

ISSN 1606-9919

ИЗВЕСТИЯ ТИНРО

2022

Научный журнал
IZVESTIYA TINRO

Том 202, вып. 1

Год основания 1928



Федеральное агентство по рыболовству
(Росрыболовство)

ИЗВЕСТИЯ ТИНРО

2022

Научный журнал

Том 202, вып. 1

IZVESTIYA TINRO

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

Главный редактор: д-р биол. наук, проф. Шунтов Вячеслав Петрович

Импакт-фактор РИНЦ: 0,597

Периодичность: 4 раза в год

Включен в Перечень ВАК как издание, имеющее переводную версию, которая входит в международные базы данных и системы цитирования (CA(pt), Scopus, Springer, WoS)

Журнал «Известия ТИНРО» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций — свидетельство ПИ № ФС77-73773 от 21 сентября 2018 г.



Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО»
(«ТИНРО»)

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>

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

Редакционная коллегия:

- А.А. Байталюк, канд. биол. наук, заместитель директора — руководитель ТИНРО
В.Н. Акулин, канд. биол. наук, главный специалист, ТИНРО
Р.Дж. Бимиш, д-р биол. наук, почетный научный сотрудник Департамента рыболовства и океанов, Канада
О.Р. Вальенте Моранте, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, старший преподаватель Южного университета Перу
И.В. Волвенко, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, ТИНРО
А.Ф. Волков, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, ТИНРО
Дэлинь Дуан, д-р биол. наук, проф. Океанологического института экспериментальной морской биологии, Китайская академия наук
Е.П. Дулепова, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, ТИНРО
В.Н. Иванов, 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 ФГБУН «ТОИ ДВО РАН»
О.Я. Мезенова, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ФГБОУ ВПО «КГТУ»
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 Канава, Япония
А.М. Орлов, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН; главный научный сотрудник, ФГБНУ «ВНИРО», 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. Рикашеви, д-р геогр. наук, эколог Национального управления 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
В.П. Шунтов, д-р биол. наук, проф., главный научный сотрудник, ТИНРО
Н.С. Самойлова, начальник отдела издательства, ТИНРО — *ответственный секретарь*

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
BIOLOGICAL RESOURCES**

Научная статья

УДК 574.58(265.51)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-3-33

**МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА КОРМОВОЙ БАЗЫ
И ПИЩЕВОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ НЕКТОНА
ВЕРХНЕЙ ЭПИПЕЛАГИАЛИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ.
СООБЩЕНИЕ 1. СОСТАВ И ОБИЛИЕ ЗООПЛАНКТОНА
И МЕЛКОРАЗМЕРНОГО НЕКТОНА****С.В. Найденко, А.А. Сомов, Н.А. Кузнецова, М.А. Шебанова***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Представлена обновленная концепция состояния, динамики и продукции планктонных сообществ верхней эпипелагиали западной части Берингова моря. На основе данных, собранных летом и осенью 1986–2020 гг., показано, что в сезонной динамике разница между летними и осенними показателями удельной биомассы зоопланктона в слое эпипелагиали 0–50 м глубоководных котловин и наваринского района составляет 1,3–2,1 раза, а в слое 0–200 м — 1,1–1,8 раза. Изменение общей биомассы зоопланктона от раннего лета к осени происходит главным образом за счет значительного снижения обилия копепод и хетогнат, на фоне которого отмечается повышение обилия эвфаузиид и амфипод, которое не компенсирует осеннее уменьшение биомассы первых двух массовых групп зоопланктона. Межгодовые изменения обилия зоопланктона в летний и осенний периоды в исследуемых районах составили 2–3 раза в слое 0–50 м и 4–5 раз в слое 0–200 м. В некоторые годы с аномальными климатическими изменениями отмечали увеличение или снижение биомассы зоопланктонных видов, принадлежащих к разным экологическим (тепловодным или холодноводным) группировкам. Однако зависимость развития и обилия зоопланктона от термических условий отмечалась не во всех случаях, что говорит о многофакторном влиянии среды на биологические процессы и сложной организации планктонных сообществ. Общие запасы кормовых ресурсов, включающие зоопланктон и мелкоразмерный нектон, для верхнего слоя эпипелагиали всей обследованной акватории летом оцениваются в 41 млн т, а осенью — 24 млн т. Среднемноголетняя величина продукции зоопланктона в этих районах в 50-метровом слое составило летом 101 млн т, а осенью — 67 млн т. Летом в рассматриваемых районах нехищного планктона (фито- и эврифагов) продуцируется больше, чем хищного (зоофагов), за исключением 2009 и 2013 гг., когда отмечается высокая доля зоофагов. Осенью наблюдается превышение продукции зоофагов над продукцией фито- и эврифагов вследствие происходящих сезонных сукцессий в планктонных сообществах эпипелагиали. Полученные данные

* Найденко Светлана Васильевна, кандидат биологических наук, заведующая сектором, svetlana.naydenko@tinro-center.ru; Сомов Алексей Александрович, заведующий сектором, aleksey.somov@tinro-center.ru; Кузнецова Наталья Алексеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, natalya.kuznetsova@tinro-center.ru; Шебанова Марина Анатольевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, marina.shebanova@tinro-center.ru.

о современном состоянии, динамике и продукции планктонных сообществ верхней эпипелагиали глубоководных Командорской и западной части Алеутской котловин и наваринского района свидетельствуют о значительных запасах кормовых планктонных ресурсов для рыб и кальмаров.

Ключевые слова: зоопланктон, нектон, биомасса, продукция, трофические отношения, пищевая обеспеченность, верхняя эпипелагиаль, Берингово море.

Для цитирования: Найденко С.В., Сомов А.А., Кузнецова Н.А., Шебанова М.А. Многолетняя динамика кормовой базы и пищевой обеспеченности нектона верхней эпипелагиали западной части Берингова моря. Сообщение 1. Состав и обилие зоопланктона и мелкоразмерного нектона // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 3–33. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-3-33.

Original article

Long-term dynamics of forage base and food supply for nekton in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea. Part 1. Composition and abundance of zooplankton and small-sized nekton

Svetlana V. Naydenko*, Aleksey A. Somov**, Natalia A. Kuznetsova***,
Marina A. Shebanova****

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

* Ph.D., head of sector, svetlana.naydenko@tinro-center.ru

** head of sector, aleksey.somov@tinro-center.ru

*** Ph.D., leading researcher, natalya.kuznetsova@tinro-center.ru

**** Ph.D., leading researcher, marina.shebanova@tinro-center.ru

Abstract. An updated concept for the state, dynamics, and production of plankton communities in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea is presented based on the time-series for 1986–2020. The zooplankton biomass in summer exceeded the biomass in fall season in 1.3–2.1 times for the layer of 0–50 m and in 1.1–1.8 times for the layer of 0–200 m, mostly because of decreasing abundance of copepods and chaetognaths that was not compensated by slight increase of the euphausiids and amphipods biomass. Interannual variations were higher and reached 2–3 times and 4–5 times, respectively. Abnormal blooming of certain ecological groups of zooplankton (either warm-water or cold-water) occurred in the anomalous years. Species structure of zooplankton community varied in dependence on oceanographic conditions, generally toward higher abundance in warmer environments. In spite of considerable impact of thermal regime, this dependence was not close and even was absent in some cases that indicated a complex organization of zooplankton communities subjected to influence of many environmental factors. Mean total biomass of large-sized zooplankton and micronekton (prey for large-sized nekton) in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea is estimated as $41 \cdot 10^6$ t in summer and $24 \cdot 10^6$ t in fall season, its total production as $101 \cdot 10^6$ t and $67 \cdot 10^6$ t, respectively. In summer, production of non-predatory zooplankton (phyto- and euryphages) prevailed over the predatory zooplankton production, with exception of 2009 and 2013. On the contrary, production of zoophages prevailed in autumn due to successive seasonal changes in the epipelagic plankton communities. These modern data on biomass and production of the zooplankton communities indicate significant reserves of food resources for fish and squids in the deep-water Commander Basin, western part of the Aleutian Basin, and in the area at Cape Navarin.

Keywords: zooplankton, nekton, zooplankton biomass, zooplankton production, trophic relations, food supply, upper epipelagic layer, Bering Sea.

For citation: Naydenko S.V., Somov A.A., Kuznetsova N.A., Shebanova M.A. Long-term dynamics of forage base and food supply for nekton in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea. Part 1. Composition and abundance of zooplankton and small-sized nekton, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 3–33. (In Rus.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-3-33.

Введение

Берингово море — один из важных районов отечественного и мирового рыболовства. Сведения о его высокой рыбопродуктивности приводятся во многих публикациях

[Шунтов, 2001, 2016; Шунтов, Свиридов, 2005; Lauth, 2007; Шунтов, Темных, 2008а, б; Моисеев, 2012; Волвенко, 2015; Датский, 2019]. Однако в 2000–2020 гг. в западной части Берингова моря по сравнению с 1980-ми гг. произошло сокращение, в среднем в 2–3 раза, добычи рыбных ресурсов за счет снижения их запасов [Балыкин, 2006; Шунтов, 2016]. Это может быть следствием естественных флюктуаций численности промысловых объектов, а также различных глобальных и региональных климатических изменений, влияющих на биологические процессы, возрастающего антропогенного пресса и прочих причин. Стала очевидной потребность изучения и дальнейшего мониторинга многофакторных экологических взаимоотношений в сообществах, динамики кормовой базы и пищевой обеспеченности нектонных видов в берингоморских районах для объяснения механизмов динамики численности промысловых объектов и их рационального использования.

Анализ имеющейся литературы показал, что трофическая структура нектонных сообществ верхней эпипелагиали западной части Берингова моря в сезонном и межгодовом аспектах изучена недостаточно полно. Опубликованные в большом количестве литературы данные о запасах зоопланктонных ресурсов приводятся только для эпипелагиали, в то время как для верхнего ее слоя имеются оценки либо для некоторых годов, либо отдельно для холодного и теплого периодов лет [Волков и др., 2004, 2007; Волков, 2015, 2016а, б; Шунтов, Волвенко, 2017; Дулепова, 2018; Горбатенко, 2021]. Современные оценки состояния кормовой базы в 50-метровом слое эпипелагиали, объемов ее потребления и степени использования отсутствуют. Между тем именно верхняя эпипелагаль является слоем преимущественного обитания или нагула многих промысловых видов нектона (включая и его молодь).

В связи с этим целью настоящего исследования является оценка современного состояния кормовой базы, в том числе с учетом продукции массовых зоопланктонных видов, а также анализ ее сезонной и межгодовой динамики.

Материалы и методы

Материалом для статьи послужили данные о составе и обилии планктона и нектона, а также питания нектона, собранные в 22 экспедициях Тихоокеанского филиала ВНИРО (ТИНРО) (до 2019 г. ТИНРО-центр) в западной части Берингова моря в июне–ноябре 2002–2020 гг. Осреднение информации по планктону и нектону проводили по трем стандартным биостатистическим районам (Командорская и западная часть Алеутской котловины и наваринский район), выделенным с учетом общей схемы поверхностной циркуляции вод, рельефа дна и размещения модификаций водных масс (рис. 1, табл. 1) [Шунтов и др., 1988; Волвенко, 1998, 2003].

Для расчета количественных показателей использованы стандартные площади районов [Волвенко, 2003], за исключением тех лет, когда обследовалась площадь, значительно меньшая стандартной величины. В этих случаях все расчеты делали на обследованную площадь.

Для исследования был выбран верхний слой эпипелагиали, имеющий большое значение для обитания и нагула большинства видов рыб и кальмаров, в том числе промысловых. Для этого биотопа собран наиболее значительный объем материалов в связи с проведением целого ряда комплексных экспедиций по учету тихоокеанских лососей.

Планктон облавливали большой сетью Джеди (БСД), площадь входного отверстия 0,1 м², капроновое сито № 49 (ячея 0,15 мм). Во время съемок выполняли тотальные обловы планктона по гидробиологической сетке станций (которая совпадала с сеткой траловых и гидрологических станций) в темное и светлое время суток. Всего было выполнено 1570 планктонных станций (на каждой станции по два облова в слоях эпипелагиали 0–50 и 0–200 м).

Сбор и обработку проб планктона проводили в соответствии с методикой А.Ф. Волкова [1996, 2008б]. При первичной обработке, выполняемой непосредственно в рейсах,

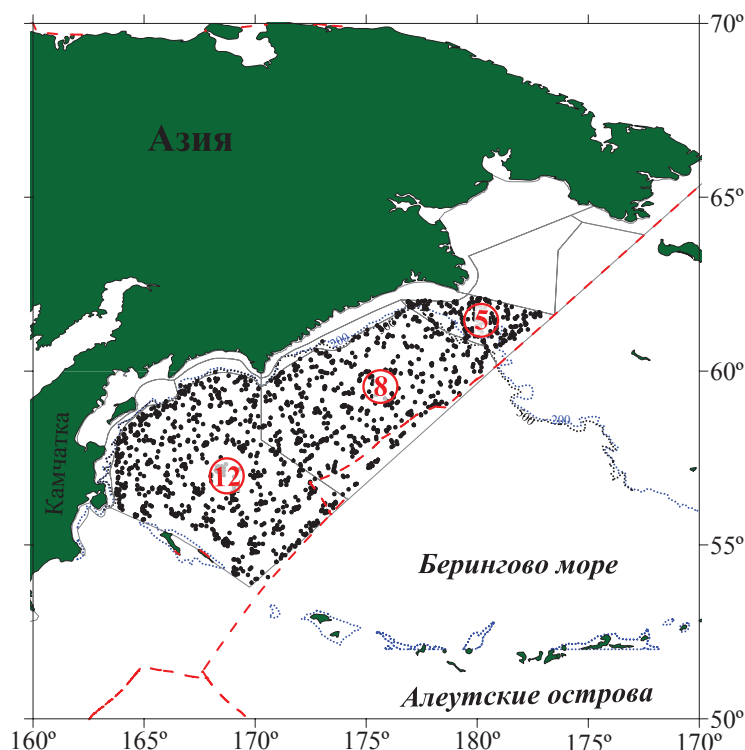


Рис. 1. Схема районов исследований и пространственное распределение учетных станций в июне-ноябре 2002–2020 гг. в западной части Берингова моря. Цифры — номера биостатистических районов; черная линия — границы районов; красная линия — граница ИЭЗ РФ; синяя пунктирная линия — изобата 200 м

Fig. 1. Scheme of research area in the western Bering Sea and samplings location in June–November of 2002–2020 (numbers of biostatistical areas are shown; black line — boundaries between the biostatistical areas; dashed line — 200 m isobath)

каждую пробу гидробионтов делили на 3 фракции — мелкую (МФ), среднюю (СФ) и крупную (КФ) — с размерами тела $< 1,2$, $1,2–3,2$ и $> 3,2$ мм. На первом этапе разбора проб определяли видовую и групповую принадлежность, затем рассчитывали численность и биомассу вида в каждой фракции каждого улова. Для каждого биостатистического района вычисляли среднюю удельную биомассу (на единицу объема и площади — мг/м^3 и т/км^2) и численность вида (группы видов и в целом всех планктеров) с применением поправочных коэффициентов на недолов сети БСД: для мелкой фракции — 1,5; для средней — 2,0; для крупной фракции: 1) эвфаузииды, мизиды и щетинкочелюстные длиной до 10 мм — 3,0, 10–20 мм — 5,0, более 20 мм — 10,0; 2) гиперииды длиной до 5 мм — 1,5, 5–10 мм — 3,0, более 10 мм — 5,0; 3) копеподы длиной до 5 мм — 2,0, более 5 мм — 3,0; 4) полихеты, мелкие медузы, птероподы — 1,0 [Волков, 2008б].

Информация о составе, численности и биомассе видов и групп планктона была внесена в общую базу данных «Сетной зоопланктон» (Пер. № 2016620026 [Volvenko, 2021]) и локальную базу данных «Зоопланктон» лаборатории мониторинга кормовой базы и питания рыб ТИНРО. В настоящей статье для расчета количественных показателей (удельной биомассы и запаса), а также описания межгодовой и сезонной динамики обилия планктона были использованы материалы обеих баз данных и табличного справочника [Сетной зоопланктон..., 2016].

Анализ сезонных изменений в планктонных сообществах проводили для трех периодов: раннелетний — с I декады июня по II декаду июля; летний — с III декады июля по II декаду сентября; осенний — с III декады сентября по октябрь. Эти периоды

Таблица 1

Список судов, сроки выполнения съемок, количество тралений и обследованная площадь в глубоководных районах западной части Берингова моря

Table 1

List of research vessels, dates of surveys, number of trawls, and size of surveyed areas in the deep-water part of the western Bering Sea

Судно	Год/сезон	Дата	Площадь съемки, тыс. км ²		
		Весь район	КК	АК	Н
НИС «ТИНРО»	2002/осень	31.08–10.10	261,79	192,03	35,81
	2003/лето	17.07–16.08	249,46	203,96	37,12
	2003/осень	23.09–18.10	249,46	203,96	37,12
	2004/осень	26.09–22.10	249,46	203,96	37,12
	2005/лето	22.06–16.07	249,46	203,96	37,12
	2006/осень	29.08–04.10	249,46	203,96	37,12
	2007/лето	16.06–16.07	253,65	203,96	21,65
	2007/осень	13.09–24.10	250,07	177,15	37,12
	2008/осень	15.09–13.10	250,07	177,15	37,12
НИС «Проф. Кагановский»	2009/лето	21.06–19.07	250,07	177,15	37,12
	2009/осень	14.09–11.10	249,46	203,96	37,12
	2010/осень	23.09–16.10	249,46	181,63	0
	2011/лето	11.06–01.07	250,07	177,15	37,12
	2012/осень	07.09–01.10	250,07	177,15	38,89
НИС «ТИНРО»	2013/лето	10.06–04.07	249,46	203,96	37,12
	2013/осень	10.09–10.10	249,46	166,72	20,80
НИС «Проф. Леванидов»	2014/осень	03–16.10	219,06	0	0
	2015/лето	13.06–03.07	249,46	166,72	37,12
НИС «ТИНРО»	2017/осень	14–30.09	249,46	32,60	0
НИС «ТИНРО», НИС «Проф. Леванидов»	2018/осень	29.09–11.10	249,46	85,40	0
НИС «ТИНРО», НИС «Проф. Кагановский»	2019/осень	29.09–06.10	249,46	110,0	0
	2020/осень	24.09–04.10	265,0	154,0	0

Примечание. КК — Командорская котловина; АК — Алеутская котловина; Н — наваринский район.

были выделены на основании расчетов подекадного обилия массовых видов нектона в зависимости от сроков их миграций [Сомов, 2017]. Конечной задачей исследования является оценка условий нагула нектона, поэтому изменчивость состава и количества планктона проанализировали для этих выделенных периодов, так как информационная обеспеченность планктонными ловами в течение лета и осени позволила такой анализ сделать.

Для анализа изменений, происходящих в трофической структуре планктонных сообществ, были выделены три функциональные группы: преимущественно фитофаги, преимущественно зоофаги и эврифаги, объединяющие в своем составе виды с определенной трофической принадлежностью, характеристики которых можно считать сходными. Трофическую принадлежность гидробионтов устанавливали на основании обширных сведений о составе пищевых рационов и данных о морфологии и специализации ротового аппарата животных из многочисленных опубликованных источников (в том числе и иностранных), обзор которых приводится в ряде сводных работ [Пономарева, 1990; Долганова, 2001; Дулепова, 2002; Горбатенко, 2018]. Для каждой трофической группировки были рассчитаны удельная биомасса, запас и продукция.

Продукция зоопланктона для летнего и осеннего сезонов оценивалась на основе данных об удельной биомассе зоопланктонных видов, полученных во время проведе-

ния морских исследований, и опубликованной информации об их суточной удельной продукции [Дулепова, 2002, 2016; Coyle, Pinchuk, 2003; Шебанова, 2007, 2016, 2020; Шебанова, Чучукало, 2009; Шебанова и др., 2010, 2011, 2012, 2014; Горбатенко, 2021; и мн. др.]. Сезонная продукция вычислялась произведением суточной продукции на 90 сут.

Результаты и их обсуждение

Основу общего запаса кормовой базы пелагического нектона формируют крупно-размерный зоопланктон, многочисленная молодь и мелкоразмерные виды рыб и кальмаров. Разные виды зоопланктона и нектона различаются по эколого-биологическим характеристикам, динамике численности, особенностям распределения, развития и обилия в зависимости от региональных условий обитания.

Берингово море, расположенное в области субарктической структуры вод, характеризуется довольно суровыми климатическими условиями, которые по степени выраженности различаются в западной глубоководной и восточной мелководной его частях. Общее циклоническое движение вод (сформированное течениями Атту, Центрально-Берингоморским и Камчатским) над глубоководной частью моря, наличие антициклонической циркуляции (образуемой теплым Наваринским течением) в северо-западной части, интенсивность водообмена с Тихим океаном и сток в Северный Ледовитый океан определяют особые условия циркуляции вод и обеспечивают распределение и перенос из районов воспроизводства некоторых видов планктона. Весь этот комплекс физико-географических и климато-океанологических характеристик определяет особенности состава и динамику обилия планктонных сообществ данного региона.

По составу и количественному соотношению видов и групп зоопланктона данный водоем заметно отличается от других дальневосточных регионов. Для планктонных сообществ западной части моря характерна более высокая доля щетинкочелюстных в эпипелагиали, в частности по сравнению с охотоморскими и тихоокеанскими глубоководными районами [Шунтов, 2001; Волков, 2008а]. В 2002–2020 гг. среднемноголетняя доля сагитт в общей биомассе крупноразмерного планктона в берингоморских районах изменялась в слое эпипелагиали 0–50 м в диапазоне от 8 до 23 % летом и от 22 до 36 % осенью. В слое 0–200 м доля сагитт была выше — 13–30 % летом и 20–44 % осенью. При этом минимальные значения наблюдались в наваринском районе, а более высокие — в глубоководных котловинах (рис. 2). Для сравнения, в эти же годы в глубоководных прикурильских районах среднемноголетняя доля сагитт была несколько ниже, составив 15 и 24 % биомассы крупной фракции планктона в слоях соответственно 0–50 и 0–200 м [Найденко, Хоружий, 2017].

В отношении другой группы — эвфаузиид — данный регион заметно уступает другим районам, особенно «эвфаузиидному» Охотскому морю. Региональные различия касаются не только обилия, но и состава и соотношения массовых видов этих ракообразных. В Беринговом море преобладают главным образом два вида: *Thysanoessa longipes* и *Th. inermis* [Волков, 2008а; Дулепова, 2016]. В 2000-е гг. в эпипелагиали глубоководных котловин среднемноголетняя доля эвфаузиид в составе крупноразмерного планктона в обоих слоях эпипелагиали составила всего 4 и 8 % соответственно летом и осенью. Но в наваринском районе осенью их доля была значительно выше, достигая 32 % общей биомассы крупной фракции планктона (рис. 2).

Среднемноголетняя доля копепод изменялась в слое эпипелагиали 0–50 м разных районов от 39 до 46 % летом и от 23 до 29 % осенью (рис. 2). В слое 0–200 м осенью также отмечалось снижение доли этих рачков. Количественные показатели этой группы в данном регионе были несколько ниже по сравнению, например, с тихоокеанскими водами Камчатки и Курильских островов, в которых доля веслоногих летом 2004–2018 гг. достигала в среднем 65 и 58 % крупной фракции планктона в слое соответственно 0–50 и 0–200 м [Найденко, Хоружий, 2017].

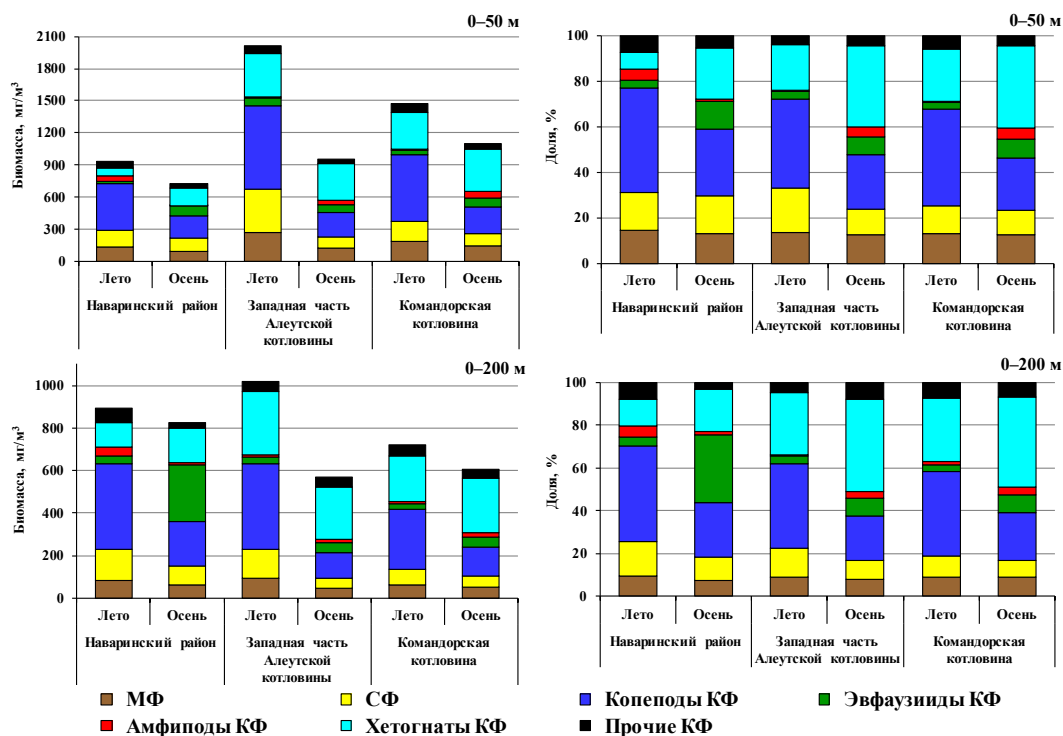


Рис. 2. Динамика биомассы (mg/m^3 , %) разных групп зоопланктона в слоях эпипелагиали 0–50 и 0–200 м западной части Берингова моря летом и осенью в 2002–2020 гг.

Fig. 2. Dynamics of biomass for certain groups of zooplankton within the epipelagic layers of 0–50 and 0–200 m in the western Bering Sea in summer and fall of the 2002–2020, mg/m^3 , %

Несмотря на пониженные по сравнению с другими регионами показатели обилия эвфаузиид и копепод, среднееголетняя совокупная доля этих планктонных групп, а также двух других групп — гипериид и птеропод, имеющих большое значение в питании nekтона, — летом в Командорской и Алеутской котловинах составляла 56 и 65 % общей биомассы зоопланктона. В наваринском районе доля этих групп планктона достигала 82 %. Осенью этот показатель был в этих районах на уровне соответственно 37, 39 и 72 % в соответствии в этих районах.

Сезонная и межгодовая динамика. Сезонные и межгодовые изменения характеристик среды и соответственно состава и обилия планктона в морях высоких широт, куда относится и Берингово море, выражены довольно значительно [Шунтов, 2001]. Сезонная динамика планктонных сообществ в эпипелагиали связана с сезонными сукцессионными процессами, особенностями жизненных циклов и перераспределением отдельных видов и их размерно-возрастных групп по вертикали, а также с естественной смертностью и выеданием хищниками верхних трофических уровней.

Наиболее существенное (в среднем в 1,5–2,0 раза) сезонное снижение общей биомассы зоопланктона характерно для глубоководных районов, особенно для западной части Алеутской котловины. Это обусловлено главным образом изменением обилия копепод в эпипелагиали в течение летне-осеннего периода, в том числе за счет опускания части видов и разных их стадий на глубину, а также их выеданием. Количество эвфаузиид и амфипод и их доля в планктонном сообществе, напротив, от раннего лета к осени возрастают, особенно в верхнем 50-метровом слое воды [Naydenko, Somov, 2019] (рис. 3), что связано с развитием и соматическим ростом этих ракообразных.

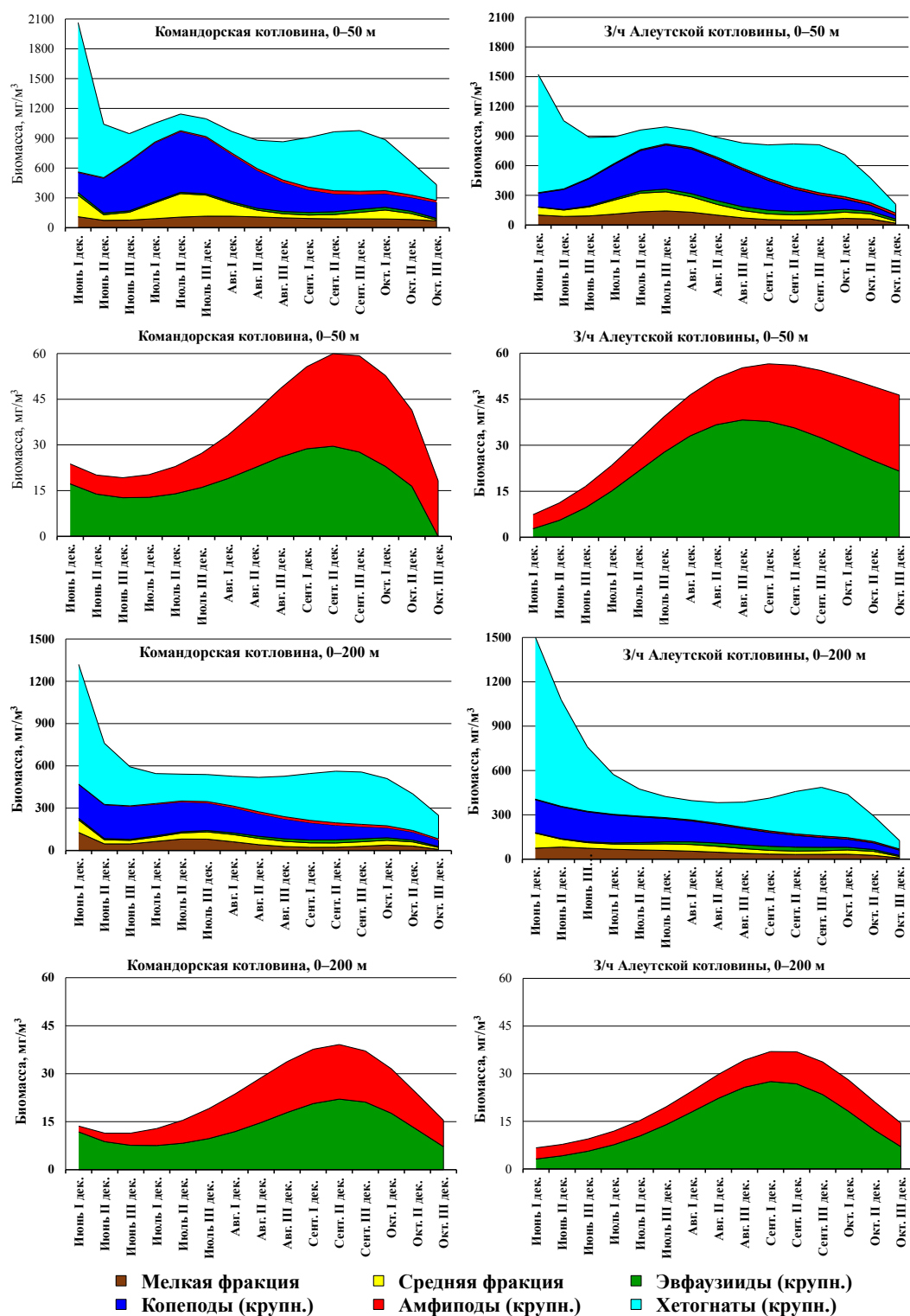


Рис. 3. Сезонная динамика биомассы разных групп зоопланктона в слоях эпипелагиали 0–50 и 0–200 м глубоководных котловин Берингова моря [Naydenko, Somov, 2019]: 3/4 — западная часть

Fig. 3. Seasonal dynamics of biomass (mg/m³) for certain groups of zooplankton within the epipelagic layers of 0–50 and 0–200 m in the deep-water basins of the Bering Sea [Naydenko, Somov, 2019]

В наваринском районе, где кроме сезонных процессов в динамике биомассы эвфаузиид наблюдается их транспорт из смежных районов [Дулепова, 2014; Шунтов, Иванов, 2019], удельная биомасса этих рачков по среднемноголетним данным к осени увеличивается в слое 0–50 м в 4 раза, а в слое 0–200 м — в 7 раз (рис. 2, 3).

Межгодовые колебания биомассы планктона определяются естественной динамикой обилия, а также зависят от совокупности целого ряда абиотических факторов среды обитания, в том числе от общего фона климатических изменений. Для западной части Берингова моря длительный ряд наблюдений по зоопланктону имеется только для эпипелагиали. Эта информация была использована для определения состояния планктонных сообществ в современный период по сравнению с предыдущими. Судя по этим данным, прослеживается общая тенденция повышенной биомассы планктона в 1990-е и 2001–2006 гг., снижения ее в 2007–2013 гг. и повышения начиная с 2014 г. (табл. 2) [Волков, 2016а, б; Шунтов, 2016; Шунтов, Волвенко, 2017]. При этом летом в западной части Алеутской котловины межгодовые вариации обилия планктона менее значительны, чем в Командорской (рис. 4). Но осенью наиболее заметное снижение удельной биомассы планктона в 2007–2013 гг. наблюдалось именно в Алеутской котловине (рис. 5). В наваринском районе межгодовое изменение количества планктона в условиях чередования лет не совсем совпадало с динамикой, отмеченной в глубоководных котловинах. Несмотря на то что в этом районе летом самую низкую биомассу планктона отмечали в 2007 г., среднемноголетний показатель обилия, рассчитанный для 2007–2013 гг., был выше, чем в 2001–2006 гг. (см. рис. 4, табл. 2).

Таблица 2

Биомасса зоопланктона (всех фракций) в эпипелагиали (0–200 м) Берингова моря в разные периоды, мг/м³

Table 2

Biomass of zooplankton (all size fractions) in the epipelagic layer of 0–200 m in the Bering Sea in certain years, mg/m³

Район	1980-е гг.	1990-е гг.	2001–2006 гг.	2007–2013 гг.	2015 г.	Среднее ± SE
<i>Лето</i>						
Командорская котловина	511	1233	843	600	1017	894 ± 105
З/ч Алеутской котловины	915	851	724	777	2520	923 ± 106
Наваринский район	1377	799	677	838	1495	936 ± 124
	1980-е гг.	1990-е гг.	2001–2006 гг.	2007–2013 гг.	2014–2020 гг.	Среднее ± SE
<i>Осень</i>						
Командорская котловина	524	580	662	568	620	601 ± 36
З/ч Алеутской котловины	593	724	711	478	717	638 ± 65
Наваринский район	932	1144	857	698	1106	889 ± 96

Примечание. Здесь и в табл. 3 З/ч — западная часть.

В наваринском районе гораздо более существенные межгодовые колебания биомассы макропланктона, главным образом за счет изменения обилия эвфаузиид, гиперид и некоторых видов копепод, отмечались осенью (рис. 4, 5).

В верхнем слое эпипелагиали глубоководных районов в летний и осенний периоды показатели обилия зоопланктона были пониженными в 2007–2013 гг. по сравнению с другими годами (табл. 3, рис. 6).

В Беринговом море в межгодовой изменчивости условий обитания гидробионтов на фоне устойчивого потепления во всей северной Пацифике отмечается чередование холодных и теплых периодов (а также сходных лет), на которые указывают различные климатические индексы и степень ледовитости моря.

Годы с 1998 по 2001 и 2007–2012 определяются как холодные, 2013 — как переходный, а 2002–2006 и 2014–2018 — как теплые, среди которых аномально теплым был 2018 г. (рис. 7) [Лучин, Соколов, 2007; Хен и др., 2008, 2019; Хен, Сорокин, 2008; Волков, 2012а, б, 2014, 2016а, б; Шунтов, Иванов, 2019]. Последующие 2019 и 2020 гг.

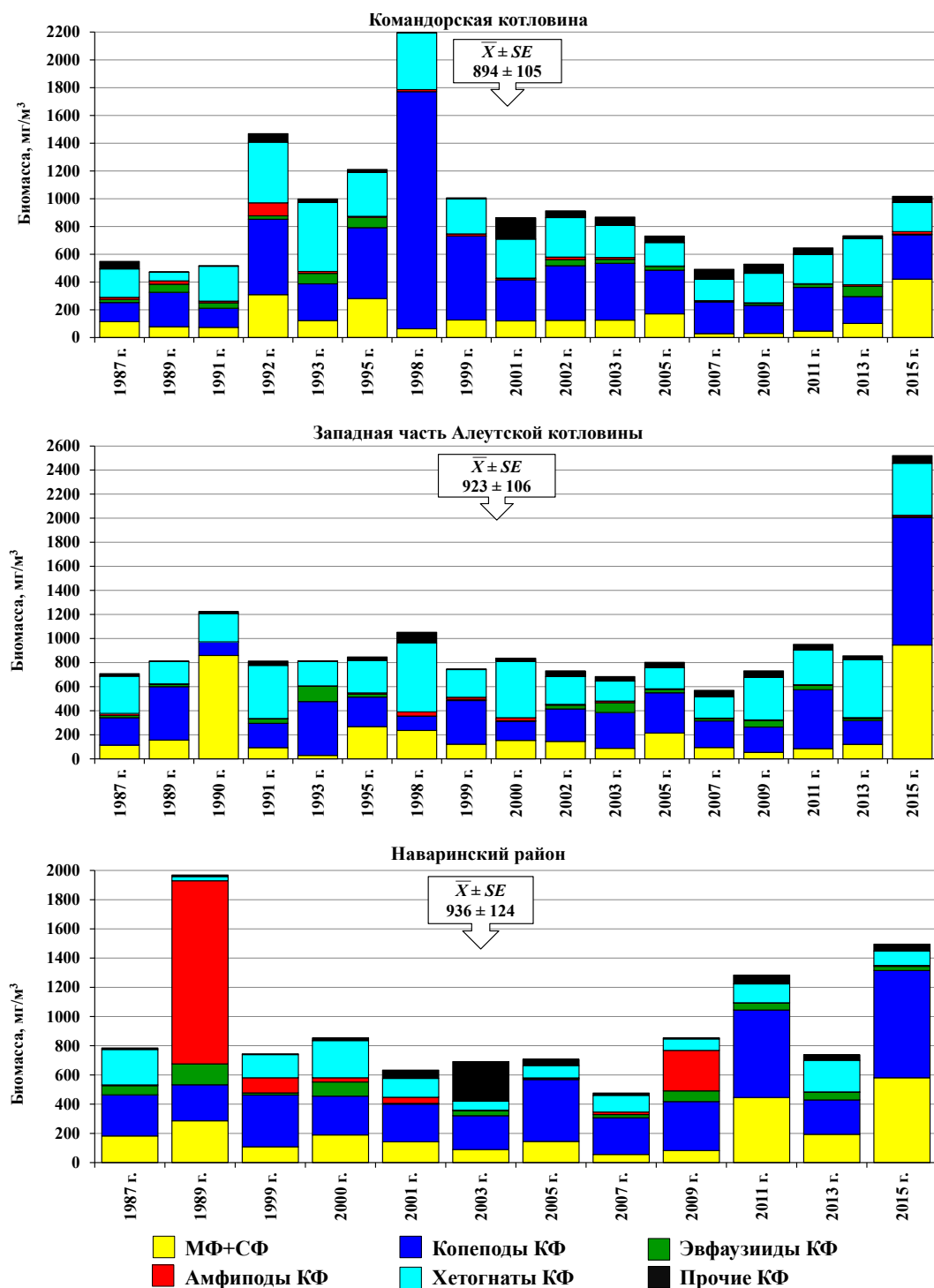


Рис. 4. Межгодовая динамика обилия (мг/м³) разных групп зоопланктона в эпипелагиали (0–200 м) западной части Берингова моря летом: \bar{X} — среднемноголетнее значение; SE — стандартная ошибка среднего

Fig. 4. Interannual dynamics of biomass (mg/m³) for certain groups of zooplankton within the epipelagic layer of 0–200 m in the western Bering Sea in summer: \bar{X} — mean value; SE — standard error of the mean

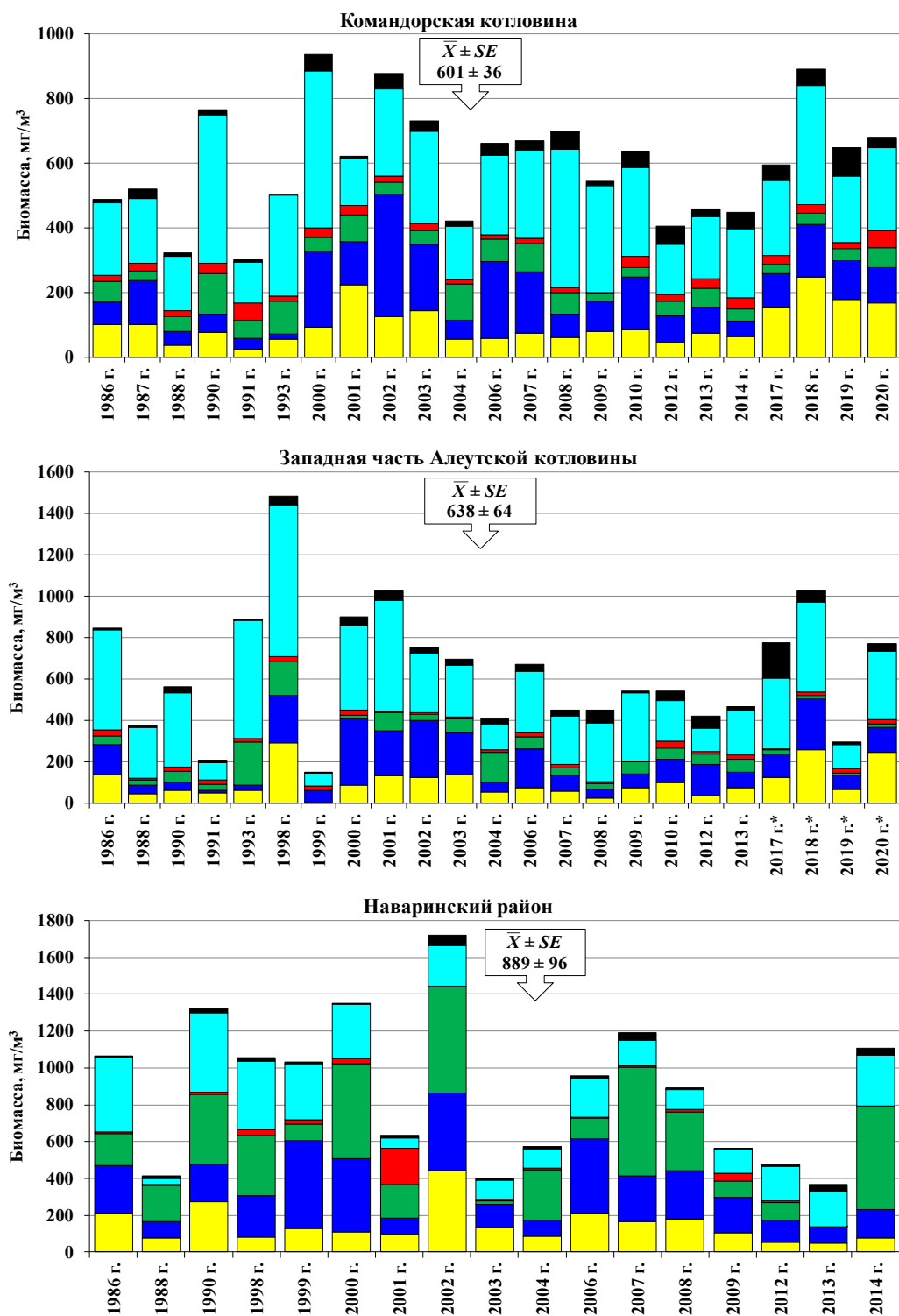


Рис. 5. Межгодовая динамика обилия (мг/м³) разноразмерных групп зоопланктона в эпи-пелагиали (0–200 м) западной части Берингова моря осенью. * В 2017–2020 гг. обследовалась не вся площадь Алеутской котловины. Условные обозначения как на рис. 4

Fig. 5. Interannual dynamics of biomass (mg/m³) for size groups of zooplankton within the epipelagic layer of 0–200 m in the western Bering Sea in autumn. Abbreviations as for Fig. 4 * Aleutian Basin was partially surveyed in 2017–2020

Таблица 3

Биомасса зоопланктона (всех фракций) в верхнем слое эпипелагиали (0–50 м)

Берингова моря в разные периоды, мг/м³

Table 3

Biomass of zooplankton (all size fractions) in the upper epipelagic layer of 0–50 m in the Bering Sea in certain years, mg/m³

Район	2002–2006 гг.	2007–2013 гг.	2014–2020 гг.	Среднее ± SE
<i>Лето</i>				
Командорская котловина	1695	1174	2215*	1471 ± 159
З/ч Алеутской котловины	1753	1243	5634*	2016 ± 616
Наваринский район	606	853	1901*	932 ± 186
<i>Осень</i>				
Командорская котловина	1183	1066	1047	1094 ± 79
З/ч Алеутской котловины	1033	846	1042**	949 ± 75
Наваринский район	690	748	Н/д	722 ± 98

* Данные только 2015 г., так как летом 2016–2020 гг. съемок не проводили.

** В 2017–2020 гг. обследовалась не вся площадь данного района.

характеризуются как среднетеплые, но в 2020 г. отмечались показатели аномалий PDO на уровне показателей холодных лет. От характера и интенсивности климато-океанологических процессов зависит степень обилия разных элементов планктонной фауны в пелагических сообществах дальневосточных морей [Шунтов, 2001].

Анализируя динамику биомассы планктона по выделенным периодам, следует отметить повышение в некоторые годы обилия зоопланктонных видов, принадлежащих к разным экологическим группировкам: тепловодных и холодноводных, особенно в годы с аномальными климатическими показателями. Например, в ряду наблюдений 1998 г. по гидрологическим условиям считается одним из самых холодных. Летом этого года биомасса копепод в слое 0–200 м в Командорской котловине достигла 1708 мг/м³, доминировал вид *Neocalanus cristatus*, самый холодноводный из группы субарктических видов. Повышенные его биомассы отмечались в Командорской котловине также летом 1992 г. и в течение всего периода холодных лет с 1998 по 2001 г. В западной части Алеутской котловины обилие *N. cristatus* в эти годы было ниже, чем в Командорской, но выше по сравнению со смежными теплыми годами, при этом наиболее высокие биомассы отмечались в холодные 2008 и 2012 гг. (рис. 8).

Повышенная удельная биомасса *Eucalanus bungii* — типичного представителя океанической группировки — чаще всего наблюдалась в годы с теплыми термическими условиями. Например, летом 2015 г., когда в Беринговом море после мягкой зимы температура воды на поверхности была выше нормы на 1–2 °С, биомасса *E. bungii* в глубоководных котловинах составляла 216–1686 и 415–908 мг/м³ соответственно в светлое и темное время суток. У умеренно-холодноводного вида *N. plumchrus* строгой зависимости обилия от гидрологических условий не прослеживалось, но его повышенную биомассу отмечали в основном в теплые годы, например летом 1987, 1995 и 2000–2006 гг. В то же время в холодные годы (летом 1999 г. и осенью 2007 и 2011 гг.) также была зафиксирована высокая его биомасса (рис. 8). Вероятно, даже в пределах одного типа лет условия воспроизводства, развития и количественного распределения видов могут различаться. Кроме этого, у планктеров проявляется своя естественная межгодовая изменчивость обилия.

