средний ИНЖ, ‰	107,3	180,8	146,2	268,6	227,8	224,9	218,2
Средняя масса пищи желудка, г	0,03	0,71	1,29	2,87	3,65	4,30	20,14
Средняя масса рыб, г	2,4	4,8	26,7	104,2	840,3	1317,0	1983,0
Средняя длина, см	6,2	8,3	15,5	25,2	48,5	55,9	65,9
Кол-во проб	17	5	31	6	18	37	45
Кол-во желудков	504	42	144	14	63	345	255

Рис. 3. Состав рациона и интенсивность питания сеголеток минтая (3–7 см) в светлое время суток в юго-восточной части Чукотского моря

Fig. 3. Diet composition and feeding intensity for pollock juveniles (3–7 cm) in daylight time in the southeastern Chukchi Sea



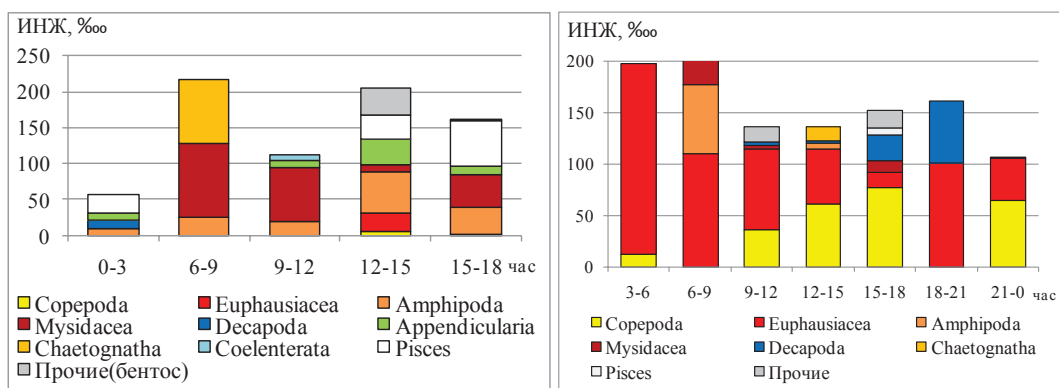


Рис. 4. Суточная ритмика и интенсивность питания минтая длиной 14–26 см в северо-западной части Чукотского моря в 2018 г. (слева), а также сеголеток и молоди длиной тела 5–20 см в юго-западной части моря в 2019–2020 гг. (справа)

Fig. 4. Diurnal rhythm and feeding intensity for walleye pollock 14–26 cm long in the northwestern Chukchi Sea in 2018 (left) and for pollock fingerlings and juveniles 5–20 cm long in the southwestern Chukchi Sea in 2019–2020 (right)

ры и бентосные виды (кумовые, изоподы, полихеты). В южной части моря эвфаузииды и копеподы составляли 76 % массы пищи сеголеток, а на рыб приходилось менее 1 %. Эвфаузииды преобладали в основном в ночные и утренние часы, копеподы — днем. Накормленность рыб была практически на одном уровне, как и средние ИНЖ (табл. 1, рис. 4).

У минтая длиной 20–30 см, который встречался только в северо-западной части моря, в питании доминировали личинки рыб (89 %), на долю эвфаузиид и мизид приходилось около 4–5 % массы пищи (табл. 1). Среднеразмерный минтай (30–40 см) в Чукотском море встречался единично, хотя был обилен в северо-западной части Берингова моря [Борилко, 2018].

Основная масса крупноразмерного минтая длиной 40–70 см обитала в южной части моря (плотность минтая в 2019 г. составила 2,243 т/км², в 2020 г. — 7,448 т/км²) [Савин, 2019; Шейбак и др., 2020]. В рационе минтая длиной 40–50 см наряду с планктоном (копеподы, эвфаузииды и декаподы, в основном личинки краба — *Chionoecetes opilio*) встречались и рыбы — 15 % от массы пищи. У минтая размерной группы 50–60 см на рыб приходилось 35 % массы пищи, у минтая 60–70 см — 55 %. В питании было отмечено около 16 видов рыб, в основном доминировали сайка, ликоды, стихеевые. Количество бентосных видов (полихеты, гаммариды, эхиуриды, сипункулиды, букциниды и двустворчатые моллюски) в рационе минтая длиной более 50 см составляло от 5 до 20 % (табл. 1, рис. 5). Такой минтай питался весьма интенсивно, ИНЖ равны 228–218 ‰. Анализ питания крупного минтая 40–70 см (средняя длина 56–62 см) показал отсутствие его четкой суточной ритмики, так как в шельфовой зоне пища для минтая была доступна практически круглосуточно (см. рис. 4). Тем не менее прослеживались два пика пищевой активности: утром — с 6 до 9 час и в вечер — с 18 до 24 час. В утренние часы в пище по массе доминировали рыбы, бентосные виды, эвфаузииды и декаподы, в вечерние часы наряду с рыбами значительную часть пищи составляли эвфаузииды и копеподы. Средний суточный пищевой рацион (СПР) составил 3,7 %.

Таким образом, кормовую базу минтая в Чукотском море составляли ракообразные: копеподы, эвфаузииды, амфиподы, мизиды, декаподы — и рыбы. Основное потребление кормовых объектов было отмечено в юго-западной части моря, где обитал минтай длиной 40–70 см. В среднем за сутки такой минтай потреблял 13,2 т/км² кормовых объектов, молодь — 0,2 т/км². Как и во всех дальневосточных морях, [Шунтов и др., 1993], молодь минтая в основном питалась копеподами и эвфаузиидами (24,9–51,1 %), половозрелый минтай — эвфаузиидами, креветками и рыбой (табл. 2). Рыбы составляли

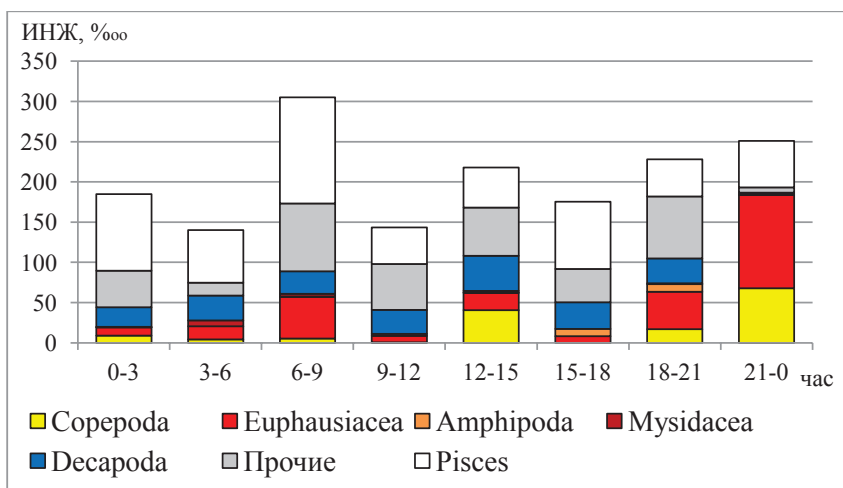


Рис. 5. Суточная ритмика и интенсивность питания минтая длиной 40–70 см в юго-западной части Чукотского моря в августе-сентябре 2019–2020 гг.

Fig. 5. Daily rhythm and feeding intensity for walleye pollock 40–70 cm long in the southwestern Chukchi Sea in August-September of 2019–2020

42 % рациона, а из потребляемых кормовых ресурсов зоопланктона на эвфаузиид приходилось около 20 %, копепод — около 6, декапод — 13 %. Крупноразмерный минтай, находясь в придонном слое, питался креветками, а также гаммаридами, донными полихетами, эхиуридами, моллюсками *Bivalvia* и *Gastropoda*.

Таблица 2

Среднесуточное потребление кормовых организмов минтаем различных размерных групп в Чукотском море, 2018–2020 гг., т/км² и % от общего количества

Table 2

Mean daily consumption of prey by walleye pollock in the Chukchi Sea in 2018–2020 (t/km²) and its composition (%), by size groups

Компонент	Северо-западная часть моря		Юго-западная часть моря			
	10–26 см		5–25 см		40–70 см	
	Т/км ²	%	Т/км ²	%	Т/км ²	%
Copepoda	0,0017	5,0	0,051	24,9	0,74	5,6
Euphausiacea	0,0025	7,6	0,104	51,1	2,58	19,6
Amphipoda	0,0046	13,9	0,014	7,1	0,24	1,8
Appendicularia	0,0028	8,5	0,001	0,5	0,02	0,1
Decapoda	0,0004	1,1	0,010	5,2	1,46	11,1
Chaetognatha	0,0024	7,3	0,004	2,0	0,02	0,2
Coelenterata	0,0008	2,6	0,001	0,3	0,01	0,1
Mysidacea	0,0066	20,1	0,008	3,7	0,08	0,6
Прочие	0,0006	1,7	0,008	3,8	0,01	0,1
Bivalvia					0,29	2,2
Gastropoda					0,49	3,7
Echiurida					1,26	9,6
Sipunculida					0,24	1,8
Polychaeta	0,0004	1,3			0,18	1,4
Pisces, в том числе:	0,0102	30,9	0,003	1,4	5,56	42,1
Сайка					0,88	6,7
Выедание	0,0330	100,0	0,204	100,0	13,18	100,0
Биомасса рыб	0,0052		0,033		3,56	
Средний СПР	6,2		6,2		3,7	

В связи с тем что в разные годы были исследованы разные площади акватории Чукотского моря, на которых определены запасы рыб, нами использовалась плотность рыб в тоннах на квадратный километр [Савин, 2019; Шейбак и др., 2020]. Отмеченное различие состава пищи молоди минтая в северном и южном районах можно объяснить относительно меньшей биомассой кормового зоопланктона, в частности копепод и эвфаузиид. Так, молодь минтая в северо-западном районе потребляла в основном молодь рыб, а также мизид и амфипод (табл. 2).

Кормовая база минтая в Чукотском море

Средние данные по биомассе фито- и зоопланктона и распределение биомассы фитопланктона и трех размерных фракций зоопланктона в Чукотском море в 2017–2020 гг. представлены в табл. 3 и на рис. 6.

Таблица 3
Биомасса фитопланктона и размерных фракций зоопланктона и групп его крупной фракции в Чукотском море в 2017–2020 гг.

Table 3
Biomass of phytoplankton, size fractions of zooplankton, and taxonomic groups of its large-sized fraction in the Chukchi Sea in 2017–2020, mg/m³

Фракции и группы зоопланктона	В среднем по морю		Южная часть моря		Северная часть моря	
	Мг/м ³	%	Мг/м ³	%	Мг/м ³	%
Фитопланктон	131	—	149,2	—	101,7	—
Зоопланктон, в том числе:	731,8	100,0	886,3	100,0	477,0	100,0
– мелкая фракция	153,2	20,9	177,2	20,0	112,8	23,6
– средняя фракция	54,2	7,4	70,5	8,0	28,1	5,9
– крупная фракция, в том числе:	524,4	71,7	638,6	72,0	336,1	70,5
Copepoda	99,9	19,0	127,2	19,9	54,8	16,3
Euphausiacea	75,6	14,4	117,0	18,3	7,4	2,2
Chaetognatha	245,3	46,8	273,9	42,9	198,3	58,8
Coelenterata	53,0	10,1	52,1	8,2	54,3	16,2
Tunicata	6,9	1,3	10,1	1,6	1,6	0,5
Amphipoda	7,2	1,4	4,2	0,7	12,1	3,6
Decapoda	3,6	0,7	5,1	0,8	1,3	0,4
Pteropoda	16,9	3,2	25,8	4,0	2,2	0,7
Mysidacea	7,7	1,5	10,4	1,6	2,9	0,9
Прочие	8,3	1,6	12,8	2,0	1,2	0,4

Средняя величина биомассы фитопланктона по северному району составляла 101,7 мг/м³. В северо-западной части в зоне влияния вод из Восточно-Сибирского моря максимальная биомасса была 1608 мг/м³, а в северо-восточной — 977 мг/м³ в зоне взаимодействия холодных арктических вод и аляскинской прибрежной водной массы (табл. 3, рис. 6). Основу фитопланктона в северной части шельфа формировали диатомовые водоросли из рода *Chaetoceros*, *Thalassiothrix*, *Ceratium*, *Coscinodiscus* и *Rhizosolenia*. На большей части исследованной акватории наблюдалось незначительное развитие фитопланктона. В зоне взаимодействия трансформированных тихоокеанских вод с аляскинской прибрежной массой были отмечены высокие значения биомассы фитопланктона, максимальная — до 2300 мг/м³. Повышенная биомасса фитопланктона, возможно, связана и с его механическим накоплением за счет циклонического круговорота, характерного для данной области (рис. 6). В целом состояние планктонного сообщества можно оценить как летнее.

В среднем по морю биомасса зоопланктона составляла 732 мг/м³, доминировал зоопланктон крупной фракции (72 % от общего количества зоопланктона), биомасса — 524 мг/м³. Высокая биомасса крупной фракции зоопланктона, до 600 мг/м³,

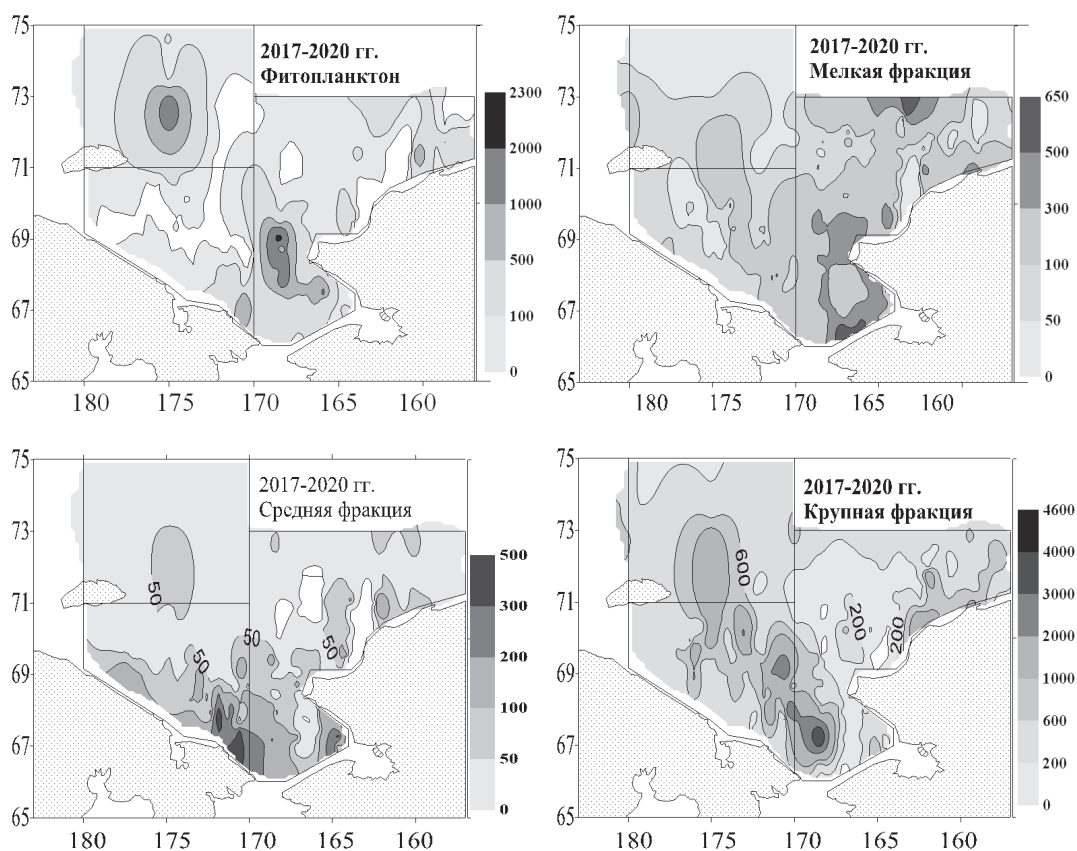


Рис. 6. Распределение биомассы фитопланктона и различных фракций зоопланктона (мелкая, средняя, крупная) в Чукотском море в 2017–2020 гг., mg/m^3

Fig. 6. Biomass of phytoplankton and size fractions of zooplankton (small, medium, large) in the Chukchi Sea in 2017–2020, mg/m^3

распространялась вдоль ветви Центрального течения, идущей на северо-запад моря, на акватории, занятой берингоморскими водами, максимальная биомасса — в южной части моря за счет эвфаузиид и сагитт ($4600 \text{ mg}/\text{m}^3$). Кроме того, повышенная биомасса зоопланктона была отмечена в северо-восточной части Чукотского моря, куда поступали более холодные воды из Арктического бассейна и из моря Бофорта (рис. 6).

Средние значения мелкого (0,2–1,2 мм) и среднеразмерного (1,2–2,0 мм) зоопланктона составляли соответственно 153 и $54 \text{ mg}/\text{m}^3$. При горизонтальном распределении биомассы этих фракций зоопланктона видно, что повышенное содержание мелкого зоопланктона (более $200 \text{ mg}/\text{m}^3$) наблюдалось в южной части района исследования и связано с сезонной сукцессией: в южной части моря наблюдался летний период, а в северной — весенний [Кузнецова и др., 2022]. Максимальные концентрации планктона в южной части моря достигали $492 \text{ mg}/\text{m}^3$, а в северной — не более $50 \text{ mg}/\text{m}^3$ (рис. 6). Биомассы мелкой и средней фракции были высокими в районе Аляскинского течения, по северо-восточной ветви, идущей к мысу Барроу вдоль американского побережья. Преобладание мелкого зоопланктона связано с аляскинской прибрежной водной массой [Farley et al., 2019].

Высокие концентрации крупного зоопланктона наблюдались по ветви Центрального течения в северо-западном направлении, по которой распространялись берингоморские воды. В северной части моря наряду с щетинкочелюстными (59 %) доминировали копеподы (16 %) и кишечнополостные (16 %) (табл. 3, рис. 6, 7). Сагитты были представлены двумя видами *Parasagitta elegans* и *Flaccisagitta maxima*, последняя

встречалась только в северо-западной части моря (рис. 7, табл. 3). В северо-западном районе наряду с широко распространенными копеподами *Calanus glacialis* преобладали арктический вид *C. hyperboreus* и бореально-арктический вид *C. finmarchicus*, занесенные из западных областей Арктического бассейна. В северо-восточной части моря биомассу копепод формировали *C. glacialis* и *C. hyperboreus*, поступающие на шельф из Арктического бассейна. В центральной части северного района моря встречались *Eucalanus bungii*, *Neocalanus plumchrus*+*N. flemingeri*, *N. cristatus*, их биомасса была невысокой. Как отмечено К.Н. Кособоковой [2010], количество океанических тихоокеанских видов (*N. cristatus*, *E. bungii*, *Metridia pacifica*), достигающих северных районов моря с тихоокеанскими водами, невелико и не сказывается на общей биомассе зоопланктона. Эвфаузииды представлены 5 видами и их молодью. Биомасса составляла всего 7,4 мг/м³. В северо-западной части моря отмечены *Thysanoessa raschii* и *Th. inermis* и виды арктического и арктическо-бореального комплекса, занесенные с западных областей: *Th. longicaudata* и *Meganectiphanes norvegica*. Около 16 % биомассы крупной фракции зоопланктона приходилось на кишечнополостных, в северо-западной части моря медузы встречались значительно в меньшем количестве, в северо-восточной части преобладали особи *Aglantha digitale* длиной 5–10 см (до 200–900 мг/м³). Доли других групп зоопланктона были в пределах 1–3 % от биомассы.

Гиперииды в Чукотском море представлены семью видами. Их максимальная биомасса составляла 206 мг/м³. Повсеместно встречались гиперииды *Themisto pacifica*, но их биомасса была невысокой. Рачки холодноводного вида *T. libellula*, заносимые в западную часть из Восточно-Сибирского моря, в восточную — из Арктического бассейна и моря Бофорта, доминировали на севере моря. Единично встречались *T. abyssorum*, *Hyperia galba*, *H. medusarum*, *Scina borealis*. Максимальные значения крылоногих моллюсков (1093 мг/м³) наблюдались в прибрежной области в северо-восточной части моря за счет *Clione limacina* длиной 10–15 см, на северо-западе моря также доминировали клионы (см. рис. 6) [Кузнецова и др., 2022].

В юго-западной части моря биомасса крупного зоопланктона составляла 983,3 мг/м³, максимальная — 4600 мг/м³. Обилие крупного зоопланктона обеспечивали сагитты — 43 %, копеподы — 20 % и эвфаузииды — 18 % (табл. 4, рис. 6, 7). *P. elegans* была распространена по всей акватории моря, а максимальные ее значения (до 3000 мг/м³) наблюдались в мористой области. В юго-западной части моря, где было отмечено наибольшее количество минтая, из копепод доминировала *E. bungii* (77,5 мг/м³), наряду с *C. glacialis* и *N. plumchrus*+*flemingeri* также встречались *M. pacifica*, *N. cristatus*. Вблизи прол. Лонга отмечена молодь бореально-арктических видов *C. finmarchicus* и *Metridia longa*, занесенных из Восточно-Сибирского моря (табл. 4). Из эвфаузиид доминировали *Th. inermis* и *Th. raschii*, их максимальные концентрации до 2200 мг/м³ отмечены в южной части моря. Молодь *Th. longipes* встречалась только в южном районе моря. Около 8 % биомассы зоопланктона приходилось на кишечнополостных, максимальное значение — 1469 мг/м³. Доминировали медузы *A. digitale* длиной 5–15 см, встречались также р. *Sarsia*, *Rathkea*, гребневики *Beroe* sp. Повсеместно наблюдалась гипериида *T. pacifica*, но ее биомасса была невысокой — менее 1 %. Среди десятиногих ракообразных преобладали молодь креветок *Pandalidae* sp., зоеа, мегалопа *Brachyura*, зоеа и взрослые *Pagurudae* sp. Максимальные значения биомассы декапод достигали 124 мг/м³ в прибрежье южной части моря. Отмечены и высокие значения биомассы ойкоплевр в западной и восточной частях моря — соответственно 155 и 105 мг/м³ (рис. 7). На шельфе в восточной части моря на севере преобладал *C. glacialis* из арктических вод, на юге популяция копепод была представлена *C. glacialis/marshallae* из Берингова моря [Pinchuk, Eisner, 2017]. В юго-восточной части моря высокую биомассу имели виды прибрежных вод, выдерживающие некоторое распреснение вод: особенно высокой была биомасса и численность копепод крупной фракции *Epilabidocera amphitrites*, а также средней фракции *C. abdominalis*,

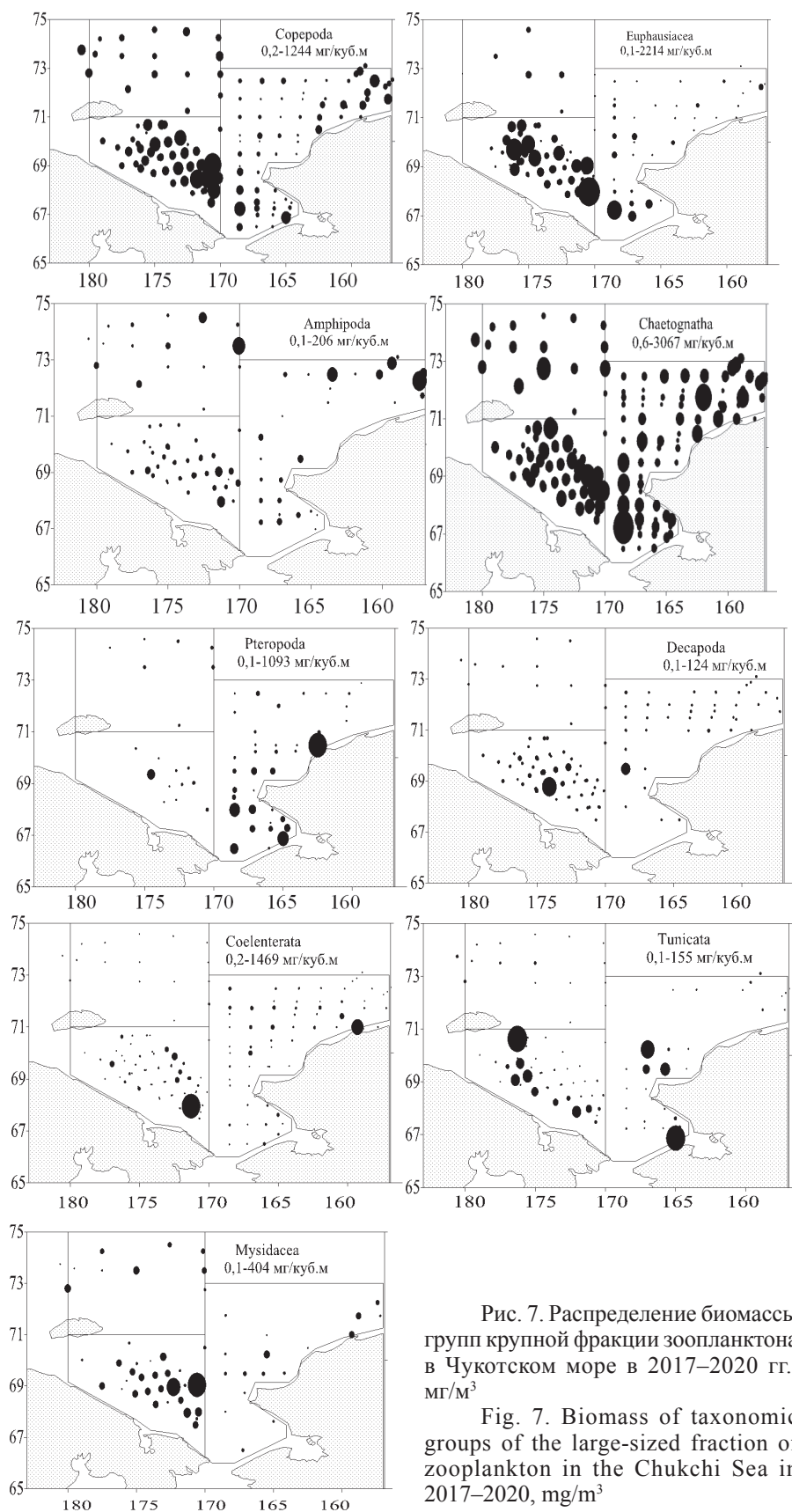


Рис. 7. Распределение биомассы групп крупной фракции зоопланктона в Чукотском море в 2017–2020 гг., мг/м³

Fig. 7. Biomass of taxonomic groups of the large-sized fraction of zooplankton in the Chukchi Sea in 2017–2020, mg/m³

Состав биомассы зоопланктона крупной фракции в юго-западной части Чукотского моря
в 2003–2020 гг.

Table 4

Biomass composition for the large-sized fraction of zooplankton in the southwestern Chukchi Sea
in 2003–2020

Вид и группа зоопланктона	2003, 2007–2008, 2010 гг.		2019–2020 гг.	
	Мг/м ³	%	Мг/м ³	%
Copepoda	224,90	23,37	186,77	18,99
<i>C. glacialis</i>	112,10	11,65	70,38	7,16
<i>C. finmarchicus</i>			2,19	0,22
<i>N. plumchrus/flemingeri</i>	21,10	2,19	27,20	2,77
<i>N. cristatus</i>	16,20	1,68	3,72	0,38
<i>Eucalanus bungii</i>	74,80	7,78	77,50	7,88
<i>Metridia pacifica</i>	0,70	0,07	3,39	0,35
<i>Metridia longa</i>			2,16	0,22
Прочие Copepoda			0,23	0,01
Hyperiidae	22,20	2,31	4,80	0,48
<i>Themisto pacifica</i>	0,20	0,02	1,94	0,20
<i>Th. libellula</i>	22,00	2,29	2,28	0,23
<i>Hyperia galba</i>			0,40	0,04
<i>Hyperia medusarum</i>			0,13	0,01
<i>Scina spinosa</i>			0,05	+
Gammaridea	1,60	0,17	0,91	0,09
Euphausiacea	210,73	21,90	339,68	34,54
<i>Euphausiacea (furcilia)</i>	5,80	0,60	3,95	0,40
<i>Thysanoessa raschii</i>	185,23	19,25	72,97	7,42
<i>Th. inermis</i>	19,55	2,03	262,62	26,71
<i>Th. longipes</i>	0,15	0,02	0,14	0,01
Pteropoda	1,26	0,13	3,58	0,37
<i>Clione limacina</i>	1,13	0,12	3,57	0,36
<i>Limacina helicina</i>	0,13	0,01	0,01	0,01
Coelenterata	19,42	2,03	75,14	7,64
<i>Aglantha digitale</i>	1,98	0,22	40,11	4,08
<i>Sarsia flammea</i>			7,31	0,74
<i>Sarsia tubutesa</i>			1,38	0,14
<i>Rathkea jaschnovi</i>			0,22	0,02
<i>Hydromedusae</i>	0,88	0,09	21,60	2,20
<i>Dimophyes arctica</i>			0,12	0,01
<i>Beroe</i> sp.	16,56	1,72	4,40	0,45
Chaetognatha	448,23	46,58	316,25	32,16
Decapoda	2,15	0,23	12,37	1,26
Mysidacea	0,03		16,20	1,65
Appendicularia	31,65	3,27	11,13	1,13
Polychaeta	0,08	0,01	0,33	0,04
Cumacea			0,17	0,02
Ostracoda			0,06	0,01
Bivalvia (larv.)			0,02	+
Larvae Cephalopoda			0,58	0,06
Pisces (larv.)			15,31	1,56
Крупная фракция (всего)	962,25	100	983,30	100

Примечание. «+» — менее 0,01 %.

мелкой фракции *Oithona similis*, копепод р. *Pseudocalanus*. Из птеропод (4 % от биомассы крупной фракции) преобладала *Limacina helicina* длиной 2–4 см [Кузнецова, 2018; Кузнецова и др., 2022].

На основании полученных данных были определены валовый запас и плотность зоопланктона в различных районах Чукотского моря (табл. 5). В северо-западной части моря в 2019 г. плотность зоопланктона была 64,8 т/км², ее определяла крупная фракция (56,3 т/км²), за счет сагитт и копепод, эвфаузиид и амфипод. В северо-восточной части моря плотность зоопланктона была почти в два раза ниже — 33,5 т/км², ее формировал зоопланктон как крупной фракции (21,7 т/км²), так и мелкой (10,0 т/км²). Высокая доля мелкого зоопланктона в этом районе связана с влиянием Аляскинского прибрежного течения.

Таблица 5

Плотность фракций зоопланктона и групп крупной фракции на шельфе Чукотского моря в различные годы

Table 5

Distribution density for size fractions of zooplankton and for taxonomic groups of the large-sized fraction on the shelf of the Chukchi Sea in certain years

Фракции и группы крупной фракции	Западная часть моря						Восточная часть моря			
	Северный район		Южный район				Северный район		Южный район	
	2019 г.*		2019–2020 гг.		2003, 2007–2008 и 2010 гг.		2017–2019 г.			
	Т/км²	%	Т/км²	%	Т/км²	%	Т/км²	%	Т/км²	%
Фитопланктон	20,9		2,05		34,7		5,6		13,8	
Зоопланктон, в том числе:	64,8	100	58,0	100	56,7	100	33,5	100	29,0	100
– мелкая фракция	5,4	8,3	5,3	9,1	4,3	7,6	10,0	30,0	11,2	38,6
– средняя фракция	3,1	4,8	3,5	6,1	5,7	10,1	1,8	5,4	3,2	11,1
– крупная фракция, в том числе:	56,3	86,9	49,2	84,8	46,7	82,3	21,7	64,6	14,6	50,3
Copepoda	12,6	22,4	9,3	18,6	10,8	23,3	2,8	12,7	1,8	12,0
Euphausiacea	2,6	4,6	17,2	35,2	10,3	21,9	0,4	1,8	1,6	10,6
Amphipoda	2,4	4,3	0,2	0,5	1,1	2,4	0,6	2,5	0,1	0,7
Decapoda	0,2	0,4	0,6	1,2	0,1	0,2	0,1	0,5	0	0
Mysidacea	0,8	1,4	0,8	1,6	0	0	0,1	0,5	0,1	0,3
Chaetognatha	35,3	62,8	15,7	32,1	21,8	46,9	11,3	53	8,3	58,2
Pteropoda	0,5	0,9	0,2	0,4	0,1	0,1	1,8	8,3	1,5	10,3
Coelenterata	1,3	2,3	3,5	7,1	0,1	0,2	4,3	19,5	0,9	5,8
Tunicata	0,5	0,9	0,6	1,2	1,4	3,0	0,2	0,7	0,3	2,1
Прочие	0,1	0,2	1,1	2,1	1,0	2,0	0,1	0,5	0	0
Площадь, тыс. км²	140,6		110,5		96,4		95,0		41,8	

* По данным Н.А. Кузнецовой с соавторами [2022].

В юго-западном районе Чукотского моря в летний период концентрация крупного кормового зоопланктона во многом зависит от преобладания в районе тех или иных водных масс и вследствие этого от температуры и других океанологических факторов. В начале 2000-х гг. было отмечено, что в годы наибольшего распространения беринговоморских вод (2007–2008 и 2010 гг.) плотность зоопланктона была соответственно 26,7–36,3 и 105,1 т/км², что выше, чем в 2003 г. (18,9 т/км²), когда район исследования находился по большей части в области сибирских прибрежных вод [Фигуркин, Слабинский, 2012; Слабинский, Фигуркин, 2014]. В отдельные годы доминировали разные группы: сагитты и копеподы — в 2007 г., сагитты и эвфаузииды — в 2008 г., сагитты, копеподы и эвфаузииды — в 2010 г., а в 2003 г. — только копеподы. В среднем в эти

годы концентрация зоопланктона составляла 56,7 т/км², из них 82 % приходилось на крупный зоопланктон (46,7 т/ км²), за счет сагитт, копепод и эвфаузиид (табл. 5).

В 2019–2020 гг. в юго-западной части моря плотность кормового зоопланктона (49,2 т/ км²) находилась на уровне среднесезонных значений начала 2000-х гг. Основу биомассы составляли копеподы, эвфаузииды и сагитты. Наблюдалось некоторое снижение биомассы щетинкочелюстных, а также копепод за счет уменьшения биомассы холодноводного вида *C. glacialis*, но вместе с тем почти в два раза возросла биомасса эвфаузиид, особенно *Th. inermis* (см. табл. 4, 5).

В 2019–2020 гг. на юго-западный участок Чукотского моря оказывали интенсивное влияние теплые и соленые берингоморские воды, что связано с увеличением их затока. Высокие биомассы эвфаузиид и сагитт были отмечены вследствие западного переноса берингоморских вод Центральным течением, следующим в северном и северо-западном направлении и проходящим через всю акваторию моря. В этой области и формировались скопления зоопланктона с максимальными биомассами (см. рис. 6, 7).

Наиболее показательной величиной, определяющей пищевую обеспеченность нектона, является соотношение между потребленной и имеющейся в водоеме пищей [Шунтов, 2016]. Мы использовали среднегодовые показатели плотности зоопланктона и потребление минтаем кормовых объектов в юго-западной части моря, где преобладала его основная масса (минтай 40–70 см). Молодь минтая в основном питалась копеподами и эвфаузидами, половозрелый минтай — эвфаузидами, креветками и рыбами, кроме того, донными беспозвоночными (см. табл. 1). Полученные величины соотношения плотности пищевых ресурсов и объемов их потребления показали, что в летние месяцы значительного пресса на кормовые ресурсы со стороны минтая не наблюдалось (табл. 6).

В восточной части Чукотского моря в южном районе зоопланктон крупной и мелкой фракций составлял основу запаса — 50,3 и 38,6 % (см. табл. 5). Сеголетки минтая были отмечены только в южном районе, песчанка — по всему шельфу. Именно они были основными потребителями пищевых ресурсов [Кузнецова, Горбатенко, 2021]. Почти 80 % суммарного рациона сеголеток минтая и песчанки слагали главным образом копеподы (61,4–35,8 %), эвфаузииды (11,1–15,9 %) и ойкоплевры (7,8–44,1 %), доля других видов зоопланктона и придонных видов и личинок рыб была в пределах 19,7–4,2 %. Наиболее часто встречающимися в питании были копеподы — *C. glacialis* и мелкие представители р. *Pseudocalanus* [Кузнецова, Горбатенко, 2021]. Трофические отношения, складывающиеся при питании одними и теми же кормовыми организмами, показали, что в юго-восточном районе моря у доминирующих здесь по биомассе сеголеток минтая и песчанки наблюдалась высокая накормленность рыб, о чем свидетельствуют высокие ИНЖ — у сеголеток минтая 115 ‰ и песчанки 262 ‰. Плотность предпочитаемых объектов зоопланктона в 1285 раз превышала их количество в рационе минтая и песчанки, поэтому можно сделать вывод о том, что сеголетки минтая успешно питались и были обеспечены кормом [Кузнецова, Горбатенко, 2021].

Заключение

Состав и структура планктонного сообщества зависят от распространения на шельфе Чукотского моря тех или иных водных масс. В 2017–2020 гг. биомасса зоопланктона в среднем составляла 732 мг/м³, доминировал зоопланктон крупной фракции — 524 мг/м³ (72 %). Высокие значения биомассы крупной фракции зоопланктона до 600 мг/м³ распространялись вдоль ветви Центрального течения, идущей на северо-запад, на акватории, занятой берингоморскими водами. В северной части моря средняя биомасса была 336 мг/м³ за счет сагитт, кишечноротовых и копепод, в южной — 638 мг/м³, а максимальная биомасса достигала 4600 мг/м³, преобладали

Таблица 6

Плотность кормового зоопланктона и количество выедаемых минтаем кормовых объектов и их соотношение в юго-западной части Чукотского моря в 2019–2020 гг.

Table 6

Spatial density of forage zooplankton biomass, consumption of prey by walleye pollock, and ratio between the biomass and consumption for the southwestern Chukchi Sea in 2019–2020

Компонент	Потребление зоопланктона		Плотность зоопланктона, т/км ²	Соотношение запас/потребление зоопланктона
	Т/км ²	%		
Copepoda	0,79	5,9	9,3	12
Euphausiacea	2,68	20,0	17,2	6
Amphipoda	0,25	1,9	0,2	1
Oikopleura sp.	0,02	0,2	0,6	28
Decapoda	1,47	11,0	0,6	0
Chaetognatha	0,03	0,2	15,7	582
Coelenterata	0,01	0,1	3,5	328
Mysidacea	0,08	0,6	0,8	10
Прочие	0,02	0,1	1,3	63
Bivalvia	0,29	2,2		
Бентосные виды				
Gastropoda	0,49	3,7		
Echiurida	1,26	9,4		
Sipunculida	0,24	1,8		
Polychaeta	0,18	1,3		
Рыбы, в том числе:	5,56	41,6		
сайка	0,88	6,6		
Выедание, т/км ²	13,39	100		
Биомасса рыб, т/км ²	3,59			
Средний СПР, %	3,7–6,2			

эвфаузииды и сагитты. Кроме того, повышенная биомасса за счет сагитт, медуз, копепод и клион отмечена в северо-восточной части Чукотского моря, куда поступали более холодные воды из Арктического бассейна и моря Бофорта. В северной части моря в западном районе плотность кормового зоопланктона в 2019–2020 гг. составляла 56,3 т/км², в южном — находилась на уровне среднемноголетних значений начала 2000-х гг. — 49,2 т/км² за счет эвфаузиид (17,3 т/км²), сагитт (15,8 т/км²) и копепод (9,2 т/км²).

Качественный состав пищевого спектра минтая на шельфе Чукотского моря довольно разнообразен и в основном согласуется с особенностями структуры той части планктонного сообщества, которая составляет кормовую базу. В северо-западном районе исследования сеголетки минтая и годовики за сутки потребляли 0,033 т/км² кормовых организмов, в основном амфипод — 13,9, мизид — 20,1 и рыб — 30,9 %, копеподы и эвфаузииды составляли 5–8 % рациона. В юго-западной части моря за сутки крупный минтай (40–70 см) выедал 13,2 т/км² кормовых объектов, молодь — 0,2 т/км². Как и во всех дальневосточных морях, молодь минтая в основном питалась копеподами и эвфаузиидами (24,9–51,1 %), половозрелый минтай — эвфаузиидами, креветками и рыбами. Рыбы составляли 42 % его рациона, а из потребляемых кормовых ресурсов зоопланктона на эвфаузиид приходилось около 20 %, декапод — 11, копепод — около 6 %. В придонном слое минтай питался креветками, гаммаридами, донными полихетами, эхиуридами, двустворчатыми и брюхоногими моллюсками.

Полученные величины плотности зоопланктона превышают объемы его потребления минтаем, что указывает на достаточное количество пищевых ресурсов для этого вида в период исследования 2017–2020 гг. в Чукотском море.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы глубоко признательны коллегам И.В. Григорову (ВНИРО), А.Н. Бензик (ПИНРО), Л.М. Гостренко (ТИНРО), американским исследователям Е.В. Фарли и К. Сесил, а также членам научной группы и экипажа НИС «Профессор Леванидов» и «Ocean Starr», помогавшим и принимавшим участие в сборе проб по планктону и питанию рыб.

The authors are deeply grateful to their colleagues I. V. Grigorov (VNIRO), A. N. Benzik (PINRO), and L. M. Gostrenko (TINRO), to the US researchers E. V. Farley and K. Cieciel, and to the crews and scientific teams of RV Professor Levanidov and RV Ocean Starr for their assistance in collection of samples on zooplankton and feeding aboard the research vessels.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

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

Список литературы

Борилко О.Ю. Рейсовый отчет о результатах экспедиции в Чукотское море НИС «ТИНРО» 31 августа — 10 сентября 2018 г. : отчет о НИР / ТИНРО-центр. № 28249. — Владивосток, 2018. — 143 с.

Борисов Б.М., Волков А.Ф., Горбатенко К.М. и др. Стандартные таблицы сырого веса и некоторых энергетических характеристик (калорийность, жиры, белки, углеводы, минеральный остаток) зоопланктона дальневосточных морей // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 138. — С. 355–367.

Волков А.Ф. Возможности и приемы при работе с базами данных ТИНРО «Зоопланктон северной части Тихого океана, Охотского, Берингова и Чукотского морей», «Трофология нектона» и «Морская биология» // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 198. — С. 239–261. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-239-261.

Волков А.Ф. Методика сбора и обработки планктона и проб по питанию нектона (пошаговые инструкции) // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 154. — С. 405–416.

Волков А.Ф., Murphy J. Планктон и питание рыб в Чукотском и северной части Берингова моря // Бюл. № 2 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2007. — С. 70–80.

Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР : учеб. — М. : МГУ, 1982. — 192 с.

Думанская И.О. Ледовые условия морей азиатской части России : науч.-справ. пособие. — М. ; Обнинск : ИГ-СОЦИН, 2017. — 640 с.

Ефимкин А.Я. Питание сайки *Boreogadus saida* в Беринговом и Чукотском морях // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 173. — С. 184–192.

Кособокова К.Н. Зоопланктон Арктического бассейна. Структура сообществ, экология, закономерности распределения : моногр. — М. : ГЕОС, 2012. — 272 с.

Кособокова К.Н. Зоопланктон Арктического бассейна: структура сообществ и региональные особенности количественного распределения : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — М. : ИО РАН, 2010. — 48 с.

Коучмен Л.К., Огорд К., Трипп Р.Б. Берингов пролив : моногр. : пер. с англ. — Л. : Гидрометеиздат, 1979. — 198 с.

Кузнецова Н.А. Особенности состояния планктонного сообщества в Чукотском море в августе-сентябре 2017 г. // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 194. — С. 153–166. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-194-153-166.

Кузнецова Н.А., Горбатенко К.М. Питание сайки, минтая и других рыб и их пищевая обеспеченность в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г. // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 4. — С. 765–783. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-765-783.

Кузнецова Н.А., Горбатенко К.М., Фигуркин А.Л. Состав, структура и биомасса зоопланктона в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г. // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 122–145. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-122-145.

Кузнецова Н.А., Слабинский А.М. Гидробиологические исследования в западной части Берингова и Чукотского морей и тихоокеанских водах Командорских островов в 2007 г. по программе «BASIS» // Бюл. № 2 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2007. — С. 282–293.

Орлов А.М., Бензик А.Н., Ведищева Е.В. и др. Рыбохозяйственные исследования в Чукотском море на НИС «Профессор Леванидов» в августе 2019 г.: некоторые предварительные результаты // Тр. ВНИРО. — 2019. — Т. 178. — С. 206–220. DOI: 10.36038/2307-3497-2019-178-206-220.

Савин А.Б. Сайка (*Boreogadus saida*, Gadidae) Чукотского моря и прилегающих вод // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 4. — С. 810–832. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-810-832.

Савин А.Б. Современное состояние промысловых рыбных ресурсов морей восточного сектора Арктики : отчет о НИР / ТИНРО. № 28357. — Владивосток, 2019. — 51 с.

Слабинский А.М., Фигуркин А.Л. Структура планктонного сообщества южной части Чукотского моря в летний период // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 178. — С. 135–147. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-178-135-147.

Фигуркин А. Л., Слабинский А.М. Океанологические условия и планктон южной части Чукотского моря летом 1997–2010 гг. // Вопр. промысл. океанол. — 2012. — Т. 1, вып. 9. — С. 134–152.

Чучукало В.И. Питание и пищевые отношения nekтона и nekтобентоса в дальневосточных морях : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — 484 с.

Шейбак А.Ю., Грицай Е.В., Бомко С.П. и др. Рейсовый отчет о результатах научно-исследовательских работ по оценке биологических ресурсов в Беринговом и Чукотском морях на НИС «ТИНРО». 7 августа — 31 октября 2020 г. / ТИНРО-центр. № 28402. — Владивосток, 2020. — 291 с.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — Т. 2. — 604 с.

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

Eisner L.B., Hillgruber N., Martinson E., Maselko J. Pelagic fish and zooplankton species assemblages in relation to water mass characteristics in the northern Bering and southeast Chukchi seas // Polar Biol. — 2013. — Vol. 36, Iss. 1. — P. 87–113. DOI: 10.1007/s00300-012-1241-0.

Ershova E.A., Hopcroft R.R., Kosobokova K.N. et al. Long-term changes in summer zooplankton communities of the western Chukchi Sea, 1945–2012 // Oceanography. — 2015. — Vol. 28, № 3. — P. 100–115. DOI: 10.5670/oceanog.2015.60.

Farley E., Ciciel K., Vollenweider J. et al. Arctic Integrated Ecosystem Survey. Cruise Report to the Arctic Integrated Research Program. — 2019. — 118 p.

Gann J.C., Eisner L.B., Danielson S. How do oceanographic characteristics in the northern Bering Sea relate to juvenile salmon biomass? // NPAFC. Tech. Rep. № 9. — 2013. — P. 83–89.

Moss J.H., Murphy J.M., Farley E.V. et al. Juvenile pink and chum salmon distribution, diet, and growth in the northern Bering and Chukchi Seas // N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull. — 2009. — № 5. — P. 191–196.

Pinchuk A.I., Eisner L.B. Spatial heterogeneity in zooplankton summer distribution in the eastern Chukchi Sea in 2012–2013 as a result of large-scale interactions of water masses // Deep-Sea Res. II. — 2017. — Vol. 135. — P. 27–39. DOI: 10.1016/j.dsr2.2016.11.003.

Weingartner T., Aagaard K., Woodgate R. et al. Circulation on the north central Chukchi Sea shelf // Deep-Sea Res. II. — 2005. — Vol. 52, Iss. 24–26. — P. 3150–3174. DOI: 10.1016/j.dsr2.2005.10.015.

Woodgate R.A., Weingartner T., and Lindsay R. Observed increases in Bering Strait oceanic fluxes from the Pacific to the Arctic from 2001 to 2011 and their impacts on the Arctic Ocean water column // Geophys. Res. Lett. — 2012. — Vol. 39, Iss. 24. — P. L24603. DOI: 10.1029/2012GL054092.

References

Borilko, O.Yu., Otchet Nauchno-Issled. Rab. “Reysovyi otchet ob organizatsii ekspeditsii v Chukotskom more NIS «TINRO» 31 avgusta — 10 sentyabrya 2018 g.” (Res. Rep. “Cruise report on

the organization of the expedition in the Chukchi Sea of the RV TINRO August 31 — September 10, 2018”), Available from TINRO-Tsentr, 2018, Vladivostok, no. 28249.

Borisov, B.M., Volkov, A.F., Gorbatenko, K.M., Koval, M.V., and Shershneva, V.I., Standard tables of the wet weight and some biochemical parameters (calorie content, fats, proteins, carbohydrates, and the mineral rest) of zooplankton in the Far East Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 138, pp. 355–367.

Volkov, A.F., Opportunities and techniques of using the databases of TINRO “Zooplankton of the north Pacific, Okhotsk, Bering, and Chukchi Seas”, “Nekton trophology”, and “Marine biology”, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 198, pp. 239–261. doi 10.26428/1606-9919-2019-198-239-261

Volkov, A.F., Technique of collecting and processing the samples of plankton and the samples on nekton feeding (step-by-step instructions), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 154, pp. 405–416.

Volkov, A.F. and Murphy, J.M., Plankton and diet of fish in the Chukchi Sea and the northern Bering Sea, *Byull. no. 2 realizatsii “Kontseptsii dal’nevostochnoi basseinovoï 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. 70–80.

Dobrovolsky, A.D. and Zalogin, B.S., *Morya SSSR (Seas of USSR)*, Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1982.

Dumanskaya, I.O., *Ledovye usloviya morey aziatskoy chasti Rossii* (Ice conditions of the seas of the Asian part of Russia), Moscow; Obninsk: IG-SOCIN, 2017.

Efimkin, A.Ya., Feeding of arctic cod *Boreogadus saida* in the Bering and Chukchi Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 173, pp. 184–192.

Kosobokova, K.N., *Zooplankton Arkticheskogo basseyna. Struktura soobshchestv, ekologiya, zakonomernosti raspredeleniya* (Zooplankton of the Arctic Basin. Community structure, ecology, distribution patterns), Moscow: GEOS, 2012.

Kosobokova, K.N., Zooplankton of the Arctic Basin: the structure of communities and regional features of the quantitative distribution, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Moscow: Inst. Okeanol. RAN, 2010.

Coachman, L.K., Aagaard, K., Tripp, R.B., *Bering strait*, London, 1975.

Kuznetsova, N.A., Features of plankton community in the Chukchi Sea in August-September, 2017, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 194, pp. 153–166. doi 10.26428/1606-9919-2018-194-153-166

Kuznetsova, N.A. and Gorbatenko, K.M., Feeding of arctic cod, walleye pollock, and other pelagic fish and their food supply in the Chukchi Sea in august-september, 2019, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 4, pp. 765–783. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-765-783

Kuznetsova, N.A., Gorbatenko, K.M., and Figurkin, A.A., Species composition, structure and biomass of zooplankton in the Chukchi Sea in august-september 2019, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 122–145. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-122-145

Kuznetsova, N.A. and Slabinsky, A.M., Hydrobiological studies in the western Bering and Chukchi seas and the Pacific waters off the Commander Islands in 2007 by the BASIS program, *Byull. no. 2 realizatsii “Kontseptsii dal’nevostochnoi basseinovoï 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. 282–293.

Orlov, A.M., Benzik, A.N., Vedishcheva, E.V., Gafitsky, S.V., Gorbatenko, K.M., Goryanina, S.V., Zubarevich, V.L., Kodryan, K.V., Nosov, M.A., Orlova, S.Yu., Pedchenko, A.P., Rybakov, M.O., Sokolov, A.M., Somov, A.A., Subbotin, S.N., Taptygin, M.Yu., Firsov, Yu.L., Khleborodov, A.S., and Chikilev, V.G., Fisheries research in the Chukchi Sea at the RV «Professor Levanidov» in August 2019: some preliminary results, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 178, pp. 206–220. doi 10.36038/2307-3497-2019-178-206-220

Savin, A.B., Arctic cod (*Boreogadus saida*, gadidae) in the Chukchi Sea and adjacent waters, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 4, pp. 810–832. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-810-832

Savin, A.B., *Otchet Nauchno-Issled. Rab. “Sovremennoye sostoyaniye promyslovykh rybnykh resursov morey vostochnogo sektora Arktiki”* (Res. Rep. “The current state of commercial fish resources of the seas of the eastern sector of the Arctic”), Available from TINRO, 2019, Vladivostok, no. 28357.

Slabinsky, A.M. and Figurkin, A.L., Structure of planktonic community in the southern part of the Chukchi Sea in summer period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 178, pp. 135–147. doi 10.26428/1606-9919-2014-178-135-147

Figurkin, A.L. and Slabinskiy, A.M., Oceanological conditions and plankton in the southern part of the Chukchi Sea in the summer of 1997–2010, *Vopr. Promysl. Okeanol.*, 2012, vol. 1, no. 9, pp. 134–152.

Chuchukalo, V.I., *Pitanie i pishchevye otnosheniya nektona i nektobentosa v dal'nevostochnykh moryakh* (Diet and Feeding Interactions among Nekton and Nektobenthos in the Far Eastern Seas), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2006.

Sheybak, A.Yu., Gritsay, E.V., Bomko, S.P., Beldy, M.V., Borilko, O.Yu., Gostrenko, L.M., Chulchekov, D.N., Polyanichko, V.I., Lysenko, A.V., and Glebov, I.I., *Reysovyy otchet o rezul'tatakh nauchno-issledovatel'skikh rabot po otsenke biologicheskikh resursov v Beringovom i Chukotskom moryakh na NIS «TINRO». 7 avgusta — 31 oktyabrya 2020 g.* (Cruise report on the results of research work on the assessment of biological resources in the Bering and Chukchi seas on the R/V TINRO. August 7 — October 31, 2020), Available from TINRO, 2020, Vladivostok, no. 28402.

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., Volkov, A.F., Temnykh, O.S., and Dulepova, E.P., *Mintai v ekosistemakh dal'nevostochnykh morei* (Walleye Pollock in Ecosystems of the Far Eastern Seas), Vladivostok: TINRO, 1993.

Eisner, L., Hillgruber, N., Martinson, E., and Maselko, J., Pelagic fish and zooplankton species assemblages in relation to water mass characteristics in the northern Bering and southeast Chukchi seas, *Polar Biol.*, 2013, no. 36, pp. 87–113. doi 10.1007/s00300-012-1241-0

Farley, E., Ciciel, K., McCabe, R., Cooper, D., Dimond, A., Ladd, C., Duffy-Anderson, J., Eisner, L., Kimmel, D., Lomas, M., Levine, R., Baker, M., Mordy, C., Stabeno, P., Copeman, L., De Robertis, A., Kondzela, C., Berchok, C., Kuletz, K., Logerwell, L., Mueter, F., Spear, A., Miller, T., Weems, J., Strausz, D., Donohoe, S., Irby, M., Smith, B., Cynar, H., Mounsey, A., Lefebvre, K., Goldstein, E., Vollenweider, J., Juraneck, L., Shipton, P., Danielson, S., Maisch, J., Reedy, M., Crowley, H., Nielsen, J., Baker, M., Wright, C., Wright, L., Grigorov, I., Kuznetsova, N., and Chapman, Z., *Arctic Integrated Ecosystem Survey. Cruise Report to the Arctic Integrated Research Program*, August 1 to October 3, 2019.

Gann, J.C., Eisner, L.B., and Danielson, S., How do oceanographic characteristics in the northern Bering Sea relate to juvenile salmon biomass?, *NPAFC Tech. Rep.*, 2013, no. 9, pp. 83–89.

Moss, J.H., Murphy, J.M., Farley, E.V., Eisner, L.B., and Andrews, A.G., Juvenile pink and chum salmon distribution, diet, and growth in the northern Bering and Chukchi Seas, *North Pac. Anadromous Fish Comm. Bull.*, 2009, no. 5, pp. 191–196.

Pinchuk, A.I. and Eisner, L.B., Spatial heterogeneity in zooplankton summer distribution in the eastern Chukchi Sea in 2012–2013 as a result of large-scale interactions of water masses, *Deep Sea Res., Part II*, 2017, vol. 135, pp. 27–39. doi 10.1016/j.dsr2.2016.11.003

Weingartner, T., Aagaard, K., Woodgate, R., Danielson, S., Sasaki, Y., and Cavalieri, D., Circulation on the north central Chukchi Sea shelf, *Deep Sea Res., Part II*, 2005, vol. 52, no. 24–26, pp. 3150–3174. doi 10.1016/j.dsr2.2005.10.015

Поступила в редакцию 9.02.2023 г.

После доработки 3.03.2023 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

The article was submitted 9.02.2023; approved after reviewing 3.03.2023;
accepted for publication 3.03.2023

Научная статья

УДК 551.46.062.5(265.53)

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-200-213

EDN: PRSPLJ

**БАЗА ДАННЫХ ПО ОКЕАНОГРАФИИ
ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ****В.В. Коломейцев¹, С.Л. Горин^{2*}**¹ Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
683000, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18;² Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,
105187, г. Москва, Окружной проезд, 19

Аннотация. В КамчатНИРО создана база данных океанографических наблюдений, которая во временном отношении охватывает весь период инструментальных исследований (1888–2020 гг.), а в пространственном — всю восточную часть Охотского моря (западнокамчатский шельф с прилегающими водами). Это вводит в научный оборот множество ранее недоступных данных и тем самым открывает возможность получения новых знаний об океанографии восточной части Охотского моря. База данных неоднородна по своему временному и пространственному разрешению. В наибольшей степени данными освещен период времени 1961–1990 гг., несколько меньше — 1991–2020 гг. При этом плотность станций наблюдений возрастает от открытого моря к берегу и с севера на юг (максимум станций находится у юго-западного побережья Камчатки).

Ключевые слова: база данных, температура, соленость, океанография, шельф, Охотское море, западная Камчатка

Для цитирования: Коломейцев В.В., Горин С.Л. База данных по океанографии восточной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 200–213. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-200-213. EDN: PRSPLJ.

Original article

A database on oceanography of the eastern Okhotsk Sea**Vladimir V. Kolomeytsev*, Sergey L. Gorin****^{*} Kamchatka branch of VNIRO (KamchatNIRO),
18, Naberezhnaya Street, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia^{**} Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
19, Okružnoy proezd, Moscow, 105187, Russia^{*} leading specialist, kolomeytsev.v.v@kamniro.ru, ORCID 0000-0002-1848-2699^{**} Ph.D., leading researcher, gorinser@mail.ru, ORCID 0000-0001-8436-8379

^{*} Коломейцев Владимир Викторович, ведущий специалист, kolomeytsev.v.v@kamniro.ru, ORCID 0000-0002-1848-2699; Горин Сергей Львович, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, gorinser@mail.ru, ORCID 0000-0001-8436-8379.