В целом в глубоководных районах в теплые 2002–2006 гг. совокупная среднемноголетняя доля копепод *E. bungii* и *N. plumchrus* среди крупноразмерного планктона составила 32 %, а в холодные 2007–2012 гг. — 13–22 %, в то время как доля холодноводных видов *Metridia pacifica* и *N. cristatus* возрастала в холодный тип лет [Волков, 2012б, 2016а]. В северных районах (куда относится и наваринский район) совокупная доля копепод *E. bungii* и *N. plumchrus*, и кроме них эвфаузиид *Th. inermis* (вида откры-

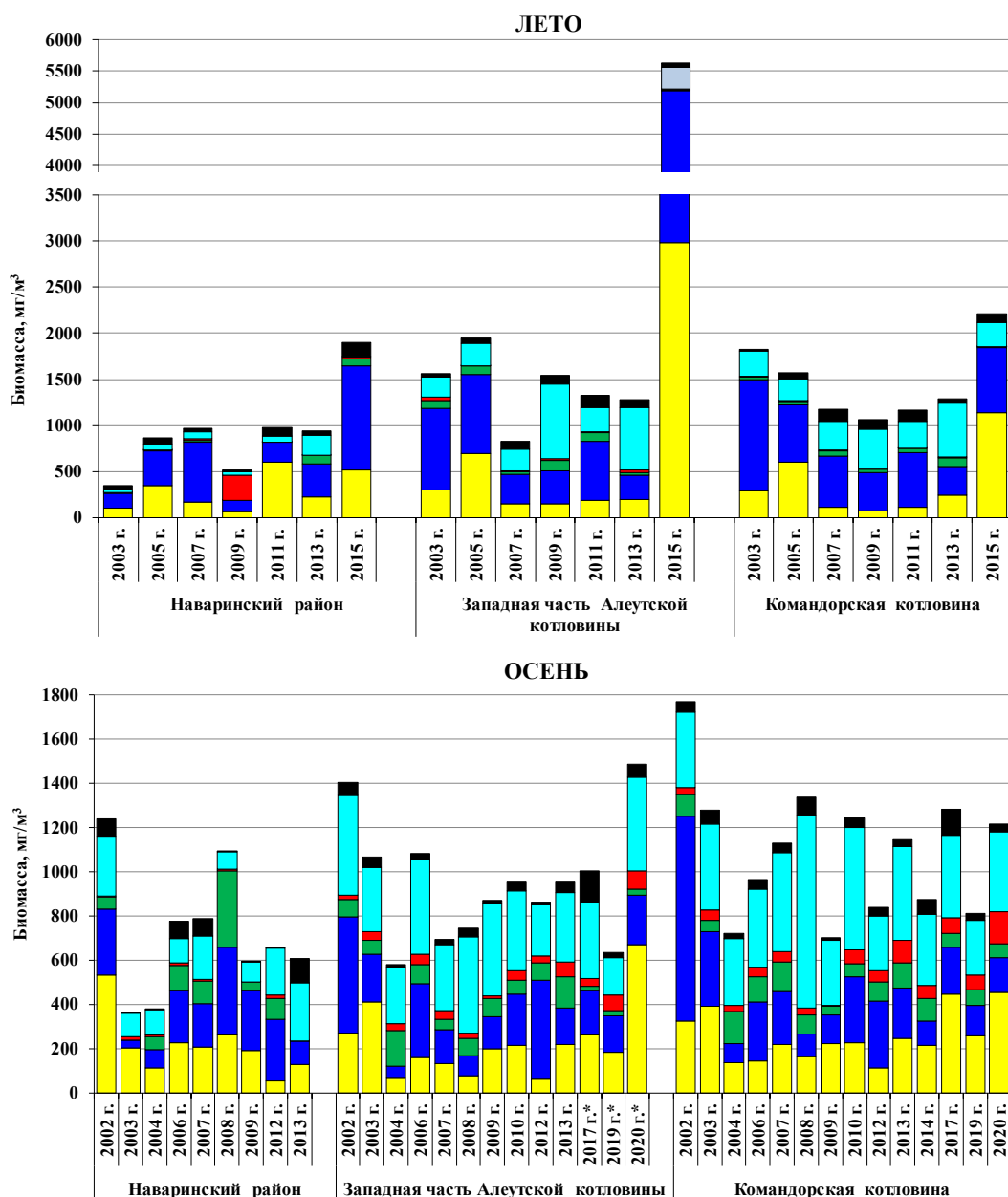


Рис. 6. Межгодовая динамика обилия (мг/м^3) разноразмерных групп зоопланктона в слое эпипелагиали 0–50 м в западной части Берингова моря летом и осенью. * В 2017–2020 гг. обследовалась не вся площадь Алеутской котловины. Условные обозначения как на рис. 4

Fig. 6. Interannual dynamics of biomass (mg/m^3) for size groups of zooplankton within the epipelagic layer of 0–50 m in the western Bering Sea in summer and autumn. Abbreviations as for Fig. 4. * Aleutian Basin was partially surveyed in 2017–2020

тых океанических вод), в теплые годы составила 54 %, в холодные — 31–34 %. Доля холодноводных видов — эвфаузиид *Thysanoessa raschi* (прибрежно-неритического вида) и копепод *M. pacifica* и *N. cristatus* — в холодные годы достигала 14–19 % крупной фракции планктона, а в теплые годы была заметно ниже — 7 % [Волков, 2012а, б]. В теплые годы (с низкой ледовитостью) также отмечалась и более высокая удельная биомасса мелко- и среднеразмерных планктеров. На изменения условий среды виды с

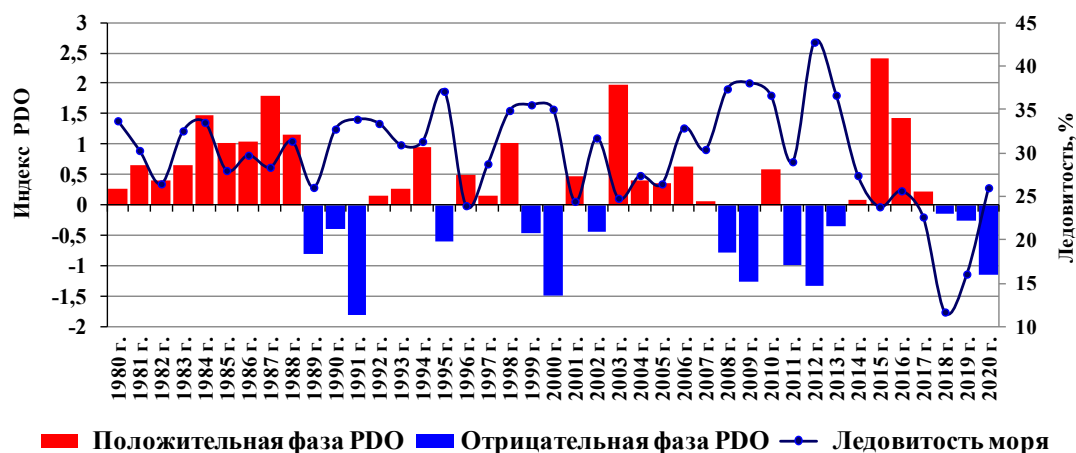


Рис. 7. Межгодовая динамика индекса Тихоокеанского декадного колебания (PDO, зима) и ледовитости Берингова моря (построено по данным сайта Bering Sea Climate Website <https://www.beringclimate.noaa.gov/data/BCresult.php> и по Е.О. Басюку, Ю.И. Зуенко [2019], с дополнениями за 2019, 2020 гг.)

Fig. 7. Interannual dynamics of PDO index for winter (from Bering Sea Climate: <https://www.beringclimate.noaa.gov/data/BCresult.php>) and the Bering Sea ice cover (from: [Basyuk, Zuenko, 2019], with additions for 2019 and 2020)

продолжительностью жизненного цикла около года (короткоцикловые) и ранние стадии (составляющие мелкую и среднюю фракции), обитающие преимущественно в эвипелагиали, реагируют в большей степени, чем виды, живущие больше года [Волков, 2012б].

В восточной части Берингова моря в холодные годы в большинстве случаев также увеличивалась биомасса холодноводных видов планктона (*Calanus marshallae*, *Neocalanus flemingeri*, *N. cristatus*, *Themisto pacifica* и *T. libellula*) [Волков, 2012в; Волков, Кузнецова, 2013]. При этом массовое появление гиперииды *T. libellula*, совпадающее с периодом холодных лет, наблюдали не только в восточной части моря, но и в западной [Волков и др., 2009; Волков, 2012а–в].

В межгодовой динамике обилия щетинкочелюстных, среди которых доминирует длинноцикловый вид *Sagitta elegans*, выделяются периоды повышенной их биомассы и доли в планктоне в 1996–2000 гг. и пониженной — в последующие годы [Дулепова, 2021]. В глубоководных районах высокую долю сагитт (более 50 % общей биомассы планктона) отмечали также летом и осенью 2008–2009 гг., повышенной она была и в 2014 и 2017–2018 гг. (рис. 4–6). На межгодовую изменчивость биомассы этого вида в наибольшей степени оказывает влияние динамика вод, от которой зависит как перенос особей из других акваторий, так и воспроизводство [Дулепова, 2021].

Таким образом, синхронного изменения количественных показателей сразу всех видов планктона в ту или иную сторону в зависимости от типа лет не происходит, что обусловлено неодинаковой реакцией экологически разных видов на климато-океанологические изменения. В берингоморских районах даже в годы, одинаковые по термическим условиям, общая удельная биомасса зоопланктона различалась в 2 раза и более.

В целом полученные в 2002–2020 гг. данные и сравнение их с предыдущими годами подтвердили выводы других исследователей [Волков, 2014, 2016а; Шунтов, 2016] о том, что в структуре планктонных сообществ глубоководных берингоморских котловин и наваринского района каких-либо масштабных и устойчивых изменений в разные по климато-океанологическим условиям периоды лет не произошло.

Трофическая структура планктона. Для анализа структурных изменений, происходящих в планктонном сообществе, были рассчитаны количественные показатели

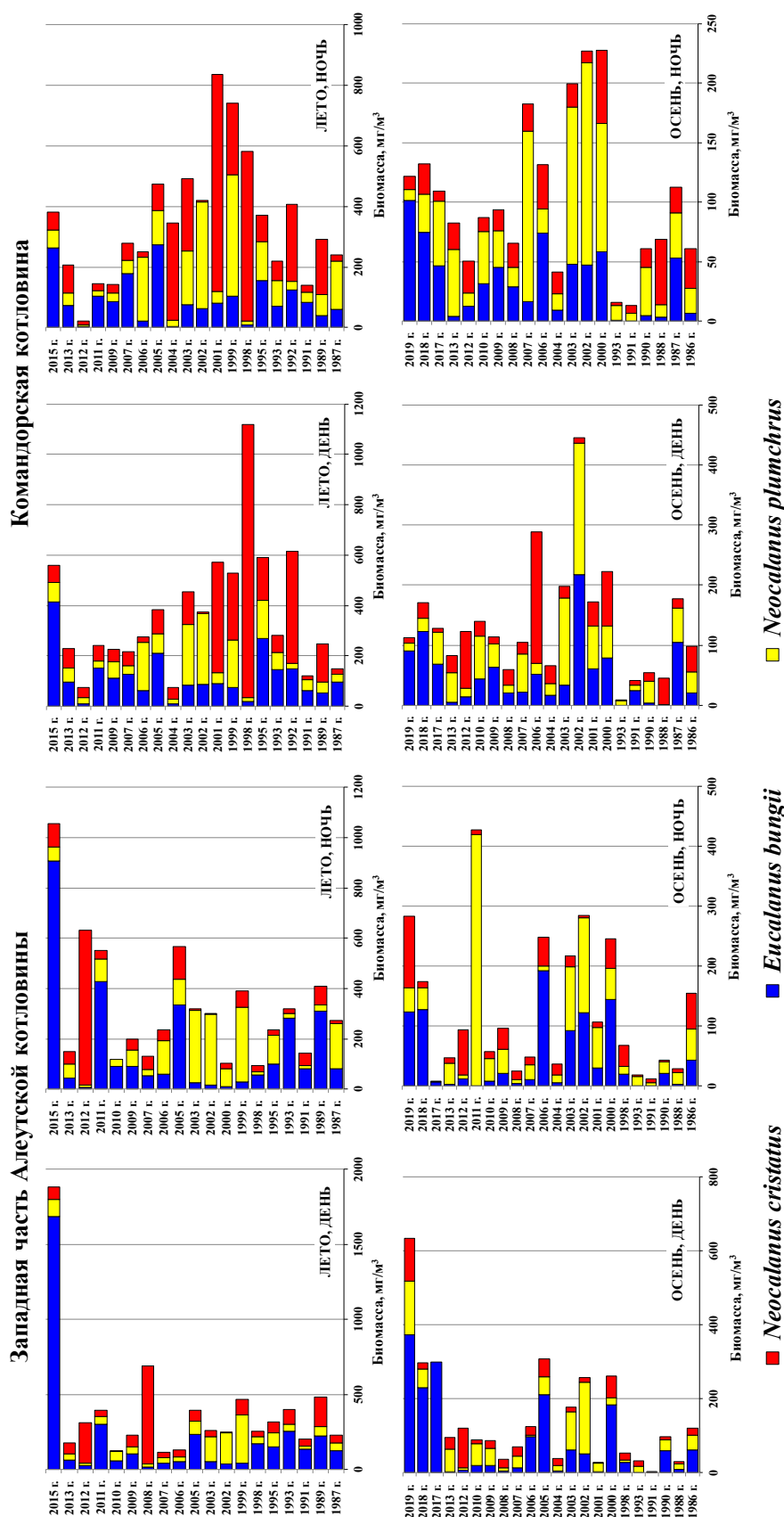


Рис. 8. Межгодовая динамика биомассы наиболее массовых видов копепоид (всех размерных групп) в светлое и темное время суток в эпипелагиали (0–200 м) в западной части Алеутской и Командорской котловинах летом и осенью
 Fig. 8. Interannual dynamics of biomass (mg/m³ in day and night, separately) for the most abundant species of copepods within the epipelagic layer of 0–200 m in the Commander Basin and the western part of the Aleutian Basin in summer and fall

трех функциональных групп планктона: преимущественно фитофаги, преимущественно зоофаги и эврифаги — и проанализирована их сезонная и межгодовая динамика.

Сезонная динамика количественного соотношения трофических группировок характеризуется более высокими показателями обилия фитофагов в летний период по сравнению с осенью, а эврифагов и зоофагов, напротив, в осенний. Динамику биомассы фитофагов определяли главным образом растительноядные копеподы, эврифагов — эвфаузииды и копеподы, а зоофагов — сагитты и в некоторые годы гиперииды и хищные копеподы. Летом среднемноголетняя доля фитофагов в верхней эпипелагиали разных районов составляла 52–68 % биомассы всего планктона (рис. 9).

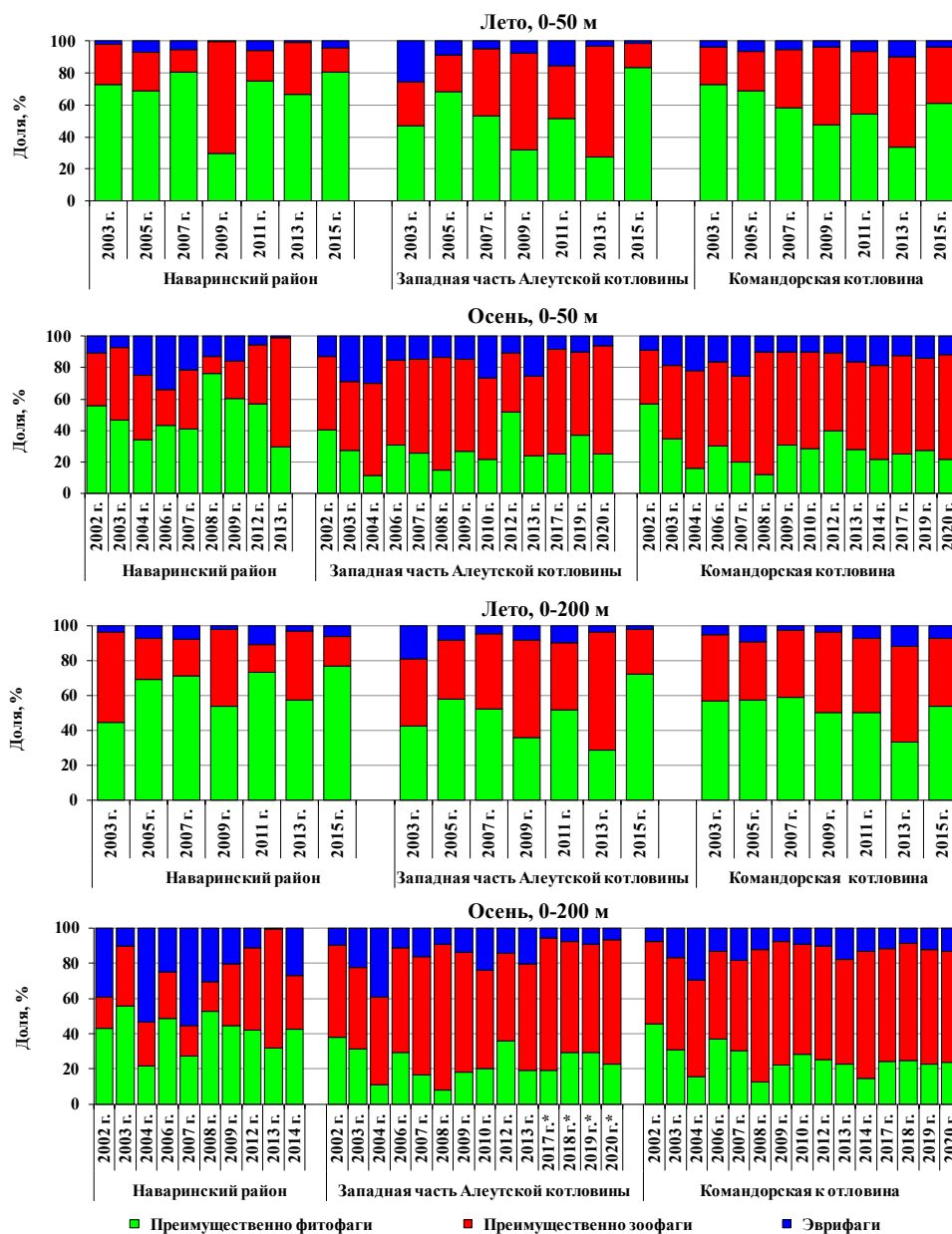


Рис. 9. Межгодовая динамика соотношения трофических группировок зоопланктона в слоях эпипелагиали 0–50 и 0–200 м в глубоководных котловинах и наваринском районе летом и осенью

Fig. 9. Interannual dynamics of the zooplankton trophic groups percentage for the layers of 0–50 and 0–200 m in the deep-water basins and the area at Cape Navarin in summer and fall

Осенью доля этой группировки в планктоне снижается: в глубоководных районах в среднем до 28 % и в наваринском — до 42 %. Это обусловлено изменением обилия копепод, их сезонным вертикальным перераспределением, а также естественной смертностью и выеданием их хищниками различных порядков. Осенние перестройки в трофической структуре связаны также и с увеличением биомассы эврифагов (главным образом за счет обилия и перераспределения разных размерных групп эвфаузиевых рачков по вертикали) и зоофагов (за счет соматического роста и увеличения биомассы сагитт, гипериид и хищных копепод, например *Oithona similis*).

В межгодовой динамике в глубоководных котловинах повышенную биомассу и долю фитофагов в планктоне наблюдали летом 2003, 2005 и 2015 гг., пониженную — в холодный тип лет в 2007–2013 гг. В осенний период обилие фитофагов даже в смежные годы может различаться в 2–3 раза. В этих же пределах летом и осенью изменялось обилие эври- и зоофагов. Увеличение биомассы и доли зоофагов прослеживается летом в 2009, 2013 и 2015 гг. и осенью в 2008 и 2017–2020 гг. Следует отметить, что летом 2015 г. обилие сагитт было ниже, чем в другие годы, тем не менее биомасса зоофагов была повышенной, главным образом за счет копепод *O. similis* и гипериид *T. pacifica*.

Сопоставление продукции хищного (зоофаги) и нехищного (фито- и эврифаги) зоопланктона летом и осенью в верхней эпипелагиали разных районов показало следующее. Несмотря на то что для большинства видов нехищного планктона характерны довольно высокие темпы продуцирования, что позволяет им довольно быстро наращивать свою биомассу и «уравновешивать» биомассу хищного планктона, летом 2009 г. в наваринском районе и в 2009 и 2013 гг. в западной части Алеутской котловины продукция хищного планктона была выше продукции фито- и эврифагов (табл. 4). По данным Е.П. Дулеповой [2014] в рассматриваемых районах величина «реальной» продукции зоопланктона в 2013 г. была отрицательной. Высокая доля хищного планктона в эти годы в определенной степени может отражаться на условиях нагула нектона.

Таблица 4
Продукция трофических группировок зоопланктона в слое эпипелагиали 0–50 м западной части Берингова моря летом, тыс. т

Table 4

Production of zooplankton trophic groups within the layer of 0–50 m in the western Bering Sea in summer, 10³ t

Трофическая группировка	2003 г.	2005 г.	2007 г.	2009 г.	2011 г.	2013 г.	2015 г.
<i>Командорская котловина</i>							
2-й TL фитофаги	69 912	34 022	22 102	18 894	19 201	17 296	36 810
3-й TL эврифаги	3 277	4 773	2 257	1 356	3 117	5 019	3 003
3-й и 4-й TL зоофаги	12 014	9 983	10 675	12 591	11 287	16 526	23 726
Соотношение ($P_{\phi} + P_3$)/ P_3	6,1	3,9	2,3	1,6	2,0	1,4	1,7
<i>Западная часть Алеутской котловины</i>							
2-й TL фитофаги	31 785	34 528	13 739	13 801	14 794	10 880	84 702
3-й TL эврифаги	16 452	6 281	1 101	3 683	7 320	1 237	2 379
3-й и 4-й TL зоофаги	10 506	9 806	7 401	18 679	9 072	17 251	21 696
Соотношение ($P_{\phi} + P_3$)/ P_3	4,6	4,2	2,0	0,9	2,4	0,7	4,0
<i>Наваринский шельф</i>							
2-й TL фитофаги	1 367	3 018	4 603	1 113	4 603	3 924	6 209
3-й TL эврифаги	39	460	216	5	396	49	411
3-й и 4-й TL зоофаги	391	908	602	2 781	750	1 106	1 330
Соотношение ($P_{\phi} + P_3$)/ P_3	3,6	3,8	8,0	0,4	6,7	3,6	5,0

Примечание. TL — трофический уровень; P_{ϕ} — продукция фитофагов; P_3 — продукция эврифагов; P_3 — продукция зоофагов.

Осенью у многих видов зоопланктона (в частности *Th. raschii*, *E. bungii*, *M. pacifica*) темпы продуцирования даже выше, чем летом, но у некоторых массовых видов эвфаузиид и копепод они снижаются [Шебанова, 2007; Шебанова, Чучукало, 2009; Шебанова и др., 2012, 2014; Чучукало и др., 2013]. В то же время среди хищных

планктеров продукция гиперииды *T. pacifica* в осенний период повышается. Кроме этого, как уже отмечалось выше, в течение осеннего сезона происходят перераспределение по вертикали (в том числе миграции на глубину), выедание хищниками и естественная элиминация копепод и эвфаузиид, что также отражается на общем объеме осенней продукции фитофагов и эврифагов. Поэтому в этот период в глубоководных районах продукция хищного зоопланктона в большинстве случаев превышает продукцию нехищного (табл. 5). В наваринском районе за счет обилия эвфаузиид и, вероятно, их транспорта из смежных районов, а также более низкой по сравнению с котловинами биомассы сагитт продукция фито- и эврифагов, наоборот, была выше продукции зоофагов, за исключением 2013 г., когда в планктоне данного района эвфаузииды отсутствовали.

Наблюдаемое осенью почти во все годы исследований превышение продукции зоофагов над продукцией фито- и эврифагов может свидетельствовать о сезонных сукцессиях, происходящих в эпипелагических планктонных сообществах, которые в совокупности с вертикальными суточными миграциями и транспортом планктона из смежных районов определяют соотношение трофических элементов планктонных сообществ.

Запас кормовых ресурсов. Общий запас кормовой базы и соотношение групп в ее составе являются одними из важнейших факторов, определяющих условия нагула, сроки и длительность нагульных миграций рыб и кальмаров. Берингово море по валовому запасу планктона занимает первое место из всех дальневосточных водоемов [Шунтов, 2001; Дулепова, 2002; Волков, 2015; Волвенко, 2017]. Запасы зоопланктона в эпипелагиали глубоководных районов в летне-осенний период для разных периодов лет оцениваются в 66–111 млн т, а в наваринском — в 5–7 млн т [Волков, 2016а, б].

Однако слоем преимущественного обитания и нагула тихоокеанских лососей р. *Oncorhynchus*, молоди минтая *Gadus chalcogrammus*, северного одноперого терпуга *Pleurogrammus monopterygius*, сельди *Clupea pallasii* и других рыб, а также молоди кальмаров является верхняя эпипелагиаль. К поверхности в темное время суток поднимаются и мезопелагические рыбы. Следует отметить, что в водах с холодным промежуточным слоем повышенные концентрации планктона наблюдаются в поверхностной водной массе (50–0 м), а второй пик располагается глубже нижней границы холодной промежуточной водной массы (150–300 м днем и 150–200 м ночью) [Куликов, 1993; Шунтов, 2001; Косенок, Свиридов, 2006]. Поэтому для оценки пищевой обеспеченности эпипелагических видов и групп nekтона первостепенное значение имеет количество кормовых ресурсов именно в верхней эпипелагиали. Но поскольку планктонные ресурсы верхней толщи воды постоянно пополняются за счет суточных вертикальных миграций зоопланктона с нижних слоев эпипелагиали, то для интерпретации некоторых показателей (в частности коэффициентов использования отдельных групп планктона) целесообразно использовать также информацию об обилии планктона во всем слое эпипелагиали.

Запас зоопланктона в верхней эпипелагиали в глубоководных котловинах западной части моря для лета оценен в 39 млн т, а в осенний период он снижался в среднем в 1,7 раза. В наваринском районе среднееголетний показатель летом и осенью составил соответственно 1,7 и 1,3 млн т (табл. 6, 7). Рассчитанный среднееголетний (для 2002–2020 гг.) запас зоопланктона во всем слое эпипелагиали глубоководной западной части моря летом и осенью оценен в 76,9 и 55,4 млн т, а в наваринском районе — 5,1 и 4,8 млн т в эти сезоны.

Показатель обилия зоопланктонных кормовых ресурсов, рассчитанный на единицу площади всех трех районов, летом в слоях воды 0–50 и 0–200 м составил соответственно 83 и 179 т/км², а осенью — 51 и 122 т/км². Оценки, полученные для Берингова моря, оказались того же порядка, что и в тихоокеанских водах Камчатки и Курильских островов, где среднееголетняя биомасса зоопланктона летом составила 87 и 169 т/км² в слоях эпипелагиали 0–50 и 0–200 м.

Таблица 5
Продукция трофических группировок зоопланктона в слое эпипелагиали 0–50 м западной части Берингова моря осенью в 2002–2020 гг., тыс. т
Table 5
Production of zooplankton trophic groups within the layer of 0–200 m in the western Bering Sea in summer of 2002–2020, 10³ t

Трофическая группировка	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2017 г.	2019 г.	2020 г.
<i>Командорская котловина</i>														
2-й ТЛ фитофаги	51 453	19 656	5 225	13 595	9 425	5 905	8 408	15 606	17 172	15 198	7 597	12 117	8 609	9 162
3-й ТЛ эврифаги	7 522	13 317	5 631	5 407	15 166	4 640	2 861	5 823	2 868	8 387	7 081	7 523	3 904	6 722
3-й и 4-й ТЛ зоофаги	15 415	15 868	12 389	15 291	17 529	26 223	10 606	20 600	11 718	20 713	15 732	26 221	15 897	24 431
Соотношение (Р _ф + Р ₃)/Р ₃	3,8	2,1	0,9	1,2	1,4	0,4	1,1	1,0	1,7	1,1	0,9	0,7	0,8	0,7
<i>Западная часть Алеутской котловины</i>														
2-й ТЛ фитофаги	23 971	10 196	2 506	12 448	6 415	3 862	8 686	8 117	19 503	8 749	Н/д	1 178	3 897	8 088
3-й ТЛ эврифаги	7 719	14 708	4 988	5 114	3 957	3 131	3 919	11 891	2 964	9 183	Н/д	516	1 441	2 968
3-й и 4-й ТЛ зоофаги	13 141	10 223	7 941	14 585	9 960	11 080	10 229	10 967	7 655	11 575	Н/д	2 470	4 994	17 621
Соотношение (Р _ф + Р ₃)/Р ₃	2,4	2,4	0,9	1,2	1,0	0,6	1,2	1,8	2,9	1,5	Н/д	0,7	1,1	0,6
<i>Наваринский шельф</i>														
2-й ТЛ фитофаги	3 113	658	775	1 862	1 650	4 745	1 971	Н/д	2 393	1 155	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д
3-й ТЛ эврифаги	1 109	208	467	1 330	1 184	537	517	Н/д	159	17	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д
3-й и 4-й ТЛ зоофаги	1 411	601	639	716	1 017	425	476	Н/д	941	1 442	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д
Соотношение (Р _ф + Р ₃)/Р ₃	3,0	1,4	1,9	4,5	2,8	12,4	5,2	Н/д	2,7	0,8	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д

Примечание. ТЛ — трофический уровень; Р_ф — продукция фитофагов; Р₃ — продукция эврифагов; Р₃ — продукция зоофагов; н/д — нет данных.

Таблица 6

Запас зоопланктона в верхнем слое (0–50 м) эпипелагиали разных районов западной части Берингова моря летом в 2003–2015 гг., тыс. т

Table 6

Stock of zooplankton in the upper epipelagic layer of 0–50 m in the western Bering Sea in summer of 2003–2015, by areas, 10³ t

Состав	2003 г.	2005 г.	2007 г.	2009 г.	2011 г.	2013 г.	2015 г.	Среднее
<i>Командорская котловина</i>								
МФ + СФ	3 610	7 550	1 448	979	1 409	3 022	14 143	4 595
Копеподы КФ	15 016	7 660	6 911	5 115	7 364	3 873	8 828	7 824
Эвфаузииды КФ	362	540	667	412	575	1 153	125	548
Амфиподы КФ	167	77	59	66	66	150	75	94
Сагитты КФ	3 350	2 906	3 958	5 340	3 580	7 256	3 194	4 226
Прочие КФ	232	818	1 598	1 392	1 567	604	1 259	1 067
Весь зоопланктон	22 737	19 551	14 641	13 304	14 561	16 057	27 624	18 354
<i>Западная часть Алеутской котловины</i>								
МФ + СФ	3 033	7 135	1 569	1 572	1 881	2 043	30 457	6 813
Копеподы КФ	9 048	8 710	3 194	3 635	6 537	2 651	22 402	8 025
Эвфаузииды КФ	867	926	328	1 126	1 004	316	119	670
Амфиподы КФ	357	63	51	145	79	287	165	164
Сагитты КФ	2 193	2 479	2 427	8 300	2 707	6 930	3 619	4 094
Прочие КФ	383	556	851	911	1 341	844	687	796
Весь зоопланктон	15 881	19 869	8 420	15 688	13 547	13 070	57 450	20 561
<i>Наваринский район</i>								
МФ + СФ	198	639	307	118	1 110	425	964	537
Копеподы КФ	287	706	1 214	225	407	659	2 086	798
Эвфаузииды КФ	15	15	29	+	1	167	137	52
Амфиподы КФ	2	2	30	504	6	7	43	85
Сагитты КФ	59	116	143	81	118	395	20	133
Прочие КФ	79	131	74	38	177	97	279	125
Весь зоопланктон	640	1 608	1 797	966	1 819	1 749	3 528	1 730
В трех районах, тыс. т	39 259	41 029	24 857	29 958	29 927	30 875	88 602	40 644
т/км²	80	84	51	61	61	63	181	83

Примечание. Здесь и в табл. 7 МФ — мелкая фракция; СФ — средняя фракция; КФ — крупная фракция зоопланктона; среднее — среднемноголетнее значение.

При расчетах степени использования nekтоном кормовой базы за сезон необходимым условием является учет скорости воспроизводства потребляемых групп планктона за этот же отрезок времени. Рассчитанная продукция зоопланктона в верхнем слое эпипелагиали (0–50 м) трех районов изменялась летом от 63 до 180 млн т и осенью от 40 до 125 млн т (рис. 10), а среднемноголетние показатели для этих сезонов составили 101 и 71 млн т. При этом продукция наиболее массовых видов эвфаузиид и копепоид в этом слое оценена летом соответственно в 4 и 72 млн т, а осенью — в 6 и 33 млн т этих видов. При интерпретации коэффициентов использования кормовых ресурсов верхнего слоя эпипелагиали рыбами и кальмарами следует учитывать также и количество зоопланктона в слое 50–200 м, поскольку за счет вертикальных миграций планктона происходит постоянное пополнение его запасов в слое 0–50 м. Среднемноголетняя продукция зоопланктона в слое эпипелагиали на глубине 50–200 м оценивается в 99 и 146 млн т соответственно за лето и осень (рис. 10). Максимальные межгодовые вариации продукции зоопланктона не превышают 3–4 раз.

Кроме зоопланктона, важными объектами питания nekтона являются молодь и мелкоразмерные виды рыб и кальмаров. Сезонный характер изменений общего обилия мелкоразмерного nekтона в разных районах различается (рис. 11), что обусловлено различной экологией, распределением и динамикой биомассы видов, обитающих в данных районах.

Зapas зоопланктона в верхнем слое (0–50 м) эпипелагиали разных районов западной части Берингова моря осенью в 2002–2020 гг., тыс. т

Таблица 7

Table 7

Stock of zooplankton in the upper epipelagic layer of 0–50 m in the western Bering Sea in autumn of 2002–2020, 10³ t

Состав	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2017 г.*	2019 г.*	2020 г.*	Среднее
<i>Командорская котловина</i>															
МФ + СФ	4 055	4 894	1 688	1 780	2 743	2 009	2 773	2 801	1 392	3 040	2 682	5 577	3 240	5 706	3 170
Копеподы КФ	11 538	4 205	1 089	3 333	2 964	1 277	1 617	3 718	3 796	2 881	1 363	891	1 709	1 994	3 104
Эвфаузииды КФ	1 239	645	1 805	1 443	1 645	1 098	474	753	1 066	1 423	1 280	852	871	769	1 091
Амфиподы КФ	377	577	324	509	597	409	56	802	620	1 255	717	1 368	840	1 833	767
Сagitты КФ	4 257	4 852	3 807	4 409	5 579	10 847	3 697	6 909	3 085	5 292	4 036	3 177	3 117	4 550	4 925
Прочие КФ	600	756	299	558	580	1 029	123	541	524	387	844	1 507	382	457	613
Весь зоопланктон	22 065	15 929	9 012	12 031	14 108	16 669	8 740	15 524	10 482	14 278	10 923	16 018	10 159	15 309	13 661
<i>Западная часть Алеутской котловины</i>															
МФ + СФ	2 761	4 204	668	1 612	1 354	776	2 007	2 194	633	2 224	Н/д	427	1 005	2 143	1 843
Копеподы КФ	5 370	2 181	547	3 404	1 561	921	1 485	2 341	4 559	1 694	Н/д	326	909	713	2 406
Эвфаузииды КФ	769	633	1 662	899	450	826	854	666	778	1 446	Н/д	33	133	94	898
Амфиподы КФ	196	403	325	483	419	219	113	441	355	668	Н/д	56	387	258	362
Сagitты КФ	4 642	2 989	2 571	4 371	3 043	4 445	4 265	3 669	2 364	3 199	Н/д	557	935	1 367	3 556
Прочие КФ	591	483	141	250	233	396	157	418	118	486	Н/д	235	122	185	327
Весь зоопланктон	14 329	10 894	5 914	11 020	7 060	7 583	8 880	9 730	8 807	9 718	Н/д	1 634	3 491	4 760	9 393
<i>Наваринский район</i>															
МФ + СФ	988	379	210	416	384	486	351	Н/д	100	235	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	394
Копеподы КФ	556	65	149	444	361	737	509	Н/д	515	196	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	392
Эвфаузииды КФ	97	1	108	206	194	643	70	Н/д	173	0	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	166
Амфиподы КФ	12	24	19	21	14	9	1	Н/д	31	0	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	15
Сagitты КФ	498	195	207	208	362	150	169	Н/д	391	488	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	297
Прочие КФ	152	11	12	145	148	7	3	Н/д	4	209	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	77
Весь зоопланктон	2 303	674	706	1 440	1 464	2 032	1 103	Н/д	1 214	1 129	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	1 341
Всего в трех районах:	38 697	27 497	15 632	24 491	22 632	26 284	18 724	25 254	20 503	25 124	10 923	17 652	13 650	26 764	24 394
тыс. т															
т/км ²	79	56	32	50	46	54	38	56	42	51	44	63	38	66	51

Примечание. Н/д — нет данных, исследования не проводились.

* В 2017–2020 гг. обследовалась не вся площадь Алеутской котловины, соответственно запас зоопланктона рассчитан на обследованную площадь, а среднемноголетние показатели для этого района только для 2002–2013 гг.

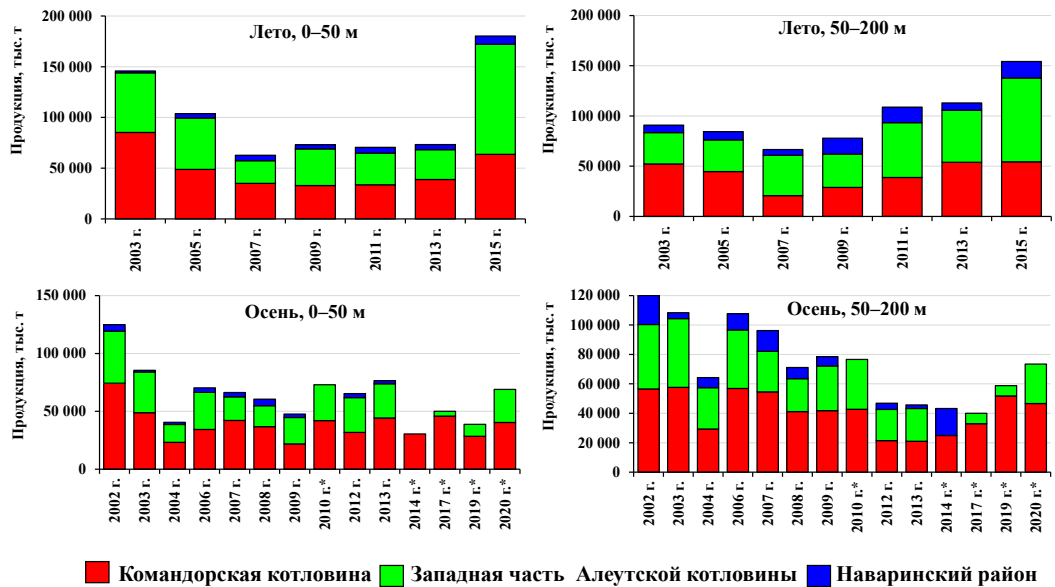


Рис. 10. Межгодовая динамика продукции зоопланктона в слоях эпипелагиали 0–50 и 50–200 м в глубоководных котловинах и наваринском районе летом и осенью 2002–2020 гг. * Обследовалась не вся площадь районов, в 2018 г. исследования проводили только в слое 0–200 м

Fig. 10. Interannual dynamics of zooplankton production in the epipelagic layers of 0–50 and 50–200 m within the deep-water basins and the area at Cape Navarin in summer and autumn of 2002–2020 (0–200 m only in 2018). * The area was partially surveyed

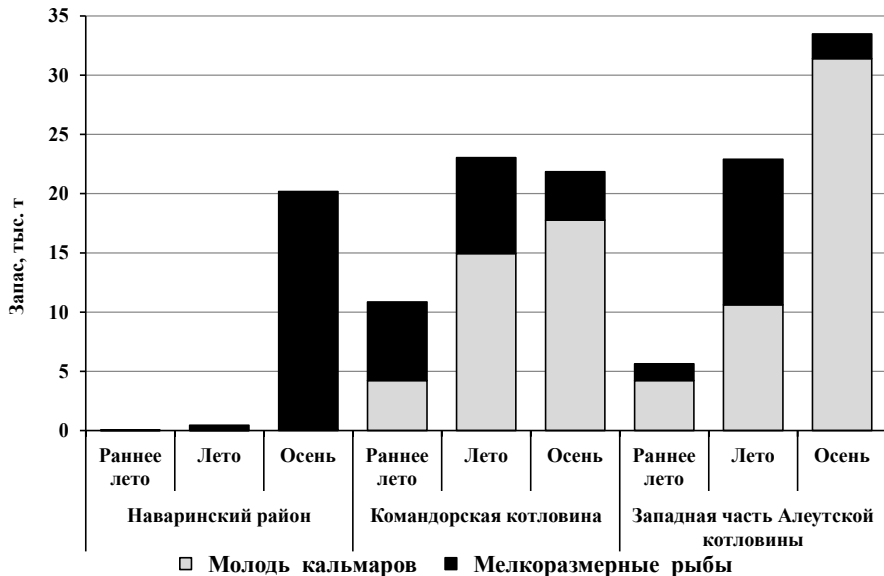


Рис. 11. Сезонная динамика запаса молоди и мелкоразмерных видов nektona в верхней эпипелагиали разных районов западной части Берингова моря в 2002–2020 гг.

Fig. 11. Seasonal dynamics of the stock of juveniles and small-sized species of nekton in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea in the 2002–2020, by areas, 10^3 t

В глубоководных берингоморских котловинах среди мелкоразмерного nektona доминируют главным образом светлоперый стенобрах *Stenobrachius leucopsams*, серебрянка *Leuroglossus schmidtii*, молодь северного одноперого терпуга и молодь кальмаров, а в некоторые годы и трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* [Заволокин, Глебов, 2009]. Молодь северного одноперого терпуга в верхней эпипелагиали глубоководных

районов массово появляется летом [Мельников, Ефимкин, 2003]. По среднемноголетним данным удельная биомасса этого вида с июня к августу-сентябрю увеличивается почти в 30 раз, достигая в Командорской и западной части Алеутской котловины 19,0 и 10,8 кг/км². Обилие колюшки также возрастает осенью, составляя в Командорской котловине 0,99 кг/км² [Naydenko, Somov, 2019].

Среди молоди головоногих моллюсков наиболее многочисленна молодь северного кальмара *Boreoteuthis borealis*. В Командорской котловине ее среднемноголетняя удельная биомасса в раннелетний период оценена в 8,8 кг/км², а в летний и осенний периоды — в 36,4 и 69,3 кг/км². В западной части Алеутской котловины показатели обилия молоди данного вида были выше, составляя 3,1, 43,5 и 131,5 кг/км² соответственно в раннелетний, летний и осенний периоды. Молодь других кальмаров в верхней эпипелагиали в большом количестве появляется летом [Naydenko, Somov, 2019].

В наваринском районе среди мелкоразмерного nekтона наиболее обильны мойва *Mallotus villosus*, песчанка *Ammodytes hexapterus*, молодь минтая и донных рыб. Следует отметить, что в этом районе показатели обилия мелкоразмерных групп и видов рыб выше, чем в глубоководных районах (см. рис. 11). Общий запас мелкоразмерного nekтона (с учетом площади районов) в верхнем слое эпипелагиали Командорской котловины оценен в 23 и 22 тыс. т соответственно летом и осенью, в западной части Алеутской котловины — в 23 и 34 тыс. т, а в наваринском районе — в 0,5 и 20,0 тыс. т в эти сезоны. В сезонной динамике обилие мелкоразмерных рыб и кальмаров от раннего лета (июнь) к осени (сентябрь-октябрь) увеличивается в Командорской и западной части Алеутской котловинах соответственно в 2 и 6 раз, а в наваринском районе значительно (рис. 11).

Общий среднемноголетний запас зоопланктона (без учета продукции) и мелкоразмерного nekтона в верхнем слое эпипелагиали глубоководных котловин и наваринского района летом оценен в 41 млн т, а осенью — в 24 млн т. Однако, несмотря на обилие в беринговоморских районах молоди и мелкоразмерных видов nekтона, первостепенное значение в питании рыб и кальмаров имеет крупноразмерный зоопланктон, главным образом эвфаузииды, копеподы, амфиподы и птероподы, а для некоторых видов nekтона и желетелые. Совокупный запас этих групп составляет почти половину общих запасов планктонных ресурсов — 20 и 10 млн т соответственно летом и осенью.

Заключение

Берингово море является районом промысла многих ценных видов рыб и кальмаров, успешность нагула которых обеспечивается составом, обилием и доступностью кормовых ресурсов, основу которых составляет зоопланктон. В настоящем исследовании по многолетним данным определены сезонная и межгодовая динамика, запас и продукция планктона и мелкоразмерного nekтона верхней эпипелагиали глубоководных Командорской и западной части Алеутской котловин и наваринского района.

В сезонной динамике зоопланктонных ресурсов разница между летними и осенними показателями удельной биомассы в слое эпипелагиали 0–50 м в Командорской и западной части Алеутской котловин, а также наваринского района составила соответственно 1,3, 2,1 и 1,3 раза, а в слое 0–200 м — 1,3 и 1,8 и 1,1 раза. Снижение обусловлено осенним перераспределением копепод и хетогнат по вертикали, их выеданием различными потребителями и естественной элиминацией. На фоне уменьшения биомассы этих групп зоопланктона отмечается увеличение в течение летне-осеннего периода амфипод и гиперид. Их максимальные биомассы наблюдаются в сентябре-октябре, при этом в слое 0–50 м обилие амфипод от раннего лета к осени увеличивается в среднем в 5–6 раз, а эвфаузиид — в 2–6 раз. Наиболее значительное увеличение количества эвфаузиид отмечается в наваринском районе.

Межгодовые изменения обилия зоопланктона в летний и осенний периоды в разных районах составили 2–3 раза в слое 0–50 м и 4–5 раз в слое 0–200 м, за исключением 2015 г., когда в планктоне отмечали значительное количество копепод и раз-

ница в показателях смежных лет была наиболее заметна. В некоторые годы, особенно выделяющиеся по аномалиям климатических показателей (теплые или холодные), наблюдается обилие зоопланктонных видов, принадлежащих к тепловодным или холодноводным группировкам. Но даже в пределах одного типа лет изменчивость в обилии этих видов могла быть существенной, что свидетельствует о динамичности среды обитания планктеров и многофакторном влиянии на их количественное развитие. Непосредственное влияние термических условий на показатели планктонных сообществ особенно сложно выявить в глубоководных районах с высокой динамичностью вод. Тем не менее в западной части моря при смене (по гидрологическим условиям) типов лет наблюдается изменение ранжирования доминирующих видов планктона. При этом повышенная общая биомасса планктона чаще всего отмечается в теплый период лет.

Летом в рассматриваемых районах нехищного планктона (фито- и эврифагов) больше, чем хищного (зоофагов). Однако в некоторые годы, в частности в 2009 г. в наваринском районе, и в 2009 и 2013 гг. в западной части Алеутской котловины, и в летний период наблюдалась высокая доля хищного планктона, что могло отразиться на условиях нагула рыб и кальмаров. Осенью отмечается превышение продукции зоофагов над продукцией фито- и эврифагов вследствие происходящих сезонных сукцессий в планктонных сообществах эпипелагиали.

Общие запасы кормовых ресурсов, включающие зоопланктон и мелкоразмерный нектон, для верхнего слоя эпипелагиали глубоководных котловин и наваринского района летом оценены в 41 млн т, а осенью — в 24 млн т. Рассчитанное среднемноголетнее значение продукции зоопланктона в этих районах в 50-метровом слое составляет летом 101 млн т, а осенью — 64 млн т, из них почти половина — важные в кормовом отношении группы планктона.

Таким образом, данные о состоянии, динамике и продукции планктонных сообществ свидетельствует о значительных запасах кормовых планктонных ресурсов для рыб и кальмаров верхней эпипелагиали глубоководных Командорской и западной части Алеутской котловин и наваринского района. Полученные оценки обилия кормовой базы позволили определить условия нагула и пищевую обеспеченность рыб и кальмаров в рассматриваемых районах в летне-осенний период. Результаты этих исследований представлены во втором сообщении.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают глубокую признательность профессору д.б.н. В.П. Шунтову и д.б.н. А.Ф. Волкову за ценные критические замечания, а также научным сотрудникам ТИНРО, принимавшим участие в сборе и обработке гидробиологической и другой информации, которая использована в настоящей статье.

Authors are deeply grateful to Prof. V.P. Shuntov and Dr. A.F. Volkov for their valuable critical comments and to their colleagues who collected and processed zooplankton and other samples which data were analyzed in this study.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.
The study has 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.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

С.В. Найденко — расчет количественных показателей, анализ результатов и написание статьи; А.А. Сомов — расчет количественных показателей; Н.А. Кузнецова, М.А. Шебанова — обработка планктонных и трофологических проб.

S.V. Naydenko — calculations of quantitative parameters, their analysis and writing of the text; A.A. Somov — calculations of quantitative parameters; N.A. Kuznetsova and M.A. Shebanova — processing of zooplankton and trophic samples.

Список литературы

Балыкин П.А. Состояние и ресурсы рыболовства в западной части Берингова моря : моногр. — М. : ВНИРО, 2006. — 143 с.

Басюк Е.О., Зуенко Ю.И. Берингово море 2018 — экстремально малоледовитый и теплый год // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 198. — С. 119–142. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-119-142.

Волвенко И.В. Информационное обеспечение комплексных исследований водных биоресурсов северо-западной Пацифики. Часть 3. ГИС, атласы, справочники, новые перспективы // Тр. ВНИРО. — 2015. — Т. 157. — С. 100–126.

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

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

Волвенко И.В. Сравнение дальневосточных морей и северной части Тихого океана по интегральным характеристикам сетного зоопланктона эпипелагиали // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 188. — С. 37–53. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-188-37-53.

Волков А.Ф. Интегральные значения биомассы и запаса зоопланктона в эпипелагиали 71 района севера Тихого океана, включая Берингово и Охотское моря, и схемы распределения массовых видов // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 180. — С. 140–160.

Волков А.Ф. О методике взятия проб зоопланктона // Изв. ТИНРО. — 1996. — Т. 119. — С. 306–311.

Волков А.Ф. Результаты исследований зоопланктона Берингова моря по программе «NPAFC» (экспедиция BASIS). Часть 1. Восточные районы // Изв. ТИНРО. — 2012а. — Т. 169. — С. 45–66.

Волков А.Ф. Результаты исследований зоопланктона Берингова моря по программе «NPAFC» (экспедиция BASIS). Часть 2. Западные районы // Изв. ТИНРО. — 2012б. — Т. 170. — С. 151–171.

Волков А.Ф. Массовое появление *Themisto libellula* в северной части Берингова моря: «вторжение» или «вспышка»? // Изв. ТИНРО. — 2012в. — Т. 168. — С. 142–151.

Волков А.Ф. Состояние кормовой базы тихоокеанских лососей в Беринговом море в 2003–2012 гг. (по результатам работ международных экспедиций BASIS-1 и 2) // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 179. — С. 250–271.

Волков А.Ф. Среднегодолетние характеристики зоопланктона Охотского и Берингова морей и СЗТО (межгодовые и сезонные значения биомассы, доминирование) // Изв. ТИНРО. — 2008а. — Т. 152. — С. 253–270.

Волков А.Ф. Методика сбора и обработки планктона и проб по питанию nekтона (пошаговые инструкции) // Изв. ТИНРО. — 2008б. — Т. 154. — С. 405–416.

Волков А.Ф. Элементарная трофология тихоокеанских лососей в Беринговом море. Видовые и региональные отличия. Обеспеченность пищей при различных условиях среды. // Изв. ТИНРО. — 2016а. — Т. 187. — С. 162–186. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-162-186.

Волков А.Ф. Таблицы и графики по трофологии минтая западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2016б. — Т. 185. — С. 175–184.

Волков А.Ф., Ефимкин А.Я., Кузнецова Н.А. Характеристика планктонного сообщества Берингова моря и некоторых районов северной части Тихого океана в период 2002–2006 гг. // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 151. — С. 338–364.