© Коломейцев В.В., Горин С.Л., 2023

Abstract. Database for the data of oceanographic observations in the eastern part of the Okhotsk Sea (on the shelf of West Kamchatka and in adjacent waters) obtained in 1888–2020 is created in KamchatNIRO (Petropavlovsk-Kamchatsky) that introduces many previously inaccessible data into scientific circulation and thus provides new possibilities for exploration of this area. The database is heterogeneous in its temporal and spatial resolution. The 1961–1990 period is better covered by the data, whereas the observations in the last three decades (1991–2020) are slightly less numerous. Spatial density of observations increases from the open sea to the coast and from the north to the south; the densest net of stations is located at the southwestern coast of Kamchatka.

Keywords: database, temperature, salinity, oceanography, shelf, Okhotsk Sea, West Kamchatka

For citation: Kolomeytsev V.V., Gorin S.L. The database on oceanography of the eastern Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 200–213. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-200-213. EDN: PRSPLJ.

Введение

Восточная часть Охотского моря включает в себя шельф западной Камчатки, экологическую и экономическую значимость которого для России трудно переоценить [Шунтов, Дулепова, 1998; Шунтов, 2001]. Инструментальные океанографические исследования здесь продолжаются уже более 100 лет [Лучин и др., 1998; Власова, 2013]. Первое упоминание о сформированном массиве данных по океанографии Охотского моря в открытой печати появилось более полувека назад в работе К.В. Морошкина [1966]. Затем В.И. Чернявский [1992] собрал базу океанографических данных для исследования ядер холода в Охотском море. В дальнейшем появились сведения о других массивах данных, подготовленных для исследования различных аспектов гидрологического режима как Охотского моря в целом [Лучин и др., 1998; Лучин, Жигалов, 2006; Luchin et al., 2009; Лучин, Матвеев, 2016; и др.], так и отдельных шельфовых областей [Пищальник, Бобков, 2000; Жигалов, Лучин, 2005]. Подавляющая часть накопленной к настоящему времени информации по океанографии Охотского моря принадлежит четырем научным институтам: КамчатНИРО и ТИНРО (система Росрыболовства), ДВНИГМИ (Росгидромет) и ТОИ ДВО РАН (Академия наук). В ТИНРО, ДВНИГМИ и ТОИ уже много лет существуют и активно развиваются собственные базы данных (БД), в которых систематизирована вся доступная и частично пересекающаяся океанографическая информация [Ростов и др., 2007; Круз, 2010; Волвенко, 2014]. В КамчатНИРО подобной БД до недавнего времени не было.

А между тем именно КамчатНИРО раньше был и до сих пор остается ведущей организацией в деле исследования прибрежных вод Камчатки, в том числе относящихся к восточной части Охотского моря. За 90 лет работы института в нем был собран обширный архив с данными судовых наблюдений, значительная часть которых не имела дубликатов в других океанографических организациях. Однако до недавнего времени этот архив был доступен на бумажных носителях или в виде разрозненных электронных таблиц, что существенно затрудняло его использование и тем самым сдерживало развитие региональной океанографии.

В последние 10 лет в КамчатНИРО проводится работа по систематизации имеющегося архива наблюдений. Одним из ее главных достижений стало создание «Базы данных по океанографии шельфа Западной Камчатки» («БД ОЗК», автор — В.В. Колмейцев), представлению которой и посвящена данная статья. В первую очередь БД создана для исследования термохалинной структуры прибрежных морских вод в связи с поиском связей между условиями среды и воспроизводством биологических ресурсов.

Общие сведения о БД ОЗК

Информационная основа БД. Основой для БД послужили материалы океанографических наблюдений КамчатНИРО, в том числе полученные в совместных рейсах

с ТИНРО. Также в БД внесена информация из проекта World Ocean Database (WOD), которая находится в свободном доступе в сети Интернет [<https://www.ncei.noaa.gov/products/world-ocean-database>]. Сведения обо всех рейсах, включенных в БД, приведены в приложении*. Историческая справка об океанографических исследованиях КамчатНИРО на шельфе западной Камчатки приведена в работе В.В. Коломейцева [2022]. В ней автор собрал всю доступную информацию об истоках БД и причинах имеющейся в ее наполнении пространственно-временной неоднородности.

Что касается средств измерений, до конца 1980-х гг. в основном использовались батометрические (полученные с помощью батометров), батометрические с глубино-мерами, батитермографные данные. С 1990-х гг. начали применяться измерения с помощью CTD-зондов, которые сопровождалось определением координат по GPS и глубин по эхолотам.

Первичные материалы, полученные до начала 1990-х гг., — это заполненные в рейсах бумажные журналы, хранящиеся в архиве сектора океанографии КамчатНИРО. Их перевод в электронный вид потребовал нескольких лет работы. Следует отметить, что некоторые данные уже были переведены в электронный вид сотрудниками сектора океанографии КамчатНИРО (ранее — лаборатории промысловой океанографии) и, как и остальные данные, проходили проверку на качество. Более современные данные, полученные с помощью CTD-зондов, изначально были в электронном виде (за исключением данных, полученных с ранних моделей зондов RINKO-Profilier ASTD-102, информация с которых печаталась на бумажную ленту и также потребовала перевода в электронный вид). В отношении данных CTD-зондов потребовалась унификация форматов содержащих их файлов и их последующая интеграция в БД.

БД создавалась для района восточной части Охотского моря, ограниченного 150° в.д. на западе, 50° с.ш. на юге, 62° с.ш. на севере и берегом Камчатки на востоке (рис. 1). Таким образом, БД освещает весь западнокамчатский шельф (если за таковой принимать прибрежную часть моря, ограниченную изобатой 200 м), желоб Лебедя и впадину ТИНРО, участок североохотского шельфа, зал. Шелихова, а также небольшую часть акватории с тихоокеанской стороны северных Курильских островов.

Структура базы данных. Данные за каждый рейс или съемку, если их было несколько в одном рейсе, сохранялись в отдельный файл в текстовом формате и сводились в общую базу в специализированной океанологической программе Ocean Data View [<https://odv.awi.de>]. Преимуществом текстового формата для хранения данных является простота импорта в любые программные среды для дальнейшей обработки, анализа и визуализации. Учету подлежали все станции, на которых производились наблюдения за одной или несколькими гидрологическими характеристиками (в первую очередь температурой и соленостью воды). При этом данные многочасовых измерений учитывались как одна станция (в БД вносились осредненные по времени характеристики).

Контроль качества данных. Все исходные данные (температура, соленость, а также метаданные — дата, время и местоположение) вручную проверялись на выбросы. Для выявления ошибок в пространственной и временной атрибуции станций проверялись хронология каждого рейса, а также соответствие между собой координат и глубины места наблюдения. При необходимости атрибуты станций исправлялись. Качество данных температуры и солености воды оценивалось по их сопоставлению с измерениями на соседних горизонтах и станциях. В очевидных случаях ошибки исправлялись. Если для обнаруженных выбросов нельзя было установить ошибочность или достоверность имеющихся измерений, соответствующие данные удалялись. В дальнейшем перед использованием БД ОЗК по прямому назначению данные по температуре и солености воды будут проверяться с помощью статистических методов.

* Приложение размещено на странице статьи на сайте журнала [<http://izvestiya.tinro-center.ru>] как дополнительный файл.

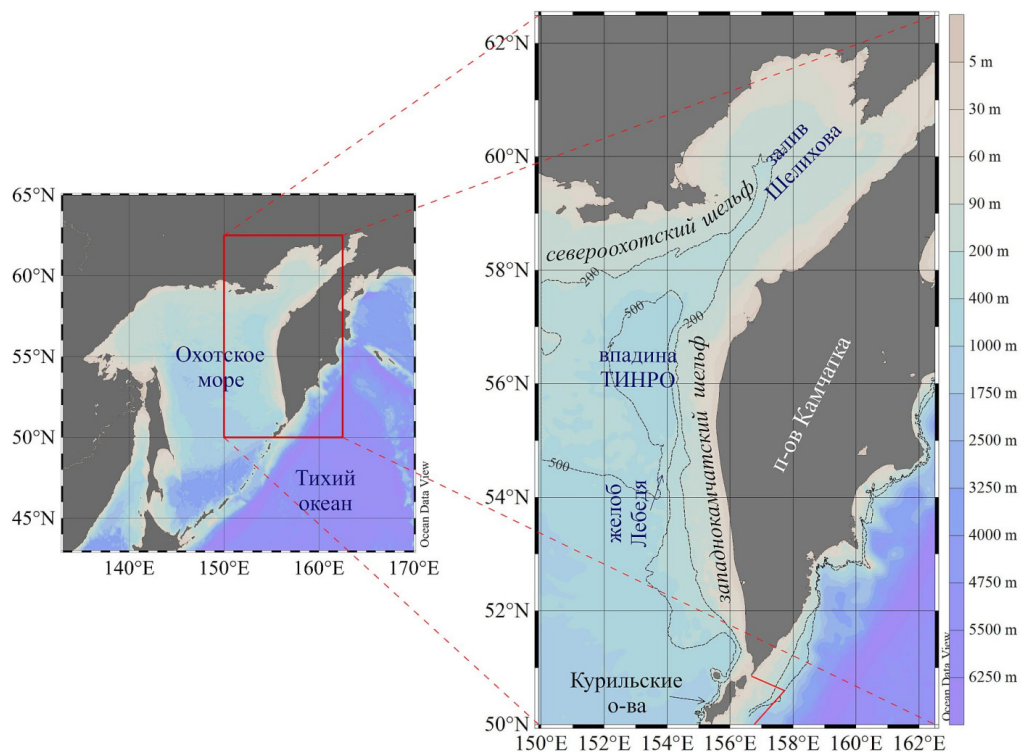


Рис. 1. Район восточной части Охотского моря, для которого создана база океанографических данных (красная сплошная линия — граница района у северных Курильских островов)
Fig. 1. The area in the eastern Okhotsk Sea covered by the database (the boundary at northern Kuril Islands is shown by red solid line)

Количественный состав данных. Итоговая база данных содержит информацию о 23 758 океанографических станциях, выполненных в 1888–2020 гг. в 581 научном рейсе. Из них сотрудниками КамчатНИРО (в том числе в совместных рейсах с ТИНРО) в 1937–2020 гг. выполнено 20 125 станций (374 рейса, 84,7 % наблюдений в БД). Объем информации WOD составляет 3633 станции (207 рейсов, 15,3 % наблюдений в БД), произведенных в период с 1888 по 2006 г. Преобладающая часть данных WOD, включенных в БД, содержит материалы отечественных организаций (2654 станции, или 73,1 % данных). Это наблюдения, проводившиеся с судов Академии наук, Росгидромета, Росрыболовства, а также Гидрографической службы ВМФ (табл. 1).

Таблица 1

Количественный состав данных World Ocean Database,
включенных в БД ОЗК, по организациям

Table 1

Quantitative composition of the data from World Ocean Database included
in the database on oceanography of the West Kamchatka shelf, by research organizations

Учреждение	Кол-во станций	Доля станций, %
Росгидромет (ДВНИГМИ, региональные УГМС)	1466	40,4
РАН (ИО РАН, ТОИ ДВО РАН)	521	14,3
Росрыболовство (ТИНРО*, ВНИРО)	585	16,1
Гидрографическая служба ВМФ	82	2,3
JODC, Япония	924	25,4
NODC, США	55	1,5

* Данные ТИНРО, которые есть в архиве КамчатНИРО и оттуда были внесены в БД, в данной таблице не учитываются.

Зарубежные данные в БД ОЗК представлены в основном материалами Японского центра океанографических данных (JODC — Japan Oceanographic Data Center). Объем таких наблюдений составил 924 станции (25,4 % данных WOD). До 1943 г. исследования проводились с военных кораблей Японии, а с конца 1950-х гг. — с промысловых судов. Количество наблюдений, выполненных на судах Гидрографической службы ВМС США и опубликованных Национальным центром океанографических данных (NODC — National Oceanographic Data Center; находится в составе National Centers for Environmental Information, NOAA), соответствует всего 55 станциям, или 1,5 % данных WOD.

Сведения о количестве имеющихся в БД океанографических станций по отдельным гидрологическим характеристикам представлены в табл. 2. Основной объем информации сформирован из наблюдений за температурой и соленостью воды (соответственно 23754 и 14150 станций). Для остальных характеристик количество станций в БД значительно меньше — от 147 (органический углерод) до 1199 (растворенный кислород) ед.

Таблица 2
Количественный состав БД ОЗК по отдельным гидрологическим характеристикам
Table 2
Quantitative composition of the database on oceanography of the West Kamchatka shelf, by oceanographic parameters

БД ОЗК	Т, °С	S, епс	O ₂ , мг/л	pH	Alk., М-экв./л	PO ₄	NO ₂ +NO ₃	Si	Fe	C _{орг} , мг/л
						μМ/л				
КамчатНИРО и ТИНРО	20121	10994	632	147	147	364	363	359	283	147
WOD	3633	3156	567	303	263	410	161	297	0	0
Всего	23754	14150	1199	450	410	774	524	656	283	147

Пространственно-временное наполнение БД ОЗК

Распределение данных по времени. Многолетние наблюдения, представленные в БД, охватывают период с 1888 по 2020 г. Для удобства ряд наблюдений (рис. 2) разбит на три периода — до 1961 г., 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг. Два последних периода соответствуют требованиям Всемирной метеорологической организации для расчета климатологических стандартных норм (климатических норм). При этом период 1961–1990 гг. до сих пор остается опорным для долгосрочной оценки изменения климата [ВМО–№ 1203, 2017]*.

К периоду до 1961 г. в БД относится 2612 океанографических станций (рис. 2). Их большая часть приходится на 1950-е гг. (1936 станций), а периоды времени до 1937 г. и 1944–1948 гг. почти не охвачены наблюдениями. К 1961–1990 гг. относится 12633 станции — наибольшее количество из представленных в БД. В 1991–2020 гг. в восточной части Охотского моря было выполнено 8513 станций, вошедших в БД.

Во внутригодовом распределении имеющихся данных прослеживаются два хорошо выраженных пика: весенний (до 1150 станций во второй декаде апреля) и летний (2100 станций в конце июля) (рис. 3). Это обусловлено сезонным характером рыбохозяйственных исследований, в рамках которых собрана большая часть океанографических данных. Как правило, весной проводятся ихтиопланктонные съемки по учету минтаевой икры, а летом — крупномасштабные (по 200–250 станций) донные траловые съемки. Эти наблюдения и составили основу максимумов сезонного распределения данных в БД. Минимум наблюдений приходится на конец года — ноябрь и декабрь, когда количество данных по декадам составляет от 70 до 170 станций. Также относительно небольшое количество данных приходится на январь и февраль.

* ВМО–№ 1203. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. Женева, 2017. 32 с.

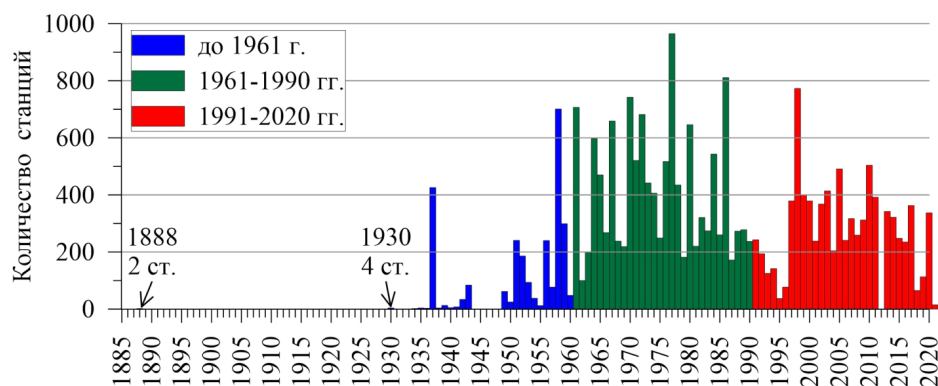


Рис. 2. Распределение океанографических данных по годам

Fig. 2. Year-to-year distribution of oceanographic data

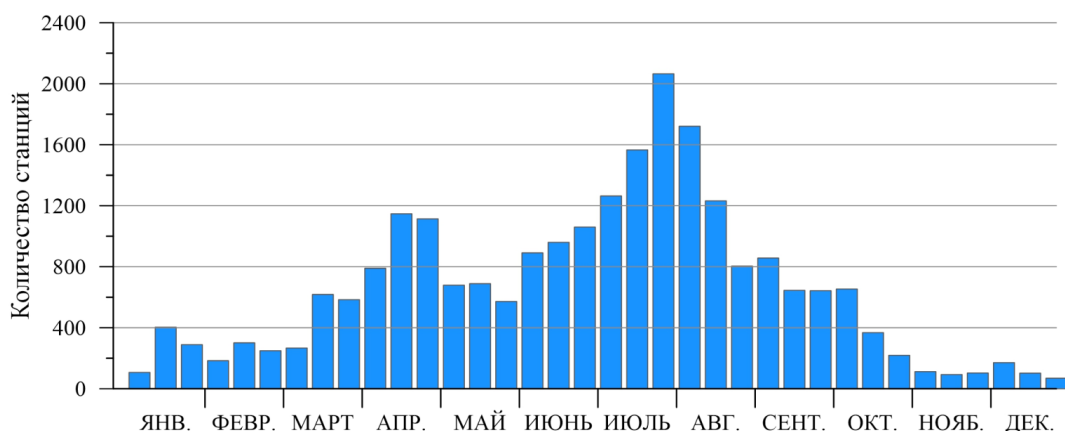


Рис. 3. Внутригодовое распределение океанографических данных по декадам

Fig. 3. Seasonal distribution of oceanographic data

Внутригодовое распределение количества станций по трем выделенным периодам показано на рис. 4. До 1961 г. основной объем данных приходится на летний сезон и начало осени. Тридцатилетний период 1961–1990 гг. характеризуется относительно равномерным распределением станций с марта по сентябрь, а в 1991–2020 гг. отмечаются ярко выраженные сезонные максимумы — весенний и летний. Для всех периодов наименьшее количество данных соответствует времени года с ноября по февраль.

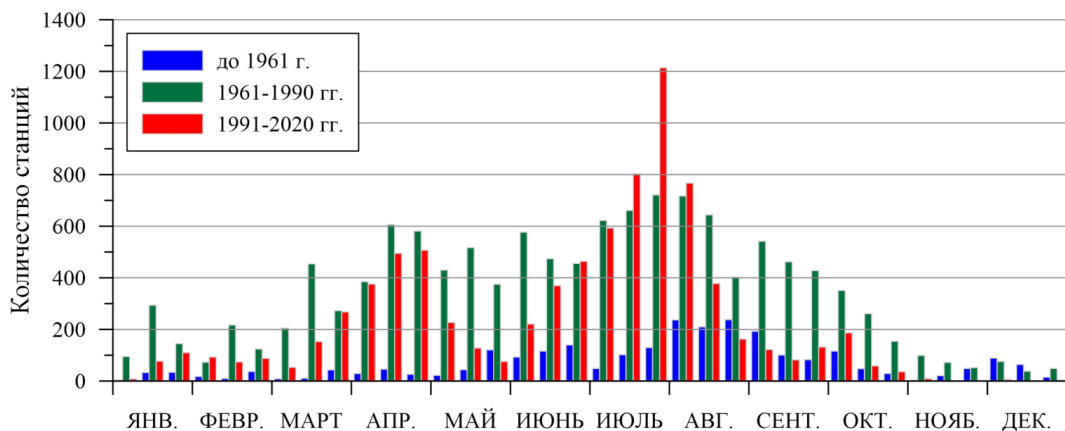


Рис. 4. Внутригодовое распределение океанографических данных по периодам

Fig. 4. Seasonal distribution of oceanographic data for certain periods

Распределение данных в пространстве. В целом плотность распределения станций наблюдений в пространстве характеризуется их значительным преобладанием в прибрежных районах Камчатки (на глубинах до 200 м, рис. 5). При этом заметно увеличение количества наблюдений при приближении к берегу, а также с севера на юг, хорошо выделяются широтные разрезы (рис. 6, А).

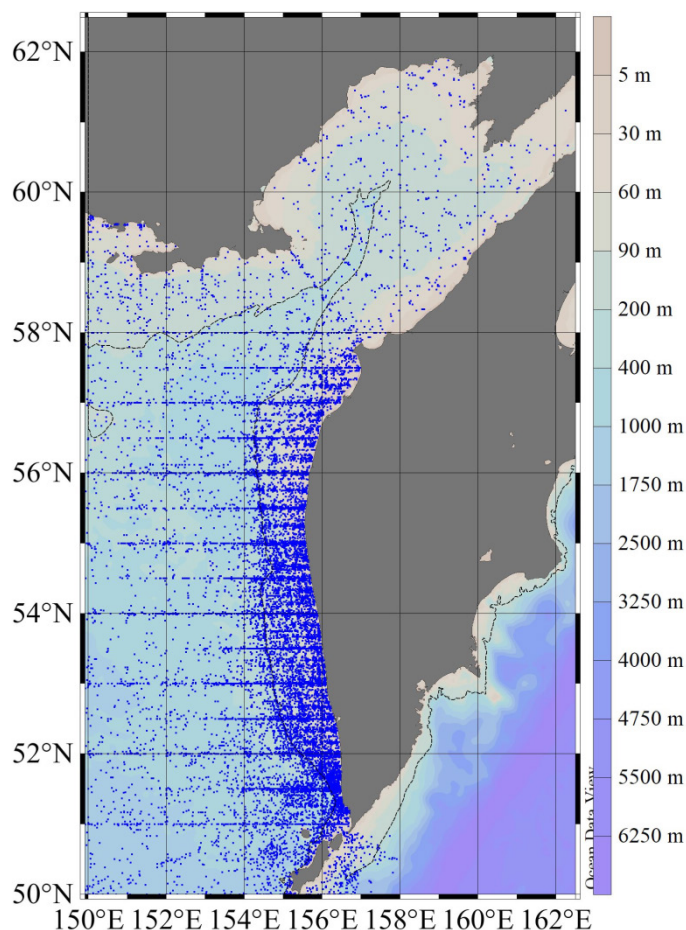


Рис. 5. Расположение океанографических станций в восточной части Охотского моря за период с 1888 по 2020 г. Пунктирной линией обозначена изобата 200 м, принятая за внешнюю границу западнокамчатского шельфа

Fig. 5. Spatial distribution of oceanographic stations in the eastern Okhotsk Sea in 1888–2020. Dashed line marks the 200 m isobath taken as the outer boundary of the West Kamchatka shelf

До 1961 г. наблюдения были сконцентрированы у юго-западного побережья Камчатки при их общей немногочисленности (рис. 6, Б). Отличительной чертой периода 1961–1990 гг. является проведение работ по широтным разрезам вдоль всего побережья западной Камчатки с шагом в полградуса. В итоге в этот период наблюдениями была охвачена наибольшая часть исследуемой акватории (рис. 6, В). В 1991–2020 гг. станции в основном располагались в прибрежных районах западной Камчатки с максимальной плотностью наблюдений у юго-западного берега полуострова (рис. 6, Г).

По распределению в пространстве данные отдельных рейсов можно разделить на регулярные и нерегулярные. К регулярным наблюдениям относятся океанографические съемки, проводившиеся по стандартной схеме с определенным пространственным шагом (рис. 7). Они, как правило, охватывали значительную часть западнокамчатского шельфа, а также районы за его пределами (донные траловые съемки, лососевые съемки, ихтиопланктонные съемки). Нерегулярные наблюдения проводились на отдельных

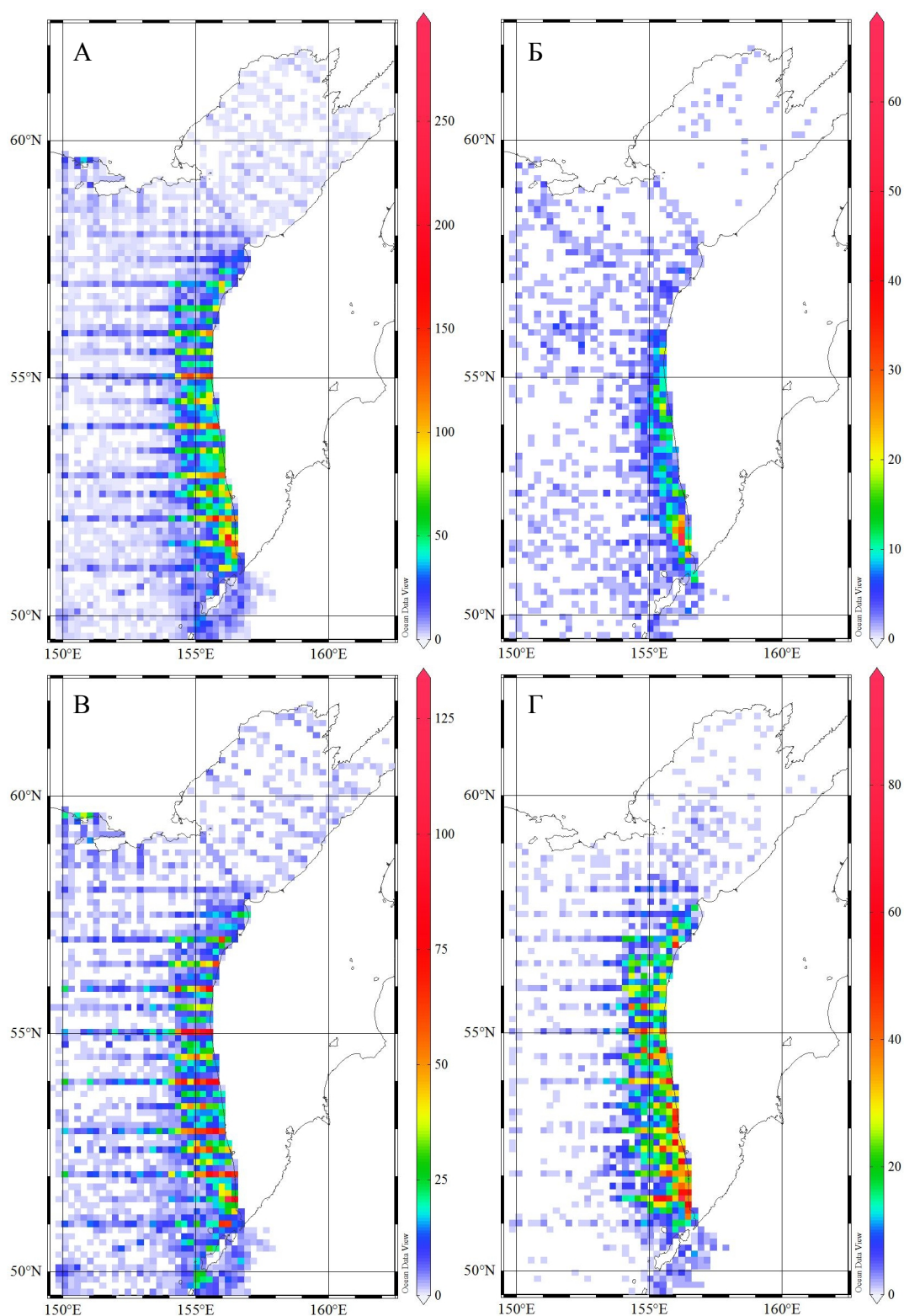


Рис. 6. Плотность распределения океанографических станций: А — за все время исследований (1888–2020 гг.); Б — до 1961 г.; В — 1961–1990 гг.; Г — 1991–2020 гг.