Волков А.Ф., Ефимкин А.Я., Кузнецова Н.А., Слабинский А.М. Характеристика планктонного сообщества Берингова моря в осенний период 2003 г. (результаты работы российско-японско-американской экспедиции по программе «BASIS») // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 139. — С. 282–307.

Волков А.Ф., Кузнецова Н.А. Межгодовая динамика четырех видов копепод крупной фракции и их роль в питании нектона в восточной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 173. — С. 209–222.

Волков А.Ф., Farley E.V., Murphy J.M. Возможна ли стабилизация в планктонном сообществе восточной части Берингова моря? // Бюл. № 4 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2009. — С. 159–166.

Горбатенко К.М. Состав и структура планктонных сообществ Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 1. — С. 158–176. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-158-176.

Горбатенко К.М. Трофодинамика гидробионтов в Охотском море : дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток, 2018. — 468 с.

Датский А.В. Сырьевая база рыболовства и ее использование в российских водах Берингова моря. Сообщение 1. Суммарный прогнозируемый и фактический вылов водных биологических ресурсов за период с 2000 по 2015 г. // Тр. ВНИРО. — 2019. — Т. 175. — С. 130–152.

Долганова Н.Т. Состав, сезонная и межгодовая динамика планктона северо-западной части Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2001. — Т. 128. — С. 810–889.

Дулепова Е.П. Динамика продукционных показателей зоопланктона в северо-западной части Берингова моря в современный период // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 187. — С. 187–196. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-187-196.

Дулепова Е.П. Динамика продукционных показателей зоопланктона как основы кормовой базы нектона в западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 179. — С. 236–249. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-179-236-249.

Дулепова Е.П. Роль *Sagitta elegans* (Chaetognatha) в сообществах зоопланктона западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 2. — С. 425–439. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-425-439.

Дулепова Е.П. Состояние планктонных сообществ и кормовая обеспеченность минтая в северо-западной части Берингова моря в современный период // Тр. ВНИРО. — 2018. — Т. 174. — С. 91–104.

Дулепова Е.П. Сравнительная биопродуктивность макроэкосистем дальневосточных морей : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2002. — 274 с.

Заволокин А.В., Глебов И.И. Обилие мелкоразмерного нектона в западной части Берингова моря по данным траловых учетов и по модельным оценкам // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 156. — С. 95–116.

Косенок Н.С., Свиридов В.В. Питание и вертикальные миграции некоторых массовых видов мезопелагических рыб в Беринговом море осенью 2004 г. // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 146. — С. 67–79.

Куликов А.С. Зоопланктон Берингова моря и его роль в функционировании планктонного сообщества : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 1993. — 24 с.

Лучин В.А., Соколов О.В. Межгодовая изменчивость и возможность прогноза термического состояния деятельного слоя вод Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 151. — С. 312–337.

Мельников И.В., Ефимкин А.Я. Молодь северного одноперого терпуга *Pleurogrammus monopterygius* в эпипелагиали глубоководных районов северной части Тихого океана // Вопр. ихтиол. — 2003. — Т. 43, № 4. — С. 469–482.

Моисеев П.А. Биологические ресурсы Мирового океана : моногр. — М. : ВНИРО, 2012. — 374 с.

Найденко С.В., Хоружий А.А. Трофодинамика нектонных сообществ эпипелагиали северо-западной части Тихого океана в летний и зимний периоды // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 188. — С. 181–203. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-188-181-203.

Пономарева Л.А. Биология эвфаузиид Мирового океана : моногр. — М. : Наука, 1990. — 212 с.

Сетной зоопланктон западной части Берингова моря: таблицы встречаемости, численности и биомассы. 1986–2013 / А.Ф. Волков, И.В. Волвенко ; под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — 1153 с.

Сомов А.А. Сезонная динамика обилия и видового состава нектона верхней эпипелагиали западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 189. — С. 3–24. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-189-3-24.

Хен Г.В., Басюк Е.О., Сорокин Ю.Д. и др. Термические условия на поверхности Берингова и Охотского морей в начале 21-го века на фоне полувековой изменчивости // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 153. — С. 254–263.

Хен Г.В., Сорокин Ю.Д. Сезонные особенности многолетних изменений ТПО в северной части Тихого океана и в отдельных его областях // Вопр. промысл. океанол. — 2008. — Вып. 5, № 1. — С. 164–183.

Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. Изменчивость и взаимосвязь основных климатических индексов для северной части Тихого океана: тренды, климатические сдвиги, корреляции // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 199. — С. 163–178. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-199-163-178.

Чучукало В.И., Шебанова М.А., Дулепова Е.П., Горбатенко К.М. Жизненные циклы, соматическая продукция эвфаузиид в Охотском море // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 173. — С. 164–183.

Шебанова М.А. Продукция некоторых массовых видов копепоид в Охотском море в летне-осенний период // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 148. — С. 221–237.

Шебанова М.А. Продукция основных групп планктона Охотского и Берингова морей в летне-осенний период // Мат-лы 3-й Нац. науч.-техн. конф. «Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации» [электронный ресурс]. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2020. — С. 87–94.

Шебанова М.А. Соматическая продукция и жизненные циклы сагитты *Parasagitta elegans* в Охотском и Беринговом морях // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана : мат-лы 4-й междунар. науч.-техн. конф. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2016. — Ч. 1. — С. 218–222.

Шебанова М.А., Дулепова Е.П., Чучукало В.И. Некоторые черты биологии и продукционные характеристики *Eucalanus bungii* в Охотском и Беринговом морях // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 162. — С. 281–293.

Шебанова М.А., Чучукало В.И. Биология *Calanus glacialis* в дальневосточных морях // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 156. — С. 203–217.

Шебанова М.А., Чучукало В.И., Горбатенко К.М. Жизненные циклы, соматическая продукция гипериид в Охотском и Беринговом морях // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 176. — С. 155–176. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-176-155-176.

Шебанова М.А., Чучукало В.И., Дулепова Е.П. Некоторые черты биологии и продукционные характеристики *Oithona similis* (Copepoda) в Охотском и западной части Берингова морей // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 166. — С. 231–243.

Шебанова М.А., Чучукало В.И., Дулепова Е.П. Некоторые черты биологии и продукционные характеристики *Pseudocalanus newmani* (Copepoda) в Охотском и Беринговом морях // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 170. — С. 172–183.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. — Т. 1. — 580 с.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — Т. 2. — 604 с.

Шунтов В.П., Волвенко И.В. Дополнения к количественным оценкам зоопланктона дальневосточных морей и сопредельных вод Северной Пацифики // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 191. — С. 130–146. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-191-130-146.

Шунтов В.П., Волков А.Ф., Ефимкин А.Я. Состав и современное состояние сообществ рыб пелагиали западной части Берингова моря // Биол. моря. — 1988. — № 2. — С. 56–65.

Шунтов В.П., Иванов О.А. Климатические изменения и современное состояние биоты российских вод дальневосточных морей // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 197. — С. 83–107. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-197-83-107.

Шунтов В.П., Свиридов В.В. Экосистемы Берингова моря на рубеже 20 и 21-го веков // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 142. — С. 3–29.

Шунтов В.П., Темных О.С. Многолетняя динамика биоты макроэкосистем Берингова моря и факторы, ее обуславливающие. Сообщение 1. Ретроспективный анализ и обзор представлений о закономерностях в динамике популяций и сообществ Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2008а. — Т. 155. — С. 3–32.

Шунтов В.П., Темных О.С. Многолетняя динамика биоты макроэкосистем Берингова моря и факторы, ее обуславливающие. Сообщение 2. Современный статус пелагических и донных сообществ Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2008б. — Т. 155. — С. 33–65.

Coyle K.O., Pinchuk A.I. Annual cycle of zooplankton abundance, biomass, and production on the northern Gulf of Alaska shelf, October 1997 through October 2000 // *Fish. Oceanogr.* — 2003. — Vol. 12, Iss. 4–5. — P. 327–338.

Lauth R. Annual eastern Bering Sea bottom trawl survey: ground fish // Alaska Fish. Sci. Center, Quarterly Rep. — Seattle, 2007. — P. 21–23.

Naydenko S.V., Somov A.A. Seasonal trophodynamics of the upper epipelagic nekton community in the western Bering Sea // *J. Ichthyol.* — 2019. — Vol. 59, № 5. — P. 786–804. DOI: 10.1134/S0032945219050096.

Volvenko I.V. A database of net zooplankton of the Far East seas and adjacent Pacific Ocean waters // *Earth Syst. Sci. Data. Discuss.* [preprint]. — 2021. DOI: 10.5194/essd-2021-29.

References

Balykin, P.A., *Sostoyaniye i resursy rybolovstva v zapadnoy chasti Beringova morya* (Status and resources of fisheries in the western part of the Bering Sea), Moscow: VNIRO, 2006.

Basyuk, E.O. and Zuenko, Yu.I., Bering Sea: 2018 as the extreme low-ice and warm year, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 198, pp. 119–142. doi 10.26428/1606-9919-2019-198-119-142

Volvenko, I.V., Dataware support of comprehensive studies of Northwestern Pacific aquatic biological resources. Part 3. GIS, atlases, reference books, further prospects of the concept, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 157, pp. 100–126.

Volvenko, I.V., 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.

Volvenko, I.V., Comparative study of the Far-Eastern Seas and the North Pacific by integral parameters of net zooplankton in the epipelagic layer, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 188, pp. 37–53. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-188-37-53

Volkov, A.F., Integral values of biomass and stock of zooplankton in the epipelagic layer of the area 71 in the North Pacific, including the Bering and Okhotsk Seas, and patterns of distribution for mass species, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 180, pp. 140–160.

Volkov, A.F., Method of zooplankton sampling, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1996, vol. 119, pp. 306–311.

Volkov, A.F., Results of zooplankton research in the Bering Sea under NPAFC program (expedition BASIS). Part 1. Eastern areas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 169, pp. 45–66.

Volkov, A.F., Results of the studies on zooplankton in the Bering Sea under NPAFC program (expedition BASIS). Part 2. Western areas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 170, pp. 151–171.

Volkov, A.F., Mass development of *Themisto libellula* in the northern Bering Sea: invasion or bloom?, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 168, pp. 142–151.

Volkov, A.F., State of forage base for pacific salmon in the Bering Sea in 2003–2012 (by results of surveys of the international expeditions BASIS-1 and 2), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 179, pp. 250–271.

Volkov, A.F., Quantitative parameters of zooplankton communities in the Okhotsk and Bering Seas and North-West Pacific (biomass, composition, dynamics), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 152, pp. 253–270.

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., Elementary trophic ecology of pacific salmon in the Bering Sea. Species and regional differences. Provision with food in different environments, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 187, pp. 162–186. doi 10.26428/1606-9919-2016-187-162-186

Volkov, A.F., Tables and diagrams on trophology of walleye pollock in the western Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 185, pp. 175–184.

Volkov, A.F., Efimkin, A.Ya., and Kuznetsova, N.A., Plankton communities in the Bering Sea and some areas of the North Pacific in 2002–2006, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 151, pp. 338–364.

Volkov, A.F., Efimkin, A.Ya., Kuznetsova, N.A., and Slabinsky, A.M., Description of the Bering Sea plankton population in the autumn of 2003 (the results of the BASIS joint Russian-Japanese-U.S. expedition), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 139, pp. 282–307.

Volkov, A.F. and Kuznetsova, N.A., Year-to-year dynamics of four copepoda species from the large-size fraction and their role in diet of nekton in the eastern Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 173, pp. 209–222.

Volkov, A.F., Farley, E.V., and Murphy, J.M., Is stabilization possible in the plankton community of the eastern part of the Bering Sea?, in *Byull. N 4 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovoï programmy izucheniya tikhookeanskikh lososei"* (Bull. No. 4 Implementation "Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2009, pp. 159–166.

Gorbatenko, K.M., Composition and structure of plankton communities in the Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 1, pp. 158–176. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-158-176

Gorbatenko, K.M., Trophodynamics of aquatic organisms in the Sea of Okhotsk, *Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2018.

Datsky, A.V., The raw material base of fisheries and its use in the Russian waters of the Bering Sea. Message 1. Total projected and actual catch of aquatic biological resources for the period from 2000 to 2015, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 175, pp. 130–152. doi 10.36038/2307-3497-2019-175-130-152

Dolganova, N.T., Composition, seasonal and interannual dynamics of plankton in the north-western part of the Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2001, vol. 128, pp. 810–889.

Dulepova, E.P., Dynamics of zooplankton production parameters in the north-western Bering Sea in the present period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 187, pp. 187–196. doi 10.26428/1606-9919-2016-187-187-196

Dulepova, E.P., Dynamics of production parameters for zooplankton as the main component of forage base for nekton in the western Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 179, pp. 236–249. doi 10.26428/1606-9919-2014-179-236-249

Dulepova, E.P., Role of arrowworm *Sagitta elegans* (Chaetognatha) in plankton communities of the western Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 2, pp. 425–439. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-425-439

Dulepova, E.P., The current state of plankton communities and food availability for walleye pollock in the western Bering Sea, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 174, pp. 91–104.

Dulepova, E.P., *Sravnitel'naya bioproduktivnost' makroekosistem dal'nevostochnykh morei* (Comparative Bioproductivity of Macroecosystems in Far Eastern Seas), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2002.

Zavolokin, A.V. and Glebov, I.I., Small-sized nekton abundance in the western Bering Sea by trawl surveys data and model estimations, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2009, vol. 156, pp. 95–116.

Kosenok, N.S. and Sviridov, V.V., Feeding and vertical migrations of some mass mesopelagic fishes in the Bering Sea in autumn 2004, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 146, pp. 67–79.

Kulikov, A.S., Zooplankton of the Bering Sea and its role in the functioning of the plankton community, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow, 1993.

Luchin, V.A. and Sokolov, O.V., Interannual variability and predictability of the active water layer thermal conditions in the Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 151, pp. 312–337.

Melnikov, I.V. and Efimkin, A.Ya., Juveniles of the northern one-feathered rasp *Pleurogrammus monopterygius* in the epipelagic zone of deepwater regions of the northern part of the Pacific Ocean, *Vopr. Ikhtiol.*, 2003, vol. 43, no. 4, pp. 469–482.

Moiseev, P.A., *Biologicheskkiye resursy Mirovogo okeana* (Biological resources of the World Ocean), Moscow: VNIRO, 2012.

Naydenko, S.V. and Khoruzhiy, A.A., Trophodynamics of nekton communities in the epipelagic layer of the north-west Pacific in summer and winter seasons, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 188, pp. 181–203. doi 10.26428/1606-9919-2017-188-181-203

Ponomareva, L.A., *Biologiya evfauziid Mirovogo okeana* (Biology of euphausiids of the World Ocean), Moscow: Nauka, 1990.

Volkov, A.F. and Volvenko, I.V., *Setnoi zooplankton zapadnoi chasti Beringova morya: tablitsy vstrechaemosti, chislennosti i biomassy. 1986–2013* (Net zooplankton of the Western Part of the Bering Sea: Occurrence, Abundance, and Biomass. 1986–2013), Shuntov, V.P. and Bocharov, L.N., eds., Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016.

Somov, A.A., Seasonal dynamics in abundance and species composition of nekton in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 189, pp. 3–24. doi 10.26428/1606-9919-2017-189-3-24

Khen, G.V., Basyuk, E.O., Sorokin, Yu.D., Ustinova, E.I., and Figurkin, A.L., Surface thermal conditions in the Bering and Okhotsk Seas in the early 21 century against previous semi-centennial changes, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 153, pp. 254–263.

Khen, G.V. and Sorokin, Yu.D., Seasonal features of long-term changes in SST in the northern part of the Pacific Ocean and in its individual regions, *Vopr. Promysl. Okeanol.*, 2008, vol. 5, no. 1, pp. 164–183.

Khen, G.V., Ustinova, E.I., and Sorokin, Yu.D., Variability and interrelation of the basic climate indices for the North Pacific: trends, climate shifts, spectra, correlations, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 199, pp. 163–178. doi 10.26428/1606-9919-2019-199-163-178

Chuchukalo, V.I., Shebanova, M.A., Dulepova, E.P., and Gorbatenko, K.M., Life cycles and somatic production of euphausiids in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 173, pp. 164–183.

Shebanova, M.A., Production of some mass species of Copepoda in the Okhotsk Sea in summer-autumn, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 148, pp. 221–237.

Shebanova, M.A., Production of the main groups of plankton in the Okhotsk and Bering Seas in the summer-autumn period, in *Mater. 3-y Natsional'noi nauchno-tech. conf. "Innovatsionnoe razvitie rybnoi otrasli v kontekste obespecheniya prodovol'stvennoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii"* (Proc. 3rd Natl. Sci. Tech. Conf. "Innovative Development of the Fishery Industry in the Context of Food Security of the Russian Federation"), Vladivostok: Dal'rybvuz, 2020, pp. 87–94.

Shebanova, M.A., Somatic production and life cycles of the Parasagitta elegans sagitta in the Sea of Okhotsk and the Bering Sea, in *Mater. 4 mezhdunar. nauchno-tech. conf. "Aktual'nye problemy osvoeniya biologicheskikh resursov Mirovogo okeana"* (Proc. 4th Int. Sci. Tech. Conf. "The Actual Problems of Development of Biological Resources of the World Ocean"), Vladivostok: Dal'rybvuz, 2016, part 1, pp. 218–222.

Shebanova, M.A., Dulepova, E.P., and Chuchukalo, V.I., Some features of *Eucalanus bungii* biology and its production characteristics in the Okhotsk and Bering Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 162, pp. 281–293.

Shebanova, M.A. and Chuchukalo, V.I., Biology of *Calanus glacialis* in the far-eastern seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2009, vol. 156, pp. 203–217.

Shebanova, M.A., Chuchukalo, V.I., and Gorbatenko, K.M., Life cycles and somatic production of hyperiids in the Okhotsk and Bering Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 176, pp. 155–176. doi 10.26428/1606-9919-2014-176-155-176

Shebanova, M.A., Chuchukalo, V.I., and Dulepova, E.P., Some features of biology and production parameters of *Oithona similis* from the Okhotsk and western Bering Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 166, pp. 231–243.

Shebanova, M.A., Chuchukalo, V.I., and Dulepova, E.P., Some biological features and productive parameters of *Pseudocalanus newmani* (Copepoda) in the Okhotsk and Bering Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 170, pp. 172–183.

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., *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016, vol. 2.

Shuntov, V.P. and Volvenko, I.V., Supplements to quantitative assessments of zooplankton in the Far Eastern Seas and adjacent waters of the North Pacific, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 191, pp. 130–146. doi 10.26428/1606-9919-2017-191-130-146

Shuntov, V.P., Volkov, A.F., and Efimkin, A.Ya., The composition and current state of the pelagic fish community in the western part of the Bering Sea, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1988, vol. 14, no. 2, pp. 56–65.

Shuntov, V.P. and Ivanov, O.A., Climate changes and current state of biota in the Russian waters of the Far-Eastern Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 197, pp. 83–107. doi 10.26428/1606-9919-2019-197-83-107

Shuntov, V.P. and Sviridov, V.V., The Bering Sea Ecosystems at the brink of 20 and 21 Centuries, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 142, pp. 3–29.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., Long-term dynamics of biota in the Bering Sea macroecosystems and its determinant factors. Communication 1. Retrospective analysis and review of conceptions for patters in dynamics of the Bering Sea populations and communities, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 155, pp. 3–32.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., Long-term dynamics of biota in the Bering Sea macroecosystems and its determinant factors. Communication 2. Recent status of pelagic and benthic communities, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 155, pp. 33–65.

Coyle, K.O. and Pinchuk, A.I. Annual cycle of zooplankton abundance, biomass and production on the northern Gulf of Alaska shelf, October 1997 through October 2000, *Fish. Oceanogr.*, 2003, vol. 12, no. 4–5, pp. 327–338.

Lauth, R., Annual eastern Bering Sea bottom trawl survey: ground fish, *Alaska Fish. Sci. Center, Quarterly Rep.*, Seattle, 2007, pp. 21–23.

Naydenko, S.V. and Somov, A.A., Seasonal Trophodynamics of the Upper Epipelagic Nekton Community in the Western Bering Sea, *J. Ichthyol.*, 2019, vol. 59, no. 5, pp. 786–804. doi 10.1134/S0032945219050096

Volvenko, I.V., A database of net zooplankton of the Far East seas and adjacent Pacific Ocean waters, *Earth Syst. Sci. Data Discuss.*, preprint, 2021. doi 10.5194/essd-2021-29

Поступила в редакцию 30.11.2021 г.

После доработки 28.01.2022 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

*The article was submitted 30.11.2021; approved after reviewing 28.01.2022;
accepted for publication 25.02.2022*

Научная статья

УДК 574.58(265.51)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-34-60



**МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА КОРМОВОЙ БАЗЫ
И ПИЩЕВОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ НЕКТОНА ВЕРХНЕЙ
ЭПИПЕЛАГИАЛИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ.
СООБЩЕНИЕ 2. ПИЩЕВАЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ НЕКТОНА**

С.В. Найденко, А.А. Сомов*

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

Аннотация. Рассматривается межгодовая динамика условий нагула нектона в верхней эпипелагиали различных районов западной части Берингова моря летом и осенью 2002–2020 гг. Летом потребление кормовых ресурсов рыб и кальмаров составляет в глубоководных котловинах от 0,01 до 0,10 и в наваринском районе от 0,01 до 0,38 т/км² в сутки. Осенью объемы суточного потребления пищи повышаются, изменяясь в глубоководных районах от 0,03 до 0,14 т/км², а в наваринском от 0,01 до 0,53 т/км². При высокой биомассе нектона и одновременно пониженной биомассе зоопланктона обилие пищи на единицу массы потребителей уменьшается (в глубоководных районах в 2–3 раза), а пресс на планктонные ресурсы, особенно эвфаузиид, гипериид и птерпод, увеличивается. При пониженных показателях пищевой обеспеченности в некоторые годы снижается интенсивность питания лососей, а в составе их рациона повышается доля нектонной и второстепенной пищи (например, сагитт). В то же время увеличение в рационе лососей доли молоди рыб и кальмаров чаще всего происходит при высоком их обилии в верхнем слое эпипелагиали. Коэффициенты корреляции между накормленностью лососей и обилием пищи или их численностью показывают слабую зависимость между этими параметрами. Достоверной связи между условиями нагула осенью в глубоководных котловинах и численностью возвратов производителей на следующий год, в частности горбуши, не обнаруживается. Хорошие возвраты производителей горбуши от высокоурожайных поколений, нагуливающих при разной пищевой обеспеченности, указывают на то, что кормовые условия молоди осенью не являются определяющим фактором снижения численности рыб, вернувшихся на нерест. У других видов нектона в годы с пониженными показателями пищевой обеспеченности заметных изменений в питании не прослеживается. Выедание продукции зоопланктона рыбами и кальмарами за летне-осенний период в глубоководных котловинах в пределах 2–5 % (а при высокой биомассе потребителей и низком обилии планктона в пределах 5–7 %) свидетельствует о невысокой степени использования зоопланктонных ресурсов эпипелагическим нектоном. В наваринском районе среднемноголетнее выедание продукции зоопланктона выше и составляет летом и осенью соответственно 5 и 21 %. В целом в 2002–2020 гг. при различном соотношении кормовой базы и ее потребителей значительных изменений в составе и обилии планктона и нектона не произошло. Сделан вывод,

* Найденко Светлана Васильевна, кандидат биологических наук, заведующая сектором, svetlana.naydenko@tinro-center.ru; Сомов Алексей Александрович, заведующий сектором, aleksey.somov@tinro-center.ru.

что при современном уровне численности рыб и кальмаров запасы кормовых ресурсов являются достаточными для стабильного функционирования nekтонных сообществ различных районов Берингова моря.

Ключевые слова: nekтон, зоопланктон, биомасса, продукция, пищевая обеспеченность, индексы наполнения желудков, верхняя эпипелагиаль, Берингово море.

Для цитирования: Найденко С.В., Сомов А.А. Многолетняя динамика кормовой базы и пищевой обеспеченности nekтона верхней эпипелагиали западной части Берингова моря. Сообщение 2. Пищевая обеспеченность nekтона // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 34–60. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-34-60.

Original article

Long-term dynamics of forage base and food supply for nekton in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea. Part 2. Food supply for nekton

Svetlana V. Naydenko*, Aleksey A. Somov**

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

* Ph.D., head of sector, svetlana.naydenko@tinro-center.ru

** head of sector, aleksey.somov@tinro-center.ru

Abstract. Interannual dynamics of feeding conditions for nekton in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea is considered for the summer and fall seasons of 2002–2020. In the summers, daily consumption by fish and squids ranged from 0.01 to 0.10 t/km² in the deep-water basins and between 0.01–0.38 t/km² in the shelf area at Cape Navarin. In the falls, the consumption increased to 0.03–0.14 t/km² in the deep-water basins, and to 0.01–0.53 t/km² in the Navarin area. Summary in the summer-fall periods, the fish and squids consumed 2–5 % of zooplankton production (up to 5–7 % in some years) in the deep-sea basins that is rather low degree of the zooplankton resources usage. In the Navarin area, the consumption is considerably higher and is estimated as 5 % in summer and 21 % in fall season, on average. In cases of heightened nekton biomass and reduced zooplankton biomass in some years, the grazing pressure on plankton increased, in particular on euphausiids, hyperiids and pteropods, while the intensity of salmon feeding decreased, with extension the portions of nektonic food and other zooplankton groups, as arrowworms, in their diet. On the other hand, the portion of juvenile fish and squids in the salmon diet increased in cases of high abundance of this prey, too. Weak correlation was detected both between the salmon feeding and abundance of their prey and between the salmon feeding and abundance of salmon. The feeding conditions for pink salmon during their offshore migration did not determine the rate of their returns. Strong year-classes of pink salmon had large returns in conditions of either poor or rich food supply in fall season, so the feeding in fall was not important for the pink salmon survival in the ocean in winter. Feeding of other fish and squids species did not change noticeably in the years with reduced food supply. In general, abundance and species composition of plankton and nekton communities were rather stable in the western Bering Sea in the 2000-2010s, and this current state of the ecosystem provides stable functioning of nekton communities both in the deep-water and Navarin areas.

Keywords: nekton, zooplankton, biomass, production, food supply, stomach fullness, upper epipelagic layer, Bering Sea.

For citation: Naydenko S.V., Somov A.A. Long-term dynamics of forage base and food supply for nekton in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea. Part 2. Food supply for nekton, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 34–60. (In Rus.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-34-60.

Введение

При экосистемном подходе к анализу межгодовых изменений структурных характеристик пелагических nekтонных сообществ определяющее значение имеют вопросы питания и обеспеченности кормовыми ресурсами рыб и кальмаров. В Беринговом море в этом направлении исследования ведутся уже давно, и за многолетний период собран

значительный массив данных о составе кормовой базы и обилии ее потребителей, позволяющий судить об условиях нагула рыб и кальмаров. Материалы этих исследований использованы в многочисленных публикациях и обобщены в ряде сводных и диссертационных работ [Шунтов и др., 1993, 2010; Дулепова, 2002, 2014; Чучукало, 2006; Найденко, 2007; Шунтов, Темных, 2008а, б, 2011; Волков, 2009, 2014, 2016а, б; Темных, 2009; Заволокин, 2014; Найденко, Сомов, 2019; и др.].

В последние годы обсуждение темы пищевой обеспеченности усилилось главным образом в связи с высокой численностью тихоокеанских лососей (род *Oncorhynchus*), значительной динамикой биомассы минтая *Gadus chalcogramma* и других видов рыб. При этом в некоторых исследованиях делаются выводы о недостаточности обилия кормовых ресурсов для тихоокеанских лососей, а также о напряженных пищевых отношениях в пределах р. *Oncorhynchus* при высокой численности горбуши [Карпенко и др., 2013]. Другими авторами [Бугаев и др., 2020] при анализе оправдываемости прогнозов вылова тихоокеанских лососей высказываются предположения что в летне-осенний период для молоди лососей могут складываться неблагоприятные кормовые условия в связи с высокой численностью других рыб (трехиглой колюшки и молоди минтая), что негативно отражается на выживаемости и возвратах, в частности производителей горбуши. Дефицит пищи считают основной причиной относительно ранних обратных миграций минтая из северо-западной части моря в юго-восточном направлении [Степаненко, Грицай, 2016, 2018].

Причины разногласий существующих взглядов на одну и ту же проблему кроются, в первую очередь, в качестве исходных данных (либо их отсутствии), а также в сложности и недостаточной изученности некоторых вопросов функционирования пелагических сообществ. Так, представления об ограниченности пищи в морях и океанах для лососей и жесткой конкуренции за нее, получившие распространение еще в 1950–1960-е гг., базируются чаще всего на материалах, собранных в дрейфтерных рейсах, и не могут считаться полноценными. Данные же, полученные при проведении комплексных исследований, не всегда используются в полном объеме. Выводы о дефиците кормовых ресурсов для лососей, минтая и других видов рыб не подкреплены надежными количественными расчетами и делаются чаще всего на основании только косвенных показателей. Для того чтобы получить реальную картину пищевой обеспеченности nekтона, судить об условиях нагула промысловых рыб и обосновывать их прогнозы, нужны количественные оценки о состоянии кормовой базы, объемах выедания и степени ее использования. Только такие данные позволяют подтверждать или опровергать выводы о достаточности кормовой базы рыб и кальмаров в местах их обитания или нагула.

Целью данной статьи является оценка степени использования кормовой базы и пищевой обеспеченности nekтона при различном его обилии в верхнем слое эпипелагиали разных районов Берингова моря в летне-осенний период в 2002–2020 гг.

Материалы и методы

В статье используются материалы 22 комплексных экспедиций, проведенных в западной части Берингова моря в летне-осенний период 2002–2020 гг. и ориентированных на изучение морского и океанического периодов жизни тихоокеанских лососей. Основным слоем преимущественного обитания и питания лососей является верхняя эпипелагиаль, поэтому сбор информации по ним и другим видам nekтона в экспедициях данной направленности осуществлялся в этом слое. Полученная для этого слоя информация не означает, что по ней можно судить о состоянии сообществ всей эпипелагиали, а дает представление о том, какие виды nekтона населяют именно верхний слой эпипелагиали, об их трофических взаимоотношениях, кормовой базе и степени ее использования. Наличие длительного ряда наблюдений позволяет оценить сезонную (в течение летне-осеннего периода) и межгодовую динамику состояния nekтонных сообществ данного биотопа.

Исследования в Командорской котловине, западной части Алеутской котловины и наваринском районе проводились летом в нечетные 2003–2015 гг., а осенью почти ежегодно, за исключением некоторых лет. Для облова nekтона использовался разноглубинный трал РТ 80/396 (среднее вертикальное раскрытие 33,7 м, горизонтальное — 39 м, в кутце вставка с ячеей 10 мм). Всего было выполнено 1098 тралений (с продолжительностью облова 60 мин).

Траловые уловы гидробионтов разбирали по видам. Видовые названия рыб приведены в соответствии с каталогом Эшмайера [<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>], список кальмаров — по CephBase, 2018 [<http://cephbase.eol.org>]. Во время сбора информации в рейсах гидробионтов просчитывали, у рыб измеряли длину по Смитту (АС), взвешивали и проводили полный биологический анализ массовых видов. Относительную численность (n , экз./км²) и биомассу (m , кг/км²) каждого вида для каждой траловой станции находили с учетом протраленной площади [Аксютин, 1968] с применением коэффициентов уловистости [Волвенко, 1998]. Следует отметить, что для мезопелагических видов, совершающих суточные вертикальные миграции и встречающихся в уловах только в ночное время, величины обилия были рассчитаны только по ночным тралениям.

Для оценки состояния кормовой базы nekтона использовали данные об удельной биомассе (на единицу обилия и площади, мг/м³ и т/км²), запасах и продукции зоопланктона, опубликованные в сообщении 1 [Найденко и др., наст. том].

Сбор и обработку проб на питание проводили в рейсах по стандартным методикам, принятым в Тихоокеанском филиале ВНИРО (ТИНРО), бывшем ТИНРО-центре [Руководство..., 1986; Чучукало, 2006; Волков, 2008б]. Интенсивность питания рыб определяли по наполнению желудочно-кишечного тракта в течение суток, для этого рассчитывали общий индекс наполнения как отношение массы всего пищевого комка к массе рыбы (ИНЖ, ‰). Всего было проанализировано 74 тыс. желудков рыб и кальмаров (табл. 1).

Все виды и группы nekтона, встречающиеся в пище рыб и кальмаров, объединены в группу «нектонная пища». К мелкоразмерному nekтону отнесены молодь рыб (минтая, северного одноперого терпуга *Pleurogrammus monopterygius* и др.), мелкие виды рыб (трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus*, светлоперый стенобрахс *Stenobranchius leucopsarus*, дальневосточная серебрянка *Leuroglossus schmidtii*, охотский липолаг *Lipolagus ochotensis* и др.) и мелкие особи кальмаров.

Пищевая обеспеченность гидробионтов определяется совокупностью ряда биотических и абиотических факторов, т.е. зависит от большого набора параметров. Поэтому стандартных методик по оценке условий нагула nekтона в трофологическом направлении не существует, а выбор методов исследований зависит от их информационной обеспеченности [Чучукало, Дулепова, 2002; Чучукало, 2006]. Наиболее широкое применение при оценке обеспеченности пищей находят показатели, основанные на количественных методах анализа: расчеты суточных, сезонных и годовых рационов, соотношения обилия пищи и ее потребителей, доли/степени потребления кормовых ресурсов от их запасов. Например, степень выедания зоопланктонных ресурсов от их запасов рассчитывалась при оценках пищевой обеспеченности пелагическим nekтоном в Охотском море [Горбатенко, 2018], а также различных районах северо-западной части Тихого океана [Шунтов и др., 2010; Найденко, Хоружий, 2014, 2017; Найденко, Сомов, 2019]. Информативным также является коэффициент использования кормовой базы, предложенный М.В. Желтенковой [1955а, б] и представляющий отношение суммарного рациона (в работах данного автора годового) рыб и кальмаров к биомассе кормовых ресурсов. Чем больше данный показатель стремится к единице, тем значительнее пресс nekтона на кормовые ресурсы. Данный коэффициент применялся при анализе использования кормовой базы nekтоном эпипелагиали Охотского и Берингова морей [Чучукало, 2006]. Количественное соотношение между биомассой nekтона и рационом

Таблица 1

Объем трофологического материала, собранного летом и осенью 2002–2020 гг.
в Командорской котловине, западной части Алеутской котловины и наваринском районе.

Table 1

Volume of samples for nekton feeding collected in summer and autumn of the 2002–2020s
in the Commander Basin, western Aleutian Basin, and in the shelf area at Cape Navarin

Год	Горбуша	Кета	Нерка	Прочие виды нектона	Все виды нектона
<i>Лето</i>					
2003	120	1 855	726	962	3 663
2005	972	1 335	433	167	2 907
2007	590	990	342	98	2 020
2009	1 382	1 483	272	105	3 242
2011	1 445	824	159	564	2 992
2013	374	824	233	549	1 980
2015	510	895	158	1 426	2 989
Всего	5 393	8 206	2 323	3 871	19 793
<i>Осень</i>					
2002	246	938	484	1 228	2 896
2003	496	996	787	2 104	4 383
2004	634	1 018	847	1 769	4 268
2006	774	2 021	1 095	3 910	7 800
2007	260	1 130	842	232	2 464
2008	783	1 652	828	1 172	4 435
2009	141	999	909	875	2 924
2010	636	1 529	779	287	3 231
2012	143	1 605	1 151	348	3 247
2013	492	2 929	1 743	582	5 746
2014	512	973	526	139	2 150
2017	445	614	471	439	1 969
2018	1 185	1 211	708	727	3 831
2019	619	693	592	264	2 168
2020	946	854	572	329	2 701
Всего	8 312	19 162	12 334	14 405	54 213

рыб (в частности двухмесячным) использовано при характеристике кормовых условий отдельных районов дальневосточных морей [Шунтов и др., 1993, 2007; Шунтов, 2016]. Кроме количественных показателей при анализе пищевой обеспеченности рыб часто используются и косвенные показатели, такие как интенсивность питания, состав рациона, ширина пищевого спектра, доля в рационе второстепенной пищи [Заволокин, 2011, 2014].

В настоящей статье для анализа изменений условий нагула и обеспеченности нектона кормовыми ресурсами использовали следующие показатели: соотношение зоопланктон/нектон, суммарный рацион рыб (сутки, сезон), степень выедания и коэффициент использования кормовой базы.

Одним из самых простых показателей, дающих общее представление об условиях нагула гидробионтов, является соотношение, показывающее сколько единиц пищевых ресурсов приходится на единицу массы их потребителей. Для расчета данного показателя использовали общую биомассу зоопланктона (т/км²) и биомассу нектона (т/км²) (далее по тексту индекс $Z_{\text{общ}}/H$). Это же соотношение находили для четырех наиболее важных кормовых групп (эвфаузиид, гипериид, птеропод и копепод), далее по тексту индекс $Z_{\text{гр}}/H$.

Объемы выедания нектоном кормовых ресурсов вычисляли по формуле $M_j = B_i \cdot R \cdot t$, где M_j — масса потребленного кормового организма (j -той жертвы), т;

B_i — биомасса вида-потребителя (i -го хищника), т; R — суточный рацион, % массы тела; t — период, сут. Суммируя величины выедания отдельных кормовых организмов, находили общую величину потребления пищи одним видом и всеми видами nekтона за сутки и сезон. Для корректного сравнения функциональных характеристик трофической структуры трех районов, имеющих неодинаковую площадь исследований, потребление пищи nekтоном рассчитали на единицу площади (т/км²).

Степень (%) выедания кормовой базы оценивали как долю потребленной рыбами и кальмарами пищи (за сутки и сезон) от ее запаса (или продукции).

Коэффициент использования (k_{use}) кормовой базы определяли как отношение суммарного рациона рыб и кальмаров (за сутки и сезон) к биомассе зоопланктона. При вычислении этого коэффициента для отдельных групп зоопланктона использовали объемы потребления и биомассу данной группы зоопланктона.

Результаты и их обсуждение

Состав и динамика биомассы nekтона. По видовому составу nekтонные сообщества глубоководных районов Берингова моря (Командорская котловина и западная часть Алеутской котловины) относятся к сообществам открытых вод, а наваринского шельфа — к надшельфовым [Радченко, 1994; Шунтов, 2016]. Хотя строгой границы разделения между сообществами нет, для каждого из них характерны свои определенные структурные особенности. Общей особенностью данных сообществ является то, что они формируются главным образом гидробионтами, населяющими эпипелагиаль временно — в течение определенного периода суток или сезона — либо проводящими здесь только часть жизненного цикла. К таковым относятся молодь различных донных, придонных и глубоководных рыб (северный одноперый терпуг *P. monopterygius*, минтай *G. chalcogramma*, угольная рыба *Anoplopoma fimbria* и др.), мезопелагические рыбы (в частности миктофиды), кальмары (северный *Boreoteuthis borealis*, камчатский *Gonatus kamtschaticus* и др.). К временным обитателям вышеуказанных nekтонных сообществ относятся также виды, выходящие из рек (трехиглая колюшка *G. aculeatus*) или совершающие нагульные или преднерестовые миграции (тихоокеанские лососи). Кроме этого, в конце лета — начале осени в юго-западную часть моря проникают представители низкобореально-субтропического и умеренно-бореального комплексов (японский морской лещ *Brama japonica*, катран *Squalus acanthias*, сайра *Cololabis saira*, сардина дальневосточная *Sardinops melanostictus*, анчоус *Engraulis japonicus* и др.).

Для nekтонных сообществ верхнего слоя эпипелагиали глубоководных и шельфовых берингоморских районов характерна выраженная межгодовая и сезонная изменчивость. Из имеющегося ряда летних исследований наиболее высокая биомасса nekтона в глубоководных котловинах наблюдалась в 2003, 2007 и 2009 гг., когда доминировали кета *Oncorhynchus keta*, горбуша *O. gorbuscha*, северный кальмар и в меньшей степени мезопелагические рыбы, а в наваринском районе — в 2003 и 2015 гг. при высоком обилии минтая и кеты. Низкую биомассу рыб и кальмаров одновременно в трех районах отмечали в 2013 г. (табл. 2, 3).

Осенью, при массовых миграциях минтая из восточной части моря в российские воды, а также высокой численности лососей или появлении урожайных поколений некоторых видов рыб (сельди, терпуга, трехиглой колюшки), межгодовые вариации обилия nekтона могут быть значительными. В частности, по осенним наблюдениям, в глубоководных котловинах разница между высокими и низкими показателями обилия nekтона составляет в среднем 3–4 раза, а в наваринском районе — 9 раз (табл. 2, 3).

В берингоморских районах основу кормовой базы и, соответственно, питания эпипелагических рыб и кальмаров формируют планктонные ресурсы [Дулепова, 2002; Ефимкин, 2003; Чучукало, 2006; Найдено, 2007; Волков, 2014–2016а, б; Шунтов, 2016]. Состав и динамика зоопланктона и nekтона взаимосвязаны.

Таблица 2

Межгодовая динамика состава и биомассы рыб и кальмаров в верхнем слое эпипелагиали западной части Берингова моря летом в 2003–2015 гг., тыс. т

Table 2

Interannual dynamics of species composition and biomass of fish and squids in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea in summer of the 2003–2015s, 10³ t

Вид, группа nekтона	2003 г.	2005 г.	2007 г.	2009 г.	2011 г.	2013 г.	2015 г.
<i>Командорская котловина</i>							
Лососи (АС < 30 см)	201,2	177,7	146,9	287,0	125,7	41,2	90,2
Терпуг северный одноперый	0,7	1,5	0,8	0,8	0,2	0,3	1,9
Минтай	0,1	1,1	0,2	0,1	1,2	0,1	0,1
Сельдь	+	+	0,6	+	38,7	27,3	41,1
Мезопелагические рыбы	9,1	14,8	150,9	40,9	13,2	0,5	0,7
Прочие рыбы	0,3	6,9	0,9	0,9	1,1	1,0	2,5
Кальмары	94,2	203,7	243,3	231,2	87,7	21,6	91,8
<i>Западная часть Алеутской котловины</i>							
Лососи (АС < 30 см)	380,2	239,7	202,4	295,6	253,4	58,0	106,5
Терпуг северный одноперый	119,0	2,1	0,9	0,2	0,1	0,5	0,3
Минтай	+	0,2	+	–	–	–	2,3
Сельдь	–	—	–	–	–	0,2	88,3
Мезопелагические рыбы	23,1	1,4	18,4	5,6	0,4	0,1	0,9
Прочие рыбы	8,0	0,8	1,1	0,8	5,1	2,1	10,2
Кальмары	96,5	65,6	82,2	152,4	2,1	8,4	16,7
<i>Наваринский район</i>							
Лососи (АС < 30 см)	98,5	28,7	13,4	11,2	14,4	2,7	49,4
Минтай	0,4	18,2	+	+	51,4	+	193,9
Сельдь	0,1	+	+	+	1,9	+	27,1
Прочие рыбы	5,2	0,7	0,1	0,1	0,2	0,4	0,3
Кальмары	0,4	2,0	0,8	0,4	+	+	0,1

Примечание. Площади обследованных районов приведены в сообщении 1 С.В. Найденко с соавторами [наст. том], «+» — единичные случаи встречаемости.

Соотношение биомассы зоопланктона и nekтона. В верхнем 50-метровом слое эпипелагиали в глубоководных западной части Алеутской и Командорской котловинах биомасса зоопланктона летом меняется от 41 до 282 т/км², достигая в некоторые годы высоких значений (например, в 2015 г.), а среднеголетний показатель плотности в данных районах оценивается соответственно в 74 и 101 т/км² (табл. 4). Среднеголетняя плотность nekтона, потребителя планктонной пищи, летом невысокая и составляет в этих районах моря соответственно всего 1,4 и 1,7 т/км².

В Командорской котловине летом 2007 и 2009 гг., а также в западной части Алеутской котловины в 2003 и 2007 гг. произошло заметное снижение количества зоопланктона на единицу массы его потребителей. В эти годы на 1 т nekтона приходилось всего 24–28 т зоопланктона. Наиболее высоким (121–209) индекс $Z_{\text{обиц}}/H$ был летом 2013 г. (при низком обилии nekтона) и в 2015 г. (при высокой биомассе зоопланктона) (табл. 4).

Следует отметить, что в глубоководных берингоморских районах показатель обилия nekтона был в 2,5 раза ниже, а индекс $Z_{\text{обиц}}/H$ в 3,7 раза выше, чем, например, в тихоокеанских прикурильских водах [Найденко, Хоружий, 2017]. Это свидетельствует о том, что летом в глубоководной части Берингова моря на единицу массы nekтона приходится гораздо больше общих планктонных ресурсов, чем в прикурильской северо-западной части Тихого океана. В наваринском районе индекс $Z_{\text{обиц}}/H$ летом изменялся от 6 до 82, за исключением 2013 г., когда данное соотношение было очень высоким за счет очень низкой учтенной в верхней эпипелагиали биомассы nekтона.

Таблица 3

Межгодовая динамика состава и биомассы рыб и кальмаров в верхнем слое эпипелагиали западной части Берингова моря осенью в 2002–2020 гг., тыс. т

Table 3

Interannual dynamics of species composition and biomass of fish and squids in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea in fall of the 2002–2020s, 10³ t

Вид, группа нектона	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Командорская котловина															
Молодь лососей (< 30 см)	22,4	20,7	20,2	55,4	6,7	82,9	18,8	90,2	10,8	17,3	76,0	7,7	56,2	12,4	42,7
Лососи (> 30 см)	229,7	182,1	108,5	169,5	77,4	178,8	74,3	87,4	168,3	116,5	131,6	68,8	46,9	50,7	60,4
Терпуг северный одноперый	132,3	9,7	23,7	8,5	21,1	54,1	26,1	21,5	32,4	6,3	19,4	1,6	6,4	41,8	14,4
Сельдь	+	+	+	+	+	+	87,4	0,9	+	+	+	1,0	+	2,6	0,0
Трехиглая колюшка	+	0,2	0,9	13,4	0,3	15,8	0,5	0,6	7,4	23,3	10,4	6,0	6,1	23,2	24,9
Субтропические рыбы	0,0	3,3	0,0	120,5	0,0	10,0	0,0	0,0	40,1	9,3	3,6	27,8	0,3	0,1	0,0
Мезопелагические рыбы	133,1	62,9	7,9	48,4	19,9	33,2	0,8	4,0	1,8	6,0	1,7	0,2	78,5	0,8	2,5
Прочие рыбы	2,7	23,9	1,5	6,9	0,5	1,5	60,0	0,4	0,4	0,7	0,4	0,1	11,1	8,0	6,2
Кальмары	150,7	157,3	87,8	55,5	221,5	187,8	83,6	21,7	72,3	71,5	126,5	37,3	35,8	57,2	67,1
Западная часть Алеутской котловины															
Молодь лососей (< 30 см)	8,8	4,7	6,4	2,9	0,6	21,4	3,1	21,3	0,3	0,1	Н/д	1,3	27,0	3,4	46,1
Лососи (> 30 см)	284,6	178,2	149,6	293,9	49,4	121,2	116,7	65,6	231,2	142,0	Н/д	14,0	32,2	46,4	36,2
Терпуг северный одноперый	149,2	3,5	0,2	5,3	0,1	5,6	7,7	2,4	4,2	17,9	Н/д	0,1	3,2	9,1	13,2
Сельдь	–	–	+	–	–	–	+	33,5	0,6	0,3	Н/д	+	0,0	0,8	13,3
Трехиглая колюшка	–	0,4	+	–	–	0,3	2,1	–	+	+	Н/д	0,6	0,6	4,1	–
Субтропические рыбы	–	0,1	–	12,4	–	–	–	–	–	56,7	Н/д	0,3	0,1	–	–
Мезопелагические рыбы	917,1	8,5	7,9	110,5	3,3	24,2	13,3	4,8	54,3	6,7	Н/д	0,0	86,3	0,3	0,3
Прочие рыбы	1,3	0,5	1,3	5,0	0,2	0,6	1,8	0,4	1,0	1,0	Н/д	0,1	0,1	0,4	0,1
Кальмары	96,7	172,0	87,3	62,1	222,4	140,5	109,2	21,5	77,6	48,5	Н/д	1,4	10,3	53,9	22,7
Наваринский район															
Молодь лососей (< 30 см)	0,4	0,6	0,4	+	+	0,6	0,0	Н/д	0,2	0,1	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д
Лососи (> 30 см)	7,3	2,2	3,6	38,7	21,9	10,4	6,1	Н/д	12,0	9,5	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д
Прочие рыбы	1,6	10,6	1,3	0,3	0,8	0,2	11,9	Н/д	0,4	0,8	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д
Минтай	4,1	174,8	0,1	1,1	0,1	0,5	0,0	Н/д	1,5	0,0	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д
Сельдь	0,0	0,5	23,9	0,0	0,0	45,2	115,6	Н/д	16,1	0,1	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д
Кальмары	1,6	2,5	+	+	2,8	0,2	0,4	Н/д	0,2	0,1	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д

Примечание. «+» — единичные случаи встречаемости; н/д — нет данных.

Таблица 4

Соотношение биомассы зоопланктона (т/км²) и нектона (т/км²) (индекс $Z_{общ}/H$) в верхнем слое эпипелагиали летом 2003–2015 гг. в западной части Берингова моря

Table 4

Ratio of zooplankton and nekton biomass in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea in summer of the 2003–2015s

Показатель	2003 г.	2005 г.	2007 г.	2009 г.	2011 г.	2013 г.	2015 г.	Среднее
<i>Командорская котловина</i>								
Зоопланктон	91,1	78,4	58,7	53,3	58,4	64,4	110,7	73,6
Нектон	1,2	1,6	2,1	2,2	1,1	0,4	0,9	1,4
Индекс $Z_{общ}/H$	74	48	27	24	54	173	121	75
<i>Западная часть Алеутской котловины</i>								
Зоопланктон	77,9	97,4	41,3	76,9	66,4	64,1	281,7	100,8
Нектон	3,1	1,5	1,5	2,6	1,5	0,3	1,4	1,7
Индекс $Z_{общ}/H$	25	64	28	30	45	188	209	84
<i>Наваринский район</i>								
Зоопланктон	17,2	43,3	48,4	26,0	49,0	47,1	95,0	46,6
Нектон	2,8	1,3	0,7	0,3	1,8	0,1	7,3	2,0
Индекс $Z_{общ}/H$	6	32	73	82	27	–	13	39*

* Среднее рассчитано без 2013 г.