Fig. 6. Spatial density of oceanographic stations: А — all years (1888–2020); Б — the years before 1961; В — 1961–1990; Г — 1991–2020

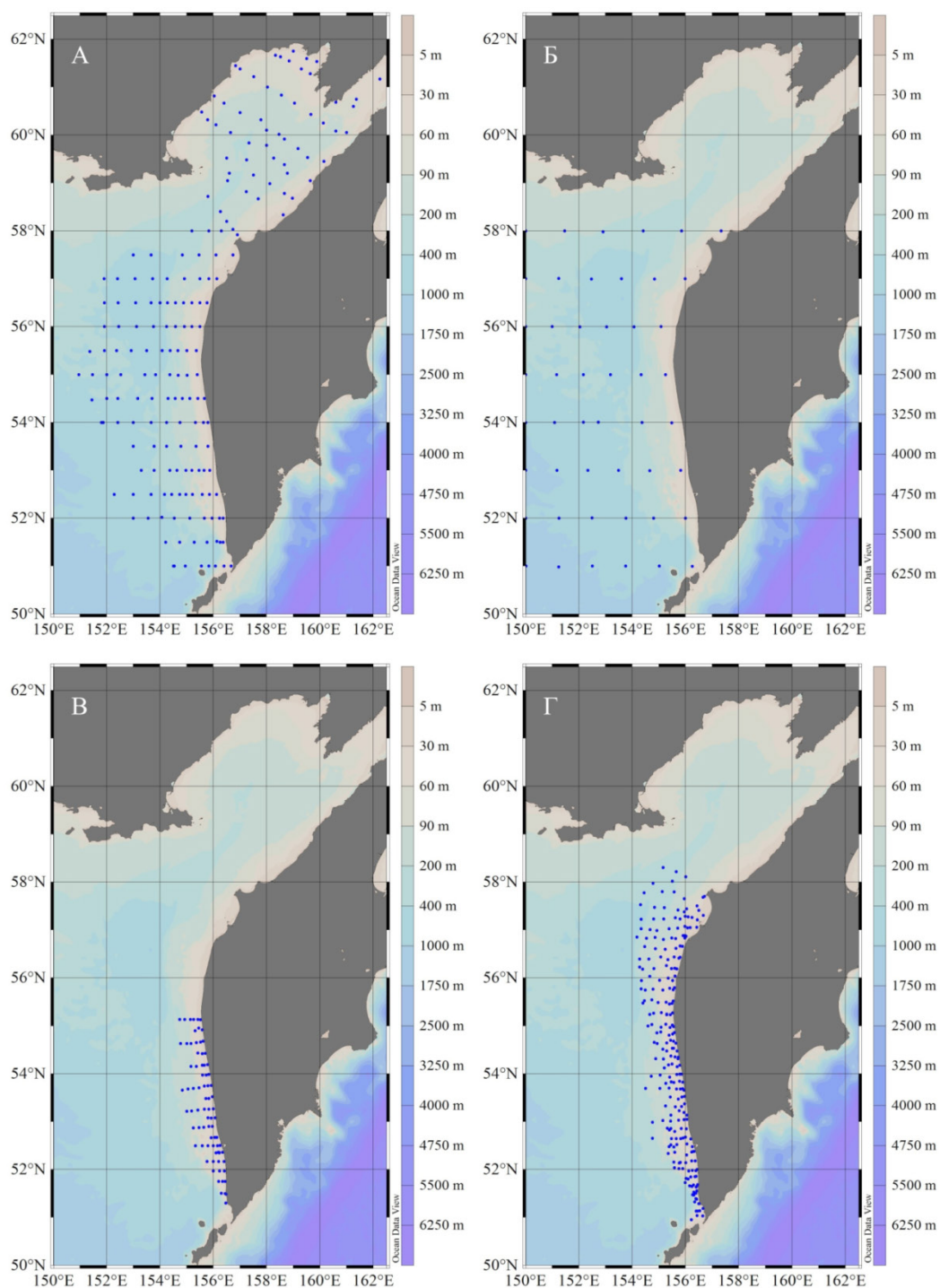


Рис. 7. Примеры распределения океанографических станций на стандартных съемках: **А** — иктиопланктонная съемка на БМРТ «Мыс Юноны» (1984 г.); **Б** — съемка по морским исследованиям миграций лососей на СРТМ «Радовицы» (1987 г.); **В** — съемка по учету скатившейся из рек молоди лососей на МРТК-316 (2010 г.); **Г** — донная траловая съемка на НИС «ТИНРО» (2014 г.)

Fig. 7. Examples of oceanographic stations distribution for typical surveys: **A** — ichthyoplankton survey (RV Mys Yunony, 1984); **Б** — salmon migration survey (RV Radovitsy, 1987); **В** — salmon juveniles survey (RV MRTK-316, 2010); **Г** — bottom trawl survey (RV TINRO, 2014)

участках акватории в местах специализированного промысла, например минтаевого (рис. 8, А) или лососевого (рис. 8, Б).

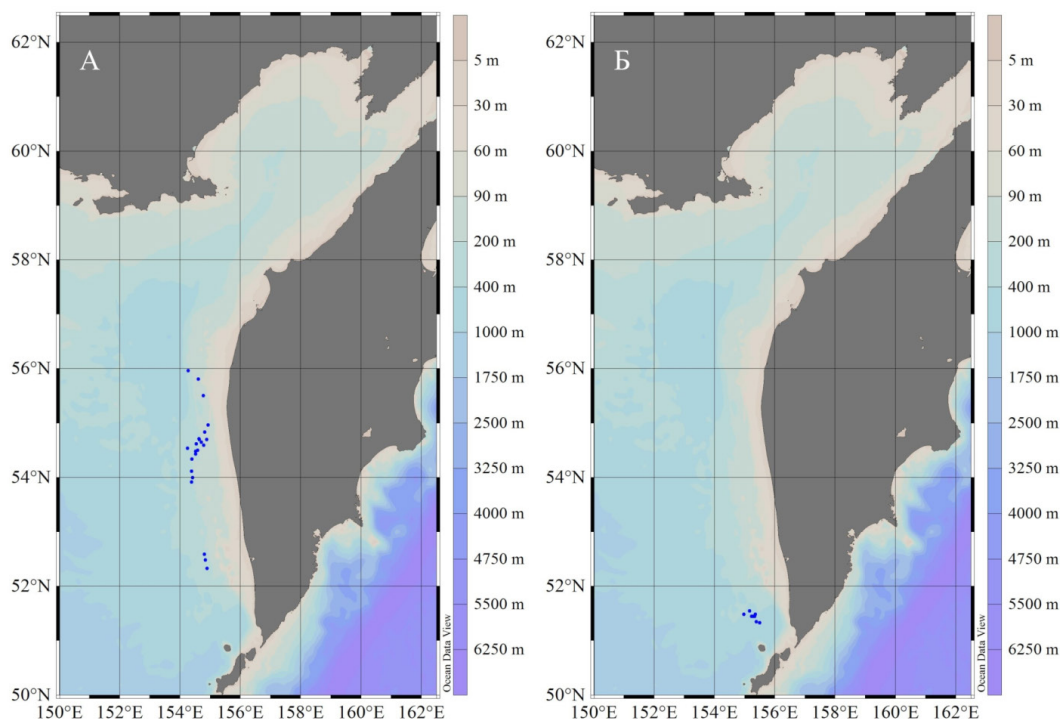


Рис. 8. Примеры распределения океанографических станций при нерегулярных наблюдениях: **А** — на промысле минтая на СТМ «Мию» (2000 г.); **Б** — на сетдрейфовом промысле лососей на шхуне «Кадет-701» (2008 г.)

Fig. 8. Examples of oceanographic stations distribution for irregular observations: **A** — on pollock fishing grounds (F/V Mio, 2000); **B** — on salmon driftnet fishing grounds (F/V Kadet-701, 2008)

Следует также отметить неоднородность наблюдений по вертикали. Она обусловлена как перечнем задач, ставившихся перед каждым рейсом, так и имевшимся оборудованием. Например, целый ряд съемок КамчатНИРО и ТИНРО, особенно в 1950–1960-е гг., включал в себя только отдельные наблюдения за температурой воды (реже за соленостью) на поверхности и/или у дна. Это было связано с акцентированием внимания на исследовании донных рыб и беспозвоночных. Всего таких в базе данных насчитывается 30 рейсов (с наблюдениями на поверхности и/или у дна). Но в большинстве учтенных в БД случаев измерения производились от поверхности до дна: до 1990-х гг. на стандартных горизонтах*, а после внедрения СТД-зондов в парк оборудования отечественных организаций — с шагом по глубине до 1–2 м.

Кроме этого, важно упомянуть следующее обстоятельство. С начала 1990-х гг. океанографические измерения стали сопровождаться определениями плановых координат с помощью GPS. Несколько ранее в широкую практику были внедрены достаточно точные эхолоты. Это позволило существенно улучшить общее качество наблюдений по сравнению с предыдущим периодом.

О данных по солености воды. Для океанографического анализа особую ценность имеют данные синхронных измерений температуры и солености воды. Первая характеристика измерялась при всех видах исследований, а вторая — только примерно в половине случаев (если брать всю БД, табл. 2). При этом в период времени до 1961 г.

* Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. М.: ГОИН им. Н.Н. Зубова, 2016. 536 с.

определениями солености сопровождался 41 % всех измерений, в 1961–1990 гг. — 40, а в 1991–2020 гг. — 94 %.

До конца 1970-х гг. для определения солености морской воды использовался аргонометрический метод (по хлору — Руководство..., 2016*). С принятием в 1978 г. на международном уровне кондуктометрического метода определения солености воды, а также шкалы практической солености в океанографические исследования начали активно внедряться солемеры, а затем и CTD-зонды. Для определения солености воды аргонометрическим методом или кондуктометрическим методом с использованием солемеров пробы воды отбирались батометрами. Очевидно, что эти измерения были значительно более трудоемкими, чем более поздние с использованием погружных CTD-зондов. Это обстоятельство отражено в приведенном выше соотношении количества измерений солености между рассматриваемыми периодами. Следует отметить, что использование аргонометрического и кондуктометрического методов обеспечивало достаточную точность для получения сопоставимых результатов [ГСССД 77-84**; Архипкин и др., 2009].

Заключение

К настоящему времени в КамчатНИРО создана база данных океанографических наблюдений, которая во временном отношении охватывает весь период инструментальных исследований, а в пространственном — всю восточную часть Охотского моря (западнокамчатский шельф с прилегающими водами). БД реализована в хорошо зарекомендовавшем себя программном продукте (Ocean Data View). Это вводит в научный оборот множество ранее недоступных океанографических данных и тем самым открывает возможность получения новых знаний о восточной части Охотского моря, включая западнокамчатский шельф.

БД неоднородна по своему временному и пространственному разрешению, а также по качеству содержащихся в ней данных. До конца 1980-х гг. в основном использовались батометрические, батометрические с глубиномерами, батитермографные данные. С 1990-х гг. начали применяться измерения с помощью CTD-зондов, которые сопровождалось определением координат по GPS и глубин по эхолотам. В наибольшей степени данными освещен период времени 1961–1990 гг., несколько меньше — 1991–2020 гг. При этом плотность станций наблюдений возрастает от открытого моря к берегу и с севера на юг (максимум станций находится у юго-западного побережья Камчатки).

В ближайшее время планируется начать использовать созданную БД по прямому назначению — в первую очередь для исследования пространственно-временной изменчивости термохалинной структуры вод на шельфе западной Камчатки.

Главным направлением дальнейшего развития созданной БД видится ее объединение с действующими базами данных других институтов: прежде всего ТИНРО, а впоследствии — ТОИ ДВО РАН и ДВНИГМИ. Также необходимо обеспечить доступность БД для широкого круга океанологов и заинтересованных специалистов других специальностей (например, гидробиологов и ихтиологов). Только таким образом можно существенно активизировать исследовательскую активность и тем самым заметно повысить уровень существующих представлений об океанографии Охотского моря.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают свою искреннюю благодарность всем участникам экспедиций в восточной части Охотского моря за их самоотверженный и добросовестный труд, а также всем сотрудникам сектора океанографии КамчатНИРО (ранее — лаборатории

* Руководство... [2016].

** ГСССД 77-84. Таблицы стандартных справочных данных. Морская вода. Шкала практической солености 1978 г.

промысловой океанографии), принимавшим участие в обработке данных. Авторы признательны создателям проекта World Ocean Database, позволившим безвозмездно пользоваться ценной информацией.

The authors express their sincere gratitude to the staff of the Oceanography sector of KamchatNIRO (formerly the laboratory of Fisheries Oceanography) who took part in the data processing and to all participants of expeditions to the eastern Okhotsk Sea for their selfless and conscientious work in the sea. The authors are grateful to creators of the World Ocean Database project who made this unique database open for free using.

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 использованием животных в качестве объекта.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

This article does not contain any research that used animals as a subject.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

В.В. Коломейцев — создание базы данных, построение карт и диаграмм, анализ содержания базы данных и написание статьи. С.Л. Горин — анализ содержания базы данных и написание статьи.

V.V. Kolomeytsev — creating a database, building maps and diagrams, analyzing the database content, and writing the article. S.L. Gorin — analysis of the database content and writing the article.

Список литературы

Архипкин В.С., Лазарюк А.Ю., Левашев Д.Е., Рамазин А.Н. Океанология: инструментальные методы измерения основных параметров морской воды : учеб. пособие. — М. : МАКС Пресс, 2009. — 336 с.

Власова Г.А. История океанографических исследований в Охотском море с XVII в. и до наших дней // Вопр. истории естествознания и техники. — 2013. — Т. 34, № 2. — С. 56–66.

Волвенко И.В. Лаборатория регионального центра данных (РЦД) ФГУП «ТИНРО-центр»: ее роль в прогнозировании состояния сырьевой базы отечественного рыболовства и основные направления деятельности // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 176. — С. 3–15. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-176-3-15.

Жигалов И.А., Лучин В.А. Межгодовая изменчивость температуры придонных вод на шельфе западной Камчатки // Метеорол. и гидрол. — 2005. — № 10. — С. 72–80.

Коломейцев В.В. История океанографических исследований КамчатНИРО в восточной части Охотского моря (район Западной Камчатки) // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление : сб. мат-лов 2-й Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 85-летию Камчат. науч.-исслед. ин-та рыб. хоз-ва и океаногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2022. — С. 108–119.

Круц А.А. Формирование баз данных океанологической информации в региональном центре океанографических данных по дальневосточному региону // Тр. ГУ Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт. — 2010. — № 1. — С. 370–377.

Лучин В.А., Жигалов И.А. Межгодовые изменения типовых распределений температуры воды в деятельном слое Охотского моря и возможность их прогноза // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 147. — С. 183–204.

Лучин В.А., Лаврентьев В.М., Яричин В.Г. Гидрологический режим // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 9 : Охотское море, вып. 1 : Гидрометеорологические условия. — СПб. : Гидрометеоиздат, 1998. — С. 92–175.

Лучин В.А., Матвеев В.И. Межгодовая изменчивость термического состояния холодного подповерхностного слоя Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 187. — С. 205–216. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-205-216.

Морошкин К.В. Водные массы Охотского моря : моногр. — М. : Наука, 1966. — 67 с.

Пищальник В.М., Бобков А.О. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин. — Южно-Сахалинск : СахГУ, 2000. — Ч. 1. — 173 с.; Ч. 2. — 108 с.

Ростов И.Д., Пан А.А., Ростов В.И. и др. Базы данных и информационные системы по океанографии ТОИ ДВО РАН для поддержки научных исследований и морской деятельности в Дальневосточном регионе // Вестн. ДВО РАН. — 2007. — № 4(134). — С. 85–94.

Чернявский В.И. Изменчивость ядра холода и прогноз типа термического режима на севере Охотского моря // Океанологические основы биологической продуктивности северо-западной части Тихого океана. — Владивосток, 1992. — С. 104–113.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. — Т. 1. — 580 с.

Шунтов В.П., Дулепова Е.П. Биологический баланс, современное состояние био- и рыбопродуктивности экосистемы Охотского моря и элементы ее функционирования // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 9 : Охотское море, вып. 2 : Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. — СПб. : Гидрометеоиздат, 1998. — С. 81–93.

Luchin V., Kruts A., Sokolov O. et al. Climatic Atlas of the North Pacific Seas 2009: Bering Sea, Sea of Okhotsk, and Sea of Japan / eds V. Akulichev, Yu. Volkov, V. Sapozhnikov, S. Levitus : NOAA Atlas NESDIS 67, U.S. Gov. Printing Office, Wash., D.C., 2009. — 329 p. (DVD Disc).

References

Arkhipkin, V.S., Lazaryuk, A.Yu., Levashev, D.E., and Ramazin, A.N., *Okeanologiya: instrumental'nyye metody izmereniya osnovnykh parametrov morskoy vody: Uchebnoye posobiye* (Oceanology: instrumental methods for measuring the main parameters of sea water), Moscow: MAKS Press, 2009.

Vlasova, G.A., The history of oceanographic investigations in the sea of Okhotsk from the seventeenth century to the present, *Voprosy istorii yestestvoznaniya i tekhniki*, 2013, vol. 34, no. 2, pp. 56–66.

Volvenko, I.V., Regional Data Center (RDC) of FSUE “TINRO-centre”: its role in prediction of resource state for national fisheries and principal directions of activities, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 176, pp. 3–15. doi 10.26428/1606-9919-2014-176-3-15

Zhigalov, I.A. and Luchin, V.A., Interannual variability of bottom water temperature on the west Kamchatka shelf, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2005, no. 10, pp. 55–61.

Kolomeytsev, V.V., The history of oceanographic researches of KamchatNIRO in the eastern part of the Sea of Okhotsk, in *Sb. mater. 2-y Vseross. nauchn. konf. mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 85-letiyu Kamchatskogo nauchno-issled. inst. rybn. khoz. okeanogr. “Vodnye biologicheskie resursy Rossii: sostoyanie, monitoring, upravlenie”* (Proc. All-Russ. Sci. Conf. Int. Participation, Commem. 85th Anniv. Kamchatka Res. Inst. Fish. Oceanogr. “Aquatic Biological Resources of Russia: State, Monitoring, and Management”), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2022, pp. 108–119.

Kruts, A.A., Formation of databases of oceanological information in the regional oceanographic data center for the Far East region, *Trudy GU Dal'nevostochnyy regional'nyy nauchno-issledovatel'skiy gidrometeorologicheskii institut*, 2010, no. 1, pp. 370–377.

Luchin, V.A. and Zhigalov, I.A., Types of water temperature distribution in active layer of the Okhotsk Sea and possibility of its prediction, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 147, pp. 183–204.

Luchin, V.A., Lavrentiev, V.M., and Yarichin, V.G., Hydrological regime, in *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei. T. 9: Okhotskoye more* (Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas, vol. 9: Sea of Okhotsk), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1998, issue 1, pp. 92–175.

Luchin, V.A. and Matveev, V.I., Interannual variability of thermal state of the cold subsurface layer in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 187, no. 4, pp. 205–216. doi 10.26428/1606-9919-2016-187-205-216

Moroshkin, K.V., *Vodnye massy Okhotskogo morya* (Water Masses of the Sea of Okhotsk), Moscow: Nauka, 1966.

Pischalnik, V.M. and Bobkov, A.O., *Okeanograficheskiy atlas shel'fovoy zony ostrova Sakhalin* (Oceanographic atlas of the offshore zone of Sakhalin Island), Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin. Gos. Univ., 2000, part 1, part 2.

Rostov, I.D., Pan, A.A., Rostov, V.I., Dmitrieva, E.V., Rudykh, N.I., and Gavrev, A.I., POI FEB RAS databases and information systems on oceanography for research and marine activity support in the Far Eastern region, *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk*, 2007, no. 4(134), pp. 85–94.

Chernyavskii, V.I., Variability of the cold core and prediction of the type of thermal regime in the north of the Sea of Okhotsk, in *Okeanologicheskie osnovy biologicheskoi produktivnosti severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana* (Oceanological Bases of Biological Productivity of the Northwestern Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO, 1992, pp. 104–113.

Shuntov, V.P., *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2001, vol. 1.

Shuntov, V.P. and Dulepova, E.P., Biological balance, current state of bio- and fish productivity of the Sea of Okhotsk ecosystem and elements of its functioning, in *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei. T. 9: Okhotskoye more* (Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas, vol. 9: Sea of Okhotsk), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1998, issue 2, pp. 81–93.

Luchin, V., Kruts, A., Sokolov, O., Rostov, V., Rudykh, N., Perunova, T., Zolotukhin, E., Pischalnik, V., Romeiko, L., Hramushin, V., Shustin, V., Udens, Y., Baranova, O., Smolyar, I., and Yarosh, E., *Climatic Atlas of the North Pacific Seas 2009: Bering Sea, Sea of Okhotsk, and Sea of Japan*, NOAA Atlas NESDIS 67, Akulichev, V., Volkov, Yu., Sapozhnikov, V., and Levitus, S., eds, U.S. Gov. Printing Office, Wash., D.C., 2009. DVD.

VMO-1203. Rukovodyashchiye ukazaniya VMO po raschetu klimaticheskikh norm (WMO-No. 1203. WMO Guidelines for the Calculation of Climate Normals), Geneva, 2017.

Rukovodstvo po gidrologicheskim rabotam v okeanakh i moryakh (Guide to hydrological work in the oceans and seas), Moscow: Publishing house of GOIN im. N.N. Zubova, 2016.

GSSSD 77-84. Tablitsy standartnykh spravochnykh dannykh. Morskaya voda. Shkala prakticheskoy solenosti 1978 g. (GSSSD 77-84. Tables of standard reference data. Sea water. Practical Salinity Scale 1978).

Поступила в редакцию 25.11.2022 г.

После доработки 9.01.2023 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

*The article was submitted 25.11.2022; approved after reviewing 9.01.2023;
accepted for publication 3.03.2023*

Краткое сообщение

УДК 582.276:504.5

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-214-222

EDN: POСBQZ



**ВЛИЯНИЕ ЦИНКА И ЖЕЛЕЗА НА ДИНАМИКУ ЧИСЛЕННОСТИ,
МОРФОЛОГИЮ И ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
МИКРОВОДОРОСЛИ *PROROCENTRUM FORAMINOSUM* (DINOPHYTA)**

Ж.В. Маркина¹, А.В. Огнистая^{1,2*}

¹ Национальный научный центр морской биологии
им. А.В. Жирмунского, ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17;

² Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, 10

Аннотация. Дана оценка влияния тяжелых металлов цинка, железа в концентрациях 50 и 100 мкг/л на динамику численности, морфологию, флуоресценцию хлоропласта и зеленую автофлуоресценцию клеток (ЗАФ) микроводоросли *Prorocentrum foraminosum*. Оценка выполнена на третьи и седьмые сутки эксперимента. Оба элемента в концентрации, превышающей ПДК, снижают численность водоросли. Наибольшее влияние оказало железо. Однако изменения структур клеток при добавлении Fe^{3+} не наблюдалось. При добавлении Zn^{2+} выявлена деформация клеток и истечение клеточного содержимого *P. foraminosum*. Флуоресценция хлоропласта становилась менее интенсивной при воздействии Fe^{3+} . ЗАФ при наличии в среде Zn^{2+} и Fe^{3+} увеличивалась.

Ключевые слова: *Prorocentrum foraminosum*, цинк, железо, численность клеток, флуоресценция хлоропласта, зеленая автофлуоресценция динофлагеллят

Для цитирования: Маркина Ж.В., Огнистая А.В. Влияние цинка и железа на динамику численности, морфологию и флуоресцентные характеристики микроводоросли *Prorocentrum foraminosum* (Dinophyta) // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 214–222. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-214-222. EDN: POСBQZ.

Short message

Influence of zinc and iron on population dynamics, morphology and fluorescent properties of microalgae *Prorocentrum foraminosum* (Dinophyta)

Zhanna V. Markina*, Albina V. Ognistaya**

* Institute of Marine Biology, National Scientific Centre of Marine Biology.
Far Eastern Branch. Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041, Russia

** Far Eastern Federal University, Ajax Bay, 10, Vladivostok, 690922

* Ph.D., researcher, zhannav@mail.ru, ORCID 0000-0001-7135-1375

** graduate student, alya_lokshina@mail.ru, ORCID 0000-0002-9570-3192

* Маркина Жанна Владимировна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, zhannav@mail.ru, ORCID 0000-0001-7135-1375; Огнистая Альбина Васильевна, аспирант, alya_lokshina@mail.ru, ORCID 0000-0002-9570-3192.

© Маркина Ж.В., Огнистая А.В., 2023

Abstract. Influence of heavy metals as zinc and iron with concentrations of 50 and 100 mg/L on dynamics of the cells abundance, morphology, fluorescence of chlorophyll *a*, and green autofluorescence is examined for the microalgae *Prorocentrum foraminosum*. The impact was measured on the 3rd and 7th days of the experiment. Both elements in concentration above the maximum permissible levels reduce the cells number, with the higher impact for Fe³⁺. However, Fe³⁺ caused no changes in structure of cells. The impact of Zn²⁺ caused the cells deformation and excretion of the cellular content. The chloroplast fluorescence became less intensive under influence of Fe³⁺, but the green autofluorescence had increased under presence of Zn²⁺ and Fe³⁺ in the medium.

Keywords: *Prorocentrum foraminosum*, zinc, iron, cell number, chloroplast fluorescence, green autofluorescence of dinoflagellates

For citation: Markina Zh.V., Ognistaya A.V. Influence of zinc and iron on population dynamics, morphology and fluorescent properties of *Prorocentrum foraminosum* (Dinophyta), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 214–222. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-214-222. EDN: POCBQZ.

Введение

Загрязнение биосферы тяжелыми металлами представляет собой глобальную опасность. В морские воды тяжелые металлы попадают со сточными водами, что влияет на структуру естественных биологических сообществ. В результате сообщества фитопланктона могут резко меняться, приводя к изменению экосистем в целом [Masmoudi et al., 2013; Cheng et al., 2016]. Виды рода *Prorocentrum* регулярно регистрируются в разных районах Мирового океана как в тропических, так и в умеренных зонах [Faust, 1993; Taş, Okuş, 2011; Ясакова, 2013; Li et al., 2021]. Они являются важным компонентом пищевых цепей [Faust, 1993], однако пристальное внимание к видам данного рода связано с тем, что они вызывают «цветение» воды [Ясакова, 2013; Li et al., 2021]. *Prorocentrum foraminosum* встречается в зал. Петра Великого (Японского моря) с апреля по июнь и с сентября по октябрь на талломах макрофитов, при температурах 8–22 °C [Селина, 2017]. Данный вид способен продуцировать динофизистоксин-1, вызывающий диарею у теплокровных животных [Kameneva et al., 2015]. В связи с этим важно определить факторы, влияющие на массовое развитие данного вида.

Железо и цинк — биологически важные микроэлементы, однако становятся токсикантами при повышенных концентрациях в среде и поэтому нормируются. В прибрежных водах России Zn²⁺, Fe³⁺ регулярно регистрируются в концентрации 50 и 100 мкг/л [Качество морских вод..., 2020], что соответствует 1-й и 2-й величине предельно допустимой концентрации (ПДК) этих элементов в рыбохозяйственных водоемах.

Численность клеток — показатель, традиционно используемый для оценки действия веществ на микроводоросли [Panneerselvam et al., 2018; Tato and Beiras, 2019]. Хлоропласты — основная мишень действия токсических веществ у водорослей и высших растений, данный показатель изменяется при воздействии избытка тяжелых металлов и применяется для оценки физиологических нарушений у микроводорослей [Carfagna et al., 2013]. Динофлагелляты обладают зеленой автофлуоресценцией (ЗАФ), которая вызывается молекулами, отличными от хлорофилла *a*, и которую предложено использовать для оценки жизнеспособности водорослей [Tang and Dobbs, 2007; Tang et al., 2022].

Цель работы заключалась в оценке действия цинка и железа в концентрациях 50 и 100 мкг/л на рост, морфологию, флуоресценцию хлоропласта и зеленую автофлуоресценцию микроводоросли *Prorocentrum foraminosum* Faust, 1993.

Материалы и методы

Культура *Prorocentrum foraminosum* MBRU_PrRUS_16 предоставлена ресурсным центром «Морской биобанк» Национального научного центра им. А.В. Жирмунского. Водоросль выращивали на среде *f* [Guillard, Ryther, 1962], приготовленной на основе

фильтрованной и стерилизованной морской воды из условно чистого района соленостью 32 ‰ в 24-луночных планшетах с объемом культуральной среды 10 мл, при температуре 18 °С, интенсивности освещения 70 мкмоль/м²/с в области видимого света и свето-темновым периодом 12 ч свет : 12 ч темнота. В качестве инокулята использовали культуры на экспоненциальной стадии роста.

Исследуемые концентрации Zn^{2+} , Fe^{3+} — 50 и 100 мкг/л — были выбраны на основе содержания этих металлов в прибрежных водах России и их предельно допустимых концентраций, изученные концентрации соответствуют ПДК и 2ПДК [Качество морских вод..., 2020]. Ионы Zn^{2+} добавляли в виде соли — $ZnSO_4 \times 7H_2O$, Fe^{3+} — в виде $FeCl_3 \times 6H_2O$ — с пересчетом на ионы металлов.

Подсчет численности клеток произведен до и после эксперимента с добавлением ионов Zn^{2+} и Fe^{3+} в счетной камере Седвика-Рафтера под микроскопом. Фотографии выполнены с помощью системы визуализации Evos-5000 (Thermo Fisher Scientific, США) в проходящем свете и возбуждении флуоресценции хлорофилла *a*. Для возбуждения флуоресценции хлорофилла *a* применяли светодиодный куб Cy5, ЗАФ — светодиодный куб GFP.

Эксперименты проводили в трех повторностях. Статистическую обработку выполняли с помощью программы Excel. Достоверность различий между выборками оценивали по критерию Манна-Уитни при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Численность клеток *P. foraminosum* при всех исследованных концентрациях металлов в воде была ниже, чем в контрольной пробе, как на третьи, так и на седьмые сутки эксперимента (рис. 1). Следует отметить, что рост водорослей не подавлялся полностью: число клеток к седьмым суткам возросло во всех случаях опыта. Наибольшее влияние на численность водоросли оказало железо (рис. 1).

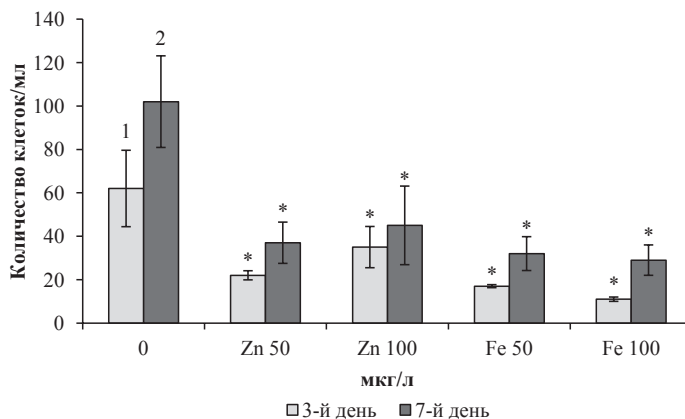


Рис. 1. Численность клеток *P. foraminosum* в контроле и при воздействии тяжелых металлов: столбики — среднее значение из 9 измерений трех повторностей опыта; отрезки — стандартное отклонение; звездочки — различия достоверны между опытом с металлами и контрольной пробой (0 — среда без добавления металла)

Fig. 1. Number of *Prorocentrum foraminosum* cells under influence of heavy metals and in the control samples: columns — average value of 9 measurements in 3 repetitions of the experiment; segments — standard deviation; asterisks — significant differences between the tested and control samples (0 — medium without addition of toxic metals)

В контроле на третьи сутки клетки вытянутой овоидной формы (рис. 2, а), флуоресценция хлорофилла *a* выраженная (рис. 2, б). ЗАФ менее яркая, чем флуоресценция хлорофилла *a*, отмечаемы более ярко флуоресцирующие компартменты (рис. 2, в). В контроле на третьи и седьмые сутки эксперимента форма клеток *P. foraminosum*, флуоресценция хлорофилла *a* и ЗАФ сохранялись неизменными (рис. 2).

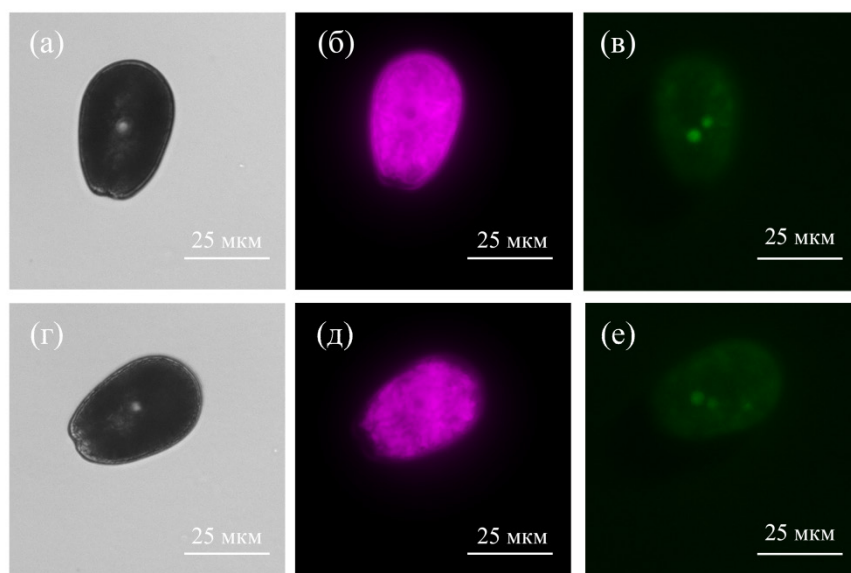


Рис. 2. Клетки *P. foraminosum* в контроле: а–в — третьи сутки, г–е — седьмые сутки эксперимента; а, г — световая микроскопия; б, д — флуоресценция хлоропласта; в, е — зеленая флуоресценция

Fig. 2. Cells of *P. foraminosum* in the control samples: а–в — 3rd day, г–е — 7th day of experiment; а, г — light microscopy; б, д — chloroplast fluorescence; в, е — green autofluorescence

Добавление Zn^{2+} в концентрациях 50 и 100 мкг/л приводило к морфологическим нарушениям, изменению флуоресценции хлоропласта и ЗАФ (рис. 3, а–е). Особенно выраженными были изменения на седьмые сутки опыта (рис. 3, ж–м).

Кроме замедления роста численности клеток (см. рис. 1), площадь вакуоли уменьшилась и отодвинулась от клеточной стенки (рис. 3, к), зеленая флуоресценция усилилась (рис. 3, и, м). Выявлена деформация клеток и истечение клеточного содержимого *P. foraminosum* на седьмые сутки эксперимента (рис. 3, ж, з). Ионы цинка необходимы для нормального функционирования растительного организма, однако в токсичных концентрациях данный металл замедляет процесс деления клеток, вызывает снижение содержания хлорофилла а [Baścik-Remisiewicz et al., 2009]. Данный элемент в повышенной концентрации влияет на электрон-транспортную цепь в хлоропластах в результате замены марганца на Zn^{2+} на участке разложения воды [Masmoudi et al., 2013].

При внесении Fe^{3+} в концентрации 50 мкг/л на третьи сутки изменения морфологии клеток не обнаружено (рис. 4, а), при этом отмечено нарушение структуры хлоропласта по его флуоресценции (рис. 4, б), ЗАФ была менее яркой, чем в контроле (рис. 4, в). Добавление 100 мкг/л токсиканта не вызывало нарушения морфологии (рис. 3, г) и структуры хлоропласта (рис. 4, д), ЗАФ была ярче, чем в контроле (рис. 4). На седьмые сутки наблюдаемые изменения сохранялись при обеих концентрациях металла (рис. 4, ж–м).

Как и другие тяжелые металлы, избыток Fe^{3+} стимулирует выработку активных форм кислорода, запускающих каскад повреждений биомолекул, однако механизм генерирования активных форм кислорода под воздействием Fe^{3+} изучен слабо. Предполагается, что оно происходит за счет реакции Фентона, реакций, подобных реакции Фентона и реакции Хабер-Вейсса [Rajabi Islami, Assareh, 2019; Rana, Prajapati, 2021]. При токсическом воздействии Fe^{3+} в первую очередь страдают хлоропласты и митохондрии [Rajabi Islami, Assareh, 2019], вероятно, в связи с этим мы наблюдали снижение флуоресценции хлоропласта у *P. foraminosum*.

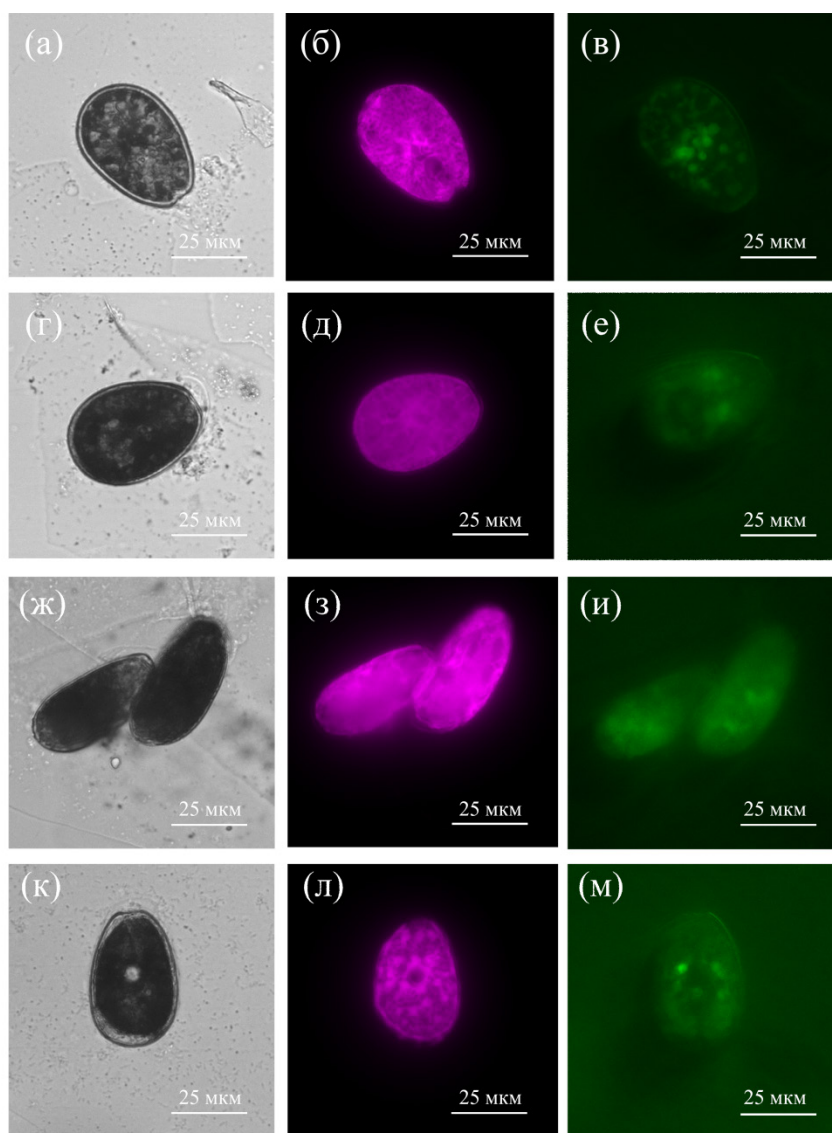


Рис. 3. Клетки *P. foraminosum* при воздействии Zn^{2+} : а, г, ж, к — световая микроскопия; б, д, з, л — флуоресценция хлоропласта; в, е, и, м — зеленая флуоресценция; а–в — третьи сутки эксперимента, 50 мкг/л Zn^{2+} ; г–е — третьи сутки эксперимента, 100 мкг/л Zn^{2+} ; ж–и — седьмые сутки эксперимента, 50 мкг/л Zn^{2+} ; к–м — седьмые сутки эксперимента, 100 мкг/л Zn^{2+}

Fig. 3. Cells of *P. foraminosum* exposed to Zn^{2+} : а, г, ж, к — light microscopy; б, д, з, л — chloroplast fluorescence; в, е, и, м — green fluorescence; а–в — 3rd day of exposition to 50 mg/L Zn^{2+} ; г–е — 3rd day of exposition to 100 mg/L Zn^{2+} ; ж–и — 7th day of exposition to 50 mg/L Zn^{2+} ; к–м — 7th day of exposition to 100 mg/L Zn^{2+}

Закключение

Показано, что наибольшее влияние на численность водоросли оказал избыток Fe^{3+} . Однако изменения внешних структур клеток при добавлении Fe^{3+} не наблюдалось. Изученные металлы влияют на хлоропласт, что выражается в изменении его флуоресценции, и изменяют метаболизм микроводоросли, что выражается в изменении ЗАФ. Таким образом, Zn^{2+} и Fe^{3+} в концентрациях 50 и 100 мкг/л не являются фактором, вызывающим цветение *P. foraminosum*.

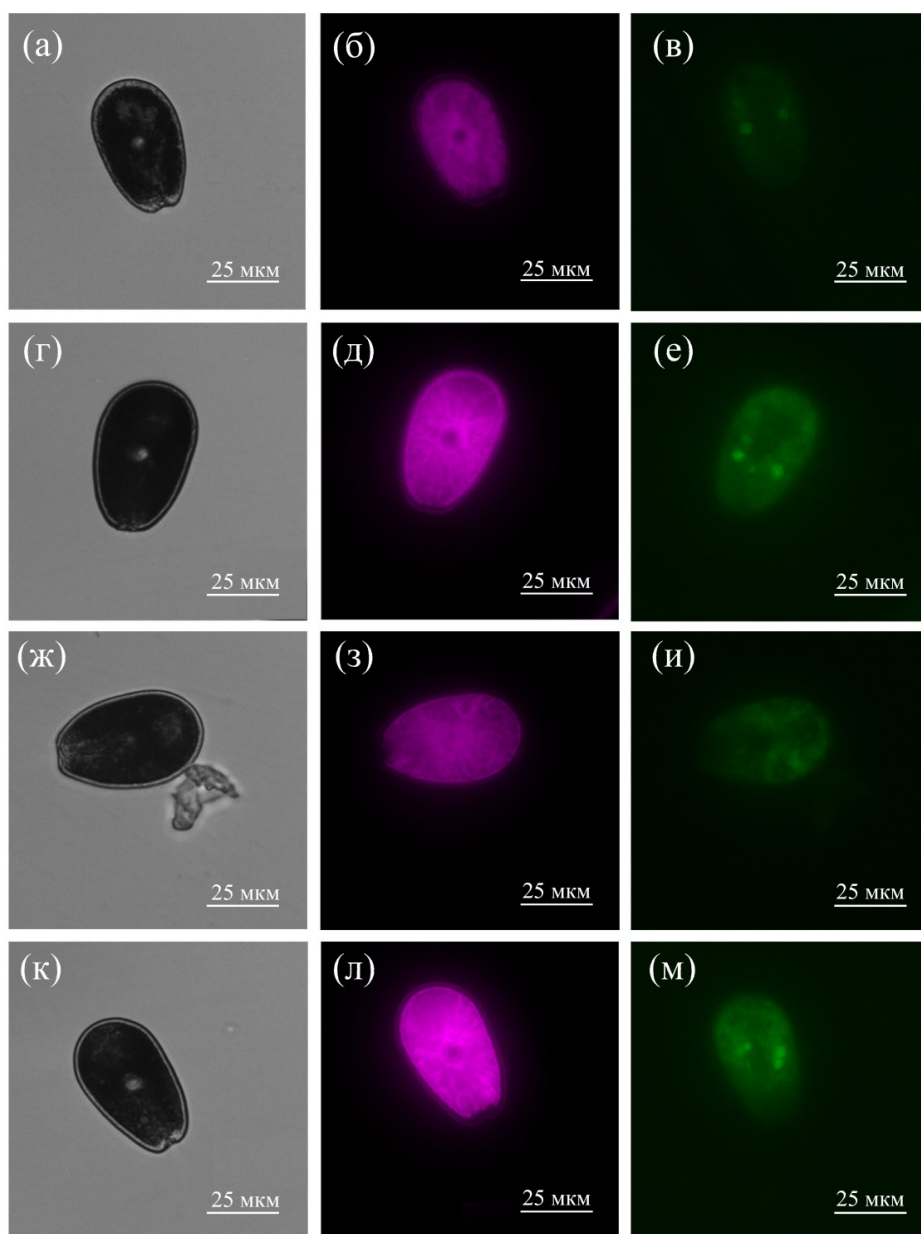


Рис. 4. Клетки *P. foraminosum* при воздействии Fe^{3+} : а, г, ж, к — световая микроскопия; б, д, з, л — флуоресценция хлоропласта; в, е, и, м — зеленая флуоресценция; а–в — третьи сутки эксперимента, 50 мкг/л Fe^{3+} ; г–е — третьи сутки эксперимента, 100 мкг/л Fe^{3+} ; ж–и — седьмые сутки эксперимента, 50 мкг/л Fe^{3+} ; к–м — седьмые сутки эксперимента, 100 мкг/л Fe^{3+}

Fig. 4. Cells of *P. foraminosum* exposed to Fe^{3+} : а, г, ж, к — light microscopy; б, д, з, л — chloroplast fluorescence; в, е, и, м — green fluorescence; а–в — 3rd day of exposition to 50 mg/L Fe^{3+} ; г–е — 3rd day of exposition to 100 mg/L Fe^{3+} ; ж–и — 7th day of exposition to 50 mg/L Fe^{3+} ; к–м — 7th day of exposition to 100 mg/L Fe^{3+}

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарят ресурсный центр «Морской биобанк» Национального научного центра им. А.В. Жирмунского за предоставление культуры *Prorocentrum foraminosum* MBRU_PrUS_16.

The authors are grateful to the Marine Biobank Resource Center of the A.V. Zhirmunsky National Scientific Center for providing a culture of *Prorocentrum foraminosum* MBRU_PrRUS_16.

Финансирование работы (FUNDING)

Результаты настоящего исследования были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России «Динамика морских экосистем, адаптации морских организмов и сообществ к изменениям среды обитания», номер гос. регистрации ЕГИСУ 121082600038-3.

The results of this study were obtained within a framework of the state task from the Ministry of Education and Science of Russia «Dynamics of marine ecosystems, adaptation of marine organisms and communities to changes in the habitat», state registration number EGISU 121082600038-3.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с животными в качестве объектов.

The article does not concern to animal studies.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Ж.В. Маркина — разработка концепции исследования, постановка и проведение экспериментов, получение фотографического материала, написание текста статьи, работа с текстом статьи после рецензирования.

А.В. Огнистая — постановка и проведение экспериментов, подсчет численности клеток микроводорослей, статистическая обработка данных, работа с иллюстративным материалом, работа с текстом статьи после рецензирования.

Zh.V. Markina — the research concept, experiments, photography, writing and editing the text.

A.V. Ognistaya — experiments, counting the cells of microalgae, statistical data processing, illustrations, the text editing after reviews.

Список литературы

Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2019 / под ред. А.Н. Коршенко. — М. : Наука, 2020. — 230 с.

Селина М.С. Морфология и сезонная динамика потенциально токсичной микроводоросли *Prorocentrum foraminosum* Faust 1993 (Dinophyta) в заливе Петра Великого Японского моря // Биол. моря. — 2017. — Т. 43, № 3. — С. 169–174.

Ясакова О.Н. Сезонная динамика потенциально токсичных и вредоносных видов планктонных водорослей в Новороссийской бухте (Черное море) // Биол. моря. — 2013. — Т. 39, № 2. — С. 98–105.

Báscik-Remisiewicz A., Tomaszewska E., Labuda K., Tukaj Z. The effect of Zn and Mn on the toxicity of Cd to the green microalga *Desmodesmus armatus* cultured at ambient and elevated (2 %) CO₂ concentrations // Pol. J. Environ. Stud. — 2009. — Vol. 18, № 5. — P. 775–780.

Carfagna S., Lanza N., Salbitani G. et al. Physiological and morphological responses of Lead or Cadmium exposed *Chlorella sorokiniana* 211-8K (Chlorophyceae) // SpringerPlus. — 2013. — Vol. 2, № 147. — P. 1–7. DOI: 10.1186/2193-1801-2-147.

Cheng J., Qiu H., Chang Z. et al. The effect of cadmium on the growth and antioxidant response for freshwater algae *Chlorella vulgaris* // SpringerPlus. — 2016. — Vol. 5. — P. 1290–1297. DOI: 10.1186/s40064-016-2963-1.

Faust M.A. Three new benthic species of *Prorocentrum* (Dinophyceae) from Twin Cays, Belize: *P. maculosum* sp. nov., *P. foraminosum* sp. nov. and *P. formosum* sp. nov. // Phycologia. — 1993. — Vol. 32, Iss. 6. — P. 410–418. DOI: 10.2216/i0031-8884-32-6-410.1.

Guillard R.R.L., Ryther J.H. Studies of marine planktonic diatoms. 1. *Cyclotella nana* Hustedt, and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. // *Can. J. Microbiol.* — 1962. — Vol. 8, № 2. — P. 229–239. DOI: 10.1139/m62-029.

Kameneva P.A., Efimova K.V., Rybin V.G., Orlova T.Y. Detection of dinophysistoxin-1 in clonal culture of marine dinoflagellate *Prorocentrum foraminosum* (Faust MA, 1993) from the Sea of Japan // *Toxins.* — 2015. — Vol. 7, № 10. — P. 3947–3959. DOI: 10.3390/toxins7103947.

Li M., Zhang F., Glibert P.M. Seasonal life strategy of *Prorocentrum minimum* in Chesapeake Bay, USA: Validation of the role of physical transport using a coupled physical–biogeochemical–harmful algal bloom model // *Limnol. Oceanogr.* — 2021. — Vol. 66, Iss. 11. — P. 3873–3886. DOI: 10.1002/lno.11925.

Masmoudi S., Nguyen-Deroche N., Caruso A. Cadmium, copper, sodium and zinc effects on diatoms: from heaven to hell — a review // *Cryptogamie, Algologie.* — 2013. — Vol. 34, № 2. — P. 185–225. DOI: 10.7872/crya.v34.iss2.2013.185.

Panneerselvam K., Marigoudar S.R., Dhandapani M. Toxicity of nickel on the selected species of marine diatoms and copepods // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* — 2018. — Vol. 100. — P. 331–337. DOI: 10.1007/s00128-018-2279-7.

Rajabi Islami H., Assareh R. Effect of different iron concentrations on growth, lipid accumulation, and fatty acid profile for biodiesel production from *Tetrademus obliquus* // *J. Appl. Phycol.* — 2019. — Vol. 31, № 6. — P. 3421–3432. DOI: 10.1007/s10811-019-01843-4.

Rana M.S., Prajapati S.K. Resolving the dilemma of iron bioavailability to microalgae for commercial sustenance // *Algal Research.* — 2021. — Vol. 59. 102458. DOI: 10.1016/j.algal.2021.102458.

Tang Y.Z. and Dobbs F.C. Green autofluorescence in dinoflagellates, diatoms, and other microalgae and its implications for vital staining and morphological studies // *Appl. Environ. Microbiol.* — 2007. — Vol. 73, № 7. — P. 2306–2313. DOI: 10.1128/AEM.01741-06.

Tang Y.Z., Shang L., Dobbs F.C. Measuring viability of dinoflagellate cysts and diatoms with stains to test the efficiency of facsimile treatments possibly applicable to ships' ballast water and sediment // *Harmful Algae.* — 2022. — Vol. 114. 102220. DOI: 10.1016/j.hal.2022.102220.

Taş S., Okuş E. A review on the bloom dynamics of a harmful dinoflagellate *Prorocentrum minimum* in the Golden Horn Estuary // *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.* — 2011. — Vol. 11, № 4. — P. 673–681. DOI: 10.4194/1303-2712-v11_4_03.

Tato T. and Beiras R. The use of the marine microalga *Tisochrysis lutea* (*T-iso*) in standard toxicity tests; comparative sensitivity with other test species // *Front. Mar. Sci.* — 2019. — Vol. 6. — Article 488. DOI: 10.3389/fmars.2019.00488.

References

Kachestvo morskikh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam. Ezhegodnik 2016 (Marine Water Quality Based on Hydrochemical Parameters. Yearbook 2019), Korshenko, A.N., ed., Moscow: Nauka, 2020.

Selina, M.S., The morphology and seasonal dynamics of the potentially toxic microalga *Prorocentrum foraminosum* Faust 1993 (Dinophyta) in Peter the Great Bay, the Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2017, vol. 43, no. 3, pp. 196–201. doi 10.1134/S1063074017030099

Yasakova, O.N., The seasonal dynamics of potentially toxic and harmful phytoplankton species in Novorossiysk Bay (Black Sea), *Russ. J. Mar. Biol.*, 2013, vol. 39, no. 2, pp. 107–115. doi 10.1134/S1063074013020090

Báscik-Remisiewicz, A., Tomaszewska, E., Labuda, K., and Tukaj, Z., The effect of Zn and Mn on the toxicity of Cd to the green microalga *Desmodesmus armatus* cultured at ambient and elevated (2 %) CO₂ concentrations, *Pol. J. Environ. Stud.*, 2009, vol. 18, no. 5, pp. 775–780.

Carfagna, S., Lanza, N., Salbitani, G., Basile, A., Sorbo, S., and Vona, V., Physiological and morphological responses of Lead or Cadmium exposed *Chlorella sorokiniana* 211-8K (Chlorophyceae), *SpringerPlus*, 2013, vol. 2, no. 147, pp. 1–7. doi 10.1186/2193-1801-2-147

Cheng, J., Qiu, H., Chang, Z., Jiang, Z., and Yin, W., The effect of cadmium on the growth and antioxidant response for freshwater algae *Chlorella vulgaris*, *SpringerPlus*, 2016, vol. 5, pp. 1290–1297. doi 10.1186/s40064-016-2963-1

Faust, M.A., Three new benthic species of *Prorocentrum* (Dinophyceae) from Twin Cays, Belize: *P. maculosum* sp. nov., *P. foraminosum* sp. nov. and *P. formosum* sp. nov., *Phycologia*, 1993, vol. 32, no. 6, pp. 410–418. doi 10.2216/i0031-8884-32-6-410.1

Guillard, R.R.L. and Ryther, J.H., Studies of marine planktonic diatoms. 1. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran., *Can. J. Microbiol.*, 1962, vol. 8, no. 2, pp. 229–239. doi 10.1139/m62-029

Kameneva, P.A., Efimova, K.V., Rybin, V.G., and Orlova, T.Y., Detection of dinophysistoxin-1 in clonal culture of marine dinoflagellate *Prorocentrum foraminosum* (Faust MA, 1993) from the Sea of Japan, *Toxins*, 2015, vol. 7, no. 10, pp. 3947–3959. doi 10.3390/toxins7103947

Li, M., Zhang, F., and Glibert, P.M., Seasonal life strategy of *Prorocentrum minimum* in Chesapeake Bay, USA: Validation of the role of physical transport using a coupled physical–bio-geochemical–harmful algal bloom model, *Limnol. Oceanogr.*, 2021, vol. 66, no. 11, pp. 3873–3886. doi 10.1002/lno.11925

Masmoudi, S., Nguyen-Deroche, N., and Caruso, A., Cadmium, copper, sodium and zinc effects on diatoms: from heaven to hell — a review, *Cryptogamie, Algologie*, 2013, vol. 34, no. 2, pp. 185–225. doi 10.7872/crya.v34.iss2.2013.185

Pannecerselvam, K., Marigoudar, S.R., and Dhandapani M., Toxicity of nickel on the selected species of marine diatoms and copepods, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 2018, vol. 100, pp. 331–337. doi 10.1007/s00128-018-2279-7

Rajabi Islami, H. and Assareh, R., Effect of different iron concentrations on growth, lipid accumulation, and fatty acid profile for biodiesel production from *Tetrademus obliquus*, *J. Appl. Phycol.*, 2019, vol. 31, no. 6, pp. 3421–3432. doi 10.1007/s10811-019-01843-4

Rana, M.S. and Prajapati, S.K., Resolving the dilemma of iron bioavailability to microalgae for commercial sustenance, *Algal Research*, 2021, vol. 59, no. 102458. doi 10.1016/j.algal.2021.102458

Tang, Y.Z. and Dobbs, F.C., Green autofluorescence in dinoflagellates, diatoms, and other microalgae and its implications for vital staining and morphological studies, *Appl. Environ. Microbiol.*, 2007, vol. 73, no. 7, pp. 2306–2313. doi 10.1128/AEM.01741-06

Tang, Y.Z., Shang L., and Dobbs, F.C., Measuring viability of dinoflagellate cysts and diatoms with stains to test the efficiency of facsimile treatments possibly applicable to ships' ballast water and sediment, *Harmful Algae*, 2022, vol. 114, art. ID 102220. doi 10.1016/j.hal.2022.102220

Taş, S. and Okuş, E., A review on the bloom dynamics of a harmful dinoflagellate *Prorocentrum minimum* in the Golden Horn Estuary, *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2011, vol. 11, no. 4, pp. 673–681. doi 10.4194/1303-2712-v11_4_03

Tato, T. and Beiras, R., The use of the marine microalga *Tisochrysis lutea* (T-iso) in standard toxicity tests; comparative sensitivity with other test species, *Front. Mar. Sci.*, 2019, vol. 6, art. ID 488. doi 10.3389/fmars.2019.00488

Поступила в редакцию 22.11.22 г.

После доработки 20.01.2023 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

The article was submitted 22.11.2022; approved after reviewing 20.01.2023;
accepted for publication 3.03.2023

**ПРОМРЫБОЛОВСТВО
INDUSTRIAL FISHERY**

Научная статья

УДК 639.2.081.117.212**DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-223-233****EDN: OTRBKE****МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРА
ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАНАТНО-СЕТНОЙ ОБОЛОЧКИ
РАЗНОГЛУБИННОГО ТРАЛА ПО ЕГО ДЛИНЕ****Л.М. Симкин***

Рыболовная компания,

26119, Израиль, Хайфа, Рыбный порт «Шавит», ул. Рыбаков, 65

Аннотация. Описана методика, позволяющая на основе построенных диаграмм изменения параметров трала по его длине проводить анализ, оптимизацию и расчеты канатно-сетной оболочки разноглубинного трала (на примере трала Sirius Shelf проекта AS 11.012.000 ЗАО «Аквасервис»). Предлагаемая методика определения характера изменения параметров канатно-сетной оболочки трала дает возможность разработать широкий диапазон критериев для проектирования, сравнения и анализа разноглубинных тралов.

Ключевые слова: разноглубинные тралы, сетная пластина, канатная пластина, параметр канатно-сетной оболочки трала

Для цитирования: Симкин Л.М. Методика определения характера изменения параметров канатно-сетной оболочки разноглубинного трала по его длине // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 223–233. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-223-233. EDN: OTRBKE.

Original article

**A method to determine patterns for changing parameters
of the rope-net shell of midwater trawl along its length****Leonid M. Simkin**

Fishing company, 65, Fishermen's Street, Shavit Fishing Port, 26119, Haifa, Israel

Director, simkinleonid@mail.ru

Abstract. A technique for designing the rope-net shell of midwater trawl is described on example of the trawl Sirius Shelf project AS 11.012.000 designed by Aquaservice Ltd. Diagrams of the rope-net shell parameters distribution along trawl are used. The technique allows to analyze variations of these parameters for their optimization. A wide range of the trawl designing criteria can be taken into account using the diagram approach.

Keywords: midwater trawl, net plate, rope plate, design characteristics

For citation: Simkin L.M. A method to determine patterns for changing parameters of the rope-net shell of midwater trawl along its length, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 223–233. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-223-233. EDN: OTRBKE.

* Симкин Леонид Михайлович, директор, simkinleonid@mail.ru.