В осенний период индекс $Z_{общ}/H$ изменялся в глубоководных районах от 10 (2002 г.) до 106 (2017 г.), а в наваринском районе — от 4 (2003 г.) до 154 (2002 г.) (табл. 5). В некоторые годы соотношение биомассы пищи и ее потребителей было пониженным, главным образом за счет высокого обилия рыб и кальмаров. Например, в глубоководных районах в 2002 (несмотря на повышенную удельную биомассу планктона) и в 2006, 2012 и 2014 гг. индекс $Z_{общ}/H$ был низким. В 2017 г. в обоих глубоководных районах и в 2020 г. в юго-западной части Алеутской котловины, напротив, обилие нектона было низким, а планктона — высоким, соответственно, $Z_{общ}/H$ был высоким (табл. 5).

Осенью соотношение запасов кормовых ресурсов и обилия нектона ниже, чем летом. Это обусловлено главным образом сезонным уменьшением количества планктона и его перераспределением по вертикали. Кроме этого, в глубоководных районах от раннего лета (июнь) к лету (август-сентябрь) происходит увеличение биомассы рыб и кальмаров, а затем ее снижение в октябре-ноябре [Сомов, 2017]. Соответственно, в сентябре соотношение зоопланктон/нектон снижается. В наваринском районе биомасса нектона осенью в некоторые годы заметно увеличивается за счет минтая.

С учетом биомассы мелкоразмерных рыб и кальмаров, являющихся пищей более крупному нектону, соотношение общего запаса кормовой базы к биомассе ее потребителей меняется лишь на десятые доли, поскольку обилие планктонных ресурсов многократно превышает обилие мелкоразмерного нектона.

В беринговоморских котловинах и наваринском районе самыми важными кормовыми группами зоопланктона являются крупноразмерные эвфаузииды, амфиподы, птероподы и копеподы, среднемноголетняя доля которых составляет 65 % общего рациона рыб и кальмаров. В глубоководных котловинах наибольшее значение имеют эвфаузииды (доля которых в питании в течение летне-осеннего периода меняется от 18 до 41 %), гиперииды (с долей от 8 до 30 %), птероподы (от 7 до 25 %) и копеподы (от 3 до 6 %). В наваринском районе доля эвфаузиид в питании рыб в течение летне-осеннего периода увеличивается с 18 до 46 %, а копепод — снижается с 42 до 29 %.

В глубоководных районах среднемноголетнее соотношение биомассы этих четырех групп планктона и нектона ($Z_{гр}/H$) летом составило 33, а осенью — 14. Это означает, что в этих районах важных кормовых групп планктона на единицу массы потребителей приходится в среднем в 3 раза меньше, чем общих зоопланктонных ресурсов (рис. 1). В наваринском районе индекс $Z_{гр}/H$ также был ниже, чем $Z_{общ}/H$, в среднем в 2 раза, составив летом 62 (без учета 2013 г. — 29) и осенью — 22.

Суточное потребление нектоном пищи. Суточное потребление кормовых ресурсов нектоном летом в верхней эпипелагиали Командорской котловины в разные годы составляло от 4 до 19 тыс. т (или от 0,014 до 0,078 т/км²), а в западной части Алеутской котловины — от 4 до 29 тыс. т (или от 0,013 до 0,142 т/км²). Летом основными потребителями ресурсов верхней эпипелагиали являются лососи и кальмары, на долю которых приходится в среднем соответственно 55 и 34 % общего потребления пищи. Осенью потребление пищи нектоном возрастает, изменяясь в разные годы в Командорской котловине от 12 до 26 тыс. т (или от 0,047 до 0,105 т/км²), а в западной части Алеутской котловины от 9 до 38 тыс. т (или от 0,043 до 0,186 т/км²). При этом среднегодовое потребление ресурсов снижается до 42 %, а кальмаров остается почти на том же уровне (31 %). Кроме лососей и кальмаров, заметную долю в использовании кормовой базы в осенний период занимают молодь северного одноперого терпуга и трехиглая колюшка (соответственно 6 и 5 %). Вклад мезопелагических рыб в использование ресурсов верхнего слоя эпипелагиали беринговоморских районов не так велик, как в других регионах, и, вероятно, занижен, так как эти рыбы не всегда хорошо облавливаются во время их суточных вертикальных миграций. Тем не менее в отдельные годы они имеют большое значение в общем потреблении пищи. Например, осенью 2002 г. в западной части Алеутской и летом 2007 г. в Командорской котловинах доля мезопелагических рыб, главным образом светлоперого стенобраха, в общих объемах потребления пищи составила соответственно 11 и 35 %.

Таблица 5
Соотношение биомассы зоопланктона (т/км²) и нектона (т/км²) (индекс $3_{\text{общ}}/H$) в верхнем слое эпипелагиали осенью 2002–2020 гг. в западной части Берингова моря

Table 5
Ratio of zooplankton and nekton biomass in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea in autumn of the 2002–2020s

Показатель	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011 г.	2012	2013	2014	2017	2018	2019	2020	Среднее
Командорская котловина																		
Зоопланктон	88,5	63,9	36,1	—	48,2	56,6	66,8	35,0	62,2	—	42,0	57,2	43,8	64,2	—	40,7	61,4	54,8
Нектон	2,7	1,8	1,0	—	1,9	1,4	2,3	1,4	0,9	—	1,3	1,0	1,7	0,6	1,0	0,8	0,8	1,4
Индекс $3_{\text{общ}}/H$	33	35	36	—	25	41	30	25	68	—	32	57	26	106	—	52	75	46
Западная часть Алеутской котловины																		
Зоопланктон	70,3	53,4	29,0	—	54,0	34,6	37,2	43,5	47,7	—	43,2	47,6	—	50,1	—	31,7	74,4	47,4
Нектон	7,1	1,8	1,2	—	2,4	1,4	1,5	1,2	0,8	—	2,1	1,6	—	0,5	1,9	1,1	0,9	1,8
Индекс $3_{\text{общ}}/H$	10	30	23	—	22	26	24	35	58	—	21	29	—	92	—	29	87	37
Наваринский район																		
Зоопланктон	62,0	18,2	19,0	—	38,8	39,4	54,7	29,7	—	—	32,7	30,4	—	—	—	—	—	36,1
Нектон	0,4	5,2	0,8	—	1,1	0,7	1,5	3,6	—	—	0,8	0,3	—	—	—	—	—	1,6
Индекс $3_{\text{общ}}/H$	154	4	24	—	36	57	36	8	—	—	40	107	—	—	—	—	—	52

* В 2012–2020 гг. обследовалась не вся акватория западной части Алеутской котловины.

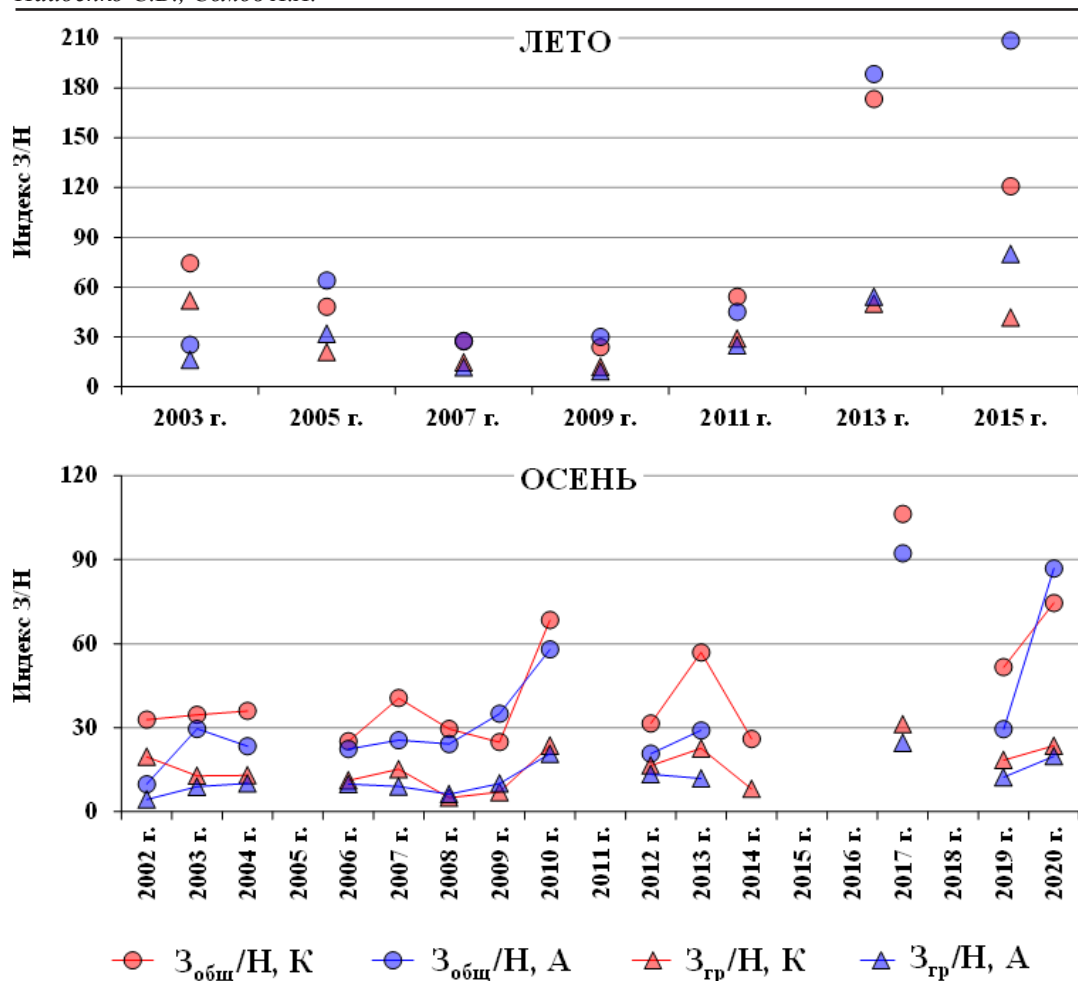


Рис. 1. Межгодовая динамика показателей $Z_{общ}/H$ и $Z_{гр}/H$ в верхнем слое эпипелагиали глубоководных котловин летом и осенью в 2002–2020 гг.: K^p — Командорская котловина, A — западная часть Алеутской котловины

Fig. 1. Interannual dynamics of the ratio between zooplankton biomass (total and by taxonomic groups) and nekton biomass in the upper epipelagic layer of the deep-water basins of the Bering Sea in summer and fall seasons of the 2002–2020s (K — Commander Basin, A — western Aleutian Basin)

В наваринском районе высокое потребление кормовых ресурсов определяется в первую очередь количеством нагуливающегося минтая и в меньшей степени лососей, сельди и мойвы, изменяясь летом от десятых долей до 14 тыс. т (или от 0,009 до 0,380 т/км²) и осенью — до 20 тыс. т (или от 0,009 до 0,525 т/км²) (рис. 2). Доля лососей в объемах потребления кормовых ресурсов в данном районе изменяется от 29 % летом до 7 % осенью. В то время как суммарная доля минтая, сельди и мойвы составляет 70 и 92 % соответственно летом и осенью. Максимальное за период исследований потребление пищи nektonом отмечали летом 2015 г. (за счет высокой биомассы минтая и в меньшей степени кеты и сельди) и осенью 2003 г. (за счет минтая и мойвы).

Оценка степени использования кормовой базы. В 2002–2020 гг. степень суточного выедания зоопланктона рыбами и кальмарами в верхнем слое эпипелагиали берингоморских районов была невысокой, составляя в разные годы 0,01–0,56 и 0,03–2,81 % соответственно летом и осенью. В сезонной динамике по среднееголетним данным

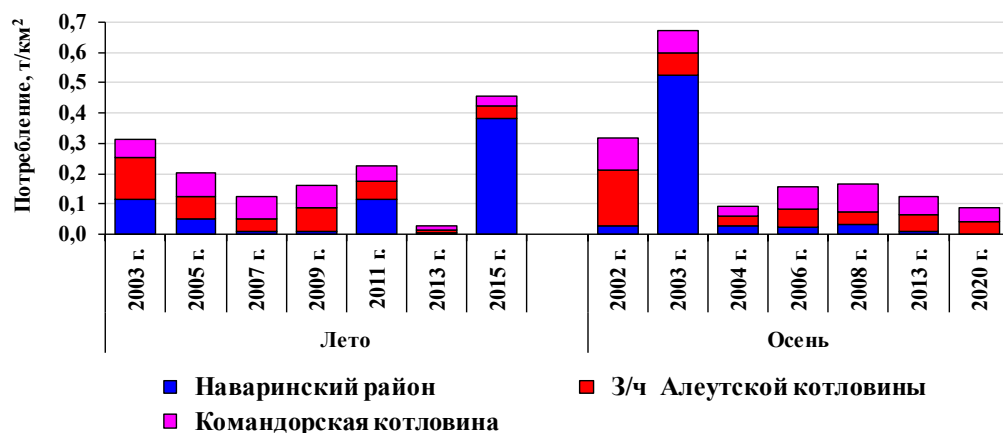


Рис. 2. Суточное потребление пищи рыбами и кальмарами в верхней эпипелагиали беринговоморских районов летом и осенью в 2002–2020 гг., т/км²

Fig. 2. Daily consumption of food by fish and squids in the upper epipelagic layer of the Bering Sea in summer and fall seasons of the 2002–2020s, t/km²

объемы потребления зоопланктонных организмов от раннего лета* (I декада июня) к лету (III декада июля — II декада сентября) в глубоководных котловинах возрастали в среднем в 2–3 раза. Осенью (III декада сентября — III декада октября) потребление пищи снижалось почти до уровня раннелетних значений [Найденко, Сомов, 2019]. В наваринском районе потребление ресурсов от раннего лета к осени может возрастать в десятки раз. Летом оно увеличивается за счет обилия нагуливающейся кеты или при высокой численности минтая, а осенью — главным образом за счет минтая и в некоторые годы сельди и мойвы.

В 2002–2007 гг. при высокой численности рыб и кальмаров за весь летне-осенний сезон в верхней эпипелагиали всей западной части Берингова моря потреблялось не более 9–11 % общего запаса (без учета продукции) зоопланктона [Найденко, 2007]. Среднемноголетний показатель выедания зоопланктона за лето и осень в верхнем слое эпипелагиали разных районов изменялся от 2 до 21 % его запаса.

В 2002–2020 гг. среднемноголетняя продукция зоопланктона составила соответственно 193 и 237 т/км² летом и 173 и 149 т/км² осенью в западной части Алеутской и Командорской котловинах (табл. 6, 7), а степень выедания продукции в этих районах оценена в 2,1 и 2,6 % за лето и в 2,5 и 2,8 % за осень. Но даже в годы высокого потребления nekтоном зоопланктона выедание его сезонной продукции не превышало 7 %.

В наваринском районе нагрузка на кормовую базу изменяется многократно. Летом продукции зоопланктона в разные годы потребляется от 0,1 до 15,2 %, а в осенние месяцы при обилии рыб и кальмаров на уровне 0,2–1,5 т/км² — от 0,2 до 2,6 %. Но при высокой биомассе nekтона (более 5 т/км²) степень выедания кормовых ресурсов может быть значительной, что наблюдалось в данном районе, например, в 2003 г.

Важным аспектом при анализе пищевой обеспеченности рыб и кальмаров является оценка потребления ими той пищи, которая является для них главной (или «предпочитаемой»). Коэффициент использования (k_{use}) эвфаузиид, амфипод, птеропод и копепод определяется условиями конкретных лет, которые по показателям обилия зоопланктона и количества его потребителей могут существенно различаться.

Так, k_{use} продукции эвфаузиид в верхней эпипелагиали Командорской котловины летом 2003, 2005 и 2007 и 2009 гг. был довольно высоким, составляя от 0,54 до 1,0, а в другие годы не превышал 0,04–0,25. В западной части Алеутской котловины ис-

* Периоды — раннелетний (с I декады июня по II декаду июля), летний (с III декады июля по II декаду сентября) и осенний (с III декады сентября по октябрь) выделены в зависимости от сроков миграций массовых видов рыб и кальмаров [Сомов, 2017].

Таблица 6

Продукция и потребление зоопланктона в верхнем слое эпипелагиали
в западной части Берингова моря летом, т/км²

Table 6

Production and consumption of zooplankton in the upper epipelagic layer
of the western Bering Sea in summer, t/km²

Показатель	2003 г.	2005 г.	2007 г.	2009 г.	2011 г.	2013 г.	2015 г.	Среднее ± SE
<i>Командорская котловина</i>								
Продукция зоопланктона	341,6	195,5	140,4	131,6	134,7	155,7	254,7	193,5 ± 29,8
Потребление продукции	4,4	6,2	5,6	6,1	4,4	1,1	2,2	4,3 ± 0,7
<i>Западная часть Алеутской котловины</i>								
Продукция зоопланктона	289,4	247,5	108,8	177,2	157,7	144,1	536,3	237,3 ± 35,1
Потребление продукции	9,0	4,4	2,7	6,1	4,7	0,9	3,3	4,4 ± 0,9
<i>Наваринский район</i>								
Продукция зоопланктона	48,4	118,1	146,0	105,0	154,9	136,8	214,2	131,9 ± 19,1
Потребление продукции	6,9	2,8	0,5	0,7	6,9	0,2	32,5	7,2 ± 4,3

Примечание. Здесь и в табл. 7 среднее ± SE — среднемноголетнее значение ± ошибка средней.

Таблица 7

Продукция и потребление зоопланктона в верхнем слое эпипелагиали
в западной части Берингова моря осенью, т/км²

Table 7

Production and consumption of zooplankton in the upper epipelagic layer
of the western Bering Sea in autumn, t/km²

Показатель	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2006 г.	2008 г.	2013 г.	2020 г.	Среднее ± SE
<i>Командорская котловина</i>								
Продукция зоопланктона	298,2	195,8	93,2	137,5	147,4	177,6	161,6	173,0 ± 24,2
Потребление продукции	6,5	4,7	2,5	3,4	6,1	2,5	3,2	4,1 ± 0,6
<i>Западная часть Алеутской котловины</i>								
Продукция зоопланктона	219,8	172,2	75,7	157,6	88,6	144,7	186,2	149,3 ± 19,5
Потребление продукции	14,2	4,6	2,4	3,4	1,9	2,4	2,8	4,5 ± 1,6
<i>Наваринский район</i>								
Продукция зоопланктона	151,8	39,5	50,7	105,3	153,7	70,4	—	95,2 ± 20,3
Потребление продукции	1,7	34,0	1,3	0,2	3,3	0,5	—	6,8 ± 5,4

пользование эвфаузиид было наибольшим (k_{use} 0,31 и 0,50) в 2003 и 2007 гг. и в обеих котловинах осенью в 2002–2003 гг. (k_{use} 0,32).

Амфиподы в значительном количестве выедались летом 2011 г., когда k_{use} продукции этих ракообразных составил 0,29 и 0,38 соответственно в Командорской котловине и западной части Алеутской котловины, а также осенью 2008 г. в Командорской котловине (k_{use} 0,27). Таким же высоким является потребление птеропод, достигающее в отдельных случаях 100 %, что отражает высокую степень нагрузки на данную группу планктона.

Копеподы, имеющие высокую биомассу и долю в планктоне, потребляются в меньших объемах. Летом в верхней эпипелагиали глубоководных районов продукция наиболее массовых видов копепод (*Eucalanus bungii*, *Neocalanus cristatus* и *N. plumchrus*, *Pseudocalanus newmani*, *Oithona similis*, *Metridia pacifica* и др.) в разные годы изменялась от 29,7 до 125,6 млн т, а осенью — от 9,0 до 87,6 млн т. Межгодовая изменчивость объемов выедания продукции копепод наиболее выражена была летом — от 0,032 до 0,653 млн т за сезон — и менее осенью — от 0,193 до 0,286 млн т. При таком соотношении запасов копепод и их низком потреблении nekтоном сезонный k_{use} продукции этих ракообразных не превышал 0,002.

Еще меньший коэффициент использования имеют сагитты. При их значительных биомассе и доле в планктонных сообществах берингоморских районов сагитты слабо выедаются эпипелагическим nekтоном, поэтому k_{use} их продукции составил в среднем всего 0,001.

В наваринском районе, где межгодовая динамика обилия nekтона и зоопланктона выражена значительно, чем в глубоководных районах, показатели использования кормовой базы в смежные годы (и даже в течение сезона) могут различаться в десятки и сотни раз. Так, в верхнем слое эпипелагиали среднесуточный показатель использования запасов эвфаузиид с учетом их продукции и потребления за лето оценивается в 0,47. Но межгодовые изменения летнего коэффициента достаточно велики и составляют от 0,01 до 1,12. Осенью при низком обилии рыб и кальмаров среднесуточный k_{use} эвфаузиид оценивается в 0,18, однако в годы высокого обилия потребителей или низких запасов эвфаузиид данный коэффициент возрастает в несколько раз, что, например, отмечалось в 2003 и 2013 гг.

Среднесуточный k_{use} амфипод и птеропод летом в данном районе составил соответственно 0,35 и 0,68. В межгодовой динамике потребления данных групп также отмечаются ситуации значительной нагрузки на их запасы со стороны потребителей: например, на амфипод — летом 2003 г. и осенью 2003, 2008 и 2013 гг. и на птеропод — летом 2007 и 2011 гг. и осенью 2008 г.

Потребление nekтоном копепод в наваринском районе выше, чем в глубоководных районах, тем не менее среднесуточный k_{use} этой группы зоопланктона за осенний сезон был невысоким и составил 0,16.

Значения коэффициентов, равные или выше единицы, не означают, что в верхнем слое воды происходит полное выедание тех или иных групп планктона. Во-первых, запасы зоопланктона верхнего слоя эпипелагиали постоянно пополняются за счет вертикальных миграций планктеров из нижних слоев пелагиали в течение суток и в течение сезона (разных его стадий и размерно-возрастных групп), что является общеизвестным и хорошо изученным фактом. В слое 50–200 м рассматриваемых районов имеются высокие запасы зоопланктона [Найденко и др., наст. том]. Во-вторых, следует учитывать, что многокомпонентность циркуляционной системы течений Берингова моря, наличие круговых потоков, теплых и холодных вод способствуют формированию локальных условий нереста, развития и выживания планктеров, а также обуславливают их неравномерное распределение, а местами механическое накопление и перенос, что создает благоприятные кормовые условия на определенных участках. Например, в наваринском районе в некоторые годы заметное пополнение запасов эвфаузиид и амфипод происходит за счет их транспорта вдольсклоновым течением из восточной части Берингова моря [Волков, 2014, 2016б; Шунтов, Иванов, 2019], и масштабы этих перемещений оценить сложно. В-третьих, в литературе [Чебанов, 1965; Волков, 1996, 2003, 2008а; Чучукало, Напазаков, 1998; Чучукало и др., 1999; и др.] уже неоднократно подчеркивалось, что многие гидробионты образуют плотные и узкие по вертикали скопления в приповерхностных слоях эпипелагиали (например, амфиподы), а для некоторых планктеров (птероподы, эвфаузииды) характерно сложное и мозаичное вертикальное и пространственное распределение.

Следует также учитывать, что большинство видов nekтона, в том числе и массовых, довольно активны в перемещениях между районами и выборе мест для более успешного нагула, а некоторые из них в поисках пищи не ограничиваются только верхней эпипелагиалью [Чучукало, 2006].

Питание nekтона при разной пищевой обеспеченности. Для суждения об обеспеченности пищей используются и некоторые косвенные показатели, в частности интенсивность питания, состав рациона и доли главной и второстепенной пищи. Межгодовые изменения данных показателей проследили на примере питания лососей и других видов рыб и кальмаров.

Среди лососей у горбуши, кеты и нерки (как половозрелых, так и неполовозрелых нагульных рыб) одновременное понижение накормленности наблюдалось летом 2003, 2007 и 2009 гг. (рис. 3). В 2003 г. в глубоководных котловинах при высоком обилии лососей, но биомассе всего nekтона ниже, а зоопланктонной пищи выше среднесуточных

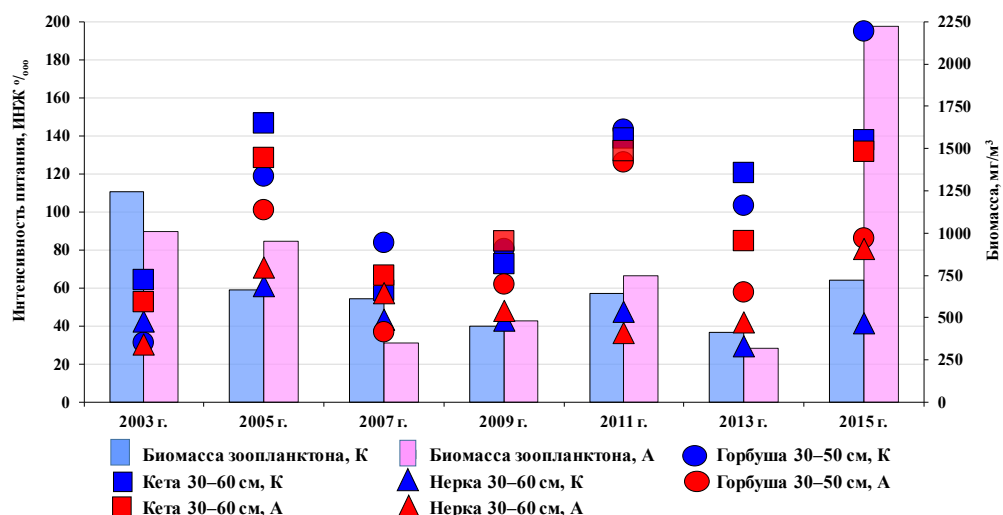


Рис. 3. Межгодовая динамика биомассы зоопланктона и интенсивности питания лососей разных размерных групп в глубоководных котловинах летом 2003–2015 гг. Сокращения как на рис. 1

Fig. 3. Interannual dynamics of zooplankton biomass and feeding intensity of Pacific salmon (by size groups) in the deep-water basins of the Bering Sea in summer of the 2003–2015 (K — Commander Basin, A — western Aleutian Basin)

значений, лососи всех размерных групп питались слабо. Так, в Командорской котловине средний ИНЖ горбуши летом 2003 г. составил всего 11 и 51 ‰ у рыб размером соответственно 30–40 и 40–50 см. В 2007 и 2009 гг. снижение накормленности лососей происходило на фоне повышенного обилия потребителей и пониженных показателей пищевой обеспеченности. В 2007 г. в Командорской котловине из всех лососей только горбуша имела наибольший ИНЖ (рис. 3). Следует отметить, что летом в этом районе лососи обычно питаются более интенсивно, чем в западной части Алеутской котловины, в которой биомасса мигрирующих и нагуливающих лососей по среднемноголетним данным выше почти в 2 раза. Повышенная интенсивность питания этой группы рыб отмечалась летом 2005, 2011 и 2015 гг. при разном уровне обилия планктонных ресурсов, в том числе когда численность лососей была высокой, а биомасса зоопланктона пониженной, например в 2011 г.

Наиболее заметные изменения состава рациона лососей связаны с увеличением доли второстепенной или нектонной пищи. При этом увеличение мелкоразмерного нектона в рационе лососей чаще всего было обусловлено его доступностью и высоким обилием в верхней эпипелагиали. Например, летом 2003 г., когда биомасса северного одноперого терпуга в глубоководных котловинах составила 120 тыс. т и его молодь присутствовала в питании не только планктоноядных горбуши, кеты и нерки (составляя от 15 до 90 % рациона), но и у нектоноядной чавычи (варьируя в питании от 40 до 67 %). Кроме молоди рыб летом в эпипелагиали глубоководных котловин появляется большое количество молоди кальмаров, и их доля в питании нектона в это время возрастает. В 2013 в Командорской котловине и в 2005, 2007 и 2015 гг. в западной части Алеутской котловины молодь кальмаров в рационе горбуши изменялась от 18 до 28 % (рис. 4).

В отдельных случаях увеличение доли нектонной пищи в рационе лососей совпадает с низким обилием зоопланктона в слое питания этих рыб. Так, в 2013 г. в Командорской котловине нектонная пища в рационе горбуши (размером 40–50 см) достигала 57 % (рис. 4). Биомасса зоопланктонной пищи на единицу массы потребителей (Z_{cp}/H) в этом районе была в 1,7 раза выше среднемноголетнего значения. Но удельная биомасса эвфаузиид, амфипод и птеропод в светлое время суток (когда происходит ос-

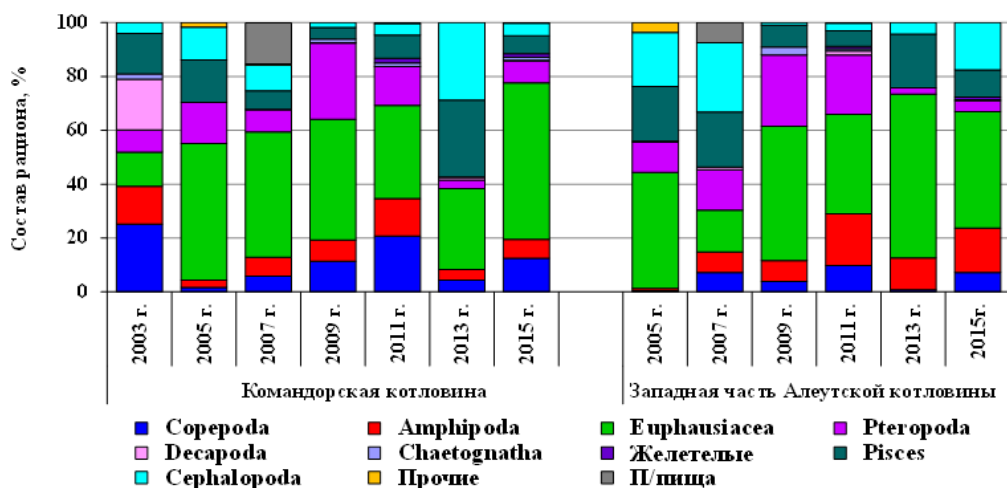


Рис. 4. Межгодовая динамика состава рациона горбуши (длиной 40–50 см) в верхнем слое эпипелагиали глубоководных котловин Берингова моря летом 2003–2015 гг.

Fig. 4. Interannual dynamics of the pink salmon (length 40–50 cm) diet in the upper epipelagic layer of the deep-water basins of the Bering Sea in summer of the 2003–2015s

новное питание лососей) была в 11 раз ниже, чем в темное. Таким образом, увеличение доли нектонной пищи в рационе лососей является отражением изменений в составе их кормовой базы и не обязательно связано со снижением пищевой обеспеченности этих рыб. Значительное обилие и доступность молоди нектона можно считать благоприятными факторами для нагула лососей, особенно при пониженном количестве зоопланктонной пищи.

В осенний период снижение интенсивности питания у горбуши, кеты и нерки наблюдалось при различных показателях обилия кормовой базы и плотности нектона, в том числе лососей. Так, питание рыб было пониженным в Командорской котловине в 2006, 2008 и 2014 гг. (рис. 5), когда биомасса лососей и других видов нектона была высокой, а количество планктонной пищи на единицу потребителей было низким, в связи с чем нагрузка на кормовую базу повышалась. В 2010 г. при высокой численности лососей в этом районе (табл. 8) и биомассе зоопланктона выше среднемноголетней также отмечали низкую интенсивность питания этих рыб. В 2017 г. при низком обилии потребителей, в том числе лососей, и высоком индексе Z_{ep}/H (см. рис. 1) в обеих котловинах наблюдали низкую накормленность рыб, а у горбуши ИНЖ были самыми низкими за период с 2002 по 2020 г. (рис. 5). В то же время в 2007, 2009, 2013, 2018 и 2020 гг. при разном соотношении нектона и планктона интенсивность питания лососей была повышенной.

Сопряженность изменения характера питания и повышения в рационе доли нектонной или второстепенной пищи наблюдалась у лососей лишь в отдельные годы. Например, в западной части Алеутской котловины в 2006 г. в питании молоди горбуши в заметном количестве присутствовали эвфаузииды, копеподы и молодь декапод (рис. 6). В этот год у молоди горбуши и кеты отмечали нехарактерную для лососей суточную ритмику питания, что может быть следствием изменения кормовой обеспеченности и переходом на питание копеподами и эвфаузиидами в поздневечернее время [Заволокин, 2014].

В 2008, 2010, 2018 и 2020 гг. заметную долю в питании молоди горбуши имели сагитты, а в 2007, 2009, 2017 и 2019 гг. значительную часть рациона составляли рыбы и молодь кальмаров (рис. 6). Но, несмотря на снижение в рационе предпочитаемых зоопланктонных объектов, в большинстве случаев интенсивность питания оставалась высокой либо на среднем уровне, например у молоди горбуши в 2007 и 2009 гг. (см. рис. 5). Следует отметить, что осенью сеголетки горбуши в глубоководных котловинах

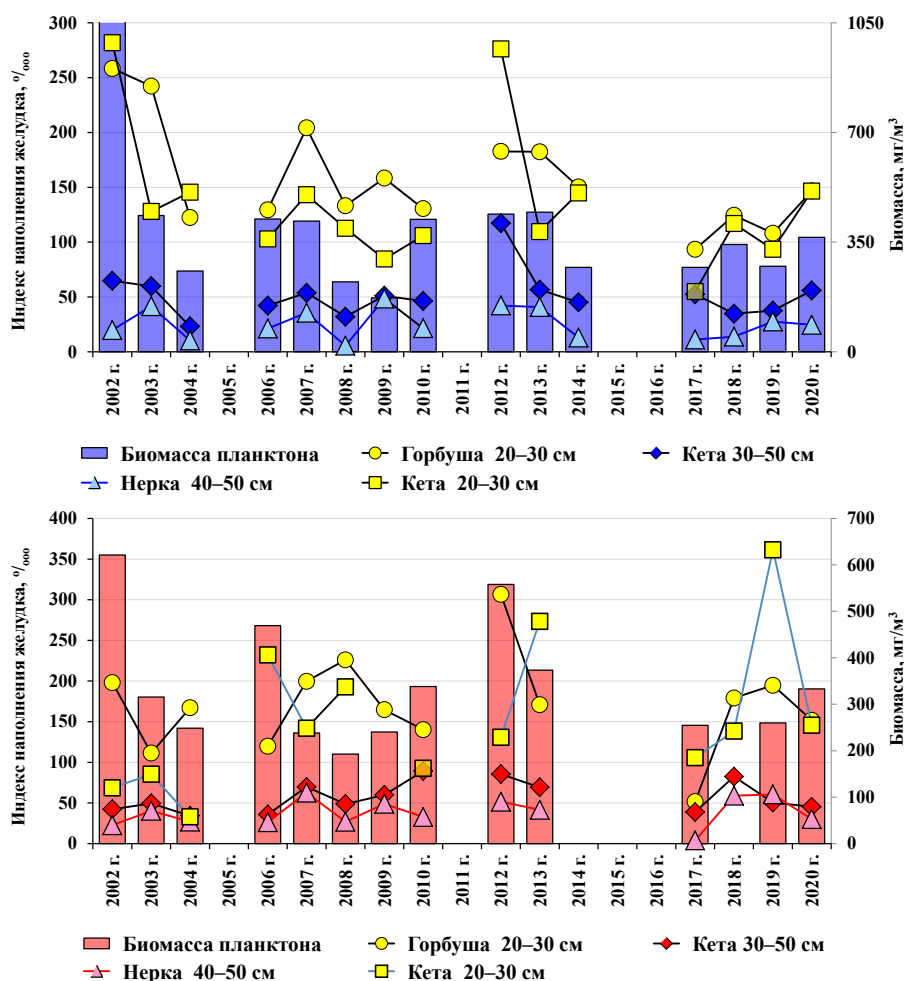


Рис. 5. Межгодовая динамика биомассы зоопланктона и интенсивности питания лососей разных размерных групп в Командорской котловине (**вверху**) и западной части Алеутской котловины (**внизу**) осенью 2002–2020 гг.

Fig. 5. Interannual dynamics of zooplankton biomass and feeding intensity of pacific salmon (by size groups) in the Commander Basin (**upper panel**) and the western Aleutian Basin (**bottom panel**) in autumn of the 2002–2020

питаются главным образом гипериидами (рис. 6), но интенсивность питания при этом может быть разной.

В отдельные годы снижение интенсивности питания лососей происходило при их высокой численности. Однако коэффициент корреляции между этими параметрами, в частности у молоди горбуши в Командорской котловине, составил $-0,32$ (критерий значимости $p < 0,05$), т.е. зависимость была достоверной и слабоотрицательной.

По мнению ряда исследователей [Карпенко, 1998; Коваль, 2009; Карпенко и др., 2013; Бугаев и др., 2020], при высокой численности и одновременном нагуле молоди лососей (особенно высокоурожайных поколений горбуши) и других рыб обостряются конкурентные отношения за пищу, и пищевая обеспеченность нектона ухудшается. Это в итоге сказывается на продукционных показателях, а также выживаемости и численности отдельных поколений лососей. Такие выводы базируются в основном на косвенных показателях. Однако система косвенных показателей (численность, темп роста, изменчивость длины и массы тела) дает представление об условиях нагула на протяжении всего жизненного цикла лососей, включая пресноводный, прибрежный,

Таблица 8

Численность лососей в глубоководных котловинах Берингова моря осенью 2002–2020 гг., тыс. экз./км²*

Table 8

Abundance of pacific salmon in the upper epipelagic layer of the deep-water basins of the Bering Sea in autumn of the 2002–2020, 10³ ind./km²

Вид	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
<i>Командорская котловина</i>															
<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (сеголетки)	273,3	139,4	181,3	616,3	49,2	1 069,5	120,1	816,1	88,4	119,4	619,3	85,1	682,7	123,0	521,7
<i>Oncorhynchus keta</i> (полов.)	2,8	2,0	1,7	6,7	1,2	4,7	1,9	2,4	2,9	2,0	0,3	0,8	0,8	0,7	0,8
<i>Oncorhynchus keta</i> (непол.)	151,1	132,7	68,2	107,4	42,8	118,3	23,7	69,3	102,0	74,6	103,8	37,8	26,6	16,8	44,4
<i>Oncorhynchus keta</i> (сеголетки)	15,5	25,7	19,2	25,0	9,3	54,7	8,8	38,8	14,3	8,2	62,7	5,9	76,3	14,8	31,5
<i>Oncorhynchus kisutch</i> (полов.)	0,1	4,5	–	–	–	–	0,1	0,0	–	0,1	0,1	–	0,1	0,1	0,1
<i>Oncorhynchus kisutch</i> (покатники)	6,5	–	5,1	9,9	3,3	3,3	2,3	7,8	7,3	4,4	4,2	4,1	2,8	4,3	5,4
<i>Oncorhynchus nerka</i> (непол.)	75,3	68,2	48,2	62,4	37,4	16,4	45,2	27,4	77,2	40,1	45,4	33,1	22,5	38,8	29,4
<i>Oncorhynchus nerka</i> (покатники)	7,7	5,9	9,6	7,8	2,7	6,2	11,9	8,6	3,6	5,1	17,8	3,9	6,2	13,3	6,5
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (непол.)	1,7	1,5	2,6	2,7	0,3	2,1	0,6	0,9	1,4	1,9	0,3	0,6	1,0	0,5	1,1
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (покатники)	5,8	9,2	11,1	4,9	5,3	7,4	5,7	4,9	3,6	7,8	3,8	2,8	4,5	9,0	6,7
Все лососи	539,8	389,2	347,0	843,2	151,6	1 282,6	220,1	976,1	300,6	263,6	857,6	174,1	823,5	221,2	647,7
Площадь, тыс. км²	249,46	249,46	249,46	249,46	249,46	249,46	249,46	249,46	250,07	249,46	219,60	249,46	249,46	249,46	265,0
<i>Западная часть Алеутской котловины</i>															
<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (сеголетки)	95,0	7,0	37,7	25,0	0,4	192,6	1,2	174,6	0,5	0,1	н/д	15,3	281,6	27,3	435,1
<i>Oncorhynchus keta</i> (полов.)	1,1	0,7	1,1	3,9	0,3	1,8	0,6	0,3	0,7	0,9	н/д	–	0,2	0,4	0,5
<i>Oncorhynchus keta</i> (непол.)	297,8	204,0	116,9	261,4	53,4	65,6	82,1	60,1	243,7	127,1	н/д	9,2	22,7	42,7	22,3
<i>Oncorhynchus keta</i> (сеголетки)	0,2	0,4	0,8	0,6	0,9	2,7	–	12,2	0,6	0,2	н/д	0,2	15,3	0,2	4,5
<i>Oncorhynchus kisutch</i> (полов.)	–	7,1	–	0,1	–	–	0,0	0,0	0,1	–	н/д	–	–	–	0,1
<i>Oncorhynchus kisutch</i> (покатники)	0,7	–	0,7	0,3	0,6	1,3	8,0	1,3	0,5	5,4	н/д	1,3	1,2	2,2	5,5
<i>Oncorhynchus nerka</i> (непол.)	76,6	30,1	72,9	94,0	10,7	61,8	51,2	19,7	39,3	41,2	н/д	6,8	19,6	14,9	28,1
<i>Oncorhynchus nerka</i> (покатники)	3,5	1,9	2,9	3,3	0,7	5,9	0,3	3,8	0,6	0,2	н/д	0,3	1,4	0,1	3,6
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (непол.)	8,9	10,8	3,2	5,3	0,8	1,3	2,3	1,2	0,7	0,9	н/д	0,1	0,2	0,4	1,0
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (покатники)	0,5	1,3	1,9	0,0	0,8	0,6	1,2	1,0	0,1	0,3	н/д	0,4	1,8	0,6	0,4
Все лососи	484,1	263,6	237,9	394,1	68,6	333,5	147,0	274,2	286,6	176,1	н/д	33,6	344,1	88,9	501,1
Площадь, тыс. км²	203,96	203,96	203,96	203,96	203,96	203,96	203,96	181,63	177,15	166,72	–	32,60	85,40	110,0	154,0

* Численность лососей приведена по данным траловых учетных съемок, результаты которых опубликованы в 2005–2020 гг. в ежегодных Бюллетенях изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке.

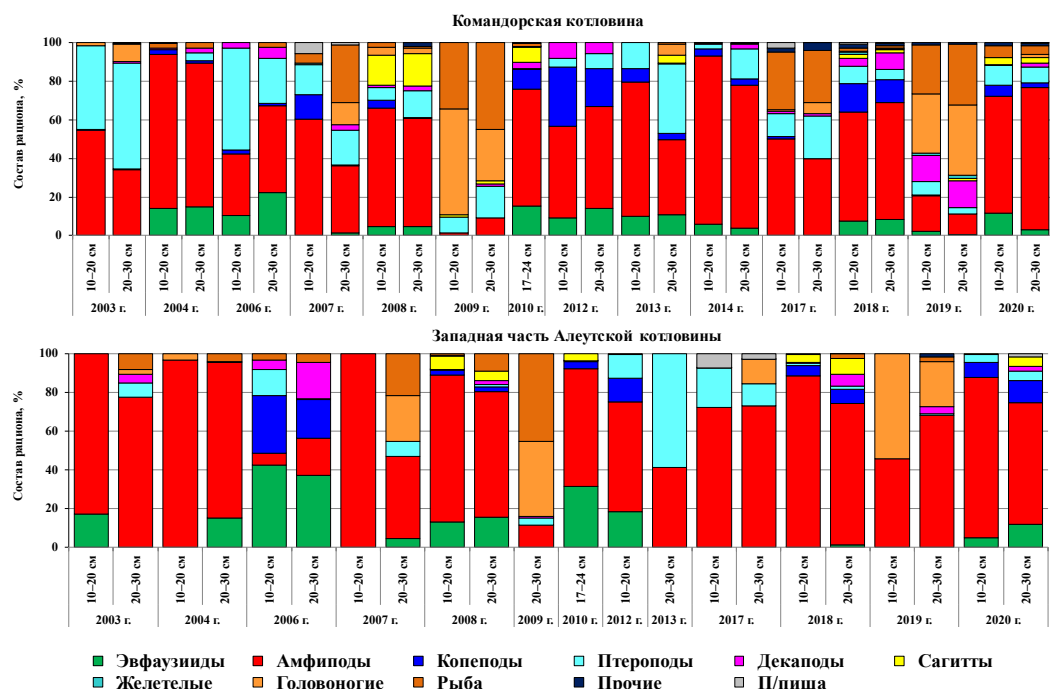


Рис. 6. Межгодовая динамика состава рациона молоди горбуши (длиной 10–20 и 20–30 см) в верхнем слое эпипелагиали глубоководных котловин Берингова моря осенью в 2003–2020 гг.

Fig. 6. Interannual dynamics of the juvenile pink salmon (length 10–20 and 20–30 cm) diet in the upper epipelagic layer of the deep-water basins of the Bering Sea in autumn of the 2003–2020s

ранний морской, морской и океанический этапы. Поэтому достоверной связи между кормовыми условиями только в осенний период в глубоководных котловинах и численностью возвратов производителей на следующий год, в частности горбуши, не обнаруживается.

Самую высокую учетную по траловым уловам численность молоди горбуши в пределах западной части Алеутской и Командорской котловин отмечали в 2008, 2010, 2018 и 2020 гг. (0,96–1,26 млрд экз.) и несколько меньшую — в 2006 и 2014 гг. (0,64 и 0,62 млрд экз.) (табл. 8) [Найденко и др., 2020]. Эти высокочисленные поколения горбуши нагуливались осенью в глубоководной части моря при разных кормовых условиях и, как уже отмечалось выше, имели разную накормленность, в том числе и низкую. Однако высокие возвраты (99–310 млн экз., рис. 7) производителей горбуши (от поколений указанных лет ската) свидетельствуют о том, что пониженные показатели пищевой обеспеченности во время осеннего нагула молоди в берингоморских котловинах не оказали значительного влияния на численность данных поколений.

В то же время, несмотря на хорошую выживаемость осенью и в зимне-весенний период и высокую численность возвратившихся рыб, масса производителей восточнокамчатской горбуши осенью 2009, 2011 и 2019 гг. была ниже среднемноголетнего показателя (рис. 7).

Снижение размеров горбуши в высокоурожайных поколениях связывают с нехваткой основного корма и переходом на низкокалорийную пищу в местах скоплений и совместного нагула рыб [Андриевская, 1975, 1998; Коваль, 2009; Карпенко и др., 2013]. Следует отметить, что изменение продукционных показателей горбуши урожайных поколений отмечалось и ранее, в период невысокой численности лососей, когда потребление кормовых организмов всей массой нагуливающих рыб было заметно ниже, чем в 2000–2020 гг., а соотношение пищи и ее потребителей выше, и, соответственно, кормовые условия были лучше.

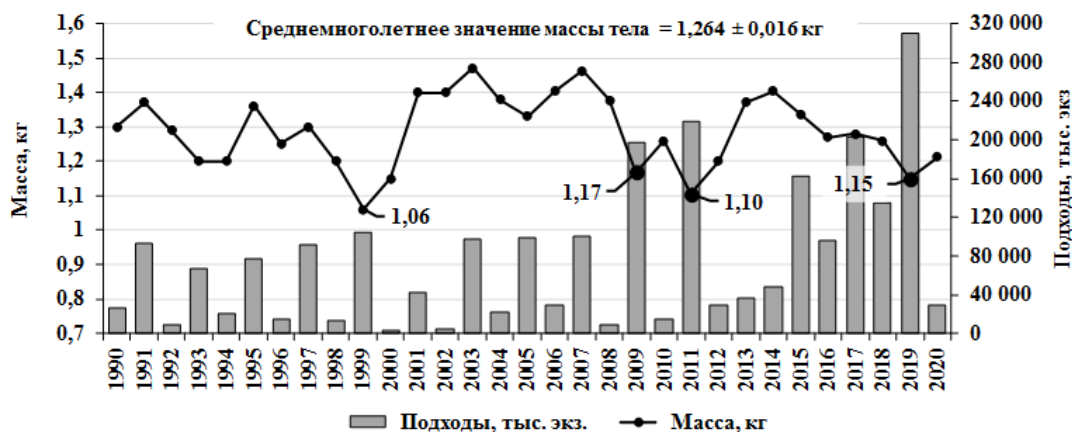


Рис. 7. Межгодовая изменчивость подходов и массы тела производителей горбуши*
Fig. 7. Interannual dynamics of the pink salmon spawners returns and their body weight

В 2008, 2010 и 2018 гг. условия нагула и интенсивность питания многочисленной молоди горбуши в берингоморских котловинах различались, а в 2008 г. в западной части Алеутской и в 2018 г. в обеих котловинах накормленность молоди была даже высокой (см. рис. 5). Но масса тела вернувшихся на следующий год производителей была ниже среднемноголетнего значения (рис. 7). Вероятно, в годы нагула высокочисленных поколений горбуши некормовые условия являются определяющими при формировании ее продукционных показателей.

Как уже отмечалось выше, лососи не являются единственными потребителями ресурсов верхнего слоя эпипелагиали. В глубоководных районах заметную долю в нектонном сообществе имеют кальмары, в некоторые годы — молодь северного терпуга, минтая, сельди, трехиглой колюшки, а также мезопелагические и другие рыбы. Среднемноголетняя суммарная доля этих групп и видов нектона в общем потреблении пищи в верхней эпипелагиали составляет 45 % летом и 58 % осенью. При анализе имеющихся для берингоморских районов данных пищевая активность вышеуказанных видов и групп нектона даже при значительной их численности оставалась высокой либо находилась на уровне среднемноголетних значений, а в составе рациона замены главных кормовых объектов на второстепенные не наблюдалось.