Введение

С начала применения разноглубинных тралов их конструкции прошли огромный путь развития — от тралов, у которых крыльевая и сетная части изготавливались из дели, до тралов, имеющих канатную крыльевую и переднюю части, которые за одно траление могут поднять на борт более 100 т рыбы. Каждая конструкция современного разноглубинного трала отличается индивидуальным дизайном и изготавливается из материалов с большим диапазоном параметров, затрудняющих сравнение существующих тралов. Отсутствие возможности проанализировать и сравнить изменение параметров канатно-сетных оболочек тралов ограничивает разработчика в выборе трала-прототипа и в проведении корректировки разрабатываемой модели трала, проверки и улучшения экономических показателей до начала морских испытаний. Большинство методик проектирования разноглубинных тралов основывается на конструкции трала-прототипа [Фридман, 1981; Коротков, 1998; Габрюк, Кулагин, 2000; Розенштейн, 2009; Недоступ, 2011]. Как правило, трал-прототип выбирается из множества разнообразных конструкций тралов, которые эксплуатируются на промысле. Базовыми критериями оценки прототипа служат уловистость, селективность, гидродинамическое сопротивление и другие требования, указанные в техническом задании. Подчас складывается ситуация, когда базовым критериям соответствуют несколько тралов, и встает вопрос о проведении дополнительного анализа параметров конструкций тралов.

С начала 1990-х гг. в российском рыболовстве увеличился ассортимент сетематериалов, применяемых в рыболовстве, и, как следствие, возросло количество параметров, которые желательно учитывать при конструировании разноглубинного трала.

Любая конструкция трала имеет индивидуальные параметры, которые влияют на поведение рыбы, прочность и долговечность трала [Коротков, 1998].

Параметры можно разделить на две группы:

- влияющие на прочность конструкции;
- влияющие на реакцию рыбы (косяков рыбы) на трал.

Каждый параметр имеет числовое значение, которое может иметь размерность, а может не иметь. Например, сплошность имеет числовое значение, но не имеет размерности.

Все параметры, которыми можно характеризовать канатно-сетную оболочку разноглубинного трала, обозначим Z_i .

Параметры канатно-сетной оболочки трала Z_i включают в себя:

а) простые — параметры, которые можно снять с чертежа трала, такие как шаг ячеи a_j , диаметр нитки d_j , диаметр канатов d_k , количество ячеек и канатов по верхней и нижней кромке, по высоте n_j , цикл кройки;

б) производные — параметры, которые можно рассчитать на основе простых, полученных с чертежа величин, такие как сплошность $K_i = \frac{a_i}{d_i}$, высота H_i или длина верхней L_i и нижней l_i кромки пластины, конусность однородной пластины;

в) комбинированные — физико-механические параметры, которые можно рассчитать с помощью простых величин и справочных данных для материала, из которого изготовлена пластина, такие как разрывная прочность жгута однородной пластины P_p , сопротивление однородной пластины R_p , коэффициент Пуассона однородной пластины μ_p ;

г) измеренные — параметры, которые замеряются в процессе натурных или модельных экспериментов, такие как угол раскрытия ячеи пластины α_j ;

д) влияющие на поведение объекта лова — параметры, которые определены экспериментальным путем, а именно: оптическое поле n_c , гидродинамическое поле h , степень затенения ячеи гидроследом n_s , акустическое поле ω_n , поле смещения частиц воды u_c [Коротков, 1998].

Комбинация всех перечисленных параметров всегда индивидуальна. Влияние параметров отдельных элементов трала на его характеристики зависит от их положения в конструкции канатно-сетной оболочки разноглубинного трала.

Цель предлагаемой методики — расширение возможности проведения анализа разноглубинных тралов, проектирования тралов с учетом новых параметров сетематериалов, улучшения селективности и рентабельности проектируемых тралов.

Материалы и методы

В качестве примера использования предлагаемой методики взяты рабочие чертежи канатного разноглубинного трала Sirius Shelf проекта AS 11.012.000 ЗАО «Аквасервис», применяемого на промысле рыбы.

Для объяснения предлагаемой методики используются данные, получаемые с чертежей, приложенных к инструкции по эксплуатации модели данного трала. Инструкция по эксплуатации трала Sirius Shelf была любезно предоставлена руководством предприятия ЗАО «Аквасервис».

Чертежи канатно-сетной оболочки конструкции трала были изучены, по их параметрам проведены расчеты и составлены таблицы для расчетов данных. Для наглядности предлагаемой методики по этим расчетам для каждого участка трала построена диаграмма, на которую нанесены данные из таблицы, полученные после расчета параметров с чертежа трала. На основе построенных линий трендов рассматриваемых параметров подбираем функциональную зависимость для каждого из них.

Для лучшего понимания предлагаемой методики определяем участки, характерные для всех разноглубинных тралов (рис. 1) [Симкин, 2020]:

- мелкая ячейная оболочка разноглубинного трала — участок трала от места соединения канатно-сетной оболочки трала с мешком трала (1–2) и до конца оболочки (3–4), завершающийся в верхней кромке сетных пластин с шагом ячей, равным 200 мм;
- крупная ячейная оболочка разноглубинного трала — участок трала от места окончания мелкая ячейной оболочки трала (3–4) до конца верхних кромок сетных пластин оболочки (5–6) с шагом ячей, равным 1200 мм;
- особо крупная ячейная оболочка разноглубинного трала — участок трала от места окончания крупная ячейной оболочки трала (5–6) до конца последнего ряда канатных пластин (7–8), у которых все канатные элементы собраны в виде равностороннего или неравностороннего ромба.

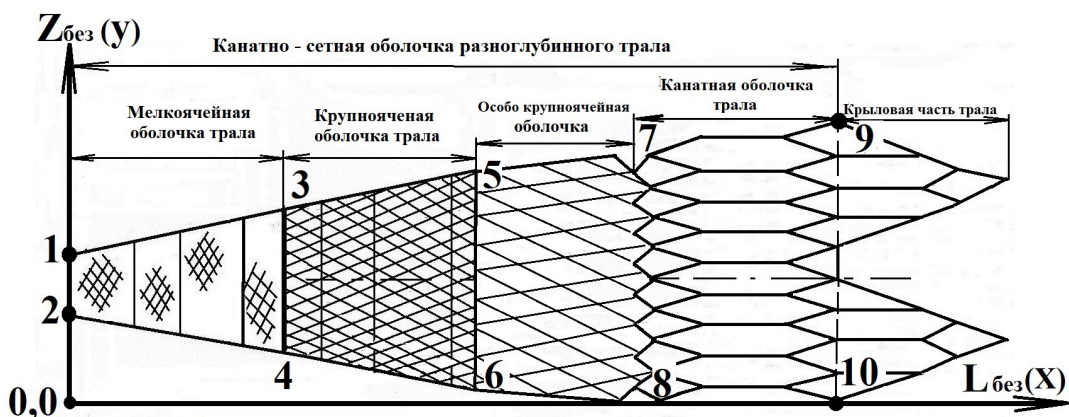


Рис. 1. Основные участки канатно-сетной оболочки разноглубинного трала

Fig. 1. The main sections of the rope-net shell of midwater trawl

Основным элементом при рассмотрении предлагаемой методики является сетная или канатная однородная пластина.

Современные разноглубинные тралы с любым тяговым усилием имеют канатно-сетную оболочку, которая собирается из канатных или сетных однородных пластин, расположенных конструктором в определенном порядке, поэтому основным конструктивным элементом в канатно-сетной оболочке разноглубинного трала является пластина (рис. 2).

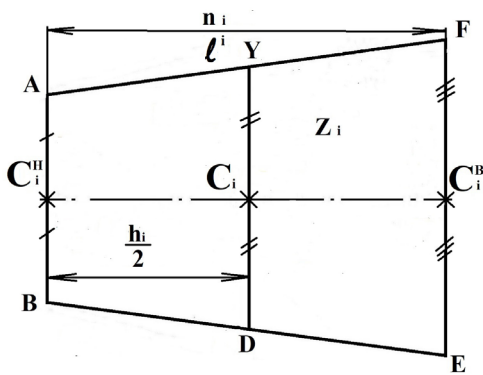


Рис. 2. Конструкция однородных пластин, из которых собирается канатно-сетная оболочка разноглубинного трала, и места расположения расчетных точек C_i^H ; C_i ; C_i^B

Fig. 2. Configuration of plates forming the rope-net shell of midwater trawl and location of the calculation points (C_i^H ; C_i ; C_i^B)

На рис. 2 C_i^H — точка приложения величины параметра Z_i i -той пластины по нижней кромке AB; C_i — то же по средней линии, которая находится на середине линии YD; C_i^B — точка приложения по верхней кромке FE.

Для простоты объяснения предлагаемой методики принимаем такое расположение схемы рассматриваемых тралов, чтобы нижняя кромка (по линии 1–2, см. рис. 1) любой сетной оболочки находилась слева, а верхняя кромка (по линии 9–10, рис. 1) — справа. Принимаем такое расположение канатно-сетной оболочки трала и всех остальных участков (мелко-, крупноячейного и особо крупноячейного) для того, чтобы все рассчитанные и внесенные в таблицу данные расчетов были на осях диаграммы с положительными величинами, а также все построенные диаграммы и результаты, полученные с них, были просты для сравнения, анализа и расчетов.

Результаты и их обсуждение

Составление таблиц для получения данных

Для облегчения расчетов и уменьшения возможных ошибок при расчетах будем использовать табличный метод. Порядок заполнения таблиц для построения диаграмм идентичен для всех участков канатно-сетной оболочки.

Для объяснения предлагаемого метода используем данные, полученные с чертежа крупноячейной оболочки трала Sirius Shelf (рис. 3).

5,5 яч 13,2 м	24яч - 72 м ◇ 1200 - Ø5,8 плас.-С 23яч - 55,2 м	21яч - 50,4 м "нейлон" P=894 20яч - 48 м	l _C
6,5 яч 10,4 м	28яч - ◇ 800 - Ø 4,4 плас.-В 25яч -	44,8м "нейлон" P=504 40,0м	l _B
21,5 яч 17,2 м	46яч - ◇ 400 - Ø 4,1 плас.- А 37яч -	36,8м "нейлон" P=443 29,6м	l _A

Рис. 3. Чертеж крупноячейной части оболочки трала Sirius Shelf
Fig. 3. Drawing of the large-mesh part of the Sirius Shelf trawl

Порядок параметров для всех таблиц одинаков и имеет следующие значения и последовательность (см. таблицу) [Симкин, 2020].

Расчет и оптимизация параметров трала для построения диаграмм
Calculation and optimization of the trawl parameters to draw diagrams

Параметр	Обозначение	Однородная пластина, однородный конус (см. рис. 3)		
		А	В	С
1	a^i	400	800	1200
1.1	a_{diml}^i	0,333	0,670	0,670
2	d^i	4,0	4,4	5,8
3	K^i	0,0100	0,0055	0,0048
3.1	K_{diml}^i	1,0	0,55	0,48
4	n^i	21,5 + 0,5	6,5 + 0,5	5,5 + 0,5
5	l^i	17,6	11,2	14,4
6	L_{max}	17,6	28,8	43,2
7	L_H^i	0	17,6	28,8
7.1	L_{diml}^{i-H}	0	0,41	0,67
8	L_B^i	17,6	28,8	43,2*
8.1	L_{diml}^{i-B}	0,41	0,67	1,0
9	l_C^i	8,8	5,5	7,4
9.1	L_C^i	8,8	23,1	36,2
9.2	L_{diml}^{i-C}	0,20	0,53	0,84
10	P^i	0,443	0,504	0,894
11	n_{bot}^i	37,0	25,0	21,5
11.1	P_{bot}^i	16,391	12,600	19,221
11.2	P_{diml}^{bot-i}	0,81	0,63	0,96
12	n_{top}^i	46,0	28,0	22,5
12.1	P_{top}^i	20,378	14,112	20,115
12.2	P_{diml}^{top-i}	1,01	0,70	1,0

* Величина, необходимая для определения безразмерной величины расстояния (параметры 7.1; 8.1; 9.2) от места соединения сетной части с траловым мешком или предыдущим участком трала, который на диаграмме находится в точке 0,00.

Параметр 1. a^i — шаг ячеей однородной i -той пластины трала, мм.

Параметр 1.1. a_{diml}^i — безразмерная величина шага ячеей однородной i -той пластины трала:

$$a_{diml}^i = a^i / a_{max}, \quad (1)$$

где a_{max} — максимальный шаг ячеей однородной пластины на данном участке канатно-сетной части трала, мм.

Параметр 2. d^i — диаметр нитки или каната однородной i -той пластины трала, мм.

Параметр 3. K^i — величина сплошности однородной i -той пластины трала:

$$K^i = \frac{d^i}{a^i}. \quad (2)$$

Параметр 3.1. K_{diml}^i — безразмерная величина сплошности однородной i -той пластины:

$$K_{diml}^i = \frac{K^i}{K_{max}}, \quad (3)$$

где K_{diml}^i — максимальная величина сплошности однородной пластины на данном участке канатно-сетной части трала.

Параметр 4. Количество ячеей n^i по высоте однородной i -той пластины.

Параметр 5. l^i — длина однородной i -той пластины (см. рис. 2), включая величину смячейки, м:

$$l^i = (n^i \cdot 2a^i) + 0,5a^i. \quad (4)$$

Параметр 6. Максимальная длина L_{max} однородных пластин рассматриваемого участка, м:

$$L_{max} = \sum_{i=1}^H l^i. \quad (5)$$

Параметр 7. Расстояние от начала рассматриваемого участка до нижней кромки L_H^i однородной пластины, м:

$$L_H^i = l^A + l^B + \dots + l^i, \quad (6)$$

где $l^A + l^B + \dots + l^{i-1} + l^i$ — длина i -той однородной пластины (рис. 2).

Параметр 7.1. Безразмерная величина расстояния до нижних кромок однородных пластин:

$$L_{diml}^{i-H} = \frac{L_H^i}{L_{max}}. \quad (7)$$

Параметр 8. Расстояние до верхней точки однородной пластины на рассматриваемом участке, м:

$$L_B^i = l^A + l^B + \dots + l^{i-1} + l^i. \quad (8)$$

Параметр 8.1. Безразмерная величина расстояния до верхних кромок однородных пластин на рассматриваемом участке траля:

$$L_{diml}^{i-B} = \frac{L_B^i}{L_{max}}. \quad (9)$$

Параметр 9. Расстояние от начала (рис. 2, АВ) однородной i -той пластины до ее средней линии (рис. 2, YD), м:

$$l_C^i = 0,5l^i = 0,5[(n^i \cdot 2a^i) + 0,5a^i]. \quad (10)$$

Параметр 9.1. Расстояние от начала рассматриваемого участка до середины средней линии (рис. 2) однородной i -той пластины, м:

$$L_C^i = l^A + l^B + \dots + l^{i-1} + 0,5l^i. \quad (11)$$

Параметр 9.2. Безразмерная величина расстояния от начала рассматриваемого участка до средней линии (рис. 2, C_i) однородной i -той пластины:

$$L_{diml}^{i-C} = \frac{L_C^i}{L_{max}}. \quad (12)$$

Параметр 10. Максимальная разрывная прочность ячеей P^i i -той пластины берется из каталога данных сетевязальной фабрики, т.

Параметр 11. Количество ячеей n_{bot}^i (включая ячеей, забранные в топенант) по нижней кромке (рис. 2, линия АВ) i -той пластины.

Параметр 11.1. Суммарная разрывная прочность P_{bot}^i по нижней кромке пластин, т:

$$P_{bot}^i = P^i \cdot n_{bot}^i. \quad (13)$$

Параметр 11.2. P_{diml}^{bot-i} — безразмерная величина разрывной прочности по нижним кромкам пластин:

$$P_{diml}^{bot-i} = \frac{P_{bot}^i}{P_{max}}. \quad (14)$$

Параметр 12. n_{top}^i — количество ячеей (включая ячеей, забранные в топенант) по верхней кромке (рис. 2, линия FE) i -той пластины.

Параметр 12.1. P_{top}^i — суммарная разрывная прочность по верхней кромке i -той пластины, т:

$$P_{top}^i = P^i \cdot n_{top}^i. \quad (15)$$

Параметр 12.2. P_{diml}^{top-i} — безразмерная величина разрывной прочности по верхним кромкам пластин:

$$P_{diml}^{top-i} = \frac{P_{top}^i}{P_{max}}. \quad (16)$$

При расчете безразмерных значений прочности за максимальную разрывную прочность $P_{max} = P_{top}^{i-c} = 20,115$ т данного участка принимаем разрывную прочность верхней кромки крайней правой однородной пластины на этом участке сетной оболочки. Для нашего участка это пластина с шагом ячеи 1200 мм, где среднее количество ячеей по верхней кромке будет $n_{top}^i = 22,5$.

Поскольку на чертеже траля только однородные пластины, из которых состоит канатно-сетная оболочка разноглубинного траля (см. рис. 1), они являются основой для сборки плах (от линии 1–2 до линии 3–4) канатно-сетевого конуса траля. Учитывая, что канатно-сетный конус может собираться из 4÷12 плах и более, мы рассматриваем только однородные пластины одной плахи, а при расчете данных для составления таблицы учитываем фактическое количество плах.

В случае если количество n^i ячеей или канатов по верхним n_{top}^i и нижним n_{bot}^i кромкам разное, рассчитываем среднеарифметическое количество ячеей (канатов) для внесения в таблицу (строки 11, 12).

Построение диаграмм

Для примера построения диаграммы используем данные таблицы, которые получены с чертежа траля Sirius Shelf. Возьмем следующие безразмерные величины параметров однородных пластин:

- 1) a_{diml}^i — шага ячеей;
- 2) K_{diml}^i — сплошности;
- 3) P_{diml}^{bot-i} — максимальной разрывной прочности жгутов по длине нижних кромок АВ;
- 4) P_{diml}^{top-i} — максимальной разрывной прочности жгута по верхним кромкам FE.

Наносим их безразмерные величины на диаграмму в соответствии с их местоположением на рассматриваемом участке оболочки траля.

По данным таблицы построим диаграмму. На оси абсцисс откладываем безразмерные величины $L_{без}$ в месте приложения рассматриваемого параметра — в точках C_{11}^H ; C_i ; C_{12}^B однородной пластины соответствующего участка траля (см. рис. 2).

По оси ординат для построения линии тренда 1 откладываем безразмерные величины a_{diml}^i ; для построения линии тренда 2 — безразмерные K_{diml}^i ; для построения линии тренда 3 — P_{diml}^{bot-i} ; для построения линии тренда 4 — P_{diml}^{top-i} .

На основании данных, полученных с **крупноячейной части траля** (см. рис. 3), строим диаграмму (рис. 4).

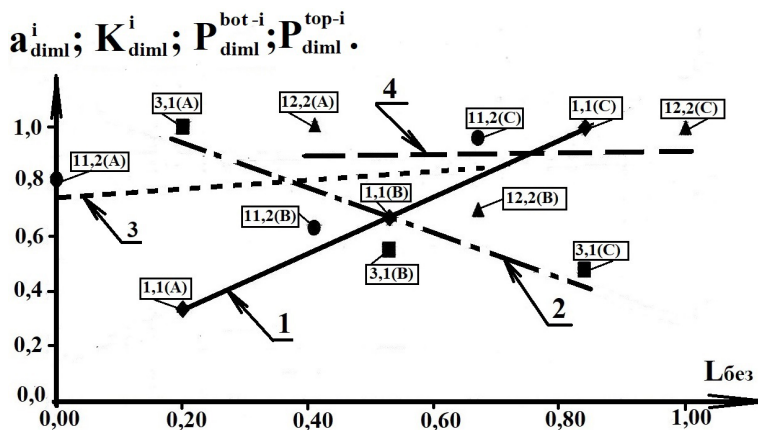


Рис. 4. Линии трендов зависимости изменения конструктивных величин крупноячейной части разноглубинного траля Sirius Shelf

Fig. 4. Trend lines for design parameters of the large-mesh part of the Sirius Shelf midwater trawl

Определение функциональной зависимости полученных линий трендов изменения рассматриваемых параметров от их места положения (рис. 4):

$$1 - a_{diml}^i = 0,0677 \cdot L_{diml}^2 + 0,9718 \cdot L_{diml} + 0,1359;$$

$$2 - K_{diml}^i = 0,8184 \cdot L_{diml} + 1,105;$$

$$3 - P_{diml}^{bot-i} = 0,1643 \cdot L_{diml} + 0,7408;$$

$$4 - P_{diml}^{top-i} = 0,0238 \cdot L_{diml} + 0,8868.$$

На основании данных, полученных с мелкоячейной части трала (рис. 5), строим диаграмму (рис. 6).

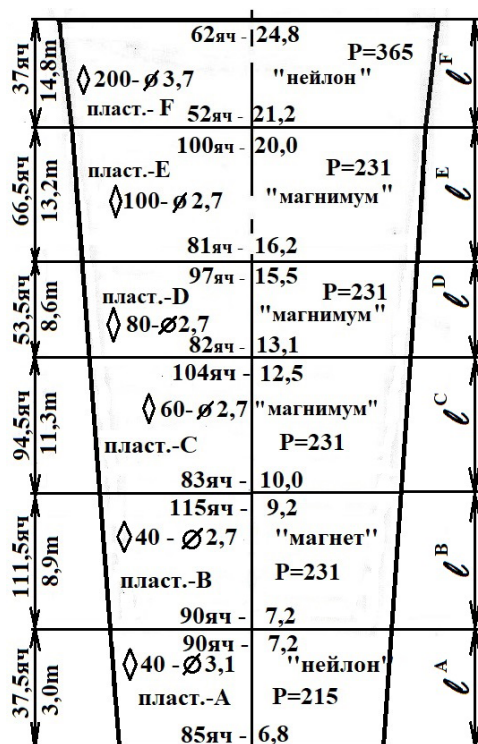


Рис. 5. Чертеж мелкоячейной части оболочки трала Sirius Shelf
Fig. 5. Drawing of the small-mesh part of the Sirius Shelf trawl

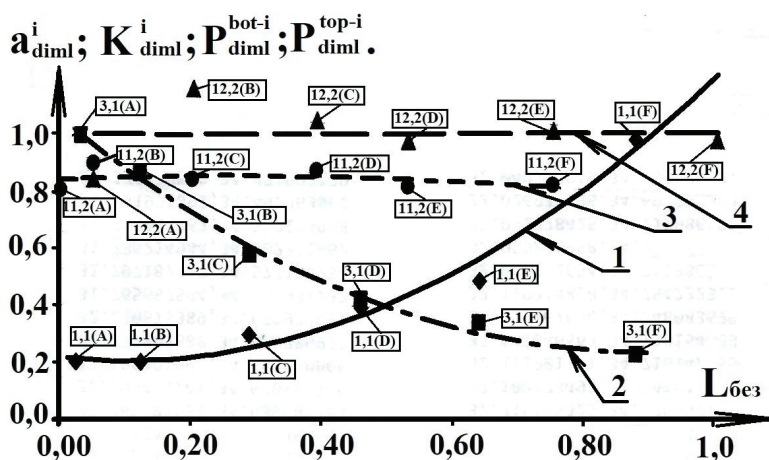


Рис. 6. Линии трендов зависимости параметров мелкоячейной оболочки разноглубинного трала Sirius Shelf
Fig. 6. Trend lines for design parameters of the small-mesh part of the Sirius Shelf midwater trawl

Определение функциональной зависимости полученных линий трендов изменения рассматриваемых параметров от их местоположения (рис. 6):

$$1 - a_{diml}^i = 1,2621 \cdot L_{diml}^2 - 0,2492 \cdot L_{diml} + 0,2205;$$

$$2 - K_{diml}^i = 0,0256 \cdot L_{diml}^2 - 0,8114 \cdot L_{diml} + 1,0534;$$

$$3 - P_{diml}^{bot-i} = -0,1628 \cdot L_{diml}^2 + 0,1009 \cdot L_{diml} + 0,8476;$$

$$4 - P_{diml}^{top-i} = 0,0299 \cdot L_{diml} + 1,0021.$$

На основании данных, полученных с **особо крупноячейной части** трала (рис. 7), строим диаграмму (рис. 8).

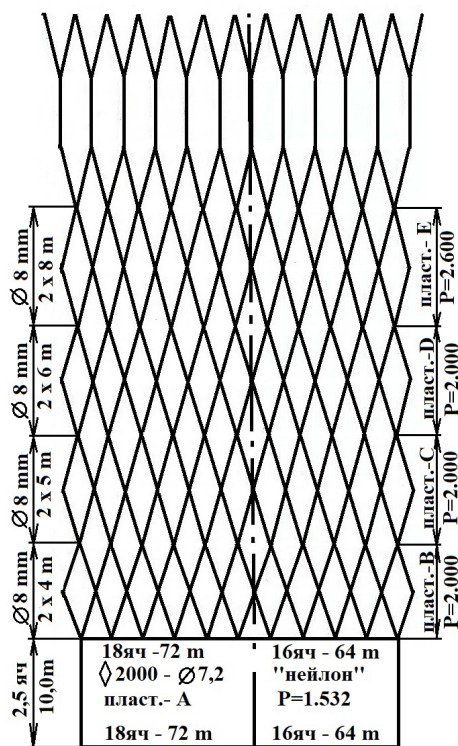


Рис. 7. Чертеж особо крупноячейной оболочки трала Sirius Shelf
Fig. 7. Drawing of the extra-large-mesh part of the Sirius Shelf trawl

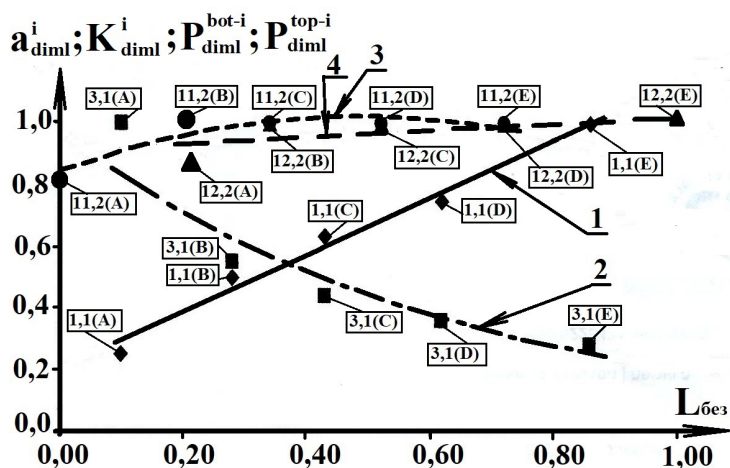


Рис. 8. Линии трендов зависимости изменения параметров особо крупноячейной оболочки трала Sirius Shelf
Fig. 8. Trend lines for design parameters of the extra-large-mesh part of the Sirius Shelf midwater trawl

Определение функциональной зависимости полученных линий трендов изменения рассматриваемых параметров от их места положения (рис. 8):

$$1 — a_{diml}^i = 0,9391 \cdot L_{diml} + 0,1969;$$

$$2 — K_{diml}^i = 0,9776 \ell^{-1,5721 L_{diml}};$$

$$3 — P_{diml}^{bot-i} = -0,7483 \cdot L_{diml}^2 + 0,7398 \cdot L_{diml} + 0,8431;$$

$$4 — P_{diml}^{top-i} = 0,9149 \ell^{0,1136 L_{diml}}.$$

После проведенных расчетов и построений для каждого участка оболочки разноглубинного трала Sirius Shelf имеем диаграммы с построенными на них трендами изменения исследуемых безразмерных величин параметров и их функциональные зависимости. На основании полученных функциональных зависимостей можно провести анализ и корректировку любой из конструктивных величин для любого участка оболочки разноглубинного трала.

Рассмотрим это на примере диаграммы (см. рис. 6) мелкоячейной сетной части трала.

Параметры пластины с шагом ячеи 40 мм, диаметром нитки 3,1 мм, изготовленной из нейлона (пластина А, см. рис. 5), находятся недопустимо ниже линии тренда и требуют обоснования и корректировки; с шагом ячеи 40 мм, диаметром нитки 2,7 мм, изготовленной из магнета (пластина В, рис. 5), имеют избыточный запас прочности.

На основе предлагаемой методики можно провести анализ и исследовать любой участок канатно-сетной оболочки разноглубинного трала. Рассмотрим расчет желательных параметров в случае необходимости корректировки на примере мелкоячейного участка трала (см. рис. 6) в точке 12,2(В), где разрывная нагрузка верхней кромки пластины В (шаг ячеи 40 мм, нитка 2,7 мм, магнет) выше допустимой. Определим величину разрывной нагрузки согласно полученной зависимости:

$$P_{diml}^{top-A} = 0,0299 \cdot L_{diml} + 1,0021.$$

Верхняя кромка находится на безразмерном расстоянии $L_{\text{бес}} = 0,2$.

$$P_{diml}^{bot-A} = 0,0299 \cdot 0,006 + 1,0021 = 1,0081.$$

Тогда величина разрывного усилия для данной кромки сетной однородной пластины с шагом ячеи 40 мм, диаметром нитки 2,7 мм, изготовленной из нитки магнет, будет:

$$P_{max}^{top-A} = P_{diml}^{top-A} \cdot P_{max} = 1,0081 \cdot 22,024 = 22,2 \text{ т.}$$

Согласно расчетам фактическая величина разрывной нагрузки по верхней кромке для сетных пластин с шагом ячеи 40 мм и диаметром нитки 3,1 мм по факту будет $P_{top}^{fact-A} = 26,565 \text{ т}$, т.е. на 20 % больше требуемой. После проведенного анализа необходимо изменить диаметр или материал нити и обосновать применение материала и диаметра нитей в сетной оболочке.

Выводы

Для каждого участка оболочки разноглубинного трала можно построить линию тренда и получить функциональные зависимости любых конструктивных величин, характеризующих данную конструкцию оболочки трала.

На основании полученных линий трендов можно проводить:

- анализ конструктивных величин канатно-сетных оболочек разноглубинных тралов;
- корректировку конструкции пластин канатно-сетных оболочек тралов;
- подбор трала-прототипа для расчета канатно-сетной оболочки разноглубинного трала;
- обоснование конструкций канатно-сетных пластин разноглубинных тралов.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор благодарит за помощь в период подготовки статьи начальника отдела морских экспедиций АтлантНИРО Сергея Вячеславовича Попова.

The author is thankful to Sergey V. Popov, Head of Marine Expeditions Department of the Atlantic branch of VNIRO (AtlantNIRO) for his assistance in the study and the article writing.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

The author declares that he has no conflict of interest.

Список литературы

Габрюк В.И., Кулагин В.Д. Механика орудий рыболовства и АРМ промысловика : моногр. — М. : Колос, 2000. — 416 с.

Коротков В.К. Реакция рыб на трал, технология их лова : моногр. — Калининград : ЭКБ АО «МАРИНПО», 1998. — 397 с.

Недоступ А.А. Методы расчета сетных активных орудий прибрежного и океанического рыболовства. Методы расчета донных и разноглубинных тралов. — Калининград : КГТУ, 2011. — 156 с.

Розенштейн М.М. Проектирование орудий рыболовства : учеб. пособие. — М. : Колос, 2009. — 400 с.

Симкин Л.М. Исследование возможности получения функциональной зависимости коэффициентов сплошности канатно-сетных частей разноглубинных тралов // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 3. — С. 656–670. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-656-670.

Фридман А.Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства : учеб. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1981. — 328 с.

References

Gabryuk, V.I. and Kulagin, V.D., *Mekhanika orudiy rybolovstva i ARM promyslovika* (Mechanics of fishing tools and fisherman's workstation), Moscow: Kolos, 2000.

Korotkov, V.K., *Reaktsiya ryb na tral, tekhnologiya ikh lova* (The reaction of fish on the trawl, the technology of their fishing), Kaliningrad: AO MARINPO, 1998.

Nedostup, A.A., *Metody rascheta mnozhestva aktivnykh predpriyatiy, zanimayushchikhsya rybolovstvom i rybolovstvom. Metody rascheta donnykh i raznoglubinnykh tralov* (Methods for calculating the set of active enterprises engaged in fishing and fishing. Methods for calculating bottom and mid-water trawls), Kaliningrad: Kaliningrad. Gos. Tekh. Univ., 2011.

Rozenstein, M.M., *Proyektirovaniye orudiy rybolovstva* (Fishing gear design), Moscow: Kolos, 2009.

Simkin, L.M., A study of approach to assessing a functional relationship between solidity ratios for the rope/net part of midwater trawl, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 200, no. 3, pp. 656–670. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-656-670

Fridman, A.L., *Teoriya i proyektirovaniye orudiy promyshlennogo rybolovstva* (Theory and design of industrial fishing tools), Moscow: Pishchевaya Promyshlennost', 1969.

Поступила в редакцию 28.11.2022 г.

После доработки 9.01.2023 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

*The article was submitted 28.11.2022; approved after reviewing 9.01.2023;
accepted for publication 3.03.2023*

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ
METHODS OF INVESTIGATIONS**

Научная статья

УДК 597.541–116:57.087.3**DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-234-248****EDN: QUOANR****СРАВНЕНИЕ ДВУХ РАЗНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА
ПОПУЛЯЦИОННОЙ ПЛОДОВИТОСТИ ОХОТСКОЙ СЕЛЬДИ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАНДАРТНОЙ ИКОРНОЙ СЪЕМКИ****А.А. Дуленин, П.А. Дуленина, В.В. Свиридов***Хабаровский филиал ВНИРО (ХабаровскНИРО),
680038, г. Хабаровск, Амурский бульвар, 13а

Аннотация. С 3 по 21 июня 2022 г. в северо-западной части Охотского моря, в пределах основной части нерестового ареала охотской популяции сельди, от зал. Аян до Ейринейской губы, была проведена стандартная икорная водолазная съемка. В целях рационализации методики проведения съемок сравнили результаты расчета популяционной плодовитости (ППл) охотской популяции сельди, выполненные двумя способами. Первый — стандартный, через площадь нерестилищ и плотность обикрения (ПлО), второй — по выявленной зависимости между площадью нерестилищ и ППл. Условия нереста охотской сельди в 2022 г. были аномальными. Перед началом массового нереста в районе сильным штормом была уничтожена большая часть нерестовых субстратов, а нерестовые косяки сельди в прибрежной зоне были перераспределены. Поэтому средняя ПлО была крайне низкой (1075318 икр./м² при среднемноголетней величине 4170320 икр./м²), однако при этом, помимо многолетних участков нереста, сельдь отложила икру на площадях, где ранее нереста не наблюдалось. Общая площадь обследованных нерестилищ — 38,68 км². Популяционные показатели охотской сельди, рассчитанные по площади нерестилищ (ППл — 182 трлн икр., численность нерестового запаса (ЧНЗ) — 6,513 млрд рыб массой 1,823 млн т), соответствуют состоянию запаса в последние годы. Расчет ППл по площади нерестилищ методически прост, а при использовании телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов, беспилотных летательных аппаратов и геоинформационных систем он обеспечивается полным программно-аппаратным документированием материалов съемки с возможностью верификации результатов сторонними экспертами. В то же время популяционные показатели, рассчитанные через ПлО на ежегодно обследуемых нерестилищах (ППл — 51 млрд икр., ЧНЗ — 1,936 млрд рыб массой 0,542 млн т), сильно занижены вследствие уничтожения нерестовых субстратов, не дают адекватного представления о состоянии популяции и не могут использоваться до восстановления водорослевого пояса (2–3 года). Стандартный метод проведения икорных водолажных съемок и обработки их данных основан на ряде неформализованных субъективных оценок и допущений и не может обеспечить верифицируемость результатов

* Дуленин Александр Алексеевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, dulenin@mail.ru, ORCID 0000-0002-3491-6805; Дуленина Полина Александровна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, duleniina.polina@mail.ru, ORCID 0000-0002-2147-6230; Свиридов Владимир Владимирович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, vladimir.sviridov@gmail.com, ORCID 0000-0002-6060-1532.

съемок без значительного увеличения трудозатрат на их проведение. В связи с этим мы рекомендуем внедрение расчета ППл охотской сельди по площади локальных нерестилищ в качестве основного метода оценки ее ЧНЗ.

Ключевые слова: северо-западная часть Охотского моря, охотская сельдь, икорная съемка, ТНПА, БПЛА, площадь нерестилищ, плотность обькрения, популяционная плодовитость, численность нерестового запаса

Для цитирования: Дуленин А.А., Дуленина П.А., Свиридов В.В. Сравнение двух разных методов расчета популяционной плодовитости охотской сельди по результатам стандартной икорной съемки // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 234–248. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-234-248. EDN: QUOANR.

Original article

Comparison on two different methods for evaluation of population fertility for Okhotsk herring on the data of standard roe survey

Alexander A. Dulenin*, Polina A. Dulenina, Vladimir V. Sviridov*****

*—*** Khabarovsk branch of VNIRO (KhabarovskNIRO),

13a, Amursky Boulevard, Khabarovsk, 680038, Russia

* Ph.D., leading researcher, duleenin@mail.ru, ORCID 0000-0002-3491-6805

** Ph.D., senior researcher, dulenina.polina@mail.ru, ORCID 0000-0002-2147-6230

*** Ph.D., leading researcher, vladimir.sviridov.1974@yandex.ru, ORCID 0000-0002-6060-1532

Abstract. The main part of the spawning grounds of herring in the northwestern Okhotsk Sea, from the Ayan Bay to the Eirineiskaya Bay, was surveyed on June 3–21, 2022 using standard methods of the roe diving survey. In order to rationalize the survey methodology, the herring population fertility (PF) was evaluated using two different approaches. The first is a standard method (described by Farkhutdinov, 2005) with calculation of the spawning ground areas and the roe density (RD) for each of them. The second method is based on the relationship between the total area of spawning grounds and PF detected previously by Dulenin and Didenko (2021). The spawning conditions for Okhotsk herring were abnormal in 2022. Just before the mass spawning, a strong storm had destroyed many spawning substrates and redistributed the spawning shoals of herring in the coastal zone. As the result, mean RD was extremely low — 1075318 eggs/m² (long-term average value was 4170320 eggs/m²), but herring spawned in new areas, additionally to usual spawning grounds, so the total area of surveyed spawning grounds was rather large, as 38.68 km². The population fertility calculated for this total area using the relationship between these indices was $182 \cdot 10^{12}$ eggs that corresponded to the spawning stock number (SSN) of $6.513 \cdot 10^9$ ind. and the spawning stock biomass (SSB) of $1.823 \cdot 10^6$ t. These estimates match well with results of the stock assessment by other methods. On the contrary, unrealistic low assessments were provided using the routine method with calculation of RD on the annually surveyed spawning grounds (PF $51 \cdot 10^{12}$ eggs, SSN $1.936 \cdot 10^9$ ind., SSB $0.542 \cdot 10^6$ t), because the spawning on destructed substrate could not represent adequately the state of the herring population during 2–3 years, until restoration of the algae belt. Besides, the standard method for data processing of the roe diving surveys is based on a number of non-formalized subjective assessments and assumptions that cannot ensure verification of the survey results. In opposite to this disadvantage, the calculation of PF by the area of spawning grounds is methodologically simple and allows to use remotely operated underwater vehicles, unmanned aerial vehicles and geographic information systems, with complete hardware and software documentation of survey materials. Thus, the PF evaluation using its relationship with the total area of spawning grounds is recommended for introduction as the main method of the Okhotsk herring stock assessment.

Keywords: northwestern Okhotsk Sea, Okhotsk herring, roe survey, remotely operated underwater vehicle (ROV), unmanned aerial vehicle (UAV), spawning area, roe density, population fertility, spawning stock

For citation: Dulenin A.A., Dulenina P.A., Sviridov V.V. Comparison on two different methods for assessment of population fertility of the Okhotsk herring on the data of standard roe survey, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 234–248. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-234-248. EDN: QUOANR.

Введение

Охотская популяция сельди *Clupea pallasii* — крупнейший наряду с минтаем объект промысла в Охотском море. В северо-западной части моря она во время нереста откладывает икру на прибрежную морскую донную растительность [Суховеева, 1976; Дуленин, 2015]: преимущественно на бурые водоросли *Saccharina gurjanovae*, *Alaria esculenta*, *Sargassum miyabei*, *Pseudolessonia laminarioides*, красные водоросли *Neoptilota asplenioides*, *Odonthalia corymbifera*, *Tichocarpus crinitus*, *Chondrus platynus*, *Neohypophyllum middendorffii*, *Hymenena ruthenica*, зеленую водоросль *Ulva lactuca* и морскую траву *Zostera marina*. Нерестовый ареал охотской сельди простирается более чем на 1000 км, от Удской до Тауйской губы [Тюрнин, 1973]. Основные нерестовые площади располагаются в районе от зал. Аян до Ейринейской губы. Численность нерестового запаса (ЧНЗ) охотской сельди в предыдущем десятилетии росла, составляя от 4 до 9 млрд экз. в разные годы [Панфилов, Смирнов, 2022]. Для оценки ЧНЗ можно использовать данные траловых съемок [Шунтов, 2016]. Однако наиболее надежным способом оценки ЧНЗ стал ее расчет по популяционной плодовитости (ППл), определяемой по количеству отложенной на нерестилищах икры [Качина, 1967; Фархутдинов, 2005; Булгакова, Смирнов, 2016]. В середине прошлого века количество отложенной сельдью икры учитывали на литорали [Галкина, 1960]. Несколько позднее учетные работы переместились в сублитораль, где пробы нерестового субстрата отбирали с помощью драг [Тюрнин, 1967]. Классическими методами оценки ППл за последние полвека стали авиаучетные работы совместно с водолазными съемками. Подобными же методами пользуются и за рубежом [Biggs, Funk, 1988; Šaškov et al., 2014; McGowan et al., 2021]. Во время таких работ определяли площади локальных нерестилищ и плотность кладок отложенной на них икры [Фархутдинов, 2007; Пономарев, 2012]. Однако оценки площади нерестилищ посредством классического авиаучета, не предусматривающего геореферирования (пространственной привязки к реальному местоположению) результатов наблюдений, весьма приблизительны. Применяемый же во время съемок упрощенный метод водолазного количественного учета, особенно при проведении икорных съемок в крайне суровых условиях Охотского моря, неизбежно связан с большим количеством ошибок точности и типичности [Дуленин, 2017].

Эти обстоятельства потребовали проанализировать материалы прежних съемок на предмет поиска возможностей их рационализации. В результате такого анализа выяснилось, что межгодовые различия плотности обикрения на нерестилищах, как правило, статистически незначимы, тогда как количество отложенной икры тесно ($R^2 = 0,87$) связано с площадью локальных нерестилищ. Корреляция результатов расчета ППл классическим методом и через выявленную зависимость от площади нерестилищ составила 94 %, что показало возможность использовать оценки площади для расчета ЧНЗ [Дуленин, Диденко, 2021].

Для проверки работоспособности предложенного подхода его необходимо было применить во время икорной съемки параллельно стандартным водолазным сборам, что и было сделано в июне 2022 г. Основной задачей настоящей работы было сравнение расчетов прогнозных показателей охотской сельди — ППл, ЧНЗ и биомассы нерестового запаса, — выполненных стандартным методом [Фархутдинов, 2005] и через зависимость от площади локальных нерестилищ.

Материалы и методы

Икорная съемка была выполнена в период с 3 по 21 июня 2022 г. в северо-западной части Охотского моря от зал. Аян до Ейринейской губы включительно на НИС «Убежденный», принадлежащем Базе исследовательского флота ВНИРО (БИФ ВНИРО). Обнаружено и обследовано 25 локальных нерестилищ общей протяженностью 204 км. Во время съемки на 139 разрезах произведено 439 водолазных спусков и 429 погружений телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА). Выполнена беспилотная аэротосъемка 196 км в течение 101 полета (рис. 1).

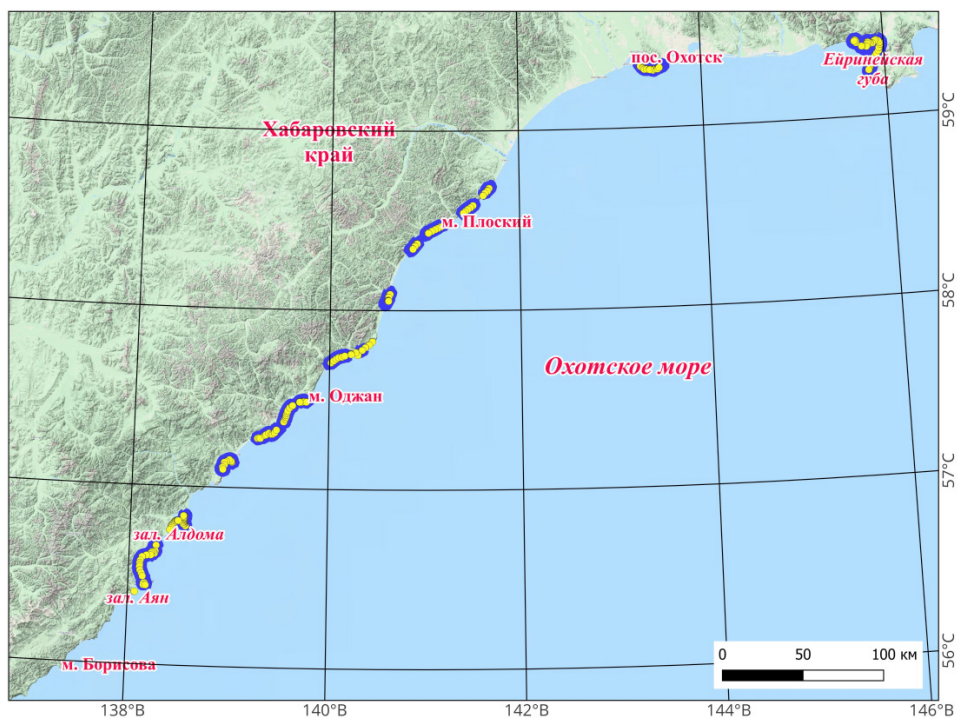


Рис. 1. Расположение участков, обследованных в ходе икорной съемки охотской сельди в 2022 г. Станции — желтые точки; области беспилотной аэрофотосъемки — синие полигоны

Fig. 1. Location of the sites surveyed during the Okhotsk herring roe survey in 2022. Stations — yellow dots; areas of unmanned aerial photography — blue polygons

Разведку расположения нерестилищ выполняли с воздуха посредством беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) потребительского класса по ранее разработанным методикам [Дуленин и др., 2021; Дуленин, Свиридов, 2022], основываясь на наличии выбросов икры на берегу. Документирование наличия обикрения на нерестилищах выполняли подводной фотосъемкой с помощью ТНПА потребительского класса [Дуленин и др., 2022]. Полученные материалы объединяли в проект ГИС Global Mapper, где далее выполняли оконтуривание нерестилищ посредством встроенных инструментов векторизации.

Водолазные работы. Съемку выполняли по упрощенной методике, которая является стандартной при проведении водолазных икорных съемок [Фархутдинов, 2005; Пономарев, 2012]. Водолазные станции выполняли на разрезах, перпендикулярных береговой линии, через 50 м (на широких нерестилищах через 100 м) от минимально возможной глубины (3 м) до окончания встречаемости икры сельди или растительности (10–13 м). Расстояние между разрезами варьировало от 1 до 3 км в зависимости от протяженности нерестилищ и однородности береговой линии. Сбор выполняли с «квадратного локтя», т.е. визуально ограниченного квадрата площадью около 0,25 м². Обикренный субстрат собирали в полипропиленовые мешки. Водолаз на каждой станции сообщал сведения о типе грунта, наличии обикрения, доминирующих видах растительности, доле проективного покрытия дна (ПП) каждого из доминирующих видов макрофитов. ПП водолаз оценивал визуально, субъективно, на дне, осматривая пояс растительности в точке погружения.

Камеральная обработка водолазных проб. На судне пробы взвешивали, указывая массу каждого вида макрофитов. Далее из каждой пробы отбирали так называемую мини-пробу массой 30–70 г с характерными для основной пробы показателями: соотношение видов, плотность кладок икры. Отбор выполняли субъективно, на глаз. Мини-пробы взвешивали и помещали в марлевую упаковку с этикеткой (район, дата, номер станции, масса) и фиксировали в 4 %-ном формалине.

Камеральную обработку собранного материала выполняли после окончания рейса. Упаковки с мини-пробами замачивали в пресной воде на 24 ч. Далее их оставляли для стекания воды. Затем мини-пробы разбирали по видам обмытого субстрата и отделяли от него икру. Растительные субстраты и икру взвешивали для каждой пробы по отдельности на электронных весах с точностью до 0,05 г. В каждой пробе брали навеску икры (около 200 мг). Икру в навеске просчитывали при помощи специализированного мобильного приложения Count things by camera (рис. 2). Коэффициенты элиминации рассчитывались после подсчета мертвой икры в каждой навеске. Всего обработано 25736 икринок из 241 пробы.



Рис. 2. Подсчет количества икры в навеске в приложении Count things by camera
Fig. 2. Counting of roe number in a sample using the application Count things by camera

Определив количество икринок в 1 г и массу икры на каждом виде макрофитов в пробе, вычисляли плотность обмытия (ПЛО) на каждом локальном нерестилище как в весовом, так и в количественном выражении по формулам:

$$Q_0 = \sum M_i \cdot k_i \cdot 4 \cdot \text{ПП} / 10000,$$

где Q_0 — ПЛО в пробе, г/м²; M_i — масса макрофитов в пробе с 0,25 м, г/м²; k_i — доля икры на макрофитах, %; 4 — переводной коэффициент для пересчета в 1 м²; ПП — проективное покрытие дна макрофитами, %.

$$P_0 = \sum Q_i \cdot n_i,$$

где P_0 — ПЛО в пробе, икр./м²; Q_i — ПЛО на макрофитах, г/м²; n_i — количество икринок в 1 г на макрофитах.

Количество отложенной на каждом нерестилище икры определяли как произведение средней плотности обмытия на нерестилище на его площадь.

Далее популяционную плодовитость рассчитывали как сумму количества икры на всех локальных нерестилищах.

По ранее выявленной зависимости [Дуленин, Диденко, 2021]

$$\text{ППЛ} = \sum (0,41 \cdot S_i^2 + 3,27 \cdot S_i + 0,46),$$

где ППЛ — популяционная плодовитость; S_i — площадь локального нерестилища.

Если видимость под водой была недостаточна для определения ПП, его указывали на среднем для каждого субстрата уровне по материалам проведенной съемки. На тех участках, где по изображениям с ТНПА присутствовало обмытие, в то время как водолаз не доставал обмытых проб, либо где начинался выклев и истинную плотность обмытия было невозможно установить, указывали среднюю плотность обмытия на нерестилищах по данным съемки. Ее вычисляли по нерестилищам, где выклева не происходило. Если водолаз сообщал о присутствии отдельных нерестовых субстратов на станции, но их не оказывалось в пробе, массу проб каждого из таких субстратов указывали на среднем по материалам съемки уровне. Массовую долю обмытия в пробе и количество икринок в 1 г в этих случаях указывали как среднее от соответствующих значений в предыдущей и последующей пробах.

Для сравнения расчетов ППл дополнительно использовали данные предыдущих икорных съемок с 2008 по 2020 г., по которым у нас имеются сведения о площади локальных нерестилищ. Данные об общей площади задействованных нерестилищ и ЧНЗ взяты из прогнозов ОДУ по охотской сельди.

Чтобы вычислить ЧНЗ, ППл делили на среднюю индивидуальную абсолютную плодовитость (ИАП), а полученную величину делили на долю самок. Для расчетов использовали данные биологического анализа 1600 экз. сельди, выполненного сотрудниками ХабаровскНИРО в мае-июне 2022 г. из промышленных уловов в Охотском районе. Чтобы охарактеризовать состояние охотской популяции сельди, дополнительно использовали данные биологического анализа, собранные из промышленных уловов и во время икорных съемок за предшествующие годы, с 2013 по 2021.

Результаты и их обсуждение

Сроки подходов охотской сельди на нерест зависят преимущественно от гидрометеорологической обстановки. Весной 2022 г. прибрежная зона к маю полностью освободилась ото льда, поэтому нерестовый ареал сформировался по I типу [Тюрнин, 1973], т.е. условия нереста были благоприятными. Первые подходы сельди в северо-восточной части ареала (район пос. Охотск) были отмечены 13 мая. Однако в результате прошедшего у берегов Охотского моря шторма (порывы ветра до 35 м/с, высота волн в прибрежной полосе до 6–7 м) в период с 14 по 16 мая нерестовые косяки сельди были разбиты, а значительная часть растительного пояса уничтожена. Вследствие этого средняя масса водолазной пробы с обыкренным субстратом в 2022 г. была в 4 раза ниже, чем в 2020 г. (соответственно 1116 г против 4565 г), и в 2 раза ниже, чем за период с 2001 по 2020 г. (2559 г). Типичную картину на дне представляли крупные бурые водоросли с оторванными верхними частями слоевищ. Доля обыкренных проб также снизилась до 41 % против 62 % в 2020 г. и 71 % в 2001–2020 гг. После шторма массовые подходы сельди на нерест в районе пос. Охотск начались только 18 мая, а к концу первой декады июня они полностью прекратились.

Несмотря на снижение доли обыкренных проб, биологические показатели подошедшей на нерест сельди свидетельствовали о хорошем состоянии стада. Сельдь из уловов ставных неводов в Охотском районе в 2022 г. имела длину АС $29,70 \pm 0,06$ (24,0–34,5) см, индивидуальную массу $278,1 \pm 2,0$ (121,0–494,0) г, возраст $8,70 \pm 0,06$ (3,0–13,0) года и ИАП $52,25 \pm 1,14$ (23,71–98,23) тыс. икр. Средние значения биологических показателей были выше, чем за предыдущие 20 лет наблюдений (28,4 см, 243,5 г, 7,68 года и 43 тыс. икр.), что свидетельствует о высокой численности популяции и стабильном ее состоянии [Панфилов, Смирнов, 2022]. О высокой численности популяции косвенно свидетельствует и объем вылова нерестовой сельди в Охотском районе (13,3 тыс. т), который оказался выше среднего значения в течение последнего десятилетия (11,7 тыс. т).

Биологическим показателям вполне соответствуют и данные о площади задействованных нерестилищ. Во время съемки было обнаружено и обследовано 25 локальных нерестилищ. Применение беспилотной разведки и подводной съемки с ТНПА, сопровождающееся геореферированием полученных фотоматериалов и оконтуриванием нерестилищ в ГИС, позволило оценить площадь нерестилищ более полно, чем во время прежних съемок. Учетная площадь нерестилищ составила $38,682 \text{ км}^2$, что выше, чем в предыдущие годы. Большая площадь нерестилищ — $42,980 \text{ км}^2$ — была учтена только в 2015 г. (рис. 3). Общая площадь нерестилищ имеет выраженную зависимость от ЧНЗ: большая их площадь свидетельствует о высокой ЧНЗ [Дуленин, Диденко, 2021].

Весьма вероятно, что фактическая площадь нерестилищ была существенно больше выявленной из-за перераспределения сельди после прошедшего шторма. На это указывали результаты беспилотной аэрофотосъемки: выбросы икры на берегу практически всегда продолжались минимум на 2–3 км за пределы участков выполнения стандартных водолазных разрезов на локальных нерестилищах, где нерест наблюдался из года



Рис. 3. Суммарная площадь нерестилищ охотской сельди по данным икорных съемок в разные годы

Fig. 3. Total area of the Okhotsk herring spawning grounds on the data of roe surveys in certain years

в год, и не заканчивались даже на максимальной дистанции удаления беспилотника от крайних разрезов обследованных нерестилищ. Так, в районе пос. Охотск всегда были известны только нерестилища в бухтах Круглой и Тунгусской. О нерестилищах у мыса Марекан не было никаких сведений. Благодаря выполненной беспилотной аэрофотосъемке этого участка впервые удалось оконтурить крупное нерестилище площадью 2,416 км² (табл. 1). Однако, несмотря на использование дополнительных инструментов разведки, полное обследование всей протяженности нерестового ареала в течение периода инкубации икры в настоящее время технически невозможно из-за малой скорости судна (7–8 уз) и водолазного бота (5–6 уз), что крайне ограничивает общую производительность учетных работ.

Тем не менее полученные материалы дали возможность рассчитать популяционные показатели охотской сельди по зависимости между площадью локальных нерестилищ и количеством отложенной икры (табл. 1). Ранее было выявлено, что расчеты по плотности и по площади показывают весьма высокую сходимость результатов [Дуленин, Диденко, 2021]. Однако в 2022 г. по указанным выше причинам это соответствие было нарушено (рис. 4).

Рассчитанная нами ППл в 182 трлн икр. близка к уровню 2020 г. (195 трлн икр.) (рис. 4). Сравнительно высокая ППл обусловлена хорошими гидрологическими условиями нереста ряда последних поколений сельди.

Исходя из данных о средней ИАП сельди (51245 икр.) и соотношении полов (доля самок — 47,8 %), ЧНЗ в 2022 г. определена в 6,515 млрд рыб. Текущая ЧНЗ находится на уровне последних лет (2015, 2017–2019 гг. — от 6,141 до 6,513 млрд рыб). Кроме того, она хорошо соотносится с данными предыдущей икорной съемки 2020 г., когда ЧНЗ была оценена в 9 млрд рыб (рис. 5). При средней индивидуальной массе нерестовой сельди (III–V стадия зрелости) в 2022 г., равной 281 г, биомасса нерестового запаса составила 1810 тыс. т (в 2020 г. — 2270 тыс. т).