Например, летом 2003 г. при высоком обилии потребителей (3,1 т/км²) многочисленная молодь северного одноперого терпуга питалась исключительно копеподами (главным образом *N. plumchrus*), а средний ИНЖ составил соответственно 216 и 128 ‰ в Командорской котловине и западной части Алеутской котловины. Осенью 2017 и 2018 гг. при разных показателях пищевой обеспеченности рацион молоди терпуга был разнообразным и включал копепод, гипериид, птеропод и сагитт, а интенсивность питания была на среднем уровне. В составе рациона трехиглой колюшки при различной ее численности доминировали главным образом гиперииды (*T. pacifica*) и мелкие копеподы (молодь *N. cristatus*, виды р. *Pseudocalanus*). Питание мезопелагических рыб в верхней эпипелагиали сопряжено с суточными вертикальными миграциями планктона, и, в отличие от лососей, они питаются в темное время суток, когда биомасса многих видов зоопланктона в поверхностных слоях увеличивается. При разной доле мезопелагических рыб в нектоне в составе их рациона, в частности серебрянки и светлоперого стенобраха, доминировали гиперииды (у мелких рыб) и эвфаузииды (у

* Приведены официальные данные подходов горбуши (вылов и заполнение нерестилищ) и весовых показателей, предоставленные региональными филиалами ФГБНУ «ВНИРО» и опубликованные в Бюллетене изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке за 2009–2020 гг.; вылов по статистическим данным NPAFC; www.npafc.org.

более крупных), а ИНЖ в разные годы находились в пределах от 50 до 133 ‰ и были наиболее высокими у мелких рыб. Основу рациона разных видов кальмаров формировали преимущественно эвфаузииды, при этом у молоди кальмаров интенсивность питания была очень высокой. Минтай, биомасса которого в верхней эпипелагиали наваринского района осенью 2003 г. составила 175 тыс. т (главным образом за счет его молоди), потреблял эвфаузиид, копепод и амфипод, а крупные рыбы — нектонную пищу. При этом молодь размером 5–10 см имела высокие ИНЖ (200 ‰), а у других размерно-возрастных групп индексы варьировали от 43 до 219 ‰. Летом 2015 г., при биомассе минтая 194 тыс. т, обилие зоопланктонных ресурсов на единицу массы нектона было пониженным. Однако преобладающей группой в рационе мелко- и среднеразмерного минтая были копеподы, доминирующие в этот год в планктонном сообществе, у крупных рыб — эвфаузииды, а ИНЖ изменялись от 87 до 140 ‰.

Таким образом, понижение в некоторые годы показателей пищевой обеспеченности не достигало такого уровня, при котором бы существенно изменилось питание рыб и кальмаров.

Заключение

Результаты исследований показали, что выедание рыбами и кальмарами продукции зоопланктона в верхнем слое эпипелагиали глубоководных котловин в летне-осенний период изменяется от 1 до 7 %, составляя в среднем 2–3 %, что свидетельствует о невысокой степени использования зоопланктонных ресурсов эпипелагическим нектоном. Тем не менее в рассматриваемых районах в некоторые годы показатели пищевой обеспеченности рыб и кальмаров снижаются. При биомассе нектона более 1,4–2,0 т/км² и биомассе зоопланктона менее 70 и 50 т/км² летом и осенью обилие пищи на единицу массы потребителей уменьшается, а использование зоопланктонных ресурсов, в частности эвфаузиид, гипериид и птеропод, увеличивается. В глубоководных котловинах такие ситуации отмечались летом в 2003, 2007 и 2009 гг. и осенью в 2002, 2004, 2006, 2008 и 2014 гг. В наваринском районе при высоком обилии рыб, особенно молоди минтая, потребление зоопланктонной продукции может достигать значительной величины, в частности летом 2003, 2011 и 2015 гг. и осенью 2003 г. В этом районе снижение пищевой обеспеченности рыб не всегда совпадало с повышенным их обилием и наблюдалось летом в 2003 и 2015 гг., а осенью в 2003 и 2009 гг.

Однако уменьшение обилия кормовой базы (в глубоководных котловинах в среднем в 2–3 раза, а в наваринском районе до 8–10 раз) не во всех случаях отражалось на питании рыб и кальмаров, степени их накормленности и составе рациона. В частности, у лососей лишь в отдельные годы при пониженных показателях пищевой обеспеченности, а также при высокой их биомассе снижалась интенсивность питания и в составе рациона повышалась доля нектонной и второстепенной пищи (например, сагитт). Но коэффициенты корреляции между накормленностью лососей, обилием пищи и их численностью показали слабоотрицательную зависимость между этими параметрами. Достоверной связи между условиями нагула осенью в глубоководных котловинах и численностью возвратов производителей на следующий год, в частности горбуши, также не установлено. Хорошие возвраты производителей горбуши от высокоурожайных поколений, нагуливающих осенью при разной пищевой обеспеченности, указывают на то, что кормовые условия осеннего нагула не являются фактором, определяющим численность рыб, вернувшихся на нерест.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что современный уровень пищевой обеспеченности рыб и кальмаров является достаточным для стабильного функционирования нектонных сообществ верхней эпипелагиали рассматриваемых районов Берингова моря. В то же время при значительных концентрациях рыб и кальмаров возможно значительное выедание зоопланктона и снижение обеспеченности их пищей. Однако понижение в некоторые годы показателей пищевой

обеспеченности не достигало такого уровня, чтобы лимитировать численность рыб, в частности лососей.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают искреннюю благодарность всем участникам экспедиций за сбор и обработку первичных материалов, которые вошли в ихтиологическую, гидро-биологическую и трофологическую базы данных и положены в основу настоящей публикации.

Authors express their sincere gratitude to all participants of marine surveys for the samples collection and processing, which data were included in the ichthyological, planktological and trophological databases and used in this study.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsorship.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

All applicable international, national and/or institutional principles for the use of animals have been implemented.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

С.В. Найденко — концепция статьи, расчет количественных показателей, анализ результатов, написание текста, А.А. Сомов — расчет количественных показателей.

S.V. Naidenko — concept of the study, calculation of quantitative indices, analysis of results, writing the text, A.A. Somov — calculation of quantitative indices

Список литературы

Аксютин З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1968. — 288 с.

Андривская Л.Д. Питание тихоокеанских лососей в морской период жизни : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ТИНРО, 1975. — 28 с.

Андривская Л.Д. Условия формирования продукции поколений горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) (Salmonidae) в юго-западной части Берингова моря // Исследование биологии и динамики численности промысловых рыб камчатского шельфа. — 1998. — Вып. 4. — С. 94–97.

Бугаев А.В., Ленская Е.В., Коваль М.В. и др. Обзор итогов лососевой путины-2020 в Камчатском крае (сообщение 2): анализ оправдываемости прогнозов и возможных причин их несоответствия // Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2020. — С. 148–178.

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

Волков А.Ф. Введение в трофологию минтая // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 183. — С. 166–185. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-183-166-185.

Волков А.Ф. Зоопланктон эпипелагиали дальневосточных морей: состав сообществ, межгодовая динамика, значение в питании nekтона : дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 1996. — 70 с.

Волков А.Ф. Крылоногие моллюски (Pteropoda) Охотского моря: биомасса, численность, запас // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 132. — С. 314–330.

Волков А.Ф. Методика сбора и обработки планктона и проб по питанию nekтона (пошаговые инструкции) // Изв. ТИНРО. — 2008а. — Т. 154. — С. 405–416.

Волков А.Ф. Среднеголетние характеристики зоопланктона Охотского и Берингова морей и СЗТО (межгодовые и сезонные значения биомассы, доминирование) // Изв. ТИНРО. — 2008б. — Т. 152. — С. 253–270.

Волков А.Ф. Состав и распределение зоопланктона и питание тихоокеанских лососей в западной части Берингова моря и СЗТО в осенний период 2002–2008 гг. (результаты съемок по программе «BASIS») // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 159. — С. 226–242.

Волков А.Ф. Состояние кормовой базы тихоокеанских лососей в Беринговом море в 2003–2012 гг. (по результатам работ международных экспедиций BASIS-1 и 2) // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 179. — С. 250–271. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-179-250-271.

Волков А.Ф. Таблицы и графики по трофологии минтая западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2016а. — Т. 185. — С. 175–184. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-185-175-184.

Волков А.Ф. Элементарная трофология тихоокеанских лососей в Беринговом море. Видовые и региональные отличия. Обеспеченность пищей при различных условиях среды // Изв. ТИНРО. — 2016б. — Т. 187. — С. 162–186. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-162-186.

Горбатенко К.М. Трофодинамика гидробионтов в Охотском море : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2018. — 47 с.

Дулепова Е.П. Динамика продукционных показателей зоопланктона как основы кормовой базы нектона в западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 179. — С. 236–249. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-179-236-249.

Дулепова Е.П. Сравнительная биопродуктивность макроэкосистем дальневосточных морей : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2002. — 274 с.

Ефимкин А.Я. Питание лососей западной части Берингова моря в летне-осенний период 2002 г. // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 134. — С. 120–134.

Желтенкова М.В. Критическая оценка современных методов изучения питания рыб в естественных условиях // Тр. совещ. по методике изучения кормовой базы и питания рыб. — М. : АН СССР, 1955а. — С. 22–39.

Желтенкова М.В. Питание и использование кормовой базы донными рыбами Азовского моря // Тр. ВНИРО. — 1955б. — Т. 31, вып. 1. — С. 306–336.

Заволокин А.В. Пищевая обеспеченность тихоокеанских лососей в период морского и океанического нагула : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2014. — 48 с.

Заволокин А.В. Сравнительная характеристика пищевой обеспеченности тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus* spp.) в Беринговом море в 2002–2006 гг. // Вопр. ихтиол. — 2011. — Т. 51, № 2. — С. 218–230.

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

Карпенко В.И., Андриевская Л.Д., Коваль М.В. Питание и особенности роста тихоокеанских лососей в морских водах : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2013. — 303 с.

Коваль М.В. Особенности нагула и преднерестовых миграций тихоокеанских лососей в прикамчатских водах летом 2009 г. // Бюл. № 4 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2009. — С. 150–158.

Найденко С.В. Роль тихоокеанских лососей в трофической структуре эпипелагиали западной части Берингова моря в летне-осенний период 2002–2006 гг. // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 151. — С. 214–239.

Найденко С.В., Кузнецова Н.Н., Шебанова М.А. и др. Условия нагула молоди горбуши в осенний и зимне-весенний периоды 2019/2020 г. // Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — 2020. — С. 171–195.

Найденко С.В., Сомов А.А. Сезонная трофодинамика нектонного сообщества верхней эпипелагиали западной части Берингова моря // Вопр. ихтиол. — 2019. — Т. 59, № 5. — С. 600. DOI: 10.1134/S0042875219050126.

Найденко С.В., Сомов А.А., Кузнецова Н.А., Шебанова М.А. Многолетняя динамика кормовой базы и пищевой обеспеченности нектона верхней эпипелагиали западной части Берингова моря. Сообщение 1. Состав и обилие зоопланктона и мелкоразмерного нектона // Наст. том. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-3-33.

Найденко С.В., Хоружий А.А. Пищевая обеспеченность нектона эпипелагиали прикурильских вод Тихого океана в летние периоды 2000-х гг. // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 176. — С. 16–36. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-176-16-36.

Найденко С.В., Хоружий А.А. Трофодинамика нектонных сообществ эпипелагиали северо-западной части Тихого океана в летний и зимний периоды // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 188. — С. 181–203. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-188-181-203.

Радченко В.И. Состав, структура и динамика nekтонных сообществ эпипелагиали Берингова моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 1994. — 24 с.

Руководство по изучению питания рыб / сост. А.Ф. Волков, В.И. Чучукало. — Владивосток : ТИНРО, 1986. — 32 с.

Сомов А.А. Сезонная динамика обилия и видового состава nekтона верхней эпипелагиали западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 189. — С. 3–24. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-189-3-24.

Степаненко М.А., Грицай Е.В. Межгодовая изменчивость экологических условий и пространственная дифференциация минтая в Беринговом море // Тр. ВНИРО. — 2018. — Т. 174. — С. 6–20.

Степаненко М.А., Грицай Е.В. Состояние ресурсов, пространственная дифференциация и воспроизводство минтая в северной и восточной частях Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 185. — С. 16–30. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-185-16-30.

Темных О.С. Современный статус тихоокеанских лососей в пелагических экосистемах субарктической Пацифики // Бюл. № 4 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2009. — С. 235–241.

Чебанов С.М. Распределение гипериид в поверхностном слое южной части Берингова моря и прилегающих районов Тихого океана // Изв. ТИНРО. — 1965. — Т. 53. — С. 85–90.

Чучукало В.И. Питание и пищевые отношения nekтона и nekтобентоса в дальневосточных морях : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — 484 с.

Чучукало В.И., Дулепова Е.П. Методы оценки пищевой обеспеченности промысловых объектов и ее роль в рыбохозяйственных исследованиях дальневосточных морей // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 465–473.

Чучукало В.И., Напазаков В.В. Распределение и некоторые черты биологии крылоногих моллюсков в Охотском и Беринговом морях и сопредельных водах Тихого океана // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 584–601.

Чучукало В.И., Напазаков В.В., Борисов Б.М., Самко Е.В. Сезонное распределение и некоторые черты биологии массовых видов гипериид пелагиали Охотского моря и прилегающих вод Тихого океана // Изв. ТИНРО. — 1999. — Т. 126. — С. 529–551.

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.

Шунтов В.П., Дулепова Е.П., Темных О.С. и др. Состояние биологических ресурсов в связи с динамикой макроэкосистем в дальневосточной российской экономической зоне // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. — Владивосток : Дальнаука, 2007. — С. 75–176.

Шунтов В.П., Иванов О.А. Климатические изменения и современное состояние биоты российских вод дальневосточных морей // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 197. — С. 83–107. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-197-83-107.

Шунтов В.П., Темных О.С. Многолетняя динамика биоты макроэкосистем Берингова моря и факторы, ее обуславливающие. Сообщение 1. Ретроспективный анализ и обзор представлений о закономерностях в динамике популяций и сообществ Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2008а. — Т. 155. — С. 3–32.

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

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

Шунтов В.П., Темных О.С., Найдено С.В. и др. К обоснованию экологической емкости дальневосточных морей и субарктической Пацифики для пастбищного выращивания тихоокеанских лососей. Сообщение 4. Влияние фактора плотности на обеспеченность тихоокеанских лососей пищей и их роль в потреблении кормовой базы nekтона // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 161. — С. 25–52.

References

Aksyutina, Z.M., *Elementy matematicheskoi otsenki rezul'tatov nablyudenii v biologicheskikh i rybokhozyaistvennykh issledovaniyakh* (Elements of Mathematical Evaluation of the Results of Observations in Biological and Fishery Research), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1968.

Andrievskaya, L.D., Nutrition of Pacific salmon during the marine period of life, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO, 1975.

Andrievskaya, L.D., Conditions for the production of fruits of pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* (Walbaum) (Salmonidae) in the southwestern part of the Bering Sea, *Issledovaniye biologii i dinamiki chislennosti promyslovykh ryb zapadnokamchatskogo shel'fa*, 1998, no. 4, pp. 94–97.

Bugayev, A.V., Lepskaya, Ye.V., Koval', M.V., Tepnin, O.B., Zikunova O.V., and Fel'dman, M.G., Review of the results of the salmon route-2020 in the Kamchatka Territory (message 2): analysis of the reliability of forecasts and possible reasons for their discrepancy, 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. 148–178.

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.

Volkov, A.F., Introduction to trophology of walleye pollock, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 183, pp. 166–185. doi 10.26428/1606-9919-2015-183-166-185

Volkov, A.F., Zooplankton epipelagial of the Far Eastern seas: community composition, inter-annual dynamics, importance in the nutrition of nekton, *Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 1996.

Volkov, A.F., Pteropods of the Okhotsk Sea: numbers, biomass, resources, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 132, pp. 314–330.

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., Quantitative parameters of zooplankton communities in the Okhotsk and Bering Seas and North-West Pacific (biomass, composition, dynamics), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 152, pp. 253–270.

Volkov, A.F., Structure and distribution of zooplankton and feeding of pacific salmon in the western Bering Sea and North-West Pacific falls 2002–2008 (results on the surveys under BASIS program), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2009, vol. 159, pp. 226–242.

Volkov, A.F., State of forage base for pacific salmon in the Bering Sea in 2003–2012 (by results of surveys of the international expeditions BASIS-1 and 2), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 179, pp. 250–271. doi 10.26428/1606-9919-2014-179-250-271

Volkov, A.F., Tables and diagrams on trophology of walleye pollock in the western Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 185, pp. 175–184. doi 10.26428/1606-9919-2016-185-175-184

Volkov, A.F., Elementary trophic ecology of pacific salmon in the Bering Sea. Species and regional differences. Provision with food in different environments, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 187, pp. 162–186. doi 10.26428/1606-9919-2016-187-162-186

Gorbatenko, K.M., Trophodynamics of aquatic organisms in the Sea of Okhotsk, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2018.

Dulepova, E.P., Dynamics of production parameters for zooplankton as the main component of forage base for nekton in the western Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 179, pp. 236–249. doi 10.26428/1606-9919-2014-179-236-249

Dulepova, E.P., *Sravnitel'naya bioproduktivnost' makroekosistem dal'nevostochnykh morei* (Comparative Bioproductivity of Macroecosystems in Far Eastern Seas), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2002.

Efimkin, A.Ya., Salmon feeding in the western Bering Sea in summer — autumn of 2002, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 134, pp. 120–134.

Zheltenkova, M.V., Critical Appraisal of Modern Methods for Studying Fish Nutrition in Special Conditions, in *Trudy soveshchaniya po metodike izucheniya kormovoy bazy i pitaniya ryb* (Proceedings of the meeting on the methodology for studying the food base and nutrition of fish), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1955, pp. 22–39.

Zheltenkova, M.V., Feeding and use of food supply by bottom fish of the Sea of Azov, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1955, vol. 31, no. 1, pp. 306–336.

Zavolokin, A.V., Food availability for Pacific salmon during the period of feeding in sea and ocean, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2014.

Zavolokin, A.V., Comparative characteristics of food supply of pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) in the Bering Sea from 2002 to 2006, *Vopr. Ikhtiol.*, 2011, vol. 51, no. 2, pp. 218–230.

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

Karpenko, V.I., Andrievskaya, L.D., and Koval', M.V., *Pitaniye i osobennosti rosta tik-hookeanskikh lososei v morskikh vodakh* (Feeding Habits and Pattern of Growth of Pacific Salmon in Marine Waters), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2013.

Koval, M.V., Features of feeding and pre-spawning migrations of Pacific salmon in Kamchatka waters in the summer of 2009, in *Byull. N 4 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovoï programmy izucheniya tikhookeanskikh lososei"* (Bull. No. 4 Implementation "Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2009, pp. 150–158.

Naydenko, S.V., Implication of pacific salmon in trophic structure of the upper epipelagic layer in the western bering sea in summer-autumn of 2002–2006, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 151, pp. 214–239.

Naydenko, S.V. and Somov, A.A., Seasonal Trophodynamics of the Upper Epipelagic Nekton Community in the Western Bering Sea, *J. Ichthyol.*, 2019, vol. 59, no. 5, pp. 786–804. doi 10.1134/S0032945219050096

Naydenko, S.V., Somov, A.A., Kuznetsova, N.A., and Shebanova, M.A., Long-term dynamics of forage base and food supply for nekton in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea. Part 1. Composition and abundance of zooplankton and small-sized nekton, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 3–33. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-3-33

Naydenko, S.V. and Khoruzhiy, A.A., Species structure and year-to-year dynamics of nekton biomass in the upper epipelagic layer of the Pacific waters at Kuril Islands in summer periods of the 2000s, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 176, pp. 16–36. doi 10.26428/1606-9919-2014-176-16-36

Naydenko, S.V. and Khoruzhiy, A.A., Trophodynamics of nekton communities in the epipelagic layer of the north-west Pacific in summer and winter seasons, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 188, pp. 181–203. doi 10.26428/1606-9919-2017-188-181-203

Radchenko, V.I., Composition, structure, and dynamics of nekton communities in the epipelagic layer of the Bering Sea, *Extended Abstract of Cand. (Biol.) Sci. Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 1994.

Volkov, A.F. and Chuchukalo, V.I., *Rukovodstvo po izucheniyu pitaniya ryb* (Guide to the Study of Diet of Fish), Vladivostok: TINRO, 1986.

Somov, A.A., Seasonal dynamics in abundance and species composition of nekton in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 189, pp. 3–24. doi 10.26428/1606-9919-2017-189-3-24

Stepanenko, M.A. and Gritsai, E.V., Interannual variability of environmental conditions and spatial differentiation of walleye pollock in the Bering Sea, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 174, pp. 6–20.

Stepanenko, M.A., and Gritsai, E.V., Assessment of stock, spatial distribution, and recruitment of walleye pollock in the northern and eastern Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 185, pp. 16–30. doi 10.26428/1606-9919-2016-185-16-30

Temnykh, O.S., Current Status of Pacific Salmon in Pelagic Ecosystems of the Subarctic Pacific, in *Byull. N 4 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovoï programmy izucheniya tikhookeanskikh lososei"* (Bull. No. 4 Implementation "Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2009, pp. 235–241.

Chebanov, S.M., Distribution of hyperiids in inflammation foci in the southern part of the Bering Sea and the threat of approach to the Pacific Ocean, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1965, vol. 53, pp. 85–90.

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.

Chuchukalo, V.I. and Dulepova, E.P., Methods for assessing the food supply of commercial objects and its role in fisheries research of the Far Eastern seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 465–473.

Chuchukalo, V.I. and Napazakov, V.V., Distribution and some features of the biology of pterygoids in the Sea of Okhotsk and the Bering Sea and adjacent waters of the Pacific Ocean, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 124, pp. 584–601.

Chuchukalo, V.I., Napazakov, V.V., Borisov, B.M., and Samko, Ye.V., Sezonnoye nakopleniye i nekotoryye osobennosti bimassovykh vidov giperiid pelagialii Okhotskogo morya i vmeshchayushchikh vod Tikhogo okeana, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1999, vol. 126, pp. 529–551.

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-Tsentr, 1993.

Shuntov, V.P., Dulepova, E.P., Temnykh, O.S., Volkov, A.F., Naidenko, S.V., Chuchukalo, V.I., and Volvenko, I.V., The status of biological resources in connection with dynamics of macroecosystems in the Far Eastern economic zone of Russia, in *Dinamika morskikh ekosistem i sovremennye problemy sokhraneniya bioresursnogo potentsiala morei Rossii* (Dynamics of Marine Ecosystems and the Current Problems of Conservation of the Bioresource Potential of the Russian Seas), Vladivostok: Dal'nauka, 2007, pp. 75–176.

Shuntov, V.P. and Ivanov, O.A., Climate changes and current state of biota in the Russian waters of the Far-Eastern Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 197, pp. 83–107. doi 10.26428/1606-9919-2019-197-83-107

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., Long-term dynamics of biota in the Bering Sea macroecosystems and its determinant factors. Communication 1. Retrospective analysis and review of conceptions for patters in dynamics of the Bering Sea populations and communities, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 155, pp. 3–32.

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

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

Shuntov, V.P., Temnykh, O.S., Naidenko, S.V., Zavolokin, A.V., Dolganova, N.T., Volkov, A.F., and Volvenko, I.V., To substantiation of carrying capacity of the Far-Eastern Seas and Subarctic Pacific for pacific salmon pasturing. Report 4. Effect of density-dependent interactions on pacific salmon food supply and role of the salmon in consumption of nekton's forage base, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 161, pp. 25–52.

Fricke, R., Eschmeyer, W.N., Van der Laan, R., Catalog of fishes: genera, species, references, 2018. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain>. Cited January 27, 2018.

Поступила в редакцию 29.12.2021 г.

После доработки 18.02.2022 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

*The article was submitted 29.12.2021; approved after reviewing 18.02.2022;
accepted for publication 25.02.2022*

Научная статья

УДК 597.541:639.2

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-61-70



**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ
САХАЛИНО-ХОККАЙДСКОЙ СЕЛЬДИ *CLUPEA PALLASII*
У ПОБЕРЕЖЬЯ О. САХАЛИН
И ЮЖНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ**

Э.Р. Ившина*

Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),
693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196

Аннотация. Обобщены данные донных траловых съемок у юго-западного Сахалина, оценки площади нерестилищ сельди в прибрежье южной части острова, плотности икринок в кладках, а также статистика промысла и сообщения в средствах массовой информации за период с 2000 по 2020 г. Начиная с 2015 г. у южного Сахалина (юго-западное и юго-восточное побережья, зал. Анива) и южных Курильских островов наблюдается увеличение запасов сельди сахалино-хоккайдской популяции. Показано, что повсеместно в пределах российской части ее ареала возрастают численность нерестовых рыб, площади нерестилищ и плотность кладок икры. Биомасса нерестовой сельди в 2020 г. у юго-западного Сахалина оценена в 35,5 тыс. т, у юго-восточного побережья — 62,5 тыс. т, в 2021 г. в зал. Анива она достигла 21,6 тыс. т. Общий вылов сельди у о. Сахалин и южных Курильских островов в 2021 г. составил 8,3 тыс. т. Эти факты указывают на рост запасов сельди сахалино-хоккайдской популяции после длительной депрессии. В случае сохранения данной тенденции эта сельдь способна вновь стать важным объектом промысла в Сахалино-Курильском регионе.

Ключевые слова: сахалино-хоккайдская сельдь, Сахалин, южные Курильские острова, нерест, нерестилища, численность.

Для цитирования: Ившина Э.Р. Современное состояние запасов сахалино-хоккайдской сельди *Clupea pallasii* у побережья о. Сахалин и южных Курильских островов // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 61–70. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-61-70.

Original article

**Modern state for stocks of Sakhalin-Hokkaido herring *Clupea pallasii*
at the coast of Sakhalin Island and southern Kuril Islands**

Elza R. Ivshina

Ph.D., leading researcher, Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO), 196, Komsomolskaya Str.,
Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia, e.ivshina@sakhniro.ru

Abstract. Data of bottom trawl surveys at southwestern Sakhalin and surveys of the herring spawning grounds at southern Sakhalin and Kuril Islands are summarized, with as-

* Ившина Эльза Рудольфовна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник,
e.ivshina@sakhniro.ru.

© Ившина Э.Р., 2022

assessment of the spawning grounds size and the eggs density in clutches. Fishery statistics and media reports are overviewed, as well. The stock of the Sakhalin-Hokkaido population increases since 2015, both off southwestern and southeastern coasts of Sakhalin, in the Aniva Bay, and at southern Kuril Islands. Number of the spawning herring increases everywhere within the Russian waters, as well as the size of spawning grounds and the density of eggs laying. In particular, the biomass of spawning herring was estimated in 2020 as $35.5 \cdot 10^3$ t at southwestern Sakhalin and $62.5 \cdot 10^3$ t at southeastern Sakhalin; it was $21.6 \cdot 10^3$ t in the Aniva Bay in 2021; the total catch of herring in the waters at Sakhalin Island and southern Kuril Islands reached $8.3 \cdot 10^3$ t in 2021. The stock of Sakhalin-Hokkaido herring is restoring after long depression, so this species is capable to return to the list of the major objects for fishery in the Sakhalin-Kuril region of Russia.

Keywords: Sakhalin-Hokkaido herring, Sakhalin, southern Kuril Islands, spawning, spawning grounds, fish abundance.

For citation: Ivshina E.R. Modern state for stocks of Sakhalin-Hokkaido herring *Clupea pallasii* at the coast of Sakhalin Island and southern Kuril Islands, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 61–70. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-61-70.

Введение

Сахалино-хоккайдская популяция сельди *Clupea pallasii* до середины 1950-х гг. характеризовалась максимальной численностью и относилась к одной из крупнейших в Северной Пацифике. В годы высокой численности ее ареал простирался от западного побережья о. Хонсю до западного и юго-восточного побережий Сахалина и зал. Анива, включал прибрежную зону о. Хоккайдо, южных Курильских островов и был привязан к зоне влияния Цусимского течения и его ответвлений. Нерестовые подходы начинались в марте-апреле у японских берегов и заканчивались в мае — начале июля у южного побережья о. Сахалин на северной границе ареала популяции [Фридлянд, 1951; Пискунов, 1952; Световидов, 1952; Пробатов, 1953, 1954; Пушникова, 1994; Фадеев, 2003].

Сахалино-хоккайдская популяция сельди обеспечивала в этот период и максимальные уловы среди других популяций тихоокеанской сельди. Возникновение промысла сельди у японских берегов датируется серединой XV века, у сахалинского побережья — второй половиной XIX века, хотя упоминания о лове сельди известны с середины XVII века. Промысловая статистика ведется с 1870 г. у побережья о. Хоккайдо и с 1876 г. у о. Сахалин. Согласно этим данным пик вылова сельди пришелся на конец XIX — начало XX века. Максимальный вылов сельди сахалино-хоккайдской популяции (973 тыс. т) был достигнут в 1897 г. у побережья о. Хоккайдо. Наибольшее развитие сельдяного промысла у побережья о. Сахалин приходится на 1920–1940-е гг. Вылов сельди у японских островов в 1920-е — середине 1950-х гг. достигал 100–550 тыс. т в год, у сахалинских берегов (юго-западное и юго-восточное побережье, заливы Анива и Терпения) — также около 100–500 тыс. т. У южного Сахалина максимальный вылов (505 тыс. т) отмечен в 1931 г. В 1950-е гг. наблюдалось резкое сокращение запасов сельди сахалино-хоккайдской популяции и, как следствие, уменьшение ее вылова у сахалинских берегов до 30–70 тыс. т. С 1960-х гг. популяция достигла минимального уровня численности более чем за столетний период наблюдений. Вылов нагульной сельди в 1990–2000-е гг. не превышал 1–3 тыс. т в год, промысел нерестовой сельди был запрещен [Пробатов, 1954; Iizuka, Morita, 1991; Пушникова, 1994, 1996; Nagasawa, 2001; Kobayashi, 2002; Зверькова, Антонов, 2017; Ившина, 2021; Нагульная сельдь..., 2021*].

По мере снижения численности, соответственно, сокращался и репродуктивный ареал популяции. Так, на севере о. Хонсю подходы сельди сахалино-хоккайдской популяции на нерест прекратились в начале XX века, на юге о. Хоккайдо — в 1920-е гг., в прибрежной зоне о. Кунашир — в конце 1940-х гг., в районах основного нереста у юго-западного Сахалина и в зал. Анива — в конце 1950-х гг. С 1960-х гг. полностью

* Нагульная сельдь — 2021 (путинный прогноз). Владивосток: ТИНРО, 2021. 101 с.

отсутствовал нерест на традиционных нерестовых участках, характерных для периода высокой численности. Такие масштабы сокращения площади нерестовых подходов и вылова согласуются с уменьшением численности сахалино-хоккайдской популяции сельди и являются свидетельством ее крайне угнетенного состояния [Световидов, 1952; Пробатов, 1953, 1954; Пушникова, 1994; Фадеев, 2003].

Начиная с середины 2010-х гг. наблюдается поступательный рост запасов сельди в водах, прилегающих к о-вам Хоккайдо, Сахалин и южным Курильским [Ресурсная оценка..., 2020*; Ившина, 2021; Нагульная сельдь..., 2021**; Перов, 2021]. В связи с этим в настоящей работе рассматривается состояние запасов и динамика вылова сельди у южного побережья о. Сахалин и у южных Курильских островов в 2000–2021 гг.

Материалы и методы

В основу работы положены архивные материалы и результаты обследования нерестилищ сельди у южного побережья о. Сахалин в 2018 и 2020–2021 гг., которые были у юго-восточного побережья на участке от мыса Сенявина до мыса Дальримпля в мае 2018 г. и мае 2020 г., у юго-западного побережья от мыса Лопатина до мыса Старицкого в апреле-мае 2020 г. и в зал. Анива от мыса Анастасии до мыса Белый Камень в апреле-мае 2021 г. (рис. 1).



Рис. 1. Схема районов обследования нерестилищ сельди у южного Сахалина в апреле-мае 2018, 2020, 2021 гг.

Fig. 1. Scheme of surveyed spawning grounds of herring at southern Sakhalin in April-May of 2018, 2020, 2021

* Ресурсная оценка запасов сельди у о. Хоккайдо в 2020 году: http://abchan.fra.go.jp/digests2021/digest/2021_23.pdf (на яп. яз.). Дата обращения: 02.12.2021.

** Нагульная сельдь..., 2021.

Икорные съемки выполняли с помощью водолазов обычно через 5–10 дней после массового нереста сельди по заранее намеченной схеме станций на глубинах от нескольких сантиметров до 5–12 м в пределах развития пояса водорослей и морских трав. Пробы отбирали в зависимости от плотности произрастания макрофитов и обыскания субстрата с площадки 25×25 или 10×10 см и далее фиксировали в 4 %-ном растворе формалина. Обработка проб субстрата с икрой сельди осуществлялась в камеральных условиях. Также выполняли осмотр прибрежной полосы с целью выявления икры в выбросах и ее визуального количественного учета. На основе полученных данных выполнен расчет численности и биомассы нерестовых рыб по методике, принятой для подобного рода работ в дальневосточных морях [Качина, 1967; Науменко, 2001].

Промысловая статистика приведена по информации Сахалино-Курильского территориального управления Росрыболовства и из опубликованных источников [Пискунов, 1952; Румянцев, 1958; Чернявский, 1958; Ившина, 2021].

Результаты и их обсуждение

В течение нескольких десятилетий с 1960-х по середину 2010-х гг. численность сельди сахалино-хоккайдской популяции у южного побережья о. Сахалин находилась на минимальном уровне за весь период наблюдений с конца XIX века. Динамику численности сельди хорошо отражает протяженность участков побережья, используемых ею для нереста. Так, площадь нерестилищ у юго-западного побережья Сахалина (основной район нереста сельди в южной части острова) во второй половине 1950-х гг. достигала 1165–5525 тыс. м^2 , уже в 1960-е гг. она существенно уменьшилась, а в 1980-е — начале 1990-х гг. сократилась до 5–300 тыс. м^2 . За эти же годы при снижении протяженности нерестовых участков уменьшилась и плотность кладок икры, в среднем с 2,0–6,0 до 0,4–0,8 млн икр./ м^2 . Подходы половозрелых рыб к побережью в мае фиксировались исключительно севернее мыса Слепиковского, в периферических районах нереста в период высокой численности. На участках основного в прошлом нереста южнее указанного мыса подходы половозрелых рыб не отмечались [Фридлянд, 1951; Румянцев, Дарда, 1965; Пушникова, 1981; Ivshina, 2000].

Косвенно о состоянии запасов сахалино-хоккайдской сельди можно судить по результатам донных траловых съемок, выполненных у юго-западного побережья о. Сахалин в разные годы в последние два десятилетия. Сельдь относится к пелагическим видам, и донный трал не является приспособленным орудием лова для учета численности подвижных рыб. В то же время известно, что сельдь в дневное время держится в придонном слое воды, и результаты траловых донных съемок могут дать некоторое представление о ее распределении и запасах. В частности, по результатам исследований в весенний период (апрель–май) 2001–2008 гг. средняя оценка биомассы сельди на юго-западном шельфе о. Сахалин не превышала 0,6 тыс. т. Съемки, выполненные в осенний период в 2009, 2011 и 2013 гг., показали также весьма низкий уровень ее запаса — 0,050–0,083 тыс. т. Первые свидетельства о начавшемся увеличении численности сахалино-хоккайдской сельди были получены в ходе донной траловой съемки в июне–июле 2015 г. (8,6 тыс. т) и подтверждены результатами аналогичных исследований у юго-запада острова в июне–июле 2018 г. (12,6 тыс. т)*.

В 2018 г. местными жителями впервые с 1961 г. зафиксирован нерест сельди у юго-западного побережья острова южнее мыса Слепиковского. Протяженность участка, где визуально наблюдали размножение сельди, составляла не менее 2 км. В апреле 2019 г. протяженность участка видимого нереста сельди заметно увеличилась**.

В апреле–мае 2020 г. по результатам водолазных исследований площадь нерестилищ у юго-западного Сахалина была оценена в 1091,7 тыс. м^2 , средняя плотность кладок

* Нагульная сельдь..., 2021.

** Такого не было 70 лет. Нерест сельди возле Невельска: <https://www.youtube.com/watch?v=BEeHvofsl5Y>. Дата обращения: 01.12.2021.

икры составляла около 7 млн икр./м². Такая площадь нерестилищ уже сопоставима с площадью нерестилищ не в период депрессии в 1960–2000-е гг., а во время снижения запасов сельди и начала депрессии, отмеченного в конце 1950-х гг. [Пушникова, 1994] (рис. 2). Численность производителей составила 177,4 млн рыб, нерестовая биомасса — 35,5 тыс. т.

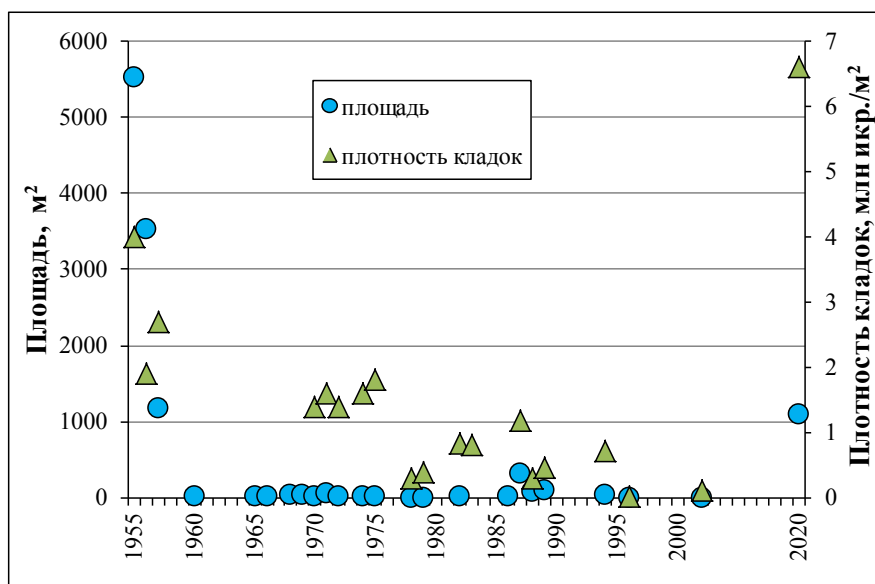


Рис. 2. Площадь нерестилищ (тыс. м²) сельди и плотность кладок ее икры (млн икр./м²) у юго-западного побережья о. Сахалин в 1955–2020 гг.

Fig. 2. Area of spawning grounds and density of eggs laying for herring at the southwestern coast of Sakhalin Island, 1955–2020

В 2021 г. специальные исследования на нерестилищах сельди этого района не выполняли. Однако из средств массовой информации* известно, что в 2021 г. сельдь в значительном количестве подходила на нерест на традиционных участках акватории у юго-западного Сахалина к югу от мыса Слепиковского и на второстепенных участках нереста севернее этого мыса*. Анализ подобных материалов позволяет предполагать увеличенную площадь нерестилищ в 2021 г. по сравнению с предыдущими годами.

Юго-восточное побережье о. Сахалин, в том числе акватория зал. Терпения, являются частью ареала сахалино-хоккайдской сельди, соответственно, динамика запасов сельди этого района сопряжена с ее запасами у юго-западного Сахалина. Как и у западного Сахалина, до середины 2010-х гг. запасы сельди на юго-восточном побережье находились в депрессивном состоянии. В условиях низкой численности в 2000–2015 гг. средняя площадь нерестилищ составляла около 196,90 тыс. м², средняя плотность кладок икры — 1,86 млн икр./м², нерестовый запас — 3,31 тыс. т, тогда как в 2018 и 2020 гг. значения этих показателей возросли в несколько раз и составляли соответственно 679,0 и 3,17 и 965,0 тыс. м² и 6,93 млн икр./м² (рис. 3). Нерестовая биомасса сельди в эти годы по итогам икорных водолазных съемок оценена в 27,0 и 62,5 тыс. т.

Сходная динамика запасов отмечается и в зал. Анива, также акватории нереста и нагула сельди сахалино-хоккайдской популяции. В частности, в 2019 и 2020 гг. в зал. Анива впервые после 1950-х гг. зафиксирован массовый видимый нерест сельди. Результаты специализированных исследований показали, что нерестовые подходы

* Батин Ю. Берег Сахалина усыпало идущей на нерест сельдью: <https://rg.ru/2021/04/04/reg-dfo/bereg-sahalina-usypalo-idushchej-na-nerest-seldiu.html>. Дата обращения: 01.12.2021; На берег Сахалина выбросилась идущая на нерест сельдь: <https://tolknews.ru/proisshествia/53668-rochemu-na-sahaline-proizoshel-massoviy-vibros-seldi>. Дата обращения: 01.12.2021.

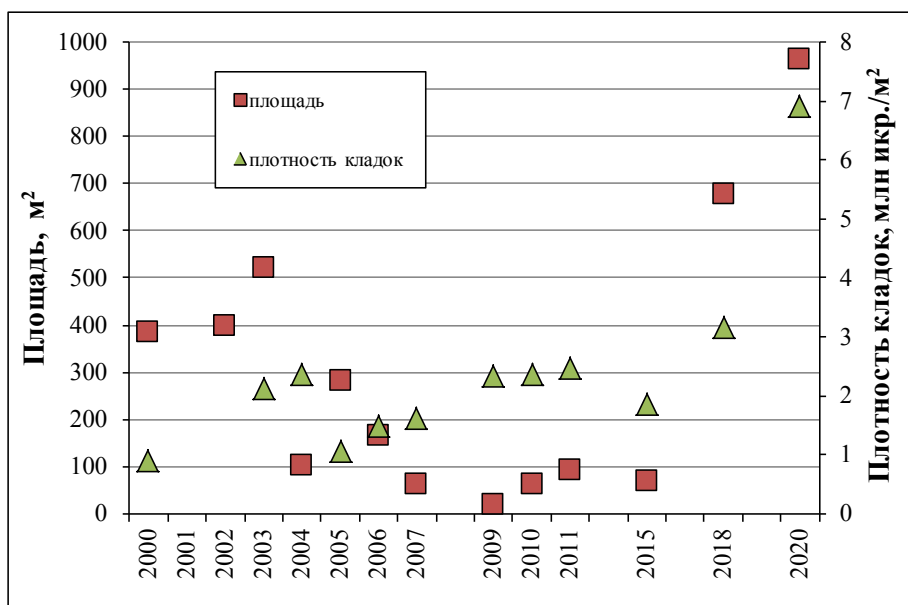


Рис. 3. Площадь нерестилищ (тыс. м²) сельди и плотность кладок икры (млн икр./м²) у юго-восточного побережья о. Сахалин в 2000–2020 гг.

Fig. 3. Area of spawning grounds and density of eggs laying for herring at the southeastern coast of Sakhalin Island, 2000–2020

сельди в 2021 г. наблюдались практически на всех участках у западного и северного побережий залива, характерных для периода высокой численности до 1960-х гг. Площадь учтенных нерестилищ составила около 800 тыс. м², средняя плотность кладок — 4,22 млн икр./м², биомасса нерестового запаса сельди — 21,6 тыс. т. Наибольшая площадь локальных нерестилищ (85 % от суммарной площади нерестилищ в заливе) и максимальная плотность кладок икры (средний показатель 5,23 млн икр./м²) зафиксированы в северной части залива от мыса Томари-Анива до мыса Юноны. Этот же участок акватории залива отличался наибольшими подходами нерестовых рыб в годы высокой численности популяции в конце XIX — середине XX века [Шмидт, 1905; Пробатов, 1954].

По мере увеличения численности сельди у рыбодобывающих организаций возрастает интерес к промыслу сельди у южного Сахалина.

Со второй половины 2010-х гг. промысел, ориентированный на сельдь, осуществляется в нерестовый период малыми ставными неводами только у юго-восточного побережья острова. Лов сельди в зал. Анива и у юго-западного побережья развит пока слабо, но ежегодно развивается и уловы увеличиваются. В целом динамика вылова вполне отражает динамику численности сельди у южного Сахалина.

У юго-восточного побережья о. Сахалин, в том числе на акватории зал. Терпения, специализированный промысел нерестовой сельди осуществлялся до 1960 г., в последующие годы по причине низкой численности этого вида лов в период нереста не организовывался. Возобновился лов сельди в конце апреля — июне в 2000–2001 гг. В условиях низкой численности данной группировки в 2000–2016 гг. среднегодовой вылов составлял всего 0,06 тыс. т, сельдь фиксировалась как прилов при промысле других видов рыб малыми ставными неводами. И лишь при увеличении численности сельди в середине 2010-х гг. промысел интенсифицировался, в 2017–2020 гг. ее вылов в среднем составлял почти 1,5 тыс. т, в 2021 г. достигнув 5,17 тыс. т. Данный вид в эти годы по объемам изъятия стал основным промысловым объектом в прибрежной зоне. Надо отметить, что вылов сельди у юго-восточного побережья в 2021 г. в два-три раза

превысил уловы нерестовой сельди в 1940–1950-е гг. (среднее 1,8 тыс. т) и сравнялся с объемами ее изъятия в отдельные годы в 1930-х гг. [Ившина, 2021].

В зал. Анива также наблюдается заинтересованность рыбопромышленных организаций в ловле этой рыбы и, соответственно, увеличение уловов: вылов сельди возрос с 0,08–0,10 тыс. т в 2019–2020 гг. до 0,90 тыс. т в 2021 г. Увеличивается вылов нерестовой сельди и у юго-западного побережья. До 2017 г. ее вылов у западного Сахалина не осуществлялся, но уже в 2021 г. составил 0,46 тыс. т (рис. 4).

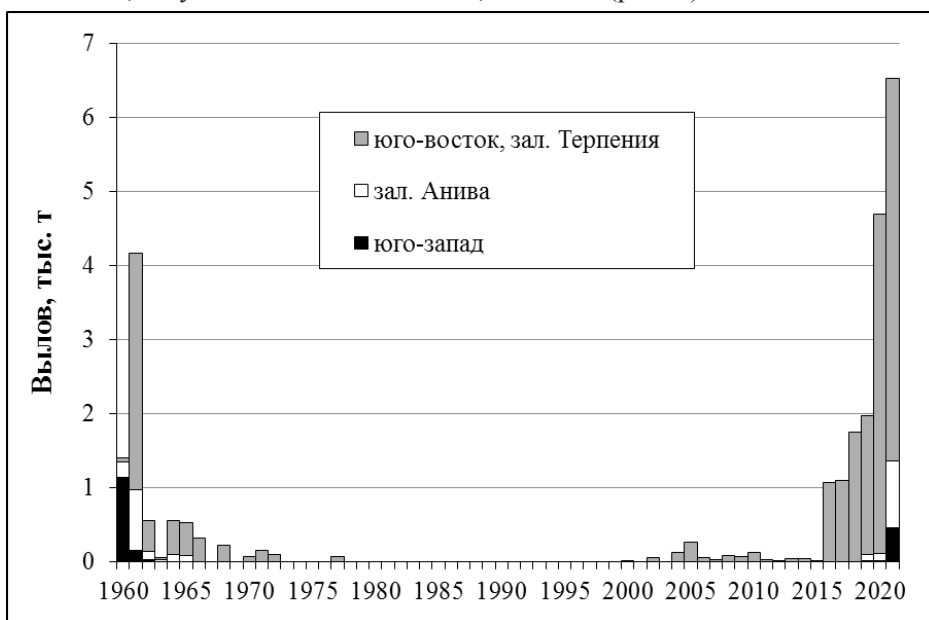


Рис. 4. Вылов нерестовой сельди в апреле-июне у южного побережья о. Сахалин в 1960–2021 гг., тыс. т

Fig. 4. Catch of spawning herring at the southern coast of Sakhalin in April-June of 1960–2021

Нерест сельди, относимой к сахалино-хоккайдской популяции, как известно, фиксировался и у южных Курильских островов (о. Кунашир). Максимальная численность рыб, судя по динамике уловов, пришлась в этом районе на конец XIX — начало XX века, среднегодовой вылов в это время составлял около 3,5 тыс. т. К 1950-м гг. добыча сельди у побережья о. Кунашир резко сократилась ввиду существенного уменьшения ее численности, отмечавшегося практически повсеместно, в том числе у о-вов Хоккайдо и Сахалин [Пробатов, Дарда, 1957; Пушникова, 1996; Nagasawa, 2001; Kobayashi, 2002]. И лишь с 2018 г. после почти восьмидесятилетнего периода отмечено увеличение численности нерестовой сельди у о. Кунашир*. Масштабы нерестовых подходов сельди пока оценить затруднительно, но она регулярно появляется в массовом количестве в уловах малых ставных неводов в апреле-июне вдоль охотоморского и тихоокеанского побережий острова. Вылов сельди в нерестовый период еще не развернут в полной мере, однако суммарный годовой вылов этого вида рыбы здесь ежегодно увеличивается и в 2021 г. составил 1,0 тыс. т [Нагульная сельдь..., 2021**; Перов, 2021].

Следует отметить, что в водах о. Хоккайдо с 2015 г. также наблюдается поступательный рост запасов и уловов тихоокеанской сельди: если в 2011–2015 гг. ее суммарный годовой вылов в прибрежных и морских водах острова составлял около 3,7–4,6 тыс. т,

* В декабре 2018 г. после сильного шторма отмечен массовый выброс сельди на побережье о. Итуруп, чего не наблюдалось на протяжении нескольких десятилетий. — Медведев Я. «Подарок на Новый год»: Курилы завалило селедкой: <https://www.gazeta.ru/social/2018/12/30/12114895.shtml>. Дата обращения: 01.12.2021.