Итоги расчета по стандартной методике через ПЛО в 2022 г. иные (табл. 2). В результате икорной съемки наличие обикрения было отмечено на 229 станциях. Средняя ПЛО на станциях по первичным данным икорной съемки до внесения поправок на потери икры составила 1,075 млн икр./м², что в 5 раз ниже, чем в первичных материалах последней съемки 2020 г. (5,566 млн икр./м²), и значительно ниже

Таблица 1

Популяционные показатели охотской сельди при расчете количества отложенной икры по зависимости от площади локальных нерестилищ [по: Дуленин, Диденко, 2021]

Table 1

Population indices of Okhotsk herring calculated using the relationship between the amount of deposited roe and total area of spawning grounds [from: Dulenin, Didenko, 2021]

Нерестилище	Площадь, км ²	Икринки, трлн	Рыбы, млрд	Масса рыб, тыс. т
Ейринейская губа	4,066	20,534	0,733	203,761
Р. Амачанка	0,033	0,569	0,020	5,650
Бухта Лошадина	0,520	2,270	0,081	22,523
Мыс Марекан	2,416	10,753	0,384	106,702
Бухта Круглая	1,207	5,004	0,179	49,657
Бухта Тунгусская	0,785	3,278	0,117	32,528
Мыс Нонгдан	1,349	5,619	0,201	55,759
Р. Отында	1,187	4,919	0,176	48,813
Мыс Плоский	4,687	24,793	0,885	246,026
Р. Кулюкли	1,989	8,586	0,306	85,200
Р. Унчэ	3,455	16,652	0,594	165,239
Мыс Ханянгда	1,027	4,251	0,152	42,180
Мыс Энкан	1,926	8,278	0,295	82,142
Р. Мунгая	3,433	16,516	0,590	163,884
Мыс Оджан	4,235	21,660	0,773	214,932
Р. Тукчи	0,677	2,863	0,102	28,408
Мыс Угол	0,562	2,426	0,087	24,071
Мыс Мирмалан	0,339	1,614	0,058	16,015
Зал. Феодота	0,810	3,377	0,121	33,509
Зал. Алдома	2,476	11,069	0,395	109,839
Мыс Грендя	0,074	0,704	0,025	6,986
Мыс Наклонный	0,205	1,147	0,041	11,381
Р. Сахалинка	0,340	1,620	0,058	16,074
Р. Няча	0,466	2,073	0,074	20,573
Бухта Аянская	0,418	1,897	0,068	18,828
Всего	38,682	182,472	6,515	1809,852

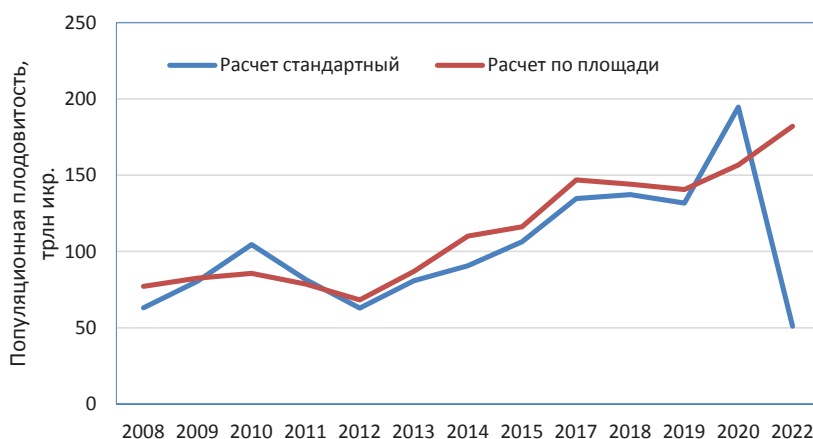


Рис. 4. Результаты расчета ППл охотской сельди разными способами за ряд лет

Fig. 4. The Okhotsk herring population fertility evaluated by different methods, by years

среднемноголетнего значения (4,17 млн икр./м²). Это объясняется уничтожением в текущем году нерестовых субстратов штормом и низкой массой проб. Поэтому расчет ППл по ПЛО в районе дал весьма малую ее величину — 51 трлн икр. (табл. 2). Такая

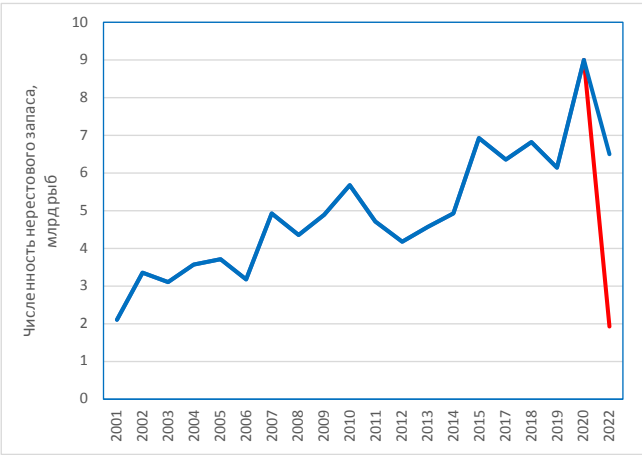


Рис. 5. Динамика численности нерестового запаса охотской сельди за период с 2001 по 2022 г. Красной линией обозначено «падение» запаса в 2022 г. при расчете стандартным методом
Fig. 5. Dynamics of the spawning stock for Okhotsk herring in 2001–2022. Red line indicates the false fall of the stock in 2022 resulted in calculation with the standard method

Таблица 2
Популяционные показатели охотской сельди на основе стандартной методики расчета количества отложенной икры [по: Фархутдинов, 2005]

Table 2
Population indices of Okhotsk herring assessed using the standard method for evaluation of the deposited roe amount [from: Farkhutdinov, 2005]

Нерестилище	Площадь, км ²	Плотность, икр./м ²	Плотность с поправкой + 20 %	Кол-во отложенной икры, трлн	ЧНЗ, млрд рыб	Биомасса нерестового запаса, тыс. т
Ейринойская губа	4,066	1415640	1698768	6,907	0,261	72,573
Р. Амачанка	0,033	19917	23900	0,001	0,000	0,008
Бухта Лошадиная	0,520	683479	820175	0,426	0,016	4,478
Мыс Марекан	2,416	617431	740917	1,790	0,068	18,807
Бухта Круглая	1,207	483993	580792	0,701	0,026	7,365
Бухта Тунгусская	0,785	129807	155768	0,122	0,005	1,284
Мыс Нонгдан	1,349	1021270	1225524	1,654	0,063	17,375
Р. Отында	1,187	1021270	1225524	1,455	0,055	15,284
Мыс Плоский	4,687	1021270	1225524	5,744	0,217	60,351
Р. Кулюкли	1,989	1021270	1225524	2,438	0,092	25,611
Р. Унчэ	3,455	1021270	1225524	4,234	0,160	44,488
Мыс Ханянгда	1,027	675214	810257	0,832	0,031	8,743
Мыс Энкан	1,926	737102	884522	1,703	0,064	17,897
Р. Мунгая	3,433	339919	407903	1,400	0,053	14,711
Мыс Оджан	4,235	663274	795929	3,371	0,127	35,413
Р. Тукчи	0,677	892337	1070804	0,725	0,027	7,620
Мыс Угол	0,562	575127	690152	0,388	0,015	4,072
Мыс Мирмалан	0,339	779678	935614	0,317	0,012	3,328
Зал. Феодота	0,810	1734770	2081724	1,686	0,064	17,712
Зал. Алдома	2,476	4282610	5139132	12,724	0,481	133,684
Мыс Грендя	0,074	1021270	1225524	0,091	0,003	0,953
Мыс Наклонный	0,205	1021270	1225524	0,251	0,009	2,637
Р. Сахалинка	0,340	683479	820175	0,279	0,011	2,932
Р. Няча	0,466	2385873	2863048	1,334	0,050	14,021
Бухта Аянская	0,418	1283225	1539870	0,643	0,024	6,758
Всего	38,682			51,216	1,934	538,105

ППл соответствует ЧНЗ в 1,934 млрд рыб, что означало бы столь же депрессивное состояние популяции, какое наблюдалось с 1976 по 1978 г. [Панфилов, Смирнов, 2022]. А величина ЧНЗ близка к ее минимальному значению в текущем столетии, отмеченному в 2001 г., — 2,119 млрд рыб (рис. 5). Однако средние биологические показатели сельди в 2001 г. были существенно ниже, чем в 2022 г.: длина АС 28,1 см (на 1,6 см), индивидуальная масса 232,6 г (на 45,4 г), возраст 7,5 года (на 1,2 года), ИАП 42,10 тыс. икр. (на 10,15 тыс. икр.). Очевидно, что рассчитанные по плотности ППл и ЧНЗ занижены и не соответствуют ни высокой численности нерестового запаса последних лет, ни текущим биологическим показателям сельди.

Указанное занижение оценок при расчете стандартным методом обусловлено ограниченными техническими возможностями обследования нерестилищ во время икорных съемок с борта тихоходных среднетоннажных судов и водолазных ботов. Даже при самой интенсивной работе времени от окончания массового нереста до начала массового выклева (до 3 нед) хватает только на обследование «стандартных» нерестилищ, где нерест происходит из года в год. Однако в случае внезапного расширения нерестовых площадей и освоения сельдью новых нерестилищ на участках, где ранее нереста не наблюдалось, полностью обследовать нерестилища будет технически невозможно, что и показала съемка 2022 г. Поэтому 2–3 десятка обследуемых ежегодно нерестилищ (см. табл. 1, 2) фактически играют роль индикаторных, по площади и плотности обикрения которых можно судить о состоянии популяции в целом. При этом в случае явно нестандартного сценария нереста показатель ПЛО перестает быть адекватным индикатором состояния запаса, в то время как «индикаторные» площади нерестилищ хорошо отражают его состояние. Вообще, учет количества икры по плотности вряд ли даст адекватные результаты в ближайшие 2–3 года, до полного восстановления водорослевого покрова.

Теоретически для объяснения результатов расчета по ПЛО можно было бы допустить возможность катастрофического падения ЧНЗ сельди за 3 года, с рекордного в 9 млрд рыб в 2020 г. до минимального в 1,936 млрд рыб в 2022 г., как это было в период депрессии 1976–1978 гг. Однако прошлое обрушение запаса было обусловлено переломом в сочетании с неблагоприятными условиями воспроизводства сельди [Панфилов, Смирнов, 2022], в частности высокой ледовитостью [Зуенко и др., 2019] в течение ряда лет. В последние же годы переломы не фиксируются: вылов стабилен (219,6–254,6 тыс. т в 2017–2021 гг.), что составляет 85,0–96,1 % от ОДУ, а условия воспроизводства благоприятные, благодаря чему и наблюдался статистически значимый рост ЧНЗ в предыдущее десятилетие [Дуленин, Диденко, 2021]. Иными словами, почти все признаки: биологические показатели популяции, состояние промысла, условия воспроизводства, площадь нерестилищ и межгодовая динамика запаса — свидетельствуют о высокой ЧНЗ. Этой картине противоречит лишь один показатель — низкая ПЛО на нерестилищах. Возникает вопрос, сможет ли нерест в 2022 г., проходивший по I типу, обеспечить формирование многочисленного поколения [Тюрнин, 1973] при столь низкой ПЛО? Однако благодаря низкой ПЛО и отсутствию льдов не было и заморов икры на нерестилищах, а общий уровень элиминации икры в 2022 г. был крайне низким — 0,89 %. При этом средний уровень элиминации икры по данным предыдущей съемки 2020 г. составил 21 %, а по данным С.Д. Пономарева [2012] средний уровень элиминации икры на разных типах нерестилищ составляет от 3 до 40 %. Поэтому в целом благоприятные условия инкубации в сочетании с большой площадью нерестилищ дают возможность предполагать появление поколения 2022 года рождения с высокой численностью.

Помимо адекватности получаемых результатов, сравниваемые методы имеют и существенные технические различия. Так, проблему представляет весьма низкая точность оценки ПЛО в силу особенностей применяемого метода и специфики района исследований [Дуленин, 2017]. Принято считать, что ПЛО оценивается инструментальным методом. Однако на деле это не так.

Во-первых, данные, которые водолаз получает непосредственно на станции, — это его визуальные субъективные оценки ПП нерестовых субстратов, определение которого может быть сопряжено с существенными ошибками [Шмаков, Шулипенко, 1981; Бузук, Созинов, 2014]. Действительно, из-за большого количества икринной взвеси в воде ее прозрачность снижена или отсутствует, а возможности оценки ПП ограничены или невозможны. Ради экономии времени съёмки оценка ПП делается только в точке погружения, на площади от нескольких до нескольких десятков квадратных метров. Это на 1–2 порядка меньше площади выявления фитоценоза [Быков, 1978]. Естественно, что в таких условиях соотношения ПП доминирующих видов растительности не могут быть установлены верно. Независимых перекрестных оценок ПП вторым наблюдателем [Дуленин, 2020] не проводится, поскольку это означало бы одновременную работу двух водолазов, что технически невозможно.

Во-вторых, согласно стандартной методике, полученные оценки ПП умножаются на массу проб (см. раздел «Материалы и методы»). Однако пробы отбираются не со случайно расположенных рамок, а с тех участков, которые водолаз сочтет типичными. Это связано с тем, что площади стандартной рамки в $0,25 \text{ м}^2$ недостаточно для отбора крупных бурых водорослей, тогда как большие учетные площади требуют слишком много времени для отбора и обработки проб. На практике рамки неудобны, поэтому водолаз отбирает пробу с «квадратного локтя» на глаз [Дуленин, 2017]. При частом отсутствии видимости, на волнении и течении такие пробы не являются количественными: в подобных условиях водолаз обычно комментирует сбор буквально так: «что смог сорвать». Таким образом «инструментальный» отбор проб обыкновения в реальных условиях Охотского моря на деле сопряжен с весьма высокой долей субъективизма.

В-третьих, мини-проба из пробы обыкновения отбирается также на глаз: в качестве типичных участков обыкновения принимаются те, которые сочтет таковыми обработчик. В классической методике, очевидно, нельзя говорить о ее верифицируемости. Далее пробу погружают в формалин для обработки в камеральных условиях. Дальнейшая обработка основывается на допущении, что соотношение масс сырых и формалиновых проб нерестовых субстратов и икры остается неизменным. Однако это не так. По данным съёмки 2022 г. средняя масса формалиновой мини-пробы без разделения на икру и отдельные растительные субстраты была на $18,5 \pm 1,0 \%$ меньше массы сырой мини-пробы. Обоснование коэффициентов пересчета массы формалиновых проб икры и каждого из основных нерестовых субстратов в сырые — предмет отдельного исследования.

В-четвертых, весьма нетривиальную задачу представляет оценка потерь икры. Объем потерь, оцениваемый экспертно, не может быть определен точно. В настоящее время попытки экспертных оценок потерь с точностью до процентов и их десятых долей, применяемые при прогнозировании общего допустимого улова охотской сельди без какого-либо обоснования применяемых методик и статистической оценки результатов, не могут быть признаны удовлетворительными. Максимально возможная точность экспертных оценок суммарных потерь вряд ли может быть меньше десятков процентов. Мы провели опрос водолазов и сотрудников, участвовавших в сборе и обработке проб. Они оценивали суммарное количество потерь (выбросы икры на берег; оседание икры на дно; икра, отложенная на грунт в море и в лагунах; икринная взвесь в воде; выедание икры животными; осыпание икры при отборе проб водолазом и разборе пробы) в 20 %. Эта цифра была принята нами в качестве поправочного повышающего коэффициента при расчете итогового значения плотности отложенной икры.

Кроме того, перечисленные в разделе «Материалы и методы» способы обработки данных, полученных в сложных условиях (отсутствие видимости, несовпадение словесного описания станции, данного водолазом, и содержимого поднятой им пробы, начинающийся выклев и т.п.) не были описаны и формализованы в предыдущих работах [Фархутдинов, 2005, 2007; Пономарев, 2012].

Таким образом, сбор и обработка водолазных проб обыкрения по стандартной методике икорных водолазных съемок имеет несколько этапов, целиком или частично основанных на субъективных оценках и допущениях. Последующее точное взвешивание проб и статистическая обработка материала создают иллюзию точности отбора данных. Однако необходимо помнить, что ошибки точности, типичности и внимания, допущенные при сборе материала, неустранимы при дальнейшей математической обработке, что было отмечено еще Н.А. Плохинским [1970]. Именно такими ошибками, очевидно, объясняются показанные ранее артефакты: плохо выраженная зависимость между ПЛО и ЧНЗ и отсутствие статистически значимых различий ПЛО год от года и между большей частью локальных нерестилищ [Дуленин, Диденко, 2021]. Избежать большей части элементов субъективности можно используя корректные методы отбора проб [Блинова и др., 2005] и верификации субъективных данных [Рупосов, 2015; Дуленин, 2020]. Однако это будет означать многократное увеличение затрат труда и времени на выполнение каждой станции икорной съемки, что недопустимо, учитывая сжатые сроки инкубации икры.

В то же время нужно отметить, что расчет ППл по площади локальных нерестилищ имеет ряд методических преимуществ. Он существенно более прост, менее трудозатратен, избавлен от артефактов учета ПЛО водолажным способом, не требует введения экспертных поправок, а также поддается полному документированию средствами подводной и беспилотной фотосъемки и ГИС. В связи с указанными обстоятельствами мы рекомендуем переход на алгоритм расчета ППл по площади нерестилищ с внесением соответствующих изменений в методику икорных съемок.

Выводы

Условия нереста охотской сельди вдоль основной части ее нерестового ареала от зал. Аян до Ейринейской губы в 2022 г. были крайне нетипичными. Перед началом массового нереста в этом районе прошел сильный шторм, которым была уничтожена большая часть нерестовых субстратов, а нерестовые косяки сельди в прибрежной зоне были перераспределены. Вследствие этого средняя плотность обыкрения на станциях была очень низкой — 1075318 икр./м^2 — при среднемноголетней величине 4170320 икр./м^2 , однако в то же время сельдь отнерестилась на участках, где ранее нерест не наблюдался.

Популяционные показатели, рассчитанные по площади (ППл — 182 трлн икр., ЧНЗ — 6,513 млрд рыб массой 1,823 млн т), соответствуют состоянию запаса в последние годы. Расчет ППл по площади нерестилищ методически прост, а при использовании бюджетных ТНПА и БПЛА потребительского класса и ГИС обеспечивает полное документирование материалов съемки с возможностью их проверяемости сторонними экспертами.

Популяционные показатели, рассчитанные через плотность обыкрения (ППл — 51 млрд икр., ЧНЗ — 1,936 млрд рыб массой 0,542 млн т), с поправками из-за уничтожения нерестовых субстратов на стандартных нерестилищах, не дают адекватного представления о состоянии популяции сельди и не могут быть использованы в ближайшие 2–3 года до восстановления водорослевого пояса. Стандартный метод проведения икорных водолажных съемок и обработки их данных основан на ряде субъективных оценок и допущений и не может обеспечить проверяемость результатов съемок без значительного увеличения трудозатрат на их проведение.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарят водолазов БИФ ВНИРО и коллег из ТИНРО, ХабаровскНИРО, МагаданНИРО, участвовавших в выполнении съемки и обработке ее материалов.

The authors are thankful to divers of research vessels and colleagues from TINRO, KhabarovskNIRO, and MagadanNIRO who participated in the survey and processing of its materials.

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 об отсутствии у них конфликта интересов.

All acceptable national, institutional and international ethical principles are observed. The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHORS CONTRIBUTIONS)

Авторы приняли равное участие в работе над статьей.

The authors took an equal participation in the work on the article.

Список литературы

Блинова Е.И., Вилкова О.Ю., Милютин Д.М. и др. Методические рекомендации по учету запасов промысловых гидробионтов в прибрежной зоне. — М. : ВНИРО, 2005. — 80 с.

Бузук Г.Н., Созинов О.В. Методы учета проективного покрытия растений: сравнительная оценка с использованием фотоплощадок // Изв. СамарНЦ РАН. — 2014. — Т. 16, № 5. — С. 1644–1649.

Булгакова Т.И., Смирнов А.А. Сравнительный анализ методов оценки и прогнозирования состояния запасов сельди Охотского моря // Тр. ВНИРО. — 2016. — Т. 163. — С. 66–79.

Быков Б.А. Геоботаника : моногр. — Алма-Ата : Наука, КазССР, 1978. — 288 с.

Галкина Л.А. Размножение и развитие охотской сельди // Изв. ТИНРО. — 1960. — Т. 46. — С. 3–40.

Дуленин А.А. Некоторые методические проблемы водолазных гидробиологических учетных съемок и пути их разрешения // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 190. — С. 231–244. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-190-231-244.

Дуленин А.А. Распределение сублиторальной растительности материкового побережья Охотского моря (в пределах Хабаровского края) // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 180. — С. 107–127. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-180-107-127.

Дуленин А.А. Результаты параллельных независимых визуальных оценок проективного покрытия дна при проведении учетной водорослевой съемки // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 3. — С. 747–766. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-747-766.

Дуленин А.А., Диденко Д.С. Количественные закономерности распределения обикрения на естественных нерестилищах охотской сельди // Тр. ВНИРО. — 2021. — Т. 186. — С. 5–20. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-186-5-20.

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. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-134-151.

Дуленин А.А., Свиридов В.В. Отработка инструментальных методов учета площади нерестилищ сельди в Охотском море // Вопр. рыб-ва. — 2022. — Т. 23, № 2. — С. 216–231. DOI: 10.36038/0234-2774-2022-23-2-216-231.

Дуленин А.А., Свиридов В.В., Харитонов А.В. Методические особенности фото- и видеосъемки с помощью подводных роботов в прибрежных исследованиях у морских побережий большой протяженности // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление : докл. 2-й Всерос. науч. конф., посвящ. 90-летию КамчатНИРО. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2022. — С. 54–61.

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

Качина Т.Ф. Методика расчета численности рыб в промысловом запасе корфо-карагинского стада сельди // Методы оценки запасов и прогнозирования уловов рыб : Тр. ВНИРО. — 1967. — Т. 62. — С. 122–128.

Панфилов А.М., Смирнов А.А. Промысел, динамика запаса и основные биологические показатели нерестовой охотской сельди на современном этапе // Вопр. рыб-ва. — 2022. — Т. 23, № 2. — С. 108–121. DOI: 10.36038/0234-2774-2022-23-2-108-121.

- Плохинский Н.А.** Биометрия : моногр. — М. : МГУ, 1970. — 368 с.
- Пономарев С.Д.** Развитие и выживаемость охотской сельди в период эмбриогенеза // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 171. — С. 85–96.
- Рупосов В.Л.** Методы определения количества экспертов // Вестн. ИрГТУ. — 2015. — № 3(98). — С. 286–292.
- Суховеева М.В.** Видовой состав и распределение макрофитов в районах размножения сельди у северо-западного побережья Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1976. — Т. 100. — С. 144–149.
- Тюрнин Б.В.** К методике оценки запасов охотской сельди // Тр. ВНИРО. — 1967. — Т. 62. — С. 129–139.
- Тюрнин Б.В.** Нерестовый ареал охотской сельди // Изв. ТИНРО. — 1973. — Т. 86. — С. 12–21.
- Фархутдинов Р.К.** Динамика ледовитости и сроки нереста охотской сельди // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 150. — С. 180–188.
- Фархутдинов Р.К.** Экология воспроизводства, динамика численности и состояние запасов охотской сельди : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Хабаровск, 2005. — 22 с.
- Шмаков В.М., Шулипенко Т.Ф.** Определение величины проективного покрытия в зарослях воздушно-водных растений // Гидробиол. журн. — 1981. — Т. 17, № 2. — С. 103–105.
- Шунтов В.П.** Биология дальневосточных морей России. Т. 2 : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — 604 с.
- Biggs E.D., Funk F.** Pacific herring spawning ground surveys for Prince William Sound, 1988 with historic overview : Regional information report № 2C88-07. — Anchorage : Alaska Department of Fish and Game, 1988. — 27 p.
- McGowan D.W., Branch T.A., Haught S., Scheuerell M.D.** Multi-decadal shifts in the distribution and timing of Pacific herring (*Clupea pallasii*) spawning in Prince William Sound, Alaska // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 2021. — Vol. 78. — P. 1611–1627. DOI: 10.1139/cjfas-2021-0047.
- Šaškov A., Šiaulyš A., Bučas M., Daunys D.** Baltic herring (*Clupea harengus membras*) spawning grounds on the Lithuanian coast: current status and shaping factors // Oceanologia. — 2014. — Vol. 56, Iss. 4. — P. 789–804. DOI: 10.5697/oc.56-4.789.

References

- Blinova, E.I., Vilkova, O.Yu., Milyutin, D.M., Pronina, O.A., and Shtrik, V.A.,** *Metodicheskie rekomendatsii po uchetu zapasov promyslovykh gidrobiontov v pribrezhnoi zone* (Methodological Recommendations for the Inventory of Stocks of Commercial Aquatic Species in the Coastal Zone), Moscow: VNIRO, 2005.
- Buzuk, G.N. and Sozinov, O.V.,** Accounting methods of plants projective cover: comparative evaluation using photo sites, *Izv. Samar. Nauchn. Tsentra Ross. Akad. Nauk*, 2014, vol. 16, no. 5, pp. 1644–1649.
- Bulgakova, T.I. and Smirnov, A.A.,** Comparative analysis of methods for assessing and forecasting the state of herring stocks in the Sea of Okhotsk, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 163, pp. 66–79.
- Bykov, B.A.,** *Geobotany*, Alma-Ata: Nauka, KazSSR, 1978.
- Galkina, L.A.,** Reproduction and development of the Okhotsk herring, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1960, vol. 46, pp. 3–40.
- Dulenin, A.A.,** Some methodical problems of SCUBA hydrobiological accounting surveys and the ways of their resolution, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 190, pp. 231–244. doi 10.26428/1606-9919-2017-190-231-244
- Dulenin, A.A.,** Distribution of sublittoral vegetation at the continental coast of the Okhotsk Sea (within the limits of Khabarovsk Region), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 180, pp. 107–127. doi 10.26428/1606-9919-2015-180-107-127
- Dulenin, A.A.,** Results of the parallel independent visual estimates of SAV projective cover during stock assessment survey, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 3, pp. 747–766. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-747-766
- Dulenin, A.A. and Didenko, D.S.,** Quantitative regularities of roe distribution on natural spawning grounds of Okhotsk herring within the macrophyte belt, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 186, pp. 5–20. doi 10.36038/2307-3497-2021-186-5-20
- 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

- Dulenin, A.A. and Sviridov, V.V.**, Development of instrumental methods for accounting the spawning grounds area of herring in the Sea of Okhotsk, *Problems of Fisheries*, 2022, vol. 23, no. 2, pp. 216–231. doi 10.36038/0234-2774-2022-23-2-216-231
- Dulenin, A.A., Sviridov, V.V., and Kharitonov, A.V.**, Methodological features of photo and video filming using underwater robots engaged in research in long-distance coastal areas, in *Dokl. 2-y Vseross. nauch. konf., posvyashch. 90-letiyu KamchatNIRO "Vodnye biologicheskie resursy Rossii: sostoyanie, monitoring, upravlenie"* (Proc. 2nd All-Russ. Sci. Conf., Commem. 90th anniversary of KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatskiy: KamchatNIRO, 2022, pp. 54–61.
- Zuenko, Yu.I., Aseeva, N.L., Glebova, S.Yu., Gostrenko, L.M., Dubinina, A.Yu., Dulepova, E.P., Zolotov, A.O., Loboda, S.V., Lysenko, A.V., Matveev, V.I., Muktepavel, L.S., Ovsyannikov, E.E., Figurkin, A.L., and Shatilina, T.A.**, Recent changes in the Okhotsk Sea ecosystem (2008–2018), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 197, pp. 35–61. doi 10.26428/1606-9919-2019-197-35-61
- Kachina, T.F.**, Method of calculation of the abundance of the fishing stock of herring in the Korff Bay and off Karaginsky Island, *Metody otsenki zapasov i prognozirovaniya ulovov ryb* (Methods for assessing stocks and predicting fish catches), *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1967, vol. 62, pp. 122–128.
- Panfilov, A.M. and Smirnov, A.A.**, Fishing, stock dynamics and basic biological indicators of spawning Okhotsk herring at the present stage, *Problems of Fisheries*, 2022, vol. 23, no. 2, pp. 108–121. doi 10.36038/0234-2774-2022-23-2-108-121
- Plokhinsky, N.A.**, *Biometriya* (Biometrics), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1970.
- Ponomarev, S.D.**, Development and survival rate of pacific herring at the stage of embryogenesis, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 171, pp. 85–96.
- Ruposov, V.**, Methods to determine a number of experts, *Vestn. Irkutsk. Gos. Tekh. Univ.*, 2015, no. 3(98), pp. 286–292.
- Sukhovееva, M.V.**, Species composition and distribution of large seaweeds in herring spawning grounds along North-West coast of Okhotsk, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1976, vol. 100, pp. 144–149.
- Tyurnin, B.V.**, On the methodology for assessing the stocks of the Okhotsk herring, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1967, vol. 62, pp. 129–139.
- Turnin, B.V.**, The spawning range of the Okhotsk herring, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1973, vol. 86, pp. 12–21.
- Farkhutdinov, R.K.**, Ice cover dynamics and timing of the Okhotsk herring spawning, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 150, pp. 180–188.
- Farkhutdinov, R.K.**, Ecology of reproduction, dynamics of abundance and state of stocks of the Okhotsk herring, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Khabarovsk, 2005.
- Shmakov, V.M. and Shulipenko, T.F.**, Determination of the size of the projective cover in thickets of air-aquatic plants, *Gidrobiol. Zh.*, 1981, vol. 17, no. 2, pp. 103–105.
- Shuntov, V.P.**, *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016, vol. 2.
- Biggs, E.D. and Funk, F.**, Pacific herring spawning ground surveys for Prince William Sound, 1988 with historic overvie, *Regional information report № 2C88-07*, Anchorage: Alaska Department of Fish and Game, 1988.
- McGowan, D.W., Branch, T.A., Haught S., and Scheuerell M.D.**, Multi-decadal shifts in the distribution and timing of Pacific herring (*Clupea pallasii*) spawning in Prince William Sound, Alaska, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2021, vol. 78, pp. 1611–1627. doi 10.1139/cjfas-2021-0047
- Saškov, A., Šiaulyš, A., Bučas, M., and Daunys, D.**, Baltic herring (*Clupea harengus membras*) spawning grounds on the Lithuanian coast: current status and shaping factors, *Oceanologia*, 2014, vol. 56, no. 4, pp. 789–804. doi 10.5697/oc.56-4.789

Поступила в редакцию 20.12.2022 г.

После доработки 3.03.2023 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

*The article was submitted 20.12.2022; approved after reviewing 3.03.2023;
accepted for publication 3.03.2023*