** Нагульная сельдь..., 2021.

то в 2017 г. этот показатель вырос до 9,2 тыс. т, в 2018 г. — до 13,3 тыс. т, а в 2019 г. было выловлено 14,8 тыс. т [http://abchan.fra.go.jp/digests2020/html/2020_23.html; <http://abchan.fra.go.jp/digests2019/details/201923.pdf>]. Причем в последнем случае 8,6 тыс. т было добыто в прибрежье, а 6,2 тыс. т — за счет морского промысла, что косвенно свидетельствует о росте запасов сахалино-хоккайдской сельди.

Заключение

Сахалино-хоккайдская сельдь, отличавшаяся наибольшим уровнем запасов среди других популяций этого вида в дальневосточных морях, с середины 1950-х гг. в течение нескольких десятилетий находилась на минимальном уровне численности. Начиная с 2015 г. наблюдается поступательное увеличение ее запасов повсеместно в пределах российской части ареала. Во второй половине 2010-х гг. заметно возросла численность рыб в нагульный период. Как показывают наблюдения у южного Сахалина, увеличиваются численность нерестовых рыб, площадь нерестилищ и плотность кладок икры. По данным 2018–2021 гг. суммарная площадь нерестилищ у юго-западного, юго-восточного побережий острова и в зал. Анива оценивается порядка 2860 тыс. м² при средней плотности кладок икры до 2–7 млн икр./м², а нерестовый запас насчитывает около 120 тыс. т, что существенно выше этих показателей за предыдущие годы наблюдений. Имеются свидетельства начала восстановления ресурсов сельди и у побережья южных Курильских островов.

Такие изменения в популяции приводят к возобновлению промысла сельди, соответственно, увеличиваются и уловы. В 2021 г. ее вылов у южного Сахалина и южных Курильских островов достиг 8,3 тыс. т, из которых на нерестовую сельдь приходится 80 %. Растут ее уловы и на о. Хоккайдо. Эти факты указывают на увеличение численности сельди сахалино-хоккайдской популяции после длительной депрессии. В случае сохранения такой тенденции эта сельдь способна вновь стать важным объектом промысла в Сахалино-Курильском регионе.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no any sponsor funding

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

All applicable international, national and/or institutional guidelines for the use of animals have been followed.

Список литературы

Зверькова Л.М., Антонов Н.П. Промысел сахалино-хоккайдской («весенней») сельди *Clupea pallasii* // *Вопр. рыб-ва.* — 2017. — Т. 18, № 4. — С. 462–472.

Ившина Э.Р. Статистические данные по промыслу сельди у южного Сахалина в 1876–2020 гг. // *Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях* : Тр. СахНИРО. — 2021. — Т. 17. — С. 30–51.

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.

Науменко Н.И. Биология и промысел морских сельдей Дальнего Востока : моногр. — Петропавловск-Камчатский : Камчат. печат. двор, 2001. — 330 с.

Перов А.С. Новые сведения о нерестовой сельди у побережья о. Кунашир // *Вопр. рыб-ва.* — 2021. — Т. 22, № 2. — С. 40–50.

Пискунов И.А. Весенняя сельдь западного побережья южного Сахалина // *Изв. ТИНРО.* — 1952. — Т. 37. — С. 3–67.

- Пробатов А.Н.** Проблема численности южносахалинской сельди // Тр. совещ. ихтиол. комис. АН СССР. — 1953. — Вып. 1. — С. 110–123.
- Пробатов А.Н.** Распределение и численность нерестовой сельди у восточных берегов Японского моря // Изв. ТИНРО. — 1954. — Т. 39. — С. 21–58.
- Пробатов А.Н., Дарда М.А.** Биологическая характеристика нерестовой сельди острова Кунашир // Изв. ТИНРО. — 1957. — Т. 44. — С. 3–11.
- Пушникова Г.М.** О состоянии запасов и возрасте оптимальной эксплуатации сахалино-хоккайдской сельди // Изв. ТИНРО. — 1981. — Т. 105. — С. 79–84.
- Пушникова Г.М.** Промысел и состояние запасов сельди присахалинских вод // Науч. тр. Дальрыбвтуза. — 1996. — Вып. 8. — С. 34–43.
- Пушникова Г.М.** Состояние запасов сахалино-хоккайдской сельди и пути стабилизации ее численности // Рыбохозяйственные исследования в сахалино-курильском районе и сопредельных акваториях : сб. науч. тр. СахНИРО. — Южно-Сахалинск : Сахалин. обл. кн. изд-во, 1994. — С. 47–56.
- Румянцев А.И.** Современное состояние численности сахалино-хоккайдского стада сельди // Рыб. хоз-во. — 1958. — № 4. — С. 3–9.
- Румянцев А.И., Дарда М.А.** Воспроизводство и численность сахалино-хоккайдской сельди в 1960 году // Аннотации научных работ по исследованию сырьевой базы рыбной промышленности Дальнего Востока в 1959–1962 гг. — Владивосток : Дальневост. кн. изд-во, 1965. — С. 69–70.
- Световидов А.Н.** Колебания уловов южносахалинской сельди и их причины // Зоол. журн. — 1952. — Т. 31, вып. 6. — С. 831–842.
- Фадеев Н.С.** О причинах длительной депрессии сахалино-хоккайдской сельди // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 134. — С. 168–175.
- Фридлянд И.Г.** Размножение сельди у юго-западного берега Сахалина // Изв. ТИНРО. — 1951. — Т. 35. — С. 105–145.
- Чернявский Г.И.** Заметки о развитии рыбной промышленности Сахалина и Курил. — Южно-Сахалинск : Книжная редакция «Советский Сахалин», 1958. — 180 с.
- Шмидт П.Ю.** Морские промыслы острова Сахалин : моногр. — СПб. : Типография Г.П. Пожарова, 1905. — 458 с.
- Iizuka A., Morita S.** Review of herring fishery and its biological research in Japan // Mar. Behav. Physiol. — 1991. — Vol. 18. — P. 227–302.
- Ivshina E.R.** Decline of the Sakhalin-Hokkaido herring spawning grounds near the Sakhalin coast // Proceedings of the Symposium Herring 2000 : Expectations for a new millennium. — Alaska, 2000. — P. 245–254.
- Kobayashi T.** History of herring fishery in Hokkaido and the review of population study (Review) // Sci. Rep. Hokk. Fish. Exp. Stn. — 2002. — Vol. 62. — P. 1–8.
- Nagasawa K.** Long-term variations in abundance of Pacific herring (*Clupea pallasii*) in Hokkaido and Sakhalin related to changes in environmental conditions // Prog. Oceanogr. — 2001. — Vol. 49. — P. 551–564.

References

- Zverkova, L.M. and Antonov, N.P.,** Fishing for the Sakhalin-Hokkaid (“spring”) herring *Clupea pallasii*, *Vopr. Rybolov.*, 2017, vol. 18, no. 4, pp. 462–472.
- Ivshina, E.R.,** Herring fishery statistical data near southern Sakhalin from 1876 to 2020, Water life biology, resources status and condition of inhabitation in Sakhalin-Kuril region and adjoining water areas, *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 17, pp. 30–51.
- 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.
- Naumenko, N.I.,** *Biologiya i promysel morskikh sel’dei Dal’nego Vostoka* (Biology and Harvesting of Sea Herring in the Far East), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatsky Pechatny Dvor, 2001.
- Perov, A.S.,** New information about spawning herring off the coast of Kunashir Island, *Vopr. Rybolov.*, 2021, vol. 22, no. 2, pp. 40–50.
- Piskunov, I.A.,** Spring herring of the western coast of southern Sakhalin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1952, vol. 37, pp. 3–67.
- Probatov, A.N.,** The problem of the number of South Sakhalin herring, *Tr. Soveshch. Ikhtiol. Kom. Akad. Nauk SSSR*, 1953, vol. 1, pp. 110–123.

- Probatov, A.N.**, Distribution and abundance of spawning herring off the eastern shores of the Sea of Japan, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1954, vol. 39, pp. 21–58.
- Probatov, A.N. and Darda, M.A.**, Biological characteristics of the spawning herring of Kunashir Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1957, vol. 44, pp. 3–11.
- Pushnikova, G.M.**, On the condition of stocks and age of optimum exploitation of Sakhalin-Hokkaido herring, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1981, vol. 105, pp. 79–84.
- Pushnikova, G.M.**, Fishing and the state of stocks of herring near Sakhalin waters, *Nauchn. Tr. Dal'rybvtuza*, 1996, vol. 8, pp. 34–43.
- Pushnikova, G.M.**, The state of stocks of the Sakhalin-Khokkaido herring and ways to stabilize its abundance, in *Rybokhozyaystvennyye issledovaniya v sakhalino-kuril'skom rayone i sopredel'nykh akvatoriakh* (Fishery research in the Sakhalin-Kuril region and adjacent water areas), *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin. Knizhnoye Izd., 1994, pp. 47–56.
- Rumyantsev, A.I.**, The current state of the population of the Sakhalin-Khokkaido herring herd, *Rybn. Khoz.*, 1958, no. 4, pp. 3–9.
- Rumyantsev, A.I. and Darda, M.A.**, Reproduction and number of Sakhalin-Hokkaido herring in 1960, in *Annotatsii nauchnykh rabot po issledovaniyu syr'yevoy bazy rybnoy promyshlennosti Dal'nego Vostoka v 1959–1962 gg.* (Abstracts of scientific papers on the study of the raw material base of the fishing industry of the Far East in 1959–1962), Vladivostok: Dal'nevost. kn. izd-vo, 1965, pp. 69–70.
- Svetovidov, A.N.**, Fluctuations in catches of South Sakhalin herring and their causes, *Zool. Zh.*, 1952, vol. 31, no. 6, pp. 831–842.
- Fadeev, N.S.**, On the reasons of long depression of Sakhalin-Hokkaido herring, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 134, pp. 168–175.
- Fridland, I.G.**, Herring breeding off the southwestern coast of Sakhalin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1951, vol. 35, pp. 105–145.
- Chernyavsky, G.I.**, *Zametki o razvitiy rybnoy promyshlennosti Sakhalina i Kuril* (Notes on the development of the fishing industry in Sakhalin and the Kuriles), Yuzhno-Sakhalinsk: Knizhnaya redaktsiya «Sovetskiy Sakhalin», 1958.
- Schmidt, P.Yu.**, *Morskiye promysly ostrova Sakhalina* (Sakhalin Island offshore fisheries), St. Petersburg, 1905.
- Iizuka, A. and Morita, S.**, Review of herring fishery and its biological research in Japan, *Mar. Behav. Physiol.*, 1991, vol. 18, pp. 227–302.
- Ivshina, E.R.**, Decline of the Sakhalin-Hokkaido herring spawning grounds near the Sakhalin coast, *Proceedings of the Symposium Herring 2000* (Expectations for a new millennium), Alaska, 2000, pp. 245–254.
- Kobayashi, T.**, History of herring fishery in Hokkaido and the review of population study (Review), *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn.*, 2002, vol. 62, pp. 1–8.
- Nagasawa, K.**, Long-term variations in abundance of Pacific herring (*Clupea pallasii*) in Hokkaido and Sakhalin related to changes in environmental conditions, *Prog. Oceanogr.*, 2001, vol. 49, pp. 551–564.
- Nagul'naya sel'd' — 2021 (putinnyi prognoz)* (Feeding Herring 2021 (Prediction of the Fishing Season)), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2021.
- Resource assessment of herring stocks near the island. Hokkaido in 2020*, URL: http://abchan.fra.go.jp/digests2021/digest/2021_23.pdf (in Japanese language). Cited December 02, 2021.
- This has not happened for 70 years. Herring spawning near Nevel'sk*: <https://www.youtube.com/watch?v=BEeHvofsI5Y>. Cited December 01, 2021.
- Batin, Yu.**, The coast of Sakhalin strewn with spawning herring: <https://rg.ru/2021/04/04/reg-dfo/bereg-sahalina-usypalo-idushchej-na-nerest-seldiu.html>. Cited December 01, 2021.
- Spawning herring washed up on the coast of Sakhalin*: <https://tolknews.ru/proisshestvia/53668-pochemu-na-sahaline-proizoshel-massoviy-vibros-seldi>. Cited December 01, 2021.
- Medvedev, Y.**, “Gift for the New Year”: the Kuril Islands filled up with herring: <https://www.gazeta.ru/social/2018/12/30/12114895.shtml>. Cited December 01, 2021.

Поступила в редакцию 1.02.2022 г.

После доработки 7.02.2022 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

The article was submitted 1.02.2022; approved after reviewing 7.02.2022;
accepted for publication 25.02.2022

Научная статья

УДК 597.552.511(282.257.3)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-71-91



ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫСЛА И ПОКАЗАТЕЛИ ВОСПРОИЗВОДСТВА
ГОРБУШИ *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* О. ИТУРУП
(КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)

А.М. Каев*

Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),
693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196

Аннотация. Представлены ежегодные данные по численности горбуши на нерестилищах, дикой и заводской покатной молоди и последующего возврата взрослых рыб после завершения морского периода жизни для поколений 1976–2019 годов рождения. В среднем за период наблюдений в реки о. Итуруп заходили 1,48 млн производителей, в результате их нереста скатывалось 237 млн мальков (по 165 мальков в расчете на одного условного производителя: индекс ската), с лососевых рыбодовных заводов выпускали 133 млн мальков. После нагула в морских водах возвращалось на нерест 16,56 млн рыб, или 4,70 % от суммарной величины скатившейся из рек дикой и заводской молоди (коэффициент возврата). По отношению возврата рыб как к площади нерестилищ в реках, так и к количеству заходящих в них производителей воспроизводство горбуши на о. Итуруп является наиболее высокопродуктивным в Сахалино-Курильском регионе. В середине 1990-х гг. произошла смена доминант, более многочисленными стали поколения нереста четных лет. В периоды доминирования по численности той или иной генеративной линии расхождения между показателями воспроизводства поколений нечетных и четных лет нереста были существенно выше, чем в целом за все годы наблюдений. В пределах каждой из линий наблюдалась широкая амплитуда изменений биологических показателей рыб (длина и масса тела, плодовитость) при возврате разных поколений. В то же время в среднем за многолетний период наблюдений не выявлено различий между поколениями разных генеративных линий по эффективности воспроизводства и биологическим показателям рыб, хотя не исключаются их различия в параметрах межгодовых колебаний.

Ключевые слова: остров Итуруп, горбуша, численность, заход в реки, скат молоди, возврат взрослых рыб, выживаемость, длина и масса тела, плодовитость.

Для цитирования: Каев А.М. Особенности промысла и показатели воспроизводства горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* о. Итуруп (Курильские острова) // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 71–91. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-71-91.

* Каев Александр Михайлович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, kaev@outlook.com, ORCID 0000-0002-5989-3988.

© Каев А.М., 2022

Features of fishery and indices of reproduction for pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* of Iturup Island (Kuril Islands)

Alexander M. Kaev*

* Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO), 196, Komsomolskaya, Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia

* D.Biol., principal researcher, kaev@outlook.com

Abstract. Annual data on the 1976–2019 year-classes of pink salmon from Iturup Island are presented, as their number on spawning grounds, abundance of wild and hatchery juveniles migrating downstream, and returns of adult fish after the marine period of life. On average, $1.48 \cdot 10^6$ spawners entered annually the rivers of Iturup Island in these years and $237 \cdot 10^6$ fry juveniles rolled down (the downstream migration index was 165 juveniles per conventional producer), plus $133 \cdot 10^6$ juveniles from salmon hatcheries. After fattening in the sea, the annual returns were $16.56 \cdot 10^6$ ind., on average, so the marine survival index was 4.70 %. This is the highest value of the return for the Sakhalin-Kuril region, relative to the area of spawning grounds and to the number of spawners. The year-classes of odd years dominated until the middle 1990s, then the year-classes of even years became more numerous. Biological parameters of fish (body length and weight, fecundity) fluctuated from year to year both for odd and even year-classes, though these parameters averaged for a long period of observation had no difference between the odd and even year-classes, as well as the indices of reproduction efficiency.

Keywords: Iturup Island, pink salmon, fish abundance, anadromous migration, downstream migration of fry, salmon return, survival, body length, body weight, fecundity.

For citation: Kaev A.M. Features of fishery and indices of reproduction for pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* of Iturup Island (Kuril Islands), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 71–91. (In Rus.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-71-91.

Введение

Промышленный лов горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в пределах Курильской островной гряды осуществляется на о-вах Кунашир, Итуруп (южная часть гряды), Парамушир и Шумшу (северная часть гряды). Около 90 % ее вылова приходится на о. Итуруп. Столь существенное промысловое значение горбуши этого острова требует проведения систематических исследований по особенностям формирования численности ее поколений.

По первым наблюдениям [Веденский, 1954; Иванков, 1967, 1968] был выявлен ряд биологических особенностей горбуши, позволивших рассматривать ее как локальное стадо, а также наличие в нем разных сезонных группировок. Начатыми регулярными ежегодными наблюдениями детализированы особенности нерестового хода, нереста и покатной миграции [Чупахин, 1975], что вкупе с данными по численности рыб на этих этапах жизненного цикла позволило представить первые сводки по динамике стада горбуши о. Итуруп на основе показателей воспроизводства отдельных поколений [Ефанов, Чупахин, 1982; Каев, Чупахин, 2003; Kaev et al., 2006]. В этих публикациях значения биологических показателей рыб для поколения, учитывая их большую изменчивость во время хода и нечеткую хронологию взятия проб, рассчитывались на основании особей, изученных в период наибольших уловов, в течение которого вылавливали примерно от 70 до 80 % рыб. Эти же данные использовались для определения численности рыб, выловленных при промысле. Расчет численности производителей в реках осуществляли на основе значений плотности скоплений производителей на нерестилищах всех обследованных рек. Однако их перечень ежегодно менялся, в то время как значение отдельных водотоков для воспроизводства стада далеко не равнозначно. Особенно ситуация изменилась в последние годы, когда стали обследовать до 20 рек и более, в том числе и небольшие водотоки на участках побережья, где нет промысла вследствие низкой численности горбуши. В связи с этим начиная с 2006 г. стали применять стандартизированные расчеты численности производителей в реках, покатной

молоди и возврата, эффективности воспроизводства и биологических показателей рыб отдельных поколений. При этом под воспроизводством понимается непрерывный процесс формирования численности поколения в результате складывающегося соотношения пополнения и убыли, в соответствии с чем его эффективность оценивали для пресноводного и морского периодов жизни. Известно, что оценка изменений запаса объекта во многом определяется как продолжительностью рядов наблюдений, так и точностью исходных данных [Островский, 2007]. Поэтому в настоящее время по единым для всех лет алгоритмам пересчитаны соответствующие данные всех поколений.

Цель настоящей работы — на основе стандартно рассчитанных данных оценить численность и выживаемость на разных этапах онтогенеза и биологические показатели рыб как отдельных поколений, так и разных генеративных линий горбуши о. Итуруп.

Материалы и методы

Ежегодное изучение состояния стада горбуши о. Итуруп осуществляли с 1967 г. Комплекс проводимых исследований включал изучение динамики подхода рыб к побережью и их биологических показателей, определение численности производителей на нерестилищах и количественный учет в реках покатной молоди.

Промысловый лов горбуши вели в основном ставными неводами. Пассивный характер этих орудий лова вполне позволяет использовать величину уловов для оценки динамики подходов горбуши к побережью. Данные по вылову соответствуют официальной статистике, сначала отделов добычи рыбодобывающих предприятий, затем — компетентных государственных органов, в настоящее время — Сахалино-Курильского территориального управления Росрыболовства (СКТУ). Определение длины по Смиту (АС), массы тела, соотношения полов и абсолютной индивидуальной плодовитости (АИП) проводили (в идеальном случае один раз в пятидневку) по общепринятой методике [Правдин, 1966] в основном на рыбах из промысловых уловов ставных неводов преимущественно в зал. Курильском, в меньшей степени в заливах Простор и Куйбышевский. Всего изучено 43194 рыб из 423 проб. Расчет биологических показателей рыб, характеризующих то или иное поколение горбуши, выполнен по принципу средневзвешенного значения каждого показателя относительно динамики промысловых уловов ставными неводами по пятидневкам (последние шестидневки в июле и августе условно принимались за пятидневки). В случаях отсутствия результатов биологических анализов в той или иной пятидневке соответствующие показатели рассчитывались по данным смежных пятидневок. При этом значениям показателей из разных проб придавался определенный «вес» в зависимости от степени удаленности дат их сбора от средней даты рассматриваемой пятидневки. Использование биомассы уловов в реках ведет к искажению результата, так как лов в реках осуществляется обычно с конца августа, в его процессе облавливаются, как правило, более крупные рыбы, мигрирующие во второй половине календарных сроков нерестового хода. Соотнося данные биологических анализов с динамикой уловов только ставными неводами, получаем реальные значения биологических показателей рыб в возврате поколения, а не промысловые значения, как в случае использования суммарной динамики вылова горбуши в прибрежных морских и речных водах. Полученные при построении данного алгоритма средние значения массы тела горбуши использованы для расчета количества выловленных рыб по пятидневкам.

Оценка численности производителей на нерестилищах осуществлялась по данным их визуального учета сотрудниками Сахалинского филиала Главрыбвода (Сахалинрыбвод) в процессе пешего обхода рек. В малых водотоках вели тотальный подсчет рыб, в крупных определяли плотность скоплений производителей на отдельных площадках нерестилищ с дальнейшей экстраполяцией этих данных на весь их нерестовый фонд [Шевляков и др., 2013]. Для оценки суммарного захода рыб на нерестилища использовали данные обследования так называемых реперных рек, имеющих большое значение

в воспроизводстве горбуши, обследование которых проводится за некоторым исключением ежегодно. В северной части охотоморского побережья к реперным рекам отнесены Глушь (15,0, здесь и далее тыс. м² нерестилищ), Славная (196,0), Чистая (11,5), ручей Скальный (7,9), реки Рейдовая (34,2) и Оля (17,5). В некоторые годы при отсутствии данных по р. Глушь использовались при наличии результаты учета производителей в рядом протекающем ручье Активном (6,0). В южной части этого побережья реперные реки — Курилка (117,0), Рыбацкая (12,0), Саратовка (6,5), Куйбышевка (107,0) и Осенняя (15,0). По этим водоемам рассчитывается средневзвешенное по количеству нерестилищ значение плотности скоплений производителей в реках северной и южной части побережья, в соответствии с которым определяется суммарный заход горбуши по каждому из этих районов. Приводимые значения по количеству нерестилищ время от времени меняются в ту или иную сторону при очередных обследованиях (паспортизации) разными исполнителями. В данном многолетнем ряду наблюдений используются одни и те же значения, так как площадь нерестилищ горбуши в значительной мере связана с геоморфологией рек [Montgomery et al., 1999].

Численность скатывающейся из рек молоди определяется по данным ее выпусков с лососевых рыбоводных заводов (ЛРЗ) и количества покатников дикого происхождения. Данные по выпускам молоди ранее представлялись бассейновым управлением (Сахалинрыбвод), а с появлением ЛРЗ разных форм собственности — государственными компетентными органами, в настоящее время СКТУ. Скат молоди с нерестилищ оценивается на основе ее учета в реках Рыбацкая (СахНИРО) и Оля (Сахалинрыбвод) методом выборочных обловов, адаптированным к небольшим рекам [Воловик, 1967]. Применение этого метода дает результаты, вполне сопоставимые с действительными, судя по результатам сравнения полного (100 %) и выборочного (118 %) учета горбуши в р. Очепуха на юго-восточном побережье о. Сахалин [Воловик, 1967]. Фактически точность была еще выше, если исключить из расчета случаи с увеличением уровня воды и вероятным частичным подтоплением в это время забиваемых мусором щитов, перекрывавших створ реки при сплошном учете. В такие ночи данные выборочного учета достигали 133 % по отношению к полному, в оставшиеся ночи — 109 %. Близкие результаты были получены при проверке этого метода в р. Оля, учтенная выборочным методом численность покатников горбуши составила в среднем 103,4 % (от 94,9 до 124,2 % при разных сериях обловов) к числу покатников, подсчитанных при тотальном лове [Чупахин, 1973а]. Недостатком этого метода является учет молоди, скатывающейся со сравнительно ограниченной площади нерестилищ, в данном случае — с 5 % нерестилищ. Экстраполяция данных учета покатников в контрольных реках на другие водоемы осуществляется через так называемый индекс ската (ИС), рассчитываемый как отношение числа скатившейся молоди в контрольной реке к числу производителей, зашедших в нее для нереста [Каев и др., 2020].

Индекс ската фактически показывает эффективность воспроизводства в пресных водах, отражая величину донерестовой гибели производителей, потерь икры при нересте и смертности в процессе эмбрионального и личиночного развития. Для оценки последующей выживаемости потомства в течение морского периода жизни используется коэффициент возврата поколения (КВ), рассчитываемый как отношение числа вернувшихся взрослых рыб к численности скатившейся из рек молоди.

Статистическая обработка проведена в среде Windows в программе Microsoft Office Excel, при этом использованы следующие символы: M — среднее значение, SD — стандартное отклонение, p — уровень доверительной вероятности, n — объем выборки. Разность между средними значениями выборок оценена по критерию Фишера (F).

Результаты и их обсуждение

Вылов горбуши на о. Итуруп в 1965–2021 гг. составлял от 1,5 до 43,5 тыс. т, в среднем 17,9 тыс. т (рис. 1). До 1980 г. поколения разных генеративных линий обе-

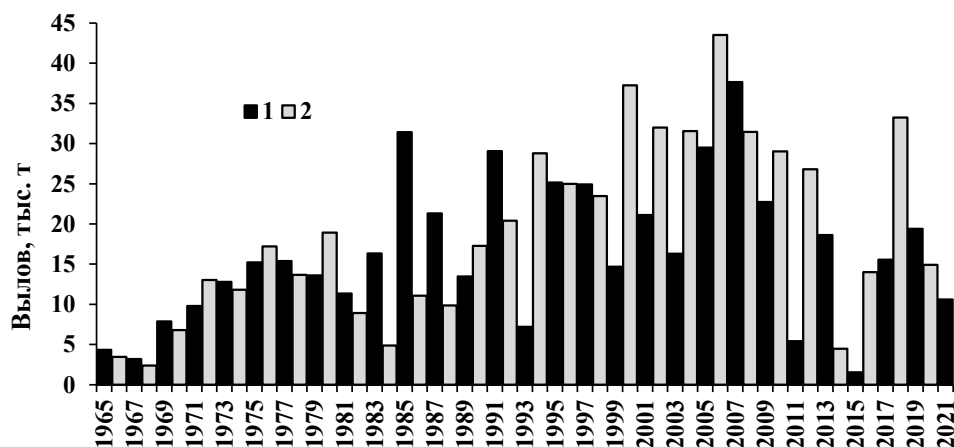


Рис. 1. Динамика вылова горбуши в водах о. Итуруп в 1965–2021 гг.: 1 — нечетные годы, 2 — четные годы

Fig. 1. Dynamics of pink salmon catch in the waters of Iturup Island in 1965–2021: 1 — odd years, 2 — even years

спечивали примерно одинаковый уровень вылова, в последующие годы обозначилось хорошо выраженное доминирование по его величине сначала у поколений нечетных лет нереста (20,5 против 10,4 тыс. т), а затем до настоящего времени — у поколений четных лет нереста (26,8 против 18,0 тыс. т). Темпы нарастания и последующего спада уловов в течение сезона заметно изменялись. Начало устойчивого промысла и его завершение фиксировали по дате наступления — соответственно 1 и 99 % нарастающего вылова. Период интенсивных уловов определяли датами, на которые приходились соответственно 20 и 80 %, а середину промысла — по дате наступления 50 % нарастающего вылова (рис. 2). В соответствии с этим регулярный промысел начинался в среднем 25 июля (с 9 июля по 8 августа в разные годы), а завершался 18 сентября (с 4 сентября по 3 октября). Период интенсивных уловов начинался 12 августа (с 29 июля по 26 августа) и заканчивался 1 сентября (с 19 августа по 17 сентября), а их середина приходилась на 23 августа (с 10 августа по 5 сентября).

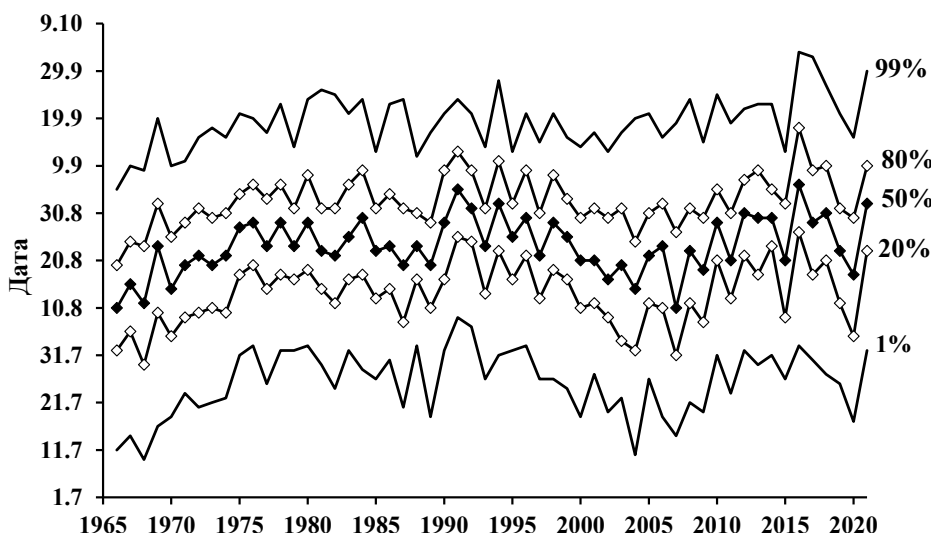


Рис. 2. Изменения сроков (даты), на которые приходились 1, 20, 50, 80 и 99 % нарастающего вылова при промысле горбуши на о. Итуруп в 1966–2021 гг.

Fig. 2. Dates of 1, 20, 50, 80 and 99 % of the pink salmon annual catch on Iturup Island in 1966–2021

Официальные данные по вылову на разных участках побережья имеются лишь с 2012 г., начиная с которого соответствующие государственные службы стали представлять пятидневную промысловую статистику по отдельным рыболовным участкам (РЛУ). Протяженность по береговой линии этих РЛУ весьма различна — от 1 до 59 км. Поэтому данные РЛУ сгруппированы по отдельным районам побережья (рис. 3). В среднем ежегодно в 2012–2021 гг. доля от общего вылова за период с начала июля по 20 сентября (в этот период лов ведут преимущественно ставными неводами) в этих районах составила: I (побережье прол. Фриза, РЛУ № 36 и 37) — 16,09 %, II (северная часть охотоморского побережья, РЛУ 1–9) — 12,96 %, III (зал. Простор, РЛУ 10–15) — 17,64, IV (п-ов Чирип, РЛУ 16) — 27,35, V (заливы Курильский и Куйбышевский, РЛУ 17–22) — 20,25, VI (РЛУ 23–27, почти весь вылов приходится на северную часть района) — 4,81, VII (заливы Одесский и Доброе Начало, РЛУ 28) — 0,45, VIII (РЛУ 29–31, добычу ведут только на РЛУ 31, примыкающем к прол. Екатерины) — 0,30, IX (зал. Касатка, РЛУ 32) — 0,15 %.

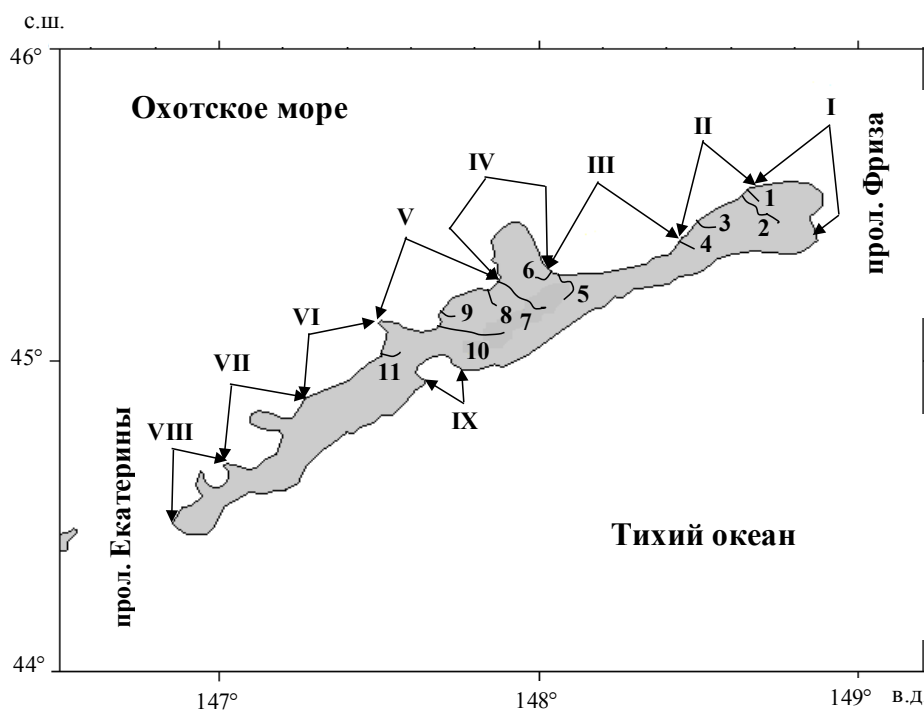


Рис. 3. Остров Итуруп: I–IX — районы промысла горбуши; I–II — реперные реки: Глушь (I), Славная (2), Чистая (3), ручей Скальный (4), реки Рейдовая (5), Оля (6), Курилка (7), Рыбачья (8), Саратовка (9), Куйбышевка (10) и Осенняя (11)

Fig. 3. Scheme of the pink salmon fishery on Iturup Island: I–IX — fishing grounds; I–II — the reference rivers: Glush (I), Slavnaya (2), Chistaya (3), Skalny (4), Reidovaya (5), Olya (6), Kurilka (7), Rybatskaya (8), Saratovka (9), Kuibyshevka (10), and Osenniaya (11)

Раньше всего промысел начинается на побережье далеко выступающего в море п-ова Чирип и в прилегающих к нему заливах Простор и Курильский, наиболее поздно — в южной части острова (табл. 1). Причем динамика вылова в четные и нечетные годы практически сходна между собой в районах, где добывается основная часть горбуши (рис. 4). Увеличение вылова в четвертой пятидневке сентября на участках III и V является следствием начинающегося в это время в некоторые годы отлова излишков рыб, заходящих в базовые реки ЛРЗ, так как именно в эти районы возвращается большинство рыб заводского происхождения. Внешне совершенно иная динамика в районах VII и VIII обусловлена нерегулярностью уловов вследствие слабых подходов объекта промысла.

Таблица 1

Вылов горбуши на разных участках побережья о. Итуруп по пятидневкам в среднем
в 2012–2021 гг., т

Table 1

Mean for 2012–2021 annual catch of pink salmon in different areas of Iturup Island,
by five days periods, t

Период	Номер района (по рис. 3)							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
06–10 июля	0	0	0	0	0,0	0	0	0
11–15 июля	0	0	0,1	7,6	2,6	0,2	0	0
16–20 июля	0	1,3	1,9	23,7	8,7	0,3	0	0
21–25 июля	9,3	7,9	8,4	30,7	14,9	1,8	0	0
26–31 июля	60,9	26,6	28,9	92,5	67,1	14,5	0	0,2
01–05 августа	102,9	36,6	98,1	222,3	83,9	30,9	0,6	0,3
06–10 августа	120,4	52,5	114,1	248,8	114,8	34,0	1,1	0,0
11–15 августа	111,5	80,8	170,5	436,3	255,9	54,5	3,0	3,2
16–20 августа	211,5	126,6	228,2	460,4	264,9	47,3	13,7	1,9
21–25 августа	292,0	241,8	329,9	664,2	563,1	93,8	16,4	1,9
26–31 августа	484,8	465,8	482,9	844,2	523,8	98,9	21,8	2,3
01–05 сентября	352,2	316,8	411,2	673,6	525,9	100,6	11,5	0,7
06–10 сентября	222,3	260,4	296,2	453,0	382,7	71,7	10,5	7,3
11–15 сентября	150,1	186,5	167,7	211,6	165,9	50,6	1,9	0,0
16–20 сентября	69,5	108,7	151,8	93,3	154,9	30,8	1,2	0

Примечание. 0 — отсутствие уловов; 0,0 — вылов в соответствующие даты 0,04 т в районе V и 0,01 т в районе VIII.

Наибольший вылов горбуши приходится на районы ее интенсивного воспроизводства, а также на прол. Фриза. Рыбы мигрируют для нереста почти во все реки острова, за исключением водоемов с кислотной средой. Большинство ее нерестилищ (600 тыс. м²) сосредоточено в 54 реках охотоморского побережья от мыса Кабара до мыса Пришвина [Каев, Чупахин, 2003], т.е. в пределах районов от II по VII. Известно наличие 75 тыс. м² нерестилищ преимущественно этого вида в 23 реках тихоокеанского побережья от мыса Пришвина до мыса Бурунного [Klovach et al., 2021]. По результатам обследований в 2008–2021 гг. средняя плотность заполнения нерестилищ производителями горбуши составила: в 10 реках, впадающих в океан, — 1,60 экз./м², в 24 реках на охотоморском побережье от северной оконечности до р. Осенней (т.е. в зоне высоких уловов) — 1,89 экз./м², в трех реках в районе VI, впадающих южнее р. Осенней, — 1,72 экз./м². Результаты еще пяти обследований трех рек в районе VII (0,51 экз./м²) не принимаем во внимание, так как они получены до начала массового захода горбуши. Все реперные реки, в которых сосредоточено 539,6 тыс. м² нерестилищ, протекают в районах с высоким уровнем уловов этого вида (см. рис. 3).

В соответствии с результатами обследования реперных водотоков в реки охотоморского побережья за исследуемый период в среднем ежегодно заходило 1482 тыс. (в разные годы от 637 до 2461 тыс.) производителей горбуши (табл. 2). От их нереста мигрировало в море 237 (от 57 до 662) млн покатников, ИС составил 165 (от 43 до 434) мальков. В дополнение к ним выпускали 133 (от 62 до 215) млн мальков с ЛРЗ. После нагула в морских водах возвращалось 16562 (от 1577 до 33095) тыс. взрослых рыб, в соответствии с чем КВ был равен 4,70 (от 0,71 до 10,24) %. В процессе возврата вылавливали 15092 (от 940 до 31600) тыс. рыб, т.е. коэффициент промыслового изъятия находился в пределах от 59,6 до 95,5 %, составив в среднем 88,8 %. Эти данные свидетельствуют о высокой эффективности воспроизводства горбуши на о. Итуруп. Хорошей иллюстрацией этому служит также сопоставление относительных уловов этого вида с таковыми на юго-восточном побережье Сахалина, многие годы лидировавшем среди других районов этого острова по соотношению количества рыб в возвратах с площадью

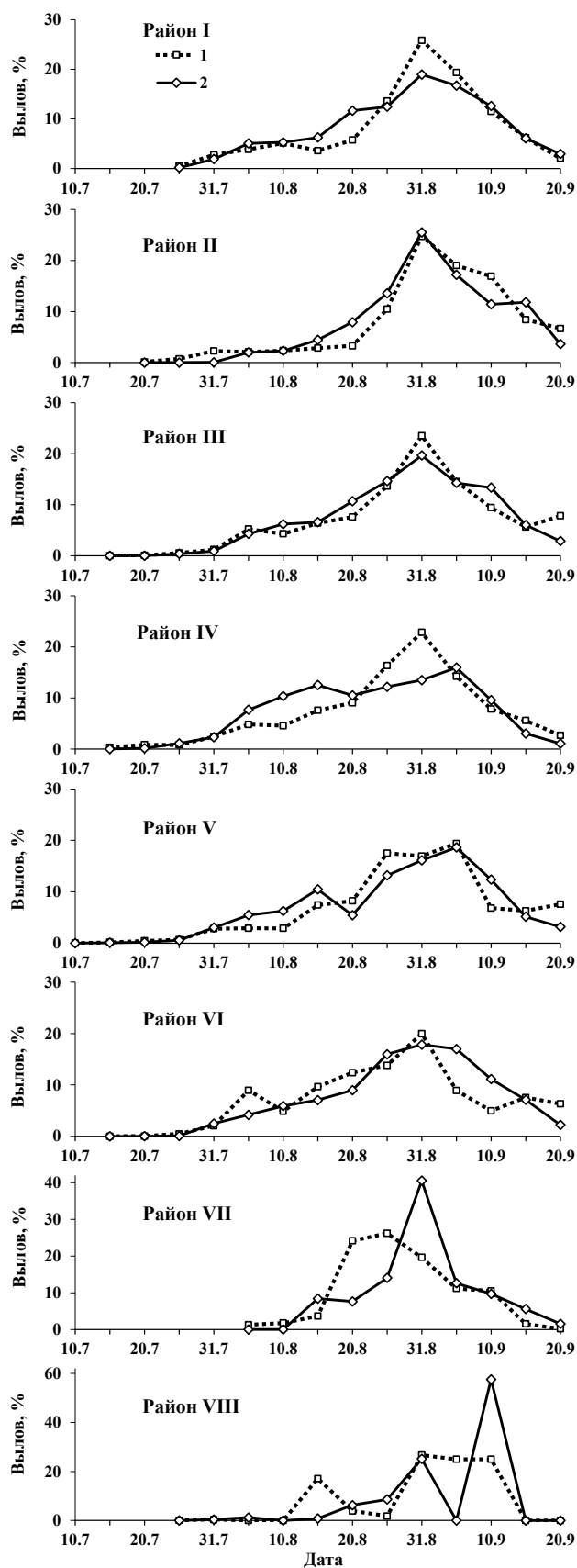


Рис. 4. Динамика вылова горбуши в нечетные (1) и четные (2) годы в разных районах побережья о. Итуруп (номер района — по рис. 3) в 2012–2021 гг.

Fig. 4. Dynamics of the pink salmon annual catch in odd (1) and even (2) years in different areas of Iturup Island (fishing grounds are numbered as at Fig. 3)

Таблица 2

Численность поколений горбуши о. Итуруп на разных этапах онтогенеза
(заход производителей в реки — скат молоди — возврат взрослых рыб)

Table 2

Abundance of pink salmon at certain stages of ontogeny (spawning — downstream migration
of juveniles — return of adults) on Iturup Island, by year-classes

Заход в реки		Покатная молодь, млн экз.*			Возврат, тыс. экз.			
Год	Тыс. экз.	Год	Скат	ЛРЗ	Год	Вылов	Заход	Всего
1976	1916	1977	232	198	1978	11395	1237	12632
1977	1388	1978	147	149	1979	11813	1096	12909
1978	1237	1979	226	198	1980	15461	1940	17401
1979	1096	1980	181	166	1981	9124	1811	10935
1980	1940	1981	117	215	1982	7787	1348	9135
1981	1811	1982	168	184	1983	13890	1545	15435
1982	1348	1983	57	207	1984	4764	1110	5874
1983	1545	1984	227	205	1985	29101	2122	31223
1984	1110	1985	218	155	1986	9519	1142	10661
1985	2122	1986	136	194	1987	18513	1835	20348
1986	1142	1987	104	169	1988	8924	1350	10274
1987	1835	1988	163	183	1989	11083	1453	12536
1988	1350	1989	181	170	1990	13047	1738	14785
1989	1453	1990	204	172	1991	22242	2082	24324
1990	1738	1991	194	165	1992	12979	1865	14844
1991	2082	1992	153	150	1993	4430	1045	5475
1992	1865	1993	293	107	1994	23198	2461	25659
1993	1045	1994	339	65	1995	16311	1531	17842
1994	2461	1995	188	112	1996	19653	1281	20934
1995	1531	1996	356	62	1997	15795	1284	17079
1996	1281	1997	260	76	1998	20216	1313	21529
1997	1284	1998	272	75	1999	9559	1178	10737
1998	1313	1999	257	66	2000	24655	1604	26259
1999	1178	2000	398	89	2001	14424	1321	15745
2000	1604	2001	407	99	2002	23513	1526	25039
2001	1321	2002	282	111	2003	12728	1072	13800
2002	1526	2003	662	106	2004	21017	1770	22787
2003	1072	2004	195	112	2005	23874	1501	25375
2004	1770	2005	197	126	2006	31600	1495	33095
2005	1501	2006	209	113	2007	27553	1367	28920
2006	1495	2007	208	134	2008	20709	1326	22035
2007	1367	2008	175	131	2009	14618	1405	16023
2008	1326	2009	199	124	2010	19234	1430	20664
2009	1405	2010	—**	114	2011	3930	1235	5165
2010	1430	2011	190	131	2012	18262	1323	19585
2011	1235	2012	129	90	2013	11941	1351	13292
2012	1323	2013	298	129	2014	2688	1229	3917
2013	1351	2014	94	127	2015	940	637	1577
2014	1229	2015	133	84	2016	10221	1921	12142
2015	637	2016	117	66	2017	10135	1663	11798
2016	1921	2017	644	130	2018	28299	1693	29992
2017	1663	2018	232	140	2019	13231	1258	14489
2018	1693	2019	470	122	2020	12778	1271	14049
2019	1258	2020	292	149	2021	8878	1537	10415

* Скат — численность дикой молоди, ЛРЗ — численность заводской молоди.

** Представленная ранее численность дикой молоди в количестве 111 млн экз. [Каев, Irvine, 2016] была рассчитана по годам-аналогам.

нерестилищ в реках [Каев и др., 2010]. При условно равной выживаемости в морских водах особей дикого и заводского происхождения возврат диких рыб в среднем за период наибольшей численности в 1991–2010 гг. на охотоморское побережье о. Итуруп был меньше, чем на юго-восточное побережье о. Сахалин (14,7 против 18,3 млн рыб). Однако этот возврат обеспечивался нерестом на существенно меньшей площади нерестилищ в реках Итурупа (0,60 против 1,49 млн м²) и меньшим числом производителей в них (1,51 против 3,91 млн экз.). Вследствие этого он был заметно выше, чем на юго-восточном побережье о. Сахалин, как в расчете на 1 м² нерестилищ (24,5 против 12,3 рыб), так и на одного условного производителя (9,71 против 4,69 рыб).

Начиная с 1965 г. чаще доминировали по численности поколения четных лет нереста, что хорошо видно по вылову (см. рис. 1). Поэтому их численность в среднем несколько выше при заходе в реки (1546 против 1417 тыс. экз.), скате молоди с нерестилищ (261 против 213 млн экз.), выпуске молоди с ЛРЗ (137 против 129 млн экз.) и при возврате после нагула в морских водах (17877 против 15247 тыс. экз.). В то же время, судя по средним значениям ИС и КВ, они несущественно различались по среднему уровню выживаемости за длительный ряд наблюдений (табл. 3). Что касается сопоставления динамических колебаний разных показателей в линиях четных и нечетных лет, то оно требует специального детального исследования.

Таблица 3

Средние значения индекса ската (ИС), коэффициента возврата (КВ) и биологических показателей рыб для поколений нечетных и четных лет нереста у горбуши о. Итуруп в 1967–2021 гг. и юго-восточного побережья о. Сахалин в 1970–2014 гг.

Table 3

Mean values of the downstream migration index, marine survival index, and biological parameters for the pink salmon year-classes of odd and even years of spawning for Iturup Island in 1967–2021 and for southeastern Sakhalin in 1970–2014

Показатель	Поколения нечетных лет			Поколения четных лет			F	p
	M	SD	n	M	SD	n		
Итуруп, все поколения								
ИС, шт.	161	77	21	170	93	22	0,12	> 0,05
КВ, %	4,64	2,11	21	4,76	2,22	22	0,03	> 0,05
Длина АС, см	48,6	1,50	28	48,5	1,66	27	0,02	> 0,05
Масса, г	1354	164	28	1370	191	27	0,11	> 0,05
АИП, шт.	1472	116	28	1452	126	27	0,40	> 0,05
Итуруп, поколения 1979–1990 годов рождения								
ИС, шт.	116	40	6	106	55	6	0,14	> 0,05
КВ, %	5,17	1,68	6	3,32	0,82	6	5,86	< 0,05
Итуруп, поколения 1991–2010 годов рождения								
ИС, шт.	205	87	9	185	101	10	0,20	> 0,05
КВ, %	4,74	2,41	9	6,50	1,88	10	3,19	> 0,05
Сахалин (данные по [Kaev, Irvine, 2016])								
ИС, шт.	91	72	21	63	44	22	2,43	> 0,05
КВ, %	6,70	3,47	21	5,78	4,36	22	0,58	> 0,05
Длина АС, см	47,8	1,65	18	46,7	1,36	17	4,60	< 0,05

Биологические показатели горбуши при возврате отдельных поколений представлены в табл. 4. Самцы были несколько мельче самок как по длине, так и по массе тела. В некоторые смежные годы наблюдалась большая разница по биологическим показателям рыб разных генеративных линий, при этом диапазоны изменений биологических показателей в пределах каждой из этих линий были вполне сопоставимы между собой по величине. Так, длина рыб в нечетные годы изменялась в пределах от 46,0 до 51,4 см, а в четные — от 45,6 до 51,5 см. Причем в некоторые группы лет значения этого показателя у поколений разных генеративных линий изменялись разнонаправленно по отношению друг к другу (рис. 5). Большие колебания отмечались и

Таблица 4

Биологические показатели рыб разных поколений горбуши на о. Итуруп
при возврате в 1967–2021 гг.

Table 4

Biological parameters of pink salmon returned to Iturup Island in 1967–2021, by year-classes

Год	Длина АС, см			Масса, г			АИП, шт.	Число рыб, экз.	
	Самцы	Самки	Оба пола	Самцы	Самки	Оба пола		Самцы	Самки
1967	47,0	49,0	47,8	1224	1353	1273	1580	470	330
1968	51,0	52,1	51,5	1697	1788	1730	1743	308	192
1969	48,2	49,5	48,7	1352	1430	1382	1496	575	325
1970	51,3	51,5	51,4	1661	1695	1678	1658	256	244
1971	47,2	48,5	47,7	1216	1342	1268	1477	444	356
1972	49,7	50,2	49,9	1459	1531	1492	1522	390	309
1973	47,5	48,8	48,1	1248	1347	1291	1473	310	190
1974	49,1	50,6	49,6	1355	1449	1380	1358	499	395
1975	48,0	49,0	48,5	1271	1336	1299	1315	369	321
1976	47,6	48,6	48,0	1242	1322	1273	1356	341	359
1977	45,6	46,8	46,0	1140	1231	1173	1200	324	246
1978	46,9	48,4	47,5	1138	1279	1199	1300	348	252
1979	47,1	47,7	47,3	1149	1170	1150	1231	285	315
1980	47,5	48,3	47,7	1213	1278	1224	1330	366	419
1981	49,2	50,1	49,4	1231	1304	1245	1394	545	430
1982	47,4	49,2	48,0	1097	1238	1146	1398	442	358
1983	47,0	48,3	47,5	1136	1234	1175	1561	389	311
1984	44,6	46,9	45,6	945	1114	1024	1334	334	266
1985	46,3	47,4	46,8	1033	1126	1080	1351	309	290
1986	46,4	48,3	47,2	1107	1234	1162	1427	304	196
1987	47,6	47,7	47,6	1159	1157	1152	1389	260	290
1988	45,7	47,8	46,6	1053	1185	1106	1441	344	256
1989	47,1	47,7	47,3	1206	1239	1215	1354	416	282
1990	48,0	48,1	48,0	1307	1364	1323	1369	422	378
1991	47,2	47,9	47,5	1298	1327	1306	1382	399	301
1992	50,4	51,4	50,9	1511	1629	1572	1639	101	99
1993	50,8	51,7	51,1	1606	1668	1627	1482	242	156
1994	47,6	48,6	48,0	1200	1292	1241	1558	351	244
1995	51,4	51,3	51,4	1540	1546	1541	1661	241	259
1996	48,3	48,6	48,4	1263	1288	1271	1331	379	321
1997	50,9	50,9	50,7	1603	1564	1577	1508	389	491
1998	45,7	46,5	46,0	1134	1201	1161	1384	327	273
1999	50,8	50,4	50,5	1555	1531	1535	1588	208	239
2000	49,3	49,6	49,5	1480	1545	1511	1502	350	350
2001	48,6	49,4	48,7	1448	1500	1462	1551	451	347
2002	48,3	49,1	48,6	1327	1403	1361	1361	369	331
2003	47,5	48,4	47,8	1256	1333	1279	1519	439	361
2004	49,2	49,8	49,4	1476	1531	1501	1609	830	750
2005	46,8	47,4	47,0	1218	1262	1231	1451	887	614
2006	48,8	48,3	48,6	1397	1344	1373	1490	1153	750
2007	48,5	48,7	48,5	1355	1372	1357	1527	678	422
2008	50,3	50,3	50,2	1520	1523	1515	1575	869	827
2009	50,6	50,1	50,3	1570	1536	1552	1574	295	293
2010	50,0	49,7	49,8	1537	1482	1507	1533	639	561
2011	47,9	47,7	47,7	1386	1371	1374	1470	500	400
2012	48,3	48,1	48,1	1468	1455	1452	1460	494	406
2013	49,9	49,4	49,5	1591	1531	1556	1468	556	444

Окончание табл. 4
Table 4 finished

Год	Длина АС, см			Масса, г			АИП, шт.	Число рыб, экз.	
	Самцы	Самки	Оба пола	Самцы	Самки	Оба пола		Самцы	Самки
2014	51,9	50,4	51,1	1767	1580	1665	1515	244	304
2015	51,9	50,6	51,2	1711	1558	1632	1520	355	345
2016	49,0	48,4	48,6	1410	1341	1370	1470	373	327
2017	51,0	49,5	50,0	1628	1472	1534	1605	393	407
2018	46,7	46,0	46,3	1218	1153	1175	1232	432	468
2019	50,2	49,0	49,5	1541	1409	1466	1671	466	434
2020	46,4	46,2	46,3	1188	1148	1166	1304	522	478
2021	47,7	46,7	47,1	1234	1164	1193	1427	564	336
М	48,5	48,9	48,6	1347	1378	1362	1462	—	—
SD	1,78	1,44	1,57	196	160	176	120	—	—
n	55	55	55	55	55	55	55	23546	19648

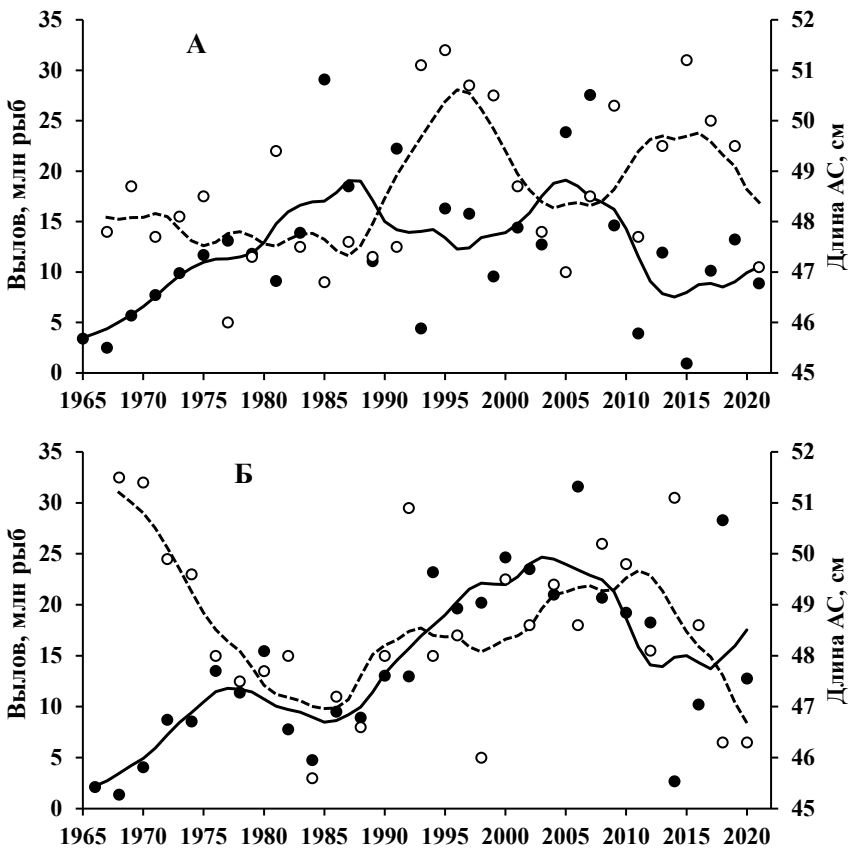


Рис. 5. Межгодовые изменения вылова (темные кружки, сплошная линия) и длины рыб (светлые кружки, штриховая линия) для нечетных (А) и четных (Б) лет при возврате горбуши в 1965–2021 гг.: кружки — годовые оценки, линии — скользящая средняя по 9 смежным годам

Fig. 5. Interannual dynamics of annual catch (dark symbols, solid line) and mean body length (light symbols, dashed line) for the pink salmon year-classes of odd (А) and even (Б) years returned in 1965–2021. Results of 9-year running smoothing are shown by lines

для других биологических показателей. Так, по массе тела они составили в нечетные годы от 1080 до 1632 г, в четные — от 1024 до 1730 г. Соответственно по плодовитости в нечетные годы — от 1200 до 1671 шт., в четные — от 1232 до 1743 шт. В среднем за длительный период наблюдений не выявлено статистически значимых различий между

рассматриваемыми биологическими показателями у горбуши разных генеративных линий (см. табл. 3), хотя не исключаются различия между ними в межгодовом колебательном режиме, что требует отдельного специального исследования.

Иная ситуация получается при сопоставлении показателей выживаемости по периодам доминирования одной из линий. Так, у поколений 1979–1990 годов рождения более высокие возвраты в нечетные годы (19,1 против 10,9 млн рыб) обеспечивались выживаемостью в морских водах, значения которой оказались заметно выше, чем у поколений четных лет нереста. Равным образом значения КВ были выше уже у генеративной линии четных лет нереста при ее доминировании по численности (23,8 против 15,6 млн рыб) среди поколений 1991–2010 годов рождения. В обоих случаях значения ИС не были столь различны при анализе этих групп поколений, однако абсолютные значения критерия F при оценке разности между ними также были выше таковых, полученных при анализе всего массива данных (см. табл. 3).

Промысловый запас горбуши в водах о. Итуруп формируется за счет воспроизводства ее местных популяций. Об этом можно судить по приуроченности районов с наибольшим выловом к центрам массового нереста и заводского разведения этого вида. Подтверждения этому получены также в процессе мечения взрослых рыб навесными метками, их вторичная поимка зафиксирована, за исключением одной особи, только в заливах и реках о. Итуруп [Иванков, 1966, 1968; Чупахин, 1973б]. Можно предположить, что такие метки вследствие их несовершенства могли быть утеряны в процессе длительной миграции через охотоморские воды к другим районам нереста. Однако слабое присутствие «чужих» рыб в зоне промысла ставными неводами установлено также по наличию термальных меток на отолих у рыб заводского происхождения в процессе ежегодного мониторинга в 2010–2016 гг. Лишь только в 2012 и 2016 гг. обнаружены по две особи с метками ЛРЗ «Анивский» (южная часть о. Сахалин), три из которых — среди рыб из промышленных уловов в заливах Курильский и Простор, одна — на забоечном пункте ЛРЗ «Курильский» [Стекольников, Акиничева, 2013; Мякишев и др., 2019].

Большая численность горбуши на о. Итуруп является следствием весьма благоприятных условий воспроизводства. В пресноводный период они связаны с высокой долей грунтовых вод в балансе годового стока рек — до 50 % в сравнении с 20–30 % в реках Сахалина*, что в сочетании с мягкими и снежными зимами способствует выживанию потомства в эмбриональный и личиночный периоды развития [Чупахин, 1975]. После ската из рек благоприятные условия нагула молоди обеспечиваются плотными скоплениями зоопланктона в прибрежных морских водах [Ефанов и др., 1990; Каев, 2003], что позволило отнести этот район к зоне экологического оптимума воспроизводства горбуши [Gritsenko, Klovach, 1998]. Тем не менее промысел сконцентрирован в основном в центральной и северной частях охотоморского побережья, в то время как в его южной части уловы весьма малы, а на океаническом побережье добыча практически не ведется. Такая ситуация не согласуется с наличием на нем целого ряда рек с нерестилищами горбуши и высокой продуктивностью морских вод, характерной в целом для южных Курильских островов [Бродский, 1955, 1959; Киселев, 1959; Uda, 1963]. Так, в районе о. Итуруп наиболее высокие показатели первичной продукции характерны с охотоморской стороны для вод, прилегающих к прол. Фриза, с тихоокеанской стороны — к прол. Екатерины [Налетова и др., 1997].

Для понимания причин столь неоднородного распределения горбуши вдоль побережья рассмотрим систему течений у о. Итуруп. Вдоль его океанического побережья в юго-западном направлении движется мощный холодноводный поток Ойясио. С противоположной стороны остров находится под воздействием подходящего с запада теплого течения Соя. В результате проникновения части вод этих течений в проливы вокруг острова создается антициклонический круговорот, а в самих проливах наблюдаются

* Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 18: Дальний Восток; вып. 3: Сахалин и Курилы. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 124 с.

противоположно направленные потоки воды, разделенные в летне-осенний период хорошо выраженным фронтом с горизонтальным градиентом температуры до 3 °C на милю [Истоки Ойясио, 1997]. По нашим данным, в прол. Екатерины в середине июля 1984 г. на удалении 0,5–5,0 миль от о. Кунашир температура воды на глубине 0,5 м составляла 11,2 и 11,5 °C, а на глубине 20 м — 10,2 и 10,1 °C, что соответствовало выносу в сторону океана части вод течения Соя. Напротив, на удалении 0,7 и 3,7 мили от о. Итуруп температура воды на глубине 0,5 м была равной 3,2 и 4,1 °C, а на глубине 20 м — 3,0 и 2,7 °C [Каев, 2003]. По термогалинным характеристикам этот поток холодных вод, направляющийся в сторону Охотского моря, соответствует таковому течения Ойясио [Истоки Ойясио, 1997]. При выходе в море этот поток смешивается с ветвью течения Соя, движущейся вдоль острова в северо-восточном направлении. При этом часть вод этого холодного потока прижимается, особенно при северо-западных ветрах, к южной части охотоморского побережья острова, вследствие чего в зал. Доброе Начало приходилось наблюдать многотысячные скопления мертвой сардины-иваси, подходящей к устьям рек, видимо, в поисках теплой воды [Каев, 2003].

Складывается впечатление, что именно это трансформированное из двух потоков течение способствует созданию благоприятных условий нагула молоди в центральной и северной частях охотоморского побережья острова, привнося в эти районы сравнительно крупных калянид *Neocalanus* spp., входящих в перечень предпочитаемых кормовых организмов при питании мальков горбуши и кеты [Каев, 2003]. Об этом можно судить по изменениям поверхностной (0,5 м) температуры воды и биомассы всего зоопланктона и этих калянид в прибрежных водах разных районов побережья в середине июля 1981–1984 гг.: зал. Доброе Начало — 5,9 °C, 498 и 124 мг/м³; зал. Куйбышевский — 7,9 °C, 861 и 60 мг/м³; зал. Курильский — 8,0 °C, 865 и 62 мг/м³; зал. Простор — 10,6 °C, 452 и 13 мг/м³; район впадения р. Славной — 10,0 °C, 537 и 49 мг/м³. Как видим, в зал. Доброе Начало, в котором, судя по температуре, преобладают воды, выносимые из прол. Екатерины, наблюдалась самая высокая биомасса крупных калянид. В заливах Куйбышевском и Курильском при вполне благоприятной температуре для нагула молоди удельная биомасса этих планктеров примерно одинакова и вдвое ниже, чем в зал. Доброе Начало. В зал. Простор наблюдается самый большой прогрев воды и минимальная биомасса этих организмов, что связано с отклонением течения мористее из-за выступающего п-ова Чирип, вследствие чего сообщество зоопланктона в кутовой части залива формируется в основном за счет местных прибрежных видов. На траверзе впадения р. Славной биомасса крупных копепод увеличивается на фоне снижения температуры воды, что вполне ожидаемо, так как это трансформированное течение входит в прол. Фриза, огибая северную оконечность острова [Истоки Ойясио, 1997]. Показанное соотношение между биомассами *Neocalanus* spp. в заливах Курильский и Простор было подтверждено наблюдениями в последующие годы [Френкель и др., 2013].

Таким образом, сравнительно высокие биомассы зоопланктона в сочетании со значениями температуры воды, входящими в диапазон оптимальных, от 8 до 12 °C, и в редких случаях допустимых, от 5 до 7 °C [Kaeiyama, 2021], создают весьма благоприятные условия для нагула молоди горбуши в прибрежных водах центральной и северной частях охотоморского побережья о. Итуруп. В то же время высокие значения биомассы зоопланктона у южной части этого побережья не обеспечивают приемлемые условия нагула скатывающейся из рек молоди в условиях периодического появления на прибрежном мелководье водных масс, близких по температуре к течению Ойясио, не говоря уже об океаническом побережье острова, где это течение определяет температурный режим в прибрежье. Такая ситуация вполне согласуется с крайне низким уровнем воспроизводства горбуши в этих районах, ведь плотность заполнения производителей ее нерестилищ в протекающих в них реках, несмотря на отсутствие промысла, меньше таковой в районах с большим промысловым изъятием.

Наряду с существенными различиями по величине вылова горбуши в разных районах побережья о. Итуруп наблюдаются также особенности в их сезонной динамике. В большой мере они связаны с наличием в подходах рыб разных группировок, именуемыми исследователями расами [Иванков, 1967, 1986], япономорской и тихоокеанской популяциями [Ефанов, Хоревин, 1978; Ефанов, 1989] либо популяциями 2-го ранга [Гриценко, 1981, 1990] вплоть до придания им статуса экологических подвидов [Иванков, Иванкова, 2017]. С учетом широкого перекрытия сроков хода, нереста и расположения нерестилищ, исключающего возможность полной репродуктивной изоляции, эти группировки будем называть темпоральными формами, ранней и поздней [Каев, 2012]. Сравнительная малочисленность ранней формы определяет общую характерную динамику вылова, связанную со слабыми уловами в июле и с их существенным приростом в течение августа. Соотношение в подходах рыб разных темпоральных форм отражается и на сроках начала промысла. Так, с увеличением доли ранней формы начало промысла смещалось на более ранние даты, как это наблюдалось до 1975 г. и в середине первого десятилетия XXI века (см. рис. 2).

Существует также мнение, что ранняя форма горбуши мигрирует к охотоморскому побережью через прол. Екатерины, а поздняя — через прол. Фриза, что подтверждалось данными мечения [Чупахин, 1973б]. Так, при мечении горбуши 22 июля 1969 г. и 25 июля 1971 г. в зал. Куйбышевском 20 рыб вторично выловлены в этом же заливе, 11 — в соседнем зал. Курильском, 3 особи — у западного побережья п-ова Чирип и 2 — в районе II. При мечении 3 и 4 августа 1971 г. на траверзе р. Чистой 5 меченых особей в последующем обнаружены вблизи р. Славной, 3 — в этом же районе, 5 — у стыка районов II и III, лишь 2 особи в зал. Простор и 1 особь в зал. Курильском. При мечении 19 августа 1971 г. у северо-восточного побережья п-ова Чирип 5 меченых особей выловлены в пределах района III и 9 — в зал. Курильском. Следовательно, результаты мечения в первой и второй декадах августа показали движение рыб в обоих направлениях, к северу и югу, а в конце июля — только в северном направлении, что и послужило доказательством миграции рыб ранней темпоральной формы через прол. Екатерины. Однако перемещение рыб в южном направлении в данном случае не было отслежено из-за отсутствия в те годы промысла в южной части побережья.

Эта схема миграции горбуши вновь представлена уже на основе анализа уловов и биологических показателей рыб [Углова, 2019], но она не соответствует данным официальной промысловой статистики. Наиболее ранние сроки начала промысла фиксируются в центральной части (районы III, IV и V), а наиболее поздние — в южной части охотоморского побережья, в районах VII и VIII (см. рис. 4). В какой-то степени это может быть связано с более поздней постановкой неводов на удаленных участках побережья. Однако в меньшей степени, но все же запаздывание появления первых уловов характерно и для районов II и VI, где в эти годы уже существовали места постоянного базирования рыбодобывающих предприятий. Особый интерес вызывает установка неводов у мыса Пржевальского (стык районов V и VI), ведь вследствие своего местоположения они могли раньше облавливать скопления ранней формы горбуши в случае ее миграции со стороны прол. Екатерины, что не наблюдается.

Наиболее ранние сроки начала промысла в центральной части охотоморского побережья с далеко выступающим в море п-овом Чирип соответствуют представлениям о миграции горбуши из океана в Охотское море, выработанным на основе ее траловых учетных съемок. Рыбы сахалино-курильского происхождения мигрируют в основном через проливы средней части островной дуги, Фриза, Буссоль, Крузенштерна, а в годы очень высокой их численности — и через проливы ее северной части. Более того, высказано предположение о нагуле горбуши в процессе подхода к южным Курильским островам в южной глубоководной котловине Охотского моря [Шунтов, Темных, 2011]. Эта точка зрения подтвердилась результатами проведения серии траловых ловов в 2021 г. в Охотском море вдоль Курильской гряды (оперативная информация Тихоокеанского

филиала ВНИРО — ТИНРО). При такой схеме миграции становится понятным позднее появление рыб этого вида на рыболовных участках южной части о. Итуруп. Примечательно, что в такие же сроки (третья декада июля) горбуша начинала подходить к о. Кунашир. Однако если на итурупском побережье прол. Екатерины уловы были минимальными, то на сопредельном кунаширском побережье в 2001–2012 гг. добывали около трети от суммарного вылова этого вида на этом острове [Каев, Ромасенко, 2017]. О миграции горбуши через прол. Екатерины, но только в обратном направлении (из Охотского моря) может свидетельствовать обнаружение особи с навесной меткой в бухте Южно-Курильской (о. Кунашир), которую пометили в зал. Курильском на о. Итуруп [Иванков, 1966].

Еще одним важным вопросом, требующим обсуждения, является возможность использования совместных данных поколений нечетных и четных лет нереста при анализе эффективности воспроизводства и биологических показателей рыб. Проблема связана с наличием у горбуши практически изолированных друг от друга генеративных линий, уровень генетической дивергенции между которыми значительно превышает таковой между разными популяциями [Салменкова и др., 1981; Животовский и др., 1989; Алтухов и др., 1997; Sato, Urawa, 2017]. Как правило, при многолетнем доминировании одной из них наблюдаются заметные различия между поколениями разных линий по ряду показателей. Априори считается, что это является следствием разного реагирования рыб на условия среды вследствие их генетической разнородности. К примеру, на юго-восточном побережье о. Сахалин, где по численности доминировали поколения нечетных лет нереста, они отличались в среднем большей выживаемостью в течение пресноводного и морского периода жизни и крупными размерами рыб. По первым двум параметрам статистическая достоверность не подтверждена, но значения критерия F многократно превышают таковые при анализе этих параметров за все годы изучения горбуши о. Итуруп, у которой происходило чередование доминантных линий (см. табл. 3). В то же время если анализировать показатели выживаемости поколений разных генеративных линий по отдельным периодам доминирования одной из них, то оценки разности значений становятся сопоставимыми с таковыми у горбуши юго-восточного побережья Сахалина. При этом более высокая значимость у горбуши о. Итуруп расхождений по значениям KB в сравнении с небольшими изменениями значений $ИС$ вполне соответствует тому, что изменения ее численности в большей мере определяются выживаемостью в течение морского периода жизни [Каев, Чупахин, 2003; Kaev et al., 2007].

Существенные расхождения трендов наблюдались у горбуши о. Итуруп по длине тела рыб разных генеративных линий, в результате крупнее становились рыбы в возвратах то четных, то нечетных лет. В данном исследовании не проведен дополнительный анализ размеров рыб в годы доминирования одной из генеративных линий, так как короткий ряд наблюдений может привести к ошибочным заключениям из-за эффекта плотности. Так, снижение длины тела горбуши на о. Итуруп на фоне роста ее численности, наблюдавшееся в 1965–1980 гг. преимущественно в четные годы (рис. 5), послужило основанием для вывода, что межгодовые изменения размеров рыб этого стада определяются воздействием факторов, связанных с плотностью [Ефанов, Чупахин, 1982]. При этом уже в середине 1980-х гг. по линии четных лет появились слабые подходы малоразмерной горбуши, а с конца 1980-х гг. последовало увеличение ее размеров на фоне роста численности. Известно, что противофазные изменения длины и численности горбуши, воспринимаемые обычно как проявление действия плотностных факторов, зачастую не согласуются с данными по кормовой базе и накормленности рыб при непосредственных наблюдениях [Шунтов, Темных, 2011]. Поэтому в данном исследовании обращается внимание лишь на то, что, несмотря на большие расхождения в некоторые годы по длине тела рыб, в целом за весь период наблюдений не выявлено существенной разницы по этому признаку у рыб разных генеративных линий.

Заключение

По гидрометеорологическим условиям и продуктивности морских вод о. Итуруп расположен в зоне экологического оптимума воспроизводства горбуши, однако промысел этого вида сосредоточен в основном только в центральной и северной частях его охотоморского побережья, где наиболее высок уровень ее воспроизводства. В то же время оно является наиболее высокопродуктивным в Сахалино-Курильском регионе по отношению величины возврата рыб как к площади нерестилищ в реках, так и к количеству заходящих в них производителей. Выявлены расхождения по показателям воспроизводства (индекс ската и коэффициент возврата) у поколений нечетных и четных лет нереста для отдельных периодов, в которые доминировала по численности та или иная линия. Между этими поколениями в некоторые годы наблюдалось попеременное доминирование по длине тела рыб. В среднем за многолетний период наблюдений не выявлено различий между поколениями разных генеративных линий по эффективности воспроизводства и биологическим показателям рыб, хотя не исключаются их различия в параметрах межгодовых колебаний.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор выражает искреннюю благодарность Владимиру Михайловичу Чупахину за многие годы совместной плодотворной работы на о. Итуруп, а также Льву Анатольевичу Животовскому за ценные советы при подготовке данной статьи.

The author expresses his sincere gratitude to Vladimir Chupakhin for many years of fruitful joint work on Iturup Island and to Lev Zhivotovsky for valuable advices in preparing this article.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study has 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

Алтухов Ю.П., Салменкова Е.А., Омельченко В.Т. Популяционная генетика лососевых рыб : моногр. — М. : Наука, 1997. — 288 с.

Бродский К.А. Зоопланктон морских вод южного Сахалина и южных Курильских островов // Исслед. дальневост. морей СССР. — 1959. — Вып. 6. — С. 6–46.

Бродский К.А. Планктон в северо-западной части Куро-Сию и прикурильских вод Тихого океана // Тр. ИОАН СССР. — 1955. — Т. 18. — С. 124–133.

Веденский А.П. Возраст горбуши и закономерности колебаний ее численности // Изв. ТИНРО. — 1954. — Т. 41. — С. 111–195.

Воловик С.П. Методы учета и некоторые особенности поведения поклатной молоди горбуши в реках Сахалина // Изв. ТИНРО. — 1967. — Т. 61. — С. 104–117.

Гриценко О.Ф. О популяционной структуре горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) // Вопр. ихтиол. — 1981. — Т. 21, № 5. — С. 787–799.

Гриценко О.Ф. Популяционная структура сахалинской горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* // Вопр. ихтиол. — 1990. — Т. 30, вып. 5. — С. 825–835.

Ефанов В.Н. Популяционная структура горбуши, воспроизводящейся в реках Сахалинской области // Резервы лососевого хозяйства Дальнего Востока. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1989. — С. 52–65.

Ефанов В.Н., Закирова З.М., Каев А.М. и др. Термический режим вод и состав зоопланктона в охотоморском прибрежье острова Итуруп в период нагула молоди лососей // Биология морского планктона. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1990. — С. 53–61.

Ефанов В.Н., Хоревин Л.Д. К вопросу о внутривидовой дифференциации горбуши залива Анива // Изв. ТИНРО. — 1978. — Т. 102. — С. 84–89.

Ефанов В.Н., Чупахин В.М. Динамика некоторых показателей горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) острова Итуруп (Курильские острова) // Вопр. ихтиол. — 1982. — Т. 22, № 1. — С. 54–61.

Животовский Л.А., Глубоковский М.К., Викторковский Р.М. и др. Генетическая дифференциация горбуши // Генетика. — 1989. — Т. 25, № 7. — С. 1261–1274.

Иванков В.Н. О сезонных расах горбуши // Изв. ТИНРО. — 1967. — Т. 61. — С. 143–151.

Иванков В.Н. Результаты мечения горбуши у западного побережья острова Итуруп // Рыб. хоз-во. — 1966. — № 2. — С. 15–18.

Иванков В.Н. Своеобразие популяционной структуры вида у горбуши и рациональное хозяйственное использование этого лосося // Биол. моря. — 1986. — № 2. — С. 44–51.

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

Иванков В.Н., Иванкова Е.В. Экологические подвиды и локально-темпоральные популяции анадромных рыб // Вопр. ихтиол. — 2017. — Т. 57, № 1. — С. 59–65. DOI: 10.7868/S0042875217010088.

Истоки Ойясио : моногр. / под ред. В.Р. Фукса, А.Н. Мичурина. — СПб. : СПбГУ, 1997. — 248 с.

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

Каев А.М. Темпоральная структура и некоторые вопросы динамики стада горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmonidae) // Вопр. ихтиол. — 2012. — Т. 52, № 1. — С. 62–71.

Каев А.М., Дзен Г.Н., Сухонос П.С., Бобров И.С. Оценка численности покатной молоди горбуши в реках островов Сахалин и Итуруп в 2019 г. // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 1. — С. 82–100. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-82-100.

Каев А.М., Ромасенко Л.В. Горбуша и кета острова Кунашир (структура популяций, воспроизводство, промысел) : моногр. — Южно-Сахалинск : СахГУ, 2017. — 124 с.

Каев А.М., Сафронов С.Н., Никитин В.Д. и др. Подходы к созданию лососевых рыбохозяйственных заповедных зон в Сахалинской области // Лососевые рыбохозяйственные заповедные зоны на Дальнем Востоке России. — М. : ВНИРО, 2010. — С. 51–59.

Каев А.М., Чупахин В.М. Динамика стада горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* о. Итуруп (Курильские острова) // Вопр. ихтиол. — 2003. — Т. 43, № 6. — С. 801–811.

Киселев И.А. Качественный и количественный состав фитопланктона и его распределение в водах у Южного Сахалина и южных Курильских островов // Исслед. дальневост. морей СССР. — 1959. — Вып. 6. — С. 58–77.

Мякишев М.С., Иванова М.А., Зеленников О.В. К вопросу о мечении молоди тихоокеанских лососей и эффективности работы рыбодоводных заводов // Биол. моря. — 2019. — Т. 45, № 5. — С. 342–348. DOI: 10.1134/S0134347519050085.

Налетова И.А., Сапожников В.В., Метревели М.П. Особенности распределения первичной продукции в летний период и оценка суммарной продукции в Охотском море // Комплексные исследования экосистемы Охотского моря. — М. : ВНИРО, 1997. — С. 98–103.

Островский В.И. О брошюре Б.Н. Котенева, О.Ф. Гриценко, Н.В. Кловач «Об организации промысла тихоокеанских лососей» (М. : ВНИРО, 2006) // Бюл. № 2 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2007. — С. 105–110.

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

Салменкова Е.А., Омельченко В.Т., Малинина Т.В. и др. Популяционно-генетические различия между смежными поколениями у горбуши, размножающейся в реках азиатского побережья Северной Пацифики // Генетика и размножение морских животных. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1981. — С. 95–104.

Стекольников М.Ю., Акиничева Е.Г. Некоторые результаты изучения возврата анивской горбуши, маркированной на ЛРЗ в 2009–2011 гг. // Бюл. № 8 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2013. — С. 134–140.

Углова Т.Ю. Пути подходов горбуши разных сезонных форм к побережью о. Итуруп (Южные Курильские острова) // Тр. ВНИРО. — 2019. — Т. 177. — С. 5–16. DOI: 10.36038/2307-3497-2019-177-5-16.

Френкель С.Э., Смирнов Б.П., Пресняков А.В. Характеристика зоопланктона прибрежья острова Итуруп в период откочевки молоди лососевых в открытое море // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 172. — С. 189–195.

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

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

Чупахин В.М. Результаты мечения горбуши у о. Итуруп в 1969 и 1971 гг. // Изв. ТИНРО. — 1973б. — Т. 91. — С. 68–71.

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

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

Gritsenko O.F., Klovach N.V. Regions of optimal reproduction of pink salmon // NPAFC Bull. — 1998. — № 1. — P. 509.

Kaeriyama M. Dynamics on Distribution, Production, and Biological Interactions of Pacific Salmon in the Changing Climate of the North Pacific Ocean // NPAFC Tech. Rep. — 2021. — № 17. — P. 102–106.

Kaev A.V., Antonov A.A., Chupakhin V.M., Rudnev V.A. Possible causes and effects of shifts in trends of abundance in pink salmon of southern Sakhalin and Iturup Islands // NPAFC Bull. — 2007. — № 4. — P. 23–33.

Kaev A.M., Chupakhin V.M., Kruchinin M.Y. Reproduction indices of the Iturup Islands pink salmon (Kuril Islands) : NPAFC. — 2006. — Doc. 977. — 18 p.

Kaev A.M., Irvine J.R. Population dynamics of pink salmon in the Sakhalin-Kuril Region, Russia // NPAFC Bull. — 2016. — № 6. — P. 297–305. DOI: 10.23849/npafcb6/297.305.

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.

Montgomery D.R., Beamer E.M., Pess G.R., Quinn T.P. Channel type and salmonid spawning distribution and abundance // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1999. — Vol. 56, № 3. — P. 377–387.

Sato S., Urawa S. Genetic variation of Japanese pink salmon populations inferred from nucleotide sequence analysis of the mitochondrial DNA control region // Environ. Biol. Fish. — 2017. — Vol. 100. — P. 1355–1372. DOI: 10.1007/s10641-017-0648-4.

Uda M. Oceanography of the Subarctic Pacific Ocean // J. Fish. Res. Board Can. — 1963. — Vol. 20, № 1. — P. 119–179.

References

Altukhov, Yu.P., Salmenkova, E.A., and Omel'chenko, V.T., *Populyatsionnaya genetika lososevykh ryb* (Population Genetics of Salmon Fishes), Moscow: Nauka, 1997.

Brodsky, K.A., Zooplankton in the marine waters of southern Sakhalin and the southern Kuril Islands, *Issled. Dal'nevost. morey* (Issled. Far East. Seas), 1959, iss. 6, pp. 6–46.

Brodsky, K.A., Plankton in the northwestern part of the Kuro-Sio and the Kuril waters of the Pacific Ocean, *Tr. Inst. Okeanol. im. P. P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1955, vol. 18, pp. 124–133.

Vedensky, A.P., The age of pink salmon and patterns of fluctuations in its abundance, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1954, vol. 41, pp. 111–195.

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.

Gritsenko, O.F., On the population structure of the pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum), *Vopr. Ikhtiol.*, 1981, vol. 21, no. 5, pp. 787–799.

Gritsenko, O.F., The population structure of the Sakhalin pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*, *Vopr. Ikhtiol.*, 1990, vol. 30, no. 5, pp. 825–835.

Efanov, V.N., Population structure of pink salmon reproducing in the rivers of the Sakhalin region, *Rezervy lososevogo khozyaystva Dal'nego Vostoka* (Reserves of the salmon economy of the Far East), Vladivostok: Dal'nevost. Otd., Akad. Nauk. SSSR, 1989, pp. 52–65.

Efanov, V.N., Zakirova, Z.M., Kaev, A.M., Fedotova, N.A., and Chupakhin, V.M., Thermal regime of waters and composition of zooplankton in the Sea of Okhotsk coast of Iturup Island during the feeding period of juvenile salmon, in *Biologiya morskogo planktona* (Biology of Marine Plankton), Vladivostok: Dal'nevost. Otd., Akad. Nauk. SSSR, 1990, pp. 53–61.

Efanov, V.N. and Khorevin, K.D., On interspecific differentiation of pink salmon fished out in the Aniva Gulf, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1978, vol. 102, p. 84–89.

Efanov, V.N. and Chupakhin, V.M., Dynamics of some indicators of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) from Iturup Island (Kuril Islands), *Vopr. Ikhtiol.*, 1982, vol. 22, no. 1, pp. 54–61.

Zhivotovsky, L.A., Glubokovsky, M.K., Viktorovsky, R.M., Bronevsky, A.M., Afanasiev, K.I., Efremov, V.V., Ermolenko, L.N., Kalabushkin, B.A., Kovalev, V.G., Makoedov, A.N., Malinina, T.V., Pustovoit, S.P., and Rubtsova, G.A., Genetic differentiation of pink salmon, *Genetika*, 1989, vol. 25, no. 7, pp. 1261–1274.

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

Ivankov, V.N., Results of pink salmon tagging off the western coast of Iturup Island, *Rybn. Khoz.*, 1966, no. 2, pp. 15–18.

Ivankov, V.N., The peculiarity of the population structure of the species in pink salmon and the rational economic use of this salmon, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1986, no. 2, pp. 44–51.

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

Ivankov, V.N. and Ivankova, E.V., Ecological subspecies and locally temporal populations of anadromous fish, *Vopr. Ikhtiol.*, 2017, vol. 57, no. 1, pp. 99–105. doi 10.1134/S0032945217010064

Istoki Oyyasio (The origins of Oyyashio), Fuchs, V.R., Michurina, A.N., ed., St. Petersburg: S.-Peterb. Gos. Univ., 1997.

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

Kaev, A.M., Temporal structure and some features of stock dynamics of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmonidae), *J. Ichthyol.*, 2012, vol. 52, no. 1, pp. 57–67. doi 10.1134/S0032945211060038

Kaev, A.M., Dzen, G.N., Sukhonos, P.S., and Bobrov, I.S., Estimation of abundance for the migrating juvenile pink salmon in the rivers of Sakhalin and Iturup Islands in 2019, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 1, pp. 82–100. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-82-100

Kaev, A.M. and Romasenko, L.V., *Gorbusha i keta ostrova Kunashir (struktura populyatsii, vosproizvodstvo, promysel)* (Pink and Chum salmon of Kunashir Island (Population structure, Reproduction, and Fishing), Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin. Gos. Univ., 2017.

Kaev, A.M., Safronov, S.N., Nikitin, V.D., Samarsky, V.G., and Semchenko, A.Yu., Approaches to the creation of salmon fisheries protected areas in the Sakhalin region, in *Lososevyye rybokhozyaystvennyye zapovednyye zony na Dal'nem Vostoke Rossii* (Salmon fisheries protected areas in the Far East of Russia), Moscow: VNIRO, 2010, pp. 51–59.

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.

Kiselev, I.A., Qualitative and quantitative composition of phytoplankton and its distribution in the waters off southern Sakhalin and the southern Kuril Islands, *Issled. dal'nevost. morey SSSR*, 1959, no. 6, pp. 58–77.

Myakishev, M.S., Ivanova, M.A., and Zelennikov, O.V., Marking of salmon juveniles and the efficiency of fish farming, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2019, vol. 45, no. 5, pp. 363–369. doi 10.1134/S1063074019050080

Naletova, I.A., Sapozhnikov, V.V., and Metreveli, M.P., The particularities of the distribution of primary production in summer and the estimation of the total production in the Sea of Okhotsk, in *Kompleksnye issledovaniya ekosistemy Okhotskogo morya* (Complex Studies of Ecosystem of the Sea of Okhotsk), Moscow: VNIRO, 1997, pp. 98–103.

Ostrovsky, V.I., About B.N. Koteneva, O.F. Gritsenko, N.V. Klovach “On the organization of fishing for Pacific salmon” (Moscow: VNIRO, 2006), in *Byull. no. 2 realizatsii “Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovo 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. 105–110.

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

Salmenkova, E.A., Omelchenko, V.T., Malinina, T.V., Afanasiev, K.I., and Altukhov, Yu.P., Population-genetic differences between adjacent generations in pink salmon breeding in the rivers of the Asian coast of the North Pacific, in *Genetika i razmnozheniye morskikh zhivotnykh*, Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1981, pp. 95–104.

Stekolshchikova, M.Yu. and Akinicheva, E.G., Some results of the study of the return of anivskaya pink salmon marked at hatchery in 2009–2011, in *Byull. no. 8 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 8 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2013, pp. 134–140.

Uglova, T.Yu., Migration routes of pink salmon of different seasonal forms to the coast of Iturup island (Southern Kuril Islands), *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 177, pp. 5–16. doi 10.36038/2307-3497-2019-177-5-16

Frenkel, S.E., Smirhov, B.P., and Presnyakov, A.V., Characteristics of zooplankton at the coast of Iturup Island in the time of salmon juveniles off-shore migration, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 172, pp. 189–195.

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

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.

Chupakhin, V.M., Labeling results of pink salmon near Fr. Iturup in 1969 and 1971, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1973, vol. 91, pp. 68–71.

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

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

Gritsenko, O.F. and Klovach, N.V., Regions of optimal reproduction of pink salmon, *NPAFC Bull.*, 1998, no. 1, pp. 509.

Kaeriyama, M., Dynamics on Distribution, Production, and Biological Interactions of Pacific Salmon in the Changing Climate of the North Pacific Ocean, *NPAFC Tech. Rep.*, 2021, no. 17, pp. 102–106.

Kaev, A.M., Antonov, A.A., Chupakhin, V.M., and Rudnev V.A., Possible causes and effects of shifts in trends of abundance in pink salmon of Southern Sakhalin and Iturup Islands, *Bull. NPAFC*, 2007, no. 4, pp. 23–33.

Kaev, A.M., Chupakhin, V.M., and Kruchinin, M.Yu., Reproduction indices of the Iturup Island pink salmon (Kuril Islands), *NPAFC*, 2006, doc. 977.

Kaev, A.M. and Irvine, J.R., Population dynamics of pink salmon in the Sakhalin-Kuril Region, Russia, *NPAFC Bull.*, 2016, no. 6, pp. 297–305. doi 10.23849/npafcb6/297.305

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

Montgomery, D.R., Beamer, E.M., Pess, G.R., and Quinn, T.P., Channel type and salmonid spawning distribution and abundance, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1999, vol. 56, no. 3, pp. 377–387.

Sato, S. and Urawa, S., Genetic variation of Japanese pink salmon populations inferred from nucleotide sequence analysis of the mitochondrial DNA control region, *Environ. Biol. Fishes*, 2017, vol. 100, pp. 1355–1372. doi 10.1007/s10641-017-0648-4

Uda, M., Oceanography of the Subarctic Pacific Ocean, *J. Fish. Res. Board Can.*, 1963, vol. 20, no. 1, pp. 119–179.

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost'. T. 18: Dal'nii Vostok; vyp. 3: Sakhalin i Kurily (Surface Water Resources of the USSR: Knowledge of Hydrology, vol. 18: Far East, no. 3: Sakhalin and the Kuriles), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1964.

Поступила в редакцию 28.01.2022 г.

После доработки 24.02.2022 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

The article was submitted 28.01.2022; approved after reviewing 24.02.2022; accepted for publication 25.02.2022

Научная статья

УДК 639.2.092.1:597.423

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-92-104



ОЦЕНКА БРАКОНЬЕРСКОГО ВЫЛОВА КАЛУГИ *HUSO DAURICUS* И АМУРСКОГО ОСЕТРА *ACIPENSER SCHRENCKII* (ACIPENSERIDAE)

В.Н. Кошелев¹, Д.С. Диденко¹, Л.А. Зыков², **А.П. Шмигирилов**^{1*}

¹ Хабаровский филиал ВНИРО (ХабаровскНИРО),
680038, г. Хабаровск, Амурский бульвар, 13а;

² Астраханский филиал Казахстанского института экологического проектирования,
414041, г. Астрахань, ул. Куликова, 73

Аннотация. Представлены результаты расчетов браконьерского вылова калуги и амурского осетра. Установлено, что незаконный вылов амурских осетровых в 2011 и 2016 гг. составил 8,30 и 15,06 тыс. экз. биомассой соответственно 409,1 и 745,0 т. Объем браконьерского вылова калуги и амурского осетра в десятки и сотни раз (26–268) превышает легальный вылов для научно-исследовательских и контрольных целей, а также аквакультуры (воспроизводства). Браконьерский лов амурских осетровых относительно стабилен уже несколько десятков лет.

Ключевые слова: калуга, амурский осетр, Амурский лиман, браконьерство.

Для цитирования: Кошелев В.Н., Диденко Д.С., Зыков Л.А., Шмигирилов А.П. Оценка браконьерского вылова калуги *Huso dauricus* и амурского осетра *Acipenser schrenckii* (Acipenseridae) // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 201, вып. 1. — С. 92–104. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-92-104.

Original article

Evaluation of a poaching catch for kaluga *Huso dauricus* and amur sturgeon *Acipenser schrenckii* (Acipenseridae)

Vsevolod N. Koshelev¹, Dmitry S. Didenko¹, Leonid A. Zykov², **Andrey P. Shmigirilov**¹

¹ Ph.D., head of sector, Khabarovsk branch of VNIRO (KhabarovskNIRO),
13a, Amursky Boulevard, Khabarovsk, 680038, Russia, scn74@mail.ru; senior specialist,
Khabarovsk branch of VNIRO (KhabarovskNIRO), 13a, Amursky Boulevard, Khabarovsk,
680038, Russia, dima_togy@mail.ru; head of sector, Khabarovsk branch of VNIRO (Khabarovsk-
NIRO), 13a, Amursky Boulevard, Khabarovsk, 680038, Russia

² Dr.Biol., Astrakhan branch of the Kazakhstan Institute of Ecological Design, Astrakhan,
73, Kulikov Str., 414041, Russia, zikov_la@mail.ru

Abstract. Estimations of a poaching catch in the Amur estuary for kaluga and amur sturgeon are presented. Total illegal catch of these species in 2011 and 2016 is amounted as 8,300 and 15,060 ind. or 409.1 and 745.0 t, respectively. The volume of poaching on kaluga and amur sturgeon exceeded in 1–2 orders (in 26–268 times) the legal catch for research

* Кошелев Всеволод Николаевич, кандидат биологических наук, заведующий сектором, scn74@mail.ru; Диденко Дмитрий Сергеевич, старший специалист, dima_togy@mail.ru; Зыков Леонид Александрович, доктор биологических наук, zikov_la@mail.ru; Шмигирилов Андрей Петрович, заведующий сектором.

purposes and artificial reproduction. The poaching in the Amur is relatively stable through decades.

Keywords: kaluga, amur sturgeon, Amur estuary, poaching.

For citation: Koshelev V.N., Didenko D.S., Zykov L.A., Shmigirilov A.P. Evaluation of a poaching catch for kaluga *Huso dauricus* and amur sturgeon *Acipenser schrenckii* (Acipenseridae), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 92–104. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-92-104.

Введение

В р. Амур и в Амурском лимане обитают два вида осетровых (Acipenseridae) — калуга *Huso dauricus* и амурский осетр *Acipenser schrenckii*. Официальные уловы двух видов в сумме достигали 1200 т в год (1891 г.) [Крюков, 1894]. Перелов в конце XIX — первой половине XX века стал причиной существенного падения уловов [Солдатов, 1915; Пробатов, 1935; Никольский, 1956], что закономерно привело к введению ряда запретов. В последние десятилетия вылов осетровых в Амуре и Амурском лимане ведется для научных целей и искусственного воспроизводства. Средний ежегодный вылов по официальным данным в последние 10 лет составил для осетра 2,8 т, для калуги — 4,2 т. В настоящее время калуга и амурский осетр относительно многочисленны только в Амурском лимане, в русле реки подавляющую основу уловов составляет молодь в возрасте 0⁺–5⁺ лет. В Амурском лимане нагуливается 90–95 % особей обоих видов [Кошелев и др., 2016], здесь они достигают половой зрелости.

Браконьерский лов осетровых на Амуре начался со времени появления русских переселенцев из Астрахани в конце XIX века в устьевой части реки и продолжается до настоящего времени. Его интенсивность варьировала и достигла пика в последние 20–25 лет в связи с рядом факторов, к основным из которых можно отнести многократный рост интереса населения к продукции из осетровых, ослабление мер охраны, техническую революцию в области орудий лова, средств передвижения и навигации.

Попытки оценки объемов браконьерского вылова осетровых в бассейне Амура уже предпринимались ранее. Оценка, произведенная с использованием косвенных методик, основанных, в частности, на анализе объема ветеринарных свидетельств на конфискованную рыбу, показала, что в начале XXI века незаконные уловы составляли до 750 т в год [TRAFFIC, 2002*; Новомодный и др., 2004; Кошелев, Беспалова, 2007]. Аналогичные работы по оценке незаконного вылова осетровых проведены для русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* с использованием методов моделирования структуры стада [Зыкова и др., 2000; Зыкова, 2004], а также на основе продукционной динамической модели запаса [Бабаян и др., 2008]. Для расчета незаконного изъятия севрюги *Acipenser stellatus* [Сафаралиев, 2018] использовался метод из работы А.Д. Власенко и Г.Ф. Зыковой [2007], основанный на анализе количества браконьерских орудий лова, изъятых сотрудниками силовых структур. Сходная методика использовалась для оценки вылова русского осетра в Азовском море [Матишов, Лужняк, 2012].

Целью работы являлась оценка незаконного вылова амурских осетровых с использованием математических методов, основой для которых служат данные о численности и возрастном составе амурских осетровых и представления о динамике их численности в течение жизненного цикла.

Материалы и методы

Оценка браконьерского вылова выполнена на основе данных ХабаровскНИРО по численности и возрастному составу уловов калуги и амурского осетра, полученных во время исследований в Амурском лимане. Исследования осетровых здесь проводили в режиме ихтиологических сетных съемок по сетке станций в 2011 г. (4553 км²) и в 2016 г. (5490 км²). Было выполнено соответственно 38 и 37 сплавов. В качестве орудий лова

* TRAFFIC. Report of Illegal Sturgeon Fishing in Amur Basin. M., 2002. 45 p.

для сплавов использовали наборы из 5 связанных донных плавных сетей с шагом ячеи 40–80–120–180–240 мм длиной по 50 м каждая. Всего в Амурском лимане отловлено 212 экз. осетра и 173 экз. калуги. Оценку численности и биомассы осетровых осуществляли методом сплайн-аппроксимации с учетом района исследований и батиметрического диапазона [Столяренко, Иванов, 1988] с использованием *Map Designer for Windows ver. 2.1* [Поляков, 1995]. Коэффициент влияния глубины приняли равным 1000, параметр сглаживания — 0,032. Для оценки возрастной структуры уловов осетровых использовали размерно-возрастной ключ. Основой для оценки браконьерского вылова стали данные по росту калуги и амурского осетра в лимане и устье реки [Кошелев и др., 2009, 2014].

Оценка незаконного вылова проведена только для половозрелых особей калуги в возрасте 20 лет и старше (размеры более 165 см по длине (AC) и 35 кг по массе (Q)) и амурского осетра в возрасте 16 лет и старше (более 110 см и 8 кг). Возрастной состав половозрелых особей, рассчитанный по результатам съемок, представлен на рис. 1 и 2. Анализ изымаемой у браконьеров продукции из осетровых — икры и рыбы — показал, что именно с возраста и размеров полового созревания амурские осетровые становятся коммерчески привлекательны для вылова.

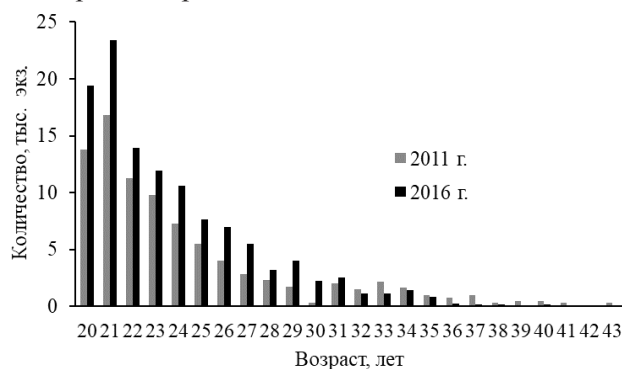


Рис. 1. Возрастной состав половозрелой калуги в Амурском лимане, 2011 и 2016 гг.

Fig. 1. Age composition for catches of mature kaluga in the Amur estuary in 2011 and 2016

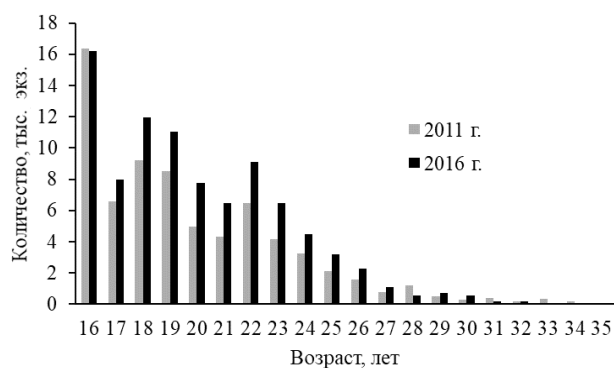


Рис. 2. Возрастной состав половозрелого осетра в Амурском лимане, 2011 и 2016 гг.

Fig. 2. Age composition for catches of mature sturgeon in the Amur estuary in 2011 and 2016

Оценка браконьерского вылова проведена на основе анализа общей, естественной и промысловой смертности. Понятия действительных коэффициентов годичной естественной v_{m_t} , промысловой v_{f_t} и общей смертности v_{z_t} определяли исходя из соотношений [Борисов, Залесских, 1980; Зыков, 2005, 2008, 2011; Зыков и др., 2013, 2015, 2017, 2019; Зыкова и др., 2013]

$$v_{m_t} = \frac{n_{m_t}}{N_t}, \quad v_{f_t} = \frac{n_{f_t}}{N_t}, \quad v_{z_t} = \frac{n_{m_t} + n_{f_t}}{N_t} = \frac{n_{z_t}}{N_t},$$

где n_{m_t} — число особей поколения в возрасте t , погибающих в течение года от действия естественных причин; n_{f_t} — число особей поколения в возрасте t , попавших в годовой улов (включая официальный, неучтенный и браконьерский вылов); n_{z_t} — общее количество рыб возраста t , погибающих в течение года под действием вылова и естественных причин; N_t — общее количество рыб возраста t .

Значения коэффициентов естественной смертности v_{m_i} рассчитывали с помощью уравнения, описывающего изменение их величины в течение жизненного цикла в зависимости от возраста рыб [Зыкова, 1993; Максименко, Антонов, 2002; Зыков, 2005, 2011; Зыков и др., 2013, 2015, 2017; Зыкова и др., 2013]:

$$v_{m_i} = 1 - At^k (T^k - t^k),$$

где A, k, T^k — константы.

Величину констант A, T^k уравнения естественной смертности рассчитывали, исходя из значений констант q, k, C, β уравнений роста и размерно-возрастных характеристик полового созревания l_p и t_p амурского осетра, по следующим формулам [Зыков, 2005, 2008, 2011; Зыков и др., 2013, 2015, 2017, 2019; Зыкова и др., 2013]:

$$A = \frac{1 - v_{mp}}{t_p^{2k}}, v_{mp} = 1 - e^{-M_p}, M_p = \frac{\beta k}{t_p} = \frac{C}{t_p}, t_p = \left(\frac{l_p}{q}\right)^{\frac{1}{k}}, T^k = \frac{L}{q} = \frac{2l_p}{q}, T = \left(\frac{L}{q}\right)^{\frac{1}{k}}, T = 2^{\frac{1}{k}} t_p,$$

где v_{mp} — наименьшее значение коэффициента естественной смертности рыб в возрасте полового созревания; l_p, t_p — длина и возраст, при которых половозрелыми становятся 50 % особей поколения; M_p — мгновенный коэффициент естественной смертности в возрасте 50 %-го полового созревания; L — максимальная биологическая длина рыб в популяции $L = 2l_p$ [Fulton, 1904; Дрягин, 1934]; T — максимальный возраст, необходимый особям для достижения максимальных биологических размеров L [Зыков, 2005, 2011; Зыков и др., 2013, 2015, 2017].

Значения коэффициентов общей смертности v_{f_i} ввиду отсутствия непрерывных многолетних наблюдений оценивали по показателям относительной численности смежных возрастных групп N_t в исследовательских уловах 2011 и 2016 гг. Для этого по данным относительной численности поколений подобрали аппроксимирующую функцию, по которой для каждой возрастной группы t по формуле $v_{z_i} = (\bar{N}_t - \bar{N}_{t+1}) / \bar{N}_t$ рассчитали действительные коэффициенты общей смертности v_{z_i} поколений в смежных возрастах.

Функцию, описывающую изменение численности поколений в разных возрастных группах, рассчитывали в два этапа. На первом этапе общую тенденцию изменения численности возрастных групп N_t оценивали, сглаживая кривую возрастного состава уловов методом скользящей средней по трем точкам:

$$\bar{N}_t = \frac{N_{t-1} + N_t + N_{t+1}}{3}.$$

Наиболее интересна для браконьеров крупноразмерная рыба, поэтому мы считаем, что амурские осетровые подвержены воздействию селективного промысла, где смертность возрастает по мере увеличения размера и возраста. Тогда классические уравнения Баранова примут вид

$$\frac{dN}{N} = (Z_1 \cdot t + Z_2) dt, \\ \bar{v}_{z_i} = Z_1 \cdot t + Z_2.$$

Для каждого поколения рассчитали эмпирические значения относительного изменения численности:

$$v_i = \bar{v}_{z_i} = (\bar{N}_t - \bar{N}_{t+1}) / \bar{N}_t.$$

Расчетные значения коэффициентов общей смертности v_{z_i} находили методом наименьших квадратов в программе «MS Excel 2016» на основании эмпирических точек.

Значения коэффициентов промысловой смертности v_{f_i} в разных возрастах рассчитывали как разность между полученными коэффициентами общей v_{z_i} и естественной v_{m_i} смертности поколений в соответствующих возрастных группах:

$$v_{f_i} = v_{z_i} - v_{m_i}.$$

Величину вылова отдельной возрастной группы в весовых единицах Q_{ib} рассчитывали путем перемножения численности поколения N_t на коэффициент промысловой смертности v_{ft} и соответствующую среднюю массу особей W_t в возрасте t :

$$Q_{z_t} = v_{f_t} N_t W_t$$

Общий вылов получали, суммируя вылов каждой возрастной группы.

Для расчета массы особей в конкретном возрасте были использованы данные о зависимости масса–возраст ($W = 0,071t^{2,111}$ для калуги и $W = 0,0177t^{2,157}$ для осетра) [Кошелев и др., 2009, 2014].

Результаты и их обсуждение

Браконьерство на Амуре имеет уже достаточно длительную историю. Россия на рубеже XIX–XX веков, ощутив угрозу уничтожения амурских осетровых, ввела в 1899 г. запрет на лов калуги и амурского осетра с момента вскрытия льда до 15 июня [Солдатов, 1915]. Советское правительство также было обеспокоено ухудшением состояния популяций амурских осетровых. С 1 января 1923 г. постановлением Дальневосточного революционного комитета был введен полный запрет на их отлов, который продолжался до 1 января 1930 г. По мнению А.Н. Пробатова [1935], запрет привел только к снижению незаконного вылова, но не к полному его искоренению. С 1950-х гг. на смену крючковым снастям, применяемым для лова осетровых, пришли капроновые сети, что привело к интенсификации незаконного вылова. Тем не менее до конца 1980-х гг. незаконный лов осетровых на Амуре и в его лимане был небольшим и носил потребительский характер, без элементов коммерции.

В начале 1990-х гг., с ослаблением мер охраны, незаконный вылов калуги и осетра усилился. Возможность легализации продукции в счет так называемого «конфиската» позволила браконьерам увеличить объемы вылова осетровых. Так, ретроспективные сведения по объему ветеринарных свидетельств, выданных для продажи и вывоза продукции за пределы Хабаровского края, подтверждают то, что только с 2000 по 2005 г. выдано ветеринарных свидетельств на продажу и вывоз на 1247,6 т калуги и амурского осетра. За это время законно отловлено 253,1 т. Как видно, разница составляет около 1000 т. Более того, объемы, указанные в ветеринарных свидетельствах, можно увеличивать в 2 раза, так как на вывоз шла готовая продукция в виде туш, у которых отсутствует голова, внутренности и плавники, составляющие около 50 % от массы живой рыбы. Таким образом, общий объем выловленных осетровых, получивший законное право присутствовать на прилавках, составлял 2000 т, около 333 т в год с 2000 по 2005 г.

Серьезное влияние на состояние осетровых Амура оказал их промысел в водах КНР, где в период с 1957 по 2005 г. было выработано продукции из калуги и осетра 5381 т [Wang, Chang, 2007], что с учетом потерь при переработке может свидетельствовать о вылове 10000 т особей в тушах (≈ 204 т/год). Объемы вылова до середины 1980-х гг. были небольшими и варьировали, судя по объему продукции, от 20 до 240 т в год. Интенсификация промысла произошла позднее: так, с 1987 по 2005 г. уже добывали от 200 до 900 т в год. Объем производства черной икры доходил до 26 т в год (1987 г.), вся она экспортировалась за пределы КНР [Wang, Chang, 2007]. Основной вылов осетровых приходился на район г. Фуюань. Количество лодок, участвовавших официально в лове осетровых в 1990–1997 гг., достигало 1053 шт., при этом общее количество лодок в пограничных водах доходило до 5000 [Новомодный и др., 2004].

Следствием перелома в КНР и браконьерского вылова в России стали изменения структуры популяций калуги и амурского осетра, снижение до минимума уровня пополнения и сокращение численности [Новомодный и др., 2004; Кошелев, 2010; Кошелев и др., 2016]. В настоящее время основным местом обитания калуги и амурского осетра является только Амурский лиман. Данные о численности и биомассе осетровых в лимане реки представлены в табл. 1.

Таблица 1
Численность и биомасса осетровых в Амурском лимане по данным съемок (2011 и 2016 гг.)
Table 1
Number and biomass of the sturgeon species in the Amur estuary in 2011 and 2016

Вид	2011 г.		2016 г.	
	Численность, тыс. экз.	Биомасса, т	Численность, тыс. экз.	Биомасса, т
Калуга	326	7059	262	5183
Амурский осетр	264	1863	201	1605

В р. Амур при проведении съемки летом 2011 г. численность калуги составила 19,1 тыс. экз., биомасса — 51,9 т, амурского осетра — 25,2 тыс. экз. и 83,3 т [Кошелев и др., 2016]. В уловах в реке доминировала молодь младших возрастных групп, в лимане — половозрелые особи и крупная молодь. Именно данный факт обитания крупных, коммерчески привлекательных особей стимулирует здесь браконьерство.

Наши расчеты, проведенные на основе анализа возрастной структуры уловов калуги и амурского осетра, обитающих в Амурском лимане, показали следующее. Незаконный вылов в лимане в 2011 г. составил для калуги — 4,46 тыс. экз. биомассой 356,0 т, для амурского осетра — 3,84 тыс. экз. биомассой 53,1 т, в 2016 г. для калуги — 9,75 тыс. экз. биомассой 661,6 т, для амурского осетра — 5,31 тыс. экз. биомассой 83,4 т (табл. 2, 3).

Таблица 2
Расчет браконьерского вылова калуги в Амурском лимане (2011, 2016 гг.)
Table 2
Evaluation of poaching catch for kaluga in the Amur estuary (2011, 2016)

Воз- раст, лет	Число особей, экз.		Козф. общей смертности (аппроксим.)		Козф. есте- ственной смертно- сти	Козф. промысло- вой смертности		Вылов, экз.		Сред. масса особи, кг	Вылов, т	
t	N_t		v_{z_t}		v_{m_t}	v_{f_t}		n_{z_t}		W_t	Q_{tb}	
	2011	2016	2011	2016		2011	2016	2011	2016		2011	2016
19	18295	21892	0,0809	0,0976	0,08360	-0,003	0,014		306	35,5		10,9
20	13781	19415	0,0908	0,1106	0,07906	0,012	0,032	162	612	39,6	6,4	24,3
21	16790	23428	0,1007	0,1236	0,07572	0,025	0,048	419	1122	43,9	18,4	49,2
22	11286	13963	0,1106	0,1366	0,07350	0,037	0,063	419	881	48,4	20,3	42,7
23	9781	11961	0,1205	0,1496	0,07234	0,048	0,077	471	924	53,2	25,1	49,2
24	7247	10581	0,1304	0,1626	0,07219	0,058	0,090	422	957	58,2	24,5	55,7
25	5504	7670	0,1403	0,1756	0,07298	0,067	0,103	371	787	63,4	23,5	49,9
26	4039	6972	0,1502	0,1886	0,07467	0,076	0,114	305	794	68,9	21,0	54,7
27	2812	5516	0,1601	0,2016	0,07721	0,083	0,124	233	686	74,6	17,4	51,2
28	2297	3203	0,1700	0,2146	0,08056	0,089	0,134	205	429	80,6	16,6	34,6
29	1703	3984	0,1799	0,2276	0,08469	0,095	0,143	162	569	86,8	14,1	49,4
30	317	2226	0,1898	0,2406	0,08956	0,100	0,151	32	336	93,2	3,0	31,3
31	2020	2561	0,1997	0,2536	0,09513	0,105	0,158	211	406	99,9	21,1	40,5
32	1505	1141	0,2096	0,2666	0,10138	0,108	0,165	163	189	106,8	17,4	20,1
33	2178	1105	0,2195	0,2796	0,10829	0,111	0,171	242	189	114,0	27,6	21,6
34	1624	1392	0,2294	0,2926	0,11582	0,114	0,177	184	246	121,4	22,4	29,9
35	990	854	0,2393	0,3056	0,12395	0,115	0,182	114	155	129,1	14,7	20,0
36	752	203	0,2492	0,3186	0,13266	0,117	0,186	88	38	137,0	12,0	5,2
37	950	144	0,2591	0,3316	0,14193	0,117	0,190	111	27	145,1	16,2	4,0
38	317	120	0,2690	0,3446	0,15174	0,117	0,193	37	23	153,5	5,7	3,6
39	436	100	0,2789	0,3576	0,16208	0,117	0,196	51	20	162,2	8,3	3,2
40	436	179	0,2888	0,3706	0,17291	0,116	0,198	50	35	171,1	8,6	6,1
41	277	60	0,2987	0,3836	0,18423	0,114	0,199	32	12	180,2	5,7	2,2
42	0	60	0,3086	0,3966	0,19603	0,113	0,201	0	12	189,6	0,0	2,3
43	277	0	0,3185	0,4096	0,20828	0,110	0,201	31	0	199,3	6,1	0
Вылов								4466	9757		356,0	661,6

Таблица 3
Расчет браконьерского вылова амурского осетра в Амурском лимане (2011, 2016 гг.)
Table 3
Evaluation of poaching catch for amur sturgeon in the Amur estuary (2011, 2016)

Воз- раст, лет	Число особей, экз.		Коэф. общей смертности (аппроксим.)		Коэф. есте- ственной смертно- сти	Коэф. промыс- ловой смерт- ности		Вылов, экз.		Сред. масса особи, кг	Вылов, т	
t	N_t		v_{z_t}		v_{m_t}	v_{f_t}		n_{z_t}		W_t	Q_{th}	
	2011	2016	2011	2016		2011	2016	2011	2016		2011	2016
15	16020	14506	0,1109	0,0516	0,11784	-0,007	-0,066			6,1		
16	16393	16239	0,1243	0,0757	0,11198	0,012	-0,036	202		7,0	1,42	
17	6609	7966	0,1377	0,0998	0,10845	0,029	-0,009	193		8,0	1,54	
18	9211	11952	0,1511	0,1239	0,10712	0,044	0,017	405	201	9,0	3,66	1,81
19	8497	11026	0,1645	0,1480	0,10786	0,057	0,040	481	443	10,1	4,88	4,49
20	4955	7764	0,1779	0,1721	0,11054	0,067	0,062	334	478	11,3	3,78	5,42
21	4327	6481	0,1913	0,1962	0,11507	0,076	0,081	330	526	12,6	4,15	6,62
22	6486	9088	0,2047	0,2203	0,12136	0,083	0,099	540	899	13,9	7,52	12,52
23	4144	6481	0,2181	0,2444	0,12932	0,089	0,115	368	746	15,3	5,64	11,43
24	3251	4501	0,2315	0,2685	0,13888	0,093	0,130	301	583	16,8	5,06	9,80
25	2106	3183	0,2449	0,2926	0,14996	0,095	0,143	200	454	18,3	3,67	8,33
26	1573	2290	0,2583	0,3167	0,16251	0,096	0,154	151	353	20,0	3,01	7,05
27	781	1078	0,2717	0,3408	0,17647	0,095	0,164	74	177	21,7	1,61	3,84
28	1219	568	0,2851	0,3649	0,19177	0,093	0,173	114	98	23,4	2,66	2,30
29	509	744	0,2985	0,3890	0,20838	0,090	0,181	46	134	25,3	1,16	3,39
30	314	580	0,3119	0,4131	0,22625	0,086	0,187	27	108	27,2	0,73	2,95
31	412	185	0,3253	0,4372	0,24533	0,080	0,192	33	35	29,2	0,96	1,04
32	195	158	0,3387	0,4613	0,26559	0,073	0,196	14	31	31,2	0,45	0,97
33	317	100	0,3521	0,4854	0,28698	0,065	0,198	21	20	33,4	0,69	0,66
34	195	38	0,3655	0,5095	0,30947	0,056	0,200	11	8	35,6	0,39	0,27
35	79	79	0,3789	0,5336	0,33304	0,046	0,201	4	16	37,9	0,14	0,60
Вылов								3849	5310		53,10	83,40

Масштабы незаконного вылова калуги и амурского осетра существенно превосходят объемы законного для научно-исследовательских и контрольных целей, а также аквакультуры (воспроизводства) (табл. 4). Объемы вылова несравнимы. Браконьерами безвозвратно изымается подавляющее большинство особей осетровых. Кроме того, необходимо учесть, что работы по искусственному воспроизводству предусматривают использование производителей с прижизненным получением половых продуктов с последующим выпуском. А при проведении НИР подавляющее количество особей обоих видов после проведения биологического анализа также выпускается обратно в естественную среду обитания. Таким образом, официальный вылов предусматривает изъятия осетровых из среды с последующим выпуском в живом виде.

Таблица 4
Данные об объемах официального и неофициального вылова осетровых в бассейне Амура (2011, 2016 гг.)

Table 4
Data on official and unofficial catch of the sturgeon species in the Amur basin (2011, 2016)

Год	Вид	Вылов, т		Соотношение офиц./неофиц.
		Официальный	Незаконный	
2011	Калуга	4,468	356,0	1/80
	Осетр амурский	2,070	53,1	1/26
2016	Калуга	2,473	661,6	1/268
	Осетр амурский	1,084	83,4	1/77

В качестве орудий лова для промысла осетровых в Амурском лимане используются капроновые ставные одностенные аханы с ячейей 150–250 мм, выставляемые с использованием приборов GPS. При проведении работ в лимане в 2005–2008, 2011, 2016 гг. незаконные орудия лова встречались каждые 5–10 км маршрута, что предполагает не менее 50–200 аханов, выставленных в лимане реки одновременно. Поиск таких сетей в воде представителями силовых структур малоэффективен по причине значительной площади лимана (6500 км²) и особенностей их эксплуатации, при которой сеть малозаметна на поверхности. Браконьерский лов в лимане носит сезонный характер (по льду и по открытой воде) и всегда направлен прежде всего на вылов самок со зрелыми гонадами (на III–IV и IV стадиях зрелости по шкале В.З. Трусова [1964]). При этом в подавляющем числе случаев в летний период при вылове зрелых самок забирается только икра, а незрелые самки и самцы выпускаются на месте лова. При этом для «проверки» выловленных рыб на наличие зрелой икры ножом вскрывается брюшная полость осетровых и осматриваются гонады. Выпуск таких особей осетровых с ножевыми ранами в брюшной полости, достигающими порой 20–30 см, по-видимому, приводит к их повышенной смертности, которая учитывается в коэффициенте промысловой смертности (рис. 3).



Рис. 3. Раны на брюшине калуги (а) и амурского осетра (б), оставленные браконьерами
Fig. 3. Wounds in peritoneum of kaluga (a) and amur sturgeon (b) left by poachers

В зимний период при подледном вылове основная масса добытой рыбы разделяется, так как возможно ее хранение и перевозка без использования морозильных установок. Браконьерский лов осуществляется по всей акватории Амурского лимана и в устьях рек западного Сахалина, впадающих в лиман. Так, в 2010 г. в р. Тык представителями коренных малочисленных народов острова было одновременно выловлено не менее 50 экз. калуги [Микодина и др., 2015]. Сходная ситуация наблюдается в соседней р. Виакту.

Оценка объемов браконьерского вылова калуги и амурского осетра имеет большое практическое значение для оценки сценариев динамики их запасов и выработки стратегии их сохранения. Предварительные расчеты, выполненные по амурскому осетру и калуге с использованием модели DB-SRA, которая успешно применяется для оценки прогнозной динамики численности осетровых каспийского бассейна [Dick, MacCall, 2011; Булгакова и др., 2016], показала, что восстановление запасов осетровых возможно только при многократном снижении незаконного промысла. При сохранении современного уровня незаконного вылова надеяться на восстановление запасов не приходится. Объемы искусственного воспроизводства не в состоянии будут компенсировать потерю родительского поколения видов, изымаемых ежегодно из популяций. Кроме того, искусственное воспроизводство сопряжено с обеднением генофонда вида, так как для скрещивания используется ограниченное количество производителей.

Поэтому необходимо создание условий для естественного нереста максимально возможного количества зрелых рыб.

Заключение

Незаконный лов осетровых в бассейне Амура сосредоточен в Амурском лимане. Основной целью браконьеров являются зрелые особи калуги и амурского осетра. Расчетный незаконный вылов амурских осетровых в 2011 и 2016 гг. составил соответственно 8,30 и 15,06 тыс. экз. биомассой 409,1 и 745,0 т. Объемы незаконного вылова в десятки раз выше официального вылова для целей искусственного воспроизводства и НИР. Объемы вылова относительно стабильны уже два десятка лет. Браконьерство в бассейне Амура является одной из основных причин снижения численности амурских осетровых. Для восстановления запасов амурских осетровых необходимо уменьшение незаконного вылова.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность д-ру биол. наук Н.В. Колпакову (СахНИРО, г. Южно-Сахалинск) за критические замечания по данной работе и помощь в подготовке статьи.

Authors are grateful to Dr. Biol. N.V. Kolpakov (SakhNIRO, Yuzhno-Sakhalinsk) for his critical comments on this research and help in preparing the article.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not sponsored.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы использования животных были соблюдены. Информация обо всех пойманных рыбах была включена в статью. Библиографические ссылки на все использованные в работе данные других авторов оформлены в соответствии с правилами данного издания.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for the use of animals have been followed. Information on all fish caught has been included in the article. Bibliographic references to all data of other authors used in the work are formatted in accordance with the rules of this publication.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

В.Н. Кошелев, А.П. Шмигирилов — сбор материала, систематизация первичных данных, подготовка статьи, Д.С. Диденко, Л.А. Зыков — проведение расчетов.

V.N. Koshelev, A.P. Shmigirilov — collection of material, systematization of primary data, writing of the article, D.S. Didenko, L.A. Zykov — calculations.

Список литературы

Бабаян В.К., Булгакова Т.И., Васильев Д.А. Модельный подход к оценке неучтенного вылова каспийских осетровых // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. «Комплексный подход к проблеме сохранения и восстановления биоресурсов Каспийского бассейна». — Астрахань, 2008. — С. 36–41.

Борисов В.М., Залесских Л.М. Оценка состояния запасов и степени промысловой эксплуатации печерской наваги // Тр. ВНИРО. — 1980. — Т. 140. — С. 75–84.

Булгакова Т.И., Лепилина И.Н., Сафаралиев И.А., Довгопол Г.Ф. Анализ методов, применяемых для оценки и прогнозирования запасов каспийских осетровых рыб // Тр. ВНИРО. — 2016. — Т. 161. — С. 102–114.

Власенко А.Д., Зыкова Г.Ф. Экспертная оценка незаконного изъятия осетровых видов рыб в водоемах Волго-Каспийского района // Мат-лы Междунар. конф. «Мелиорация малых водоемов, нерестилищ дельты р. Волги и поймы». — Астрахань, 2007. — С. 136–137.

- Дрягин П.А. Размеры рыб при наступлении половой зрелости // Рыб. хоз-во. — 1934. — № 4. — С. 27–29.
- Зыков Л.А. Биоэкологические и рыбохозяйственные аспекты теории естественной смертности рыб : моногр. — Астрахань : Астрах. ун-тет, 2005. — 373 с.
- Зыков Л.А. Определение объемов искусственного воспроизводства каспийского лосося, обеспечивающих формирование его запасов в соответствии с кормовой продуктивностью Каспийского моря // Мат-лы Междунар. конф. «450 лет Астрахани». — Астрахань, 2008. — С. 355–358.
- Зыков Л.А. Оценка промыслового возврата каспийской белуги *Huso huso* (L.) от молоди искусственного воспроизводства // Вопр. рыб-ва. — 2011. — Т. 12, № 2(46). — С. 349–363.
- Зыков Л.А., Герасимов Ю.В., Абраменко М.И. Оценка промыслового возврата стерляди *Acipenser ruthenus* Нижней Волги от молоди искусственного воспроизводства // Вопр. рыб-ва. — 2017. — Т. 18, № 4. — С. 422–437.
- Зыков Л.А., Герасимов Ю.В., Абраменко М.И., Лебедев Т.Б. Сравнительный анализ биологической и промысловой продуктивности ценных промысловых рыб Каспийского бассейна // Вопр. рыб-ва. — 2019. — Т. 20, № 2. — С. 137–151.
- Зыков Л.А., Зыкова Г.Ф., Абраменко М.И. Оценка промыслового возврата русского осетра Каспийского моря *Acipenser gueldenstaedtii* от молоди искусственного воспроизводства // Вопр. рыб-ва. — 2013. — Т. 14, № 3(55). — С. 460–477.
- Зыков Л.А., Казанский А.Б., Абраменко М.И. Расчет промыслового возврата каспийского шипа *Acipenser nudiventris* от молоди искусственного воспроизводства // Вопр. рыб-ва. — 2015. — Т. 16, № 2. — С. 148–159.
- Зыкова Г.Ф. Продукция сибирской плотвы реки Обь // Вопр. ихтиол. — 1993. — Т. 33, № 6. — С. 799–803.
- Зыкова Г.Ф. Разработка методов и подходов к оценке незаконного изъятия осетровых рыб // Мат-лы 2-го Междунар. семинара «Методы оценки запасов осетровых и определения их ОДУ». — Астрахань : КаспНИРХ, 2004. — С. 111–116.
- Зыкова Г.Ф., Журавлева О.Л., Красиков Е.В. Оценка неучтенного и браконьерского вылова русского осетра в р. Волге и Каспийском море // Мат-лы Междунар. конф. «Осетровые на рубеже XXI в.». — Астрахань, 2000. — С. 54–56.
- Зыкова Г.Ф., Зыков Л.А., Климов Ф.В. Оценка промыслового возврата каспийской севрюги *Acipenser stellatus* от молоди искусственного воспроизводства // Вопр. рыб-ва. — 2013. — Т. 14, № 2(54). — С. 303–320.
- Кошелев В.Н. Амурский осетр *Acipenser schrenckii* Brandt, 1869 (распределение, биология, искусственное воспроизводство) : дис. ... канд. биол. наук. — М. : ВНИРО, 2010. — 180 с.
- Кошелев В.Н., Беспалова Е.В. Оценка уровня промысла амурских осетровых // Экология и безопасность водных ресурсов : мат-лы регион. науч.-практ. конф. — Хабаровск : ДВГУПС, 2007. — С. 137–142.
- Кошелев В.Н., Михеев П.Б., Литовченко Ж.С. и др. Возраст и рост амурского осетра *Acipenser schrenckii* реки Амур // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 159. — С. 136–147.
- Кошелев В.Н., Михеев П.Б., Шмигирилов А.П. Возраст и рост калуги *Acipenser dauricus* из устья Амура и его лимана // Вопр. ихтиол. — 2014. — Т. 54, № 2. — С. 188–199. DOI: 10.7868/S0042875214020052.
- Кошелев В.Н., Шмигирилов А.П., Рубан Г.И. Распределение, численность и размерная структура популяций калуги *Acipenser dauricus* и амурского осетра *A. schrenckii* в нижнем Амуре и Амурском лимане // Вопр. ихтиол. — 2016. — Т. 56, № 2. — С. 156–162. DOI: 10.7868/S0042875216020090.
- Крюков Н.А. Некоторые данные о положении рыболовства в Приамурском крае : Зап. приамур. отд. импер. рус. геогр. о-ва. Отдельный оттиск. — СПб., 1894. — 87 с.
- Максименко В.П., Антонов Н.П. Оценка естественной смертности у морских промысловых популяций рыб Камчатского шельфа // Вопр. рыб-ва. — 2002. — Т. 3, № 3(11). — С. 450–463.
- Матишов Г.Г., Лужняк В.А. Особенности выживаемости заводской молоди осетровых рыб в условиях Азовского бассейна // Вестн. ЮНЦ РАН. — 2012. — Т. 8, № 4. — С. 76–80.
- Микодина Е.В., Новосадов А.Г., Кошелев В.Н. К биологии калуги *Acipenser dauricus* (Acipenseridae) из реки Виатху (северо-западный Сахалин) // Вопр. ихтиол. — 2015. — Т. 55, № 4. — С. 453–461. DOI: 10.7868/S0042875215040074.
- Никольский Г.В. Рыбы бассейна Амура : моногр. — М. : АН СССР, 1956. — 551 с.
- Новомодный Г.В., Золотухин С.Ф., Шаров П.О. Рыбы Амура: богатство и кризис : аналит. обзор. — Владивосток : Апельсин, 2004. — 63 с.

Поляков А.В. Программа построения карт распределения запаса и планирования съемки. — М.: ВНИРО, 1995. — 46 с.

Пробатов А.Н. Материалы по изучению осетровых рыб Амура // Учен. зап. Пермского ун-та. — 1935. — Т. 1, вып. 1. — С. 33–72.

Сафаралиев И.А. Современное распределение севрюги (*Acipenser stellatus* Pallas, 1771) в Каспийском море и методы оценки запасов ее волжской популяции : дис. ... канд. биол. наук. — М.: ВНИРО, 2018. — 171 с.

Солдатов В.К. Обзор исследований, произведенных на Амуре в 1909–1913 гг.; Исследование осетровых Амура : Материалы к познанию русского рыболовства. — Петроград : тип. В.Ф. Киришаума (отд-ние), 1915. — Т. 3, вып. 12. — 415 с.

Столяренко Д.А., Иванов Б.Г. Метод сплайн-аппроксимации плотности для оценки запасов по результатам траловых донных съемок на примере креветки *Pandalus borealis* у Шпицбергена // Морские промысловые беспозвоночные. — М.: ВНИРО, 1988. — С. 45–70.

Трусов В.З. Некоторые особенности созревания и шкала зрелости половых желез осетра // Тр. ВНИРО. — 1964. — Т. 56. — С. 69–78.

Dick E.J., MacCall A.D. Depletion-based stock reduction analysis: A catch-based method for determining sustainable yields for data-poor fish stocks // Fish. Res. — 2011. — Vol. 110, Iss. 2. — P. 331–341. DOI: 10.1016/j.fishres.2011.05.007.

Fulton T.W. The rate of growth of fishes // 22nd Ann. Rept. Fish. Board Scotland. — 1904. — Part 3. — P. 141–241.

Wang Y., Chang J. Status and conservation of sturgeons in Amur River, China: A review based on surveys since the year 2000 // J. Appl. Ichthyol. — 2007. — Vol. 22, suppl. 1. — P. 44–52. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2007.00928.x.

References

Babayan, V.K., Bulgakova, T.I., and Vasilev, D.A., Analytical approach to estimation of unaccounted yield of Caspian sturgeons, in *Mater. Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. "Kompleksnyy podkhod k probleme sokhraneniya i vosstanovleniya bioresursov Kaspiyskogo basseyna"* (Proc. Int. Sci. Pract. Conf. "Integrated Approach to the Problem of Conservation and Restoration of Bioresources of the Caspian Basin"), Astrakhan, 2008, pp. 36–41.

Borisov, V.M. and Zalessikh, L.M., Assessment of the state of stocks and the degree of commercial exploitation of Pechersk navaga, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1980, vol. 140, pp. 75–84.

Bulgakova, T.I., Lepilina, I.N., Safaraliyev, I.A., and Dovgopoli, G.F., Caspian sturgeon stock assessment and projection techniques analysis, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 161, pp. 102–114.

Vlasenko, A.D. and Zyкова, G.F., Expert assessment of the illegal seizure of sturgeon species in the reservoirs of the Volga-Caspian region, in *Mater. Mezhdunar. konf. «Melioratsiya malykh vodoyemov, nerestilishch del'ty r. Volgi i poymy»* (Proc. Int. Conf. "Reclamation of small reservoirs, spawning grounds of the delta of the river Volga and floodplains"), Astrakhan, 2007, pp. 136–137.

Dryagin, P.A., The size of fish at the onset of puberty, *Rybn. Khoz.*, 1934, no. 4, pp. 27–29.

Zykov, L.A., *Bioekologicheskie i rybohozyajstvennye aspekty teorii estestvennoy smertnosti ryb* (Bioecological and fisheries aspects of the theory of natural mortality of fish), Astrakhan Univ, 2005.

Zykov, L.A., Determining the volume of artificial reproduction of the Caspian salmon, ensuring the formation of its stocks in accordance with the fodder productivity of the Caspian Sea, in *Mater. Mezhdunar. konf. «450 let Astrakhani»* (Proc. Int. Conf. "450 years of Astrakhan"), Astrakhan, 2008, pp. 355–358.

Zykov, L.A., Estimation of caspian husen *Huso huso* (L.) yield to the fishery from the juveniles of artificial reproduction, *Vopr. Rybolov.*, 2011, vol. 12, no. 2(46), pp. 349–363.

Zykov, L.A., Gerasimov, Yu.V., and Abramenko, M.I., Estimation of commercial return starlet *Acipenser ruthenus* lover Volga from young fish of artificial reproduction, *Vopr. Rybolov.*, 2017, vol. 18, no. 4, pp. 422–437.

Zykov, L.A., Gerasimov, Y.V., Abramenko, M.I., and Lebedev, T.B., Comparative analysis of biological and fishing productivity of valuable fisheries of the Caspian Basin, *Vopr. Rybolov.*, 2019, vol. 20, no. 2, pp. 137–151.

Zykov, L.A., Zikova, G.F., and Abramenko, M.I., Estimation of trade return russian Caspian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii* from young fish of artificial reproduction, *Vopr. Rybolov.*, 2013, vol. 14, no. 3(55), pp. 460–477.

Zykov, L.A., Kazanskiy, A.B., and Abramenko, M.I., Estimation of yield-to-fishery coefficient of the caspian sea spiny sturgeon *Acipenser nudiiventris* from fingerlings of artificial reproduction, *Vopr. Rybolov.*, 2015, vol. 16, no. 2, pp. 148–159.

Zykova, G.F., Production of the roach, *Rutilus rutilus lacustris*, in the Ob' River, *Vopr. Ikhtiol.*, 1993, vol. 33, no. 6, pp. 799–803.

Zykova, G.F., Development of methods and approaches to assessing the illegal seizure of sturgeons, in *Mater. 2-go Mezhdunar. seminar «Metody otsenki zapasov osetrovyykh i opredeleniya ikh ODU»* (Proc. 2nd Int. workshop “Methods of sturgeon stock assessment and their TAC determination”), Astrakhan: Kasp. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz., 2004, pp. 111–116.

Zykova, G.F., Zhuravleva, O.L., and Krasikov, E.V., Assessment of the unaccounted and poached catch of Russian sturgeon in the river. Volga and the Caspian Sea, in *Mater. Mezhdunar. konf. «Osetrovyye na rubezhe XXI v.»* (Proc. Int. Conf. “Sturgeons at the turn of the XXI century”), Astrakhan, 2000, pp. 54–56.

Zykova, G.F., Zykov, L.A., and Klimov, F.V., Estimation of trade return caspian stellate sturgeon *Acipenser stellatus* from young fish of artificial reproduction, *Vopr. Rybolov.*, 2013, vol. 14, no. 2(54), pp. 303–320.

Koshelev, V.N., Amur sturgeon *Acipenser schrenckii* Brandt, 1869 (distribution, biology, artificial reproduction), *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow: VNIRO, 2010.

Koshelev, V.N. and Bepalova, E.V., Evaluation of the level of Amur sturgeon fishing, in *Mater. reg. nauchno-prakt. konf. “Ekologiya i bezopasnost' vodnykh resursov”* (Proc. Reg. Sci. Pract. Conf. “Ecology and safety of water resources”), Khabarovsk: Dal'nevost. gos. univ. putey soobshcheniy, 2007, pp. 137–142.

Koshelev, V.N., Mikheev, P.B., Litovchenko, J.S., Evteshina, T.V., and Kolobov, V.Yu., Age and growth of Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) from the Amur River, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2009, vol. 159, pp. 136–147.

Koshelev, V.N., Mikheev, P.B., and Shmigirilov, A.P., Age and growth of kaluga *Acipenser dauricus* from the estuary of the Amur and its lagoon, *Vopr. Ichtiol.*, 2014, vol. 54, no. 2, pp. 165–176. doi 10.1134/S0032945214020052

Koshelev, V.N., Shmigirilov, A.P., and Ruban, G.I., Distribution, abundance, and size structure of Amur kaluga *Acipenser dauricus* and Amur sturgeon *A. schrenckii* in the Lower Amur and Amur estuary, *Vopr. Ichtiol.*, 2016, vol. 56, no. 2, pp. 235–241. doi 10.1134/S0032945216020065

Kryukov, N.A., Some data on the fishing situation in the Amur Region, *Zap. Priamurskogo Otd. Imp. Russ. Geogr. O-va*, St. Peteresburg, 1894.

Maximenko, V.P. and Antonov, N.P., Estimation of natural mortality rate at sea populations of fishes of the Kamchatka shelf, *Vopr. Rybolov.*, 2002, vol. 3, no. 3(11), pp. 450–462.

Matishov, G.G. and Luzhnyak, V.A., Specific survival features of sturgeon hatchery juveniles under the conditions of the sea of Azov Basin, *Vestn. Yuzhn. Nauchn. Tsentra Ross. Akad. Nauk*, 2012, vol. 8, no. 4, pp. 76–80.

Mikodina, E.V., Novosadov, A.G., and Koshelev, V.N., On biology of Kaluga sturgeon *Acipenser dauricus* (Acipenseridae) from the Viakhtu River (Northwestern Sakhalin), *Vopr. Ichtiol.*, 2015, vol. 55, no. 4, pp. 567–575. doi 10.1134/S0032945215040062

Nikolsky, G.V., *Ryby bassejna Amura* (Amur basin fish), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1956.

Novomodny, G.V., Zolotukhin, S.F., and Sharov, P.O., *Ryby Amura: bogatstvo i krizis* (Cupid Fish: Wealth and Crisis), Vladivostok: Apel'sin, 2004.

Polyakov, A.V., *Programma postroyeniya kart raspredeleniya zapasa i planirovaniya s'yemki* (The program for the construction of stock distribution maps and survey planning), Moscow: VNIRO, 1995.

Probatov, A.N., Materials on the study of Amur sturgeon fishes, *Uchen. zap. Permskogo un-ta*, 1935, vol. 1, no. 1, pp. 33–72.

Safaraliev, I.A., Modern distribution of stellate sturgeon (*Acipenser stellatus* Pallas, 1771) in the Caspian Sea and methods for assessing the stocks of its Volga population, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow: VNIRO, 2018.

Soldatov, V.K., A review of studies conducted on the Amur River in 1909–1913; The study of sturgeon Amur, in *Materialy k poznaniyu russkogo rybolovstva* (Materials for the knowledge of Russian fisheries), Petrograd: tip. V.F. Kirshbauma (otd-niye), 1915, vol. 3, no. 12.

Stolyarenko, D.A. and Ivanov, B.G., Spline approximation method of stock density for stock assessments based on results of bottom trawl surveys with reference to deep water shrimp (*Pandalus borealis*) off Spitsbergen, *Morskiye promyslovyye bespozvonochnyye*, Moscow: VNIRO, 1988, pp. 45–70.

Trusov, V.Z., Some features of maturation and maturity scale of the sex glands of the sturgeon, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1964, vol. 56, pp. 69–78.

Dick, E.J. and MacCall, A.D., Depletion-based stock reduction analysis: A catch based method for determining sustainable yields for data-poor fish stocks, *Fish. Res.*, 2011, vol. 110, no. 2, pp. 331–341. doi 10.1016/j.fishres.2011.05.007

Fulton, T.W., The rate of growth of fishes, *Twenty-second Annual Report, Part III. Fisheries Board of Scotland*, Edinburgh, 1904, pp. 141–241.

Wang, Y. and Chang, J., Status and conservation of sturgeons in Amur River, China: A review based on surveys since the year 2000, *J. Appl. Ichthyol.*, 2007, vol. 22, suppl. 1, pp. 44–52. doi 10.1111/j.1439-0426.2007.00928.x

TRAFFIC, *Report of Illegal Sturgeon Fishing in Amur Basin*, Moscow, 2002.

Поступила в редакцию 20.04.2021 г.

После доработки 14.12.2021 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

*The article was submitted 20.04.2021; approved after reviewing 14.12.2021;
accepted for publication 25.02.2022*

Научная статья

УДК 597.552.3(282.257.583.1)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-105-112



**О ПОИМКЕ ОБЫКНОВЕННОЙ МАЛОРОТОЙ КОРЮШКИ
HYPOMESUS OLIDUS (PALLAS, 1814) (OSMERIDAE)
В БАСЕЙНЕ ОЗ. ХАНКА И ОБНОВЛЕНИИ СПИСКА ВИДОВ
КРУГЛОРОТЫХ И РЫБ ЭТОГО БАСЕЙНА**

Е.И. Барабанщиков, М.Е. Шаповалов, Н.А. Черных*

Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),

690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Приводятся данные о поимке обыкновенной малоротой корюшки *Hypomesus olidus* в бассейне оз. Ханка. Дается обновленный список круглоротых и рыб, отмеченных в бассейне озера. Всего к настоящему времени в бассейне Ханки отмечено 90 видов из 21 семейства.

Ключевые слова: обыкновенная малоротая корюшка, *Hypomesus olidus*, озеро Ханка, река Усури, река Сунгача.

Для цитирования: Барабанщиков Е.И., Шаповалов М.Е., Черных Н.А. О поимке обыкновенной малоротой корюшки *Hypomesus olidus* (Pallas, 1814) (Osmeridae) в бассейне оз. Ханка и обновлении списка видов круглоротых и рыб этого бассейна // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 105–112. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-105-112.

Original article

**On finding of pond smelt *Hypomesus olidus* (Pallas, 1814) (Osmeridae)
in the basin of Lake Khanka and updating the list of cyclostomes
and fishes for this basin**

Evgeniy I. Barabanshchikov*, Maxim E. Shapovalov, Nikolay A. Chernykh*****

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

* Ph.D., head of laboratory, evgeniy.barabanshchikov@tinro-center.ru

** Ph.D., leading researcher, maksim.shapovalov@tinro-center.ru

*** senior specialist, nikolay.chernykh@tinro-center.ru

Abstract. Data on captures of pond smelt *Hypomesus olidus* in the basin of Lake Khanka are presented. The list of cyclostomes and fishes recorded in this basin is updated to 90 species belonged to 21 families.

Kewwords: pond smelt, *Hypomesus olidus*, Lake Khanka, Ussuri River, Sungacha River.

* Барабанщиков Евгений Иванович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, evgeniy.barabanshchikov@tinro-center.ru; Шаповалов Максим Евгеньевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, maksim.shapovalov@tinro-center.ru; Черных Николай Александрович, старший специалист, nikolay.chernykh@tinro-center.ru.

© Барабанщиков Е.И., Шаповалов М.Е., Черных Н.А., 2022

For citation: Barabanshchikov E.I., Shapovalov M.E., Chernykh N.A. On finding of pond smelt *Hypomesus olidus* (Pallas, 1814) (Osmeridae) in the basin of Lake Khanka and updating the list of cyclostomes and fishes for this basin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 105–112. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-105-112.

Введение

В оз. Ханка в последние годы регулярно стало происходить обновление состава ихтиофауны [Барабанщиков и др., 2006; Горяинов и др., 2014]. Данные процессы связаны как с естественными и искусственными инвазиями, так и с ревизиями отдельных родов и видов рыб, что и являлось основной целью настоящей работы.

Из-за длительного периода стояния высокого уровня воды в озере, начавшегося в 2010 г. [Бортин и др., 2016], стали происходить изменения в составе водной биоты. Одним из первых на это отреагировало планктонное сообщество, где начали отмечаться виды, ранее единично и не каждый год встречавшиеся в местах впадения рек в Ханку и закрытых заливах (например, *Neodiptomus schmackeri*) [Барабанщиков, 2021]. Кроме того, значительно возросло количество креветок, в первую очередь *Palaemon modestus*, и рыбы-лапши *Protosalanx chinensis* (= *Protosalanx hyalocranius*) [Барабанщиков, 2016; Барабанщиков, Шаповалов, 2019].

Результаты и их обсуждение

За весь период изучения ихтиофауны оз. Ханка со второй половины XIX века по настоящее время корюшка *Hypomesus olidus* ни разу не отмечалась в водоеме [Дыбовский, 1860, цит. по: Розов, 1934; Самуйлов, Свирский, 1976; Пржевальский, 1990; Богуцкая, Насека, 1996; Барабанщиков и др., 2006; Горяинов и др., 2014]. Находки данного вида были приурочены к бассейнам рек Уссури и Сунгача (рис. 1) [Барабанщиков и др., 2006; Бушуев, Барабанщиков, 2012; Рыбы Амура..., 2019]. При этом, по неопублико-



Рис. 1. Места находок *Hypomesus olidus* в оз. Ханка, реках Уссури и Сунгача: 1 — устье р. Мельгуновка (бассейн оз. Ханка); 2 — район истока р. Сунгача; 3 — зал. Первый, 3,5 км от впадения р. Большая Уссурка в р. Уссури

Fig. 1. Locations of *Hypomesus olidus* findings in Lake Khanka and the Ussuri and Sungacha Rivers: 1 — Melgunovka River mouth; 2 — Sungacha River, at the source; 3 — Pervyy Bay, in 3.5 km from the confluence of the Bolshaya Ussurka River and the Ussuri River

ванным данным А.А. Селезнева [Барабанщиков и др., 2006], в зимний период жилая форма обыкновенной малоротой корюшки *Hypomesus olidus* (Pallas, 1814) отмечалась в районе истока р. Сунгача. До начала 2000-х гг. этот вид встречался в р. Уссури вверх до г. Лесозаводск. Проводившиеся в маловодный период 2000–2009 гг. исследования на реках Уссури и Сунгача показали, что корюшка попадалась вверх по течению только до зал. Первого, расположенного в 3,5 км выше впадения р. Большая Уссурка.

В конце марта 2020 г. в устье р. Мельгуновка рыбакам-любителям на поплавочную удочку попала обыкновенная малоротая корюшка длиной TL около 9,5 см (рис. 1, 2). Место поимки расположено на юге оз. Ханка, в 70 км от истока р. Сунгача и около 400 км выше по течению от места последней поимки данного вида рыб на р. Уссури.

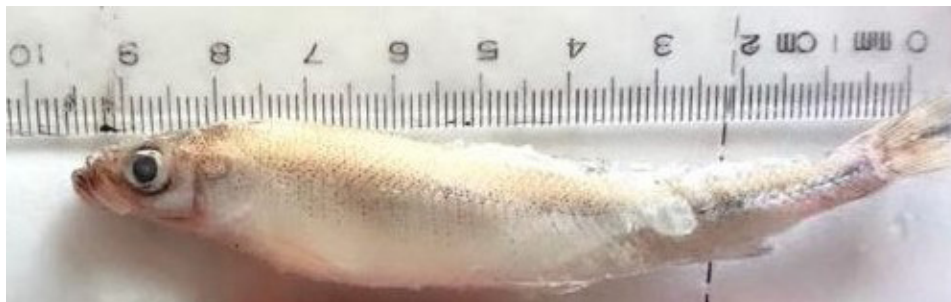


Рис. 2. Обыкновенная малоротая корюшка *Hypomesus olidus*, отловленная в устье р. Мельгуновка в марте 2020 г.

Fig. 2. Pond smelt *Hypomesus olidus* caught in the mouth of the Melgunovka River in March 2020

Проникновение корюшки в оз. Ханка, вероятнее всего, связано с естественными процессами — продолжительным периодом повышенного стояния уровня воды. Если данный процесс продлится достаточно долго, то состав ихтиофауны оз. Ханка может пополниться еще несколькими видами, отмеченными в прилегающих водных объектах, в первую очередь из рек Сунгача и Уссури [Барабанщиков и др., 2006].

К настоящему времени обновленный список круглоротых и рыб, отмеченных в оз. Ханка, увеличился до 90 видов, принадлежащих к 21 семейству (см. таблицу). Обновление списка связано как с естественной инвазией отдельных видов в водный объект (обыкновенная малоротая корюшка), так и со значительными таксономическими изменениями, произошедшими в последние годы*.

Список круглоротых и рыб, отмеченных в бассейне оз. Ханка
List of cyclostomes and fishes recorded in the basin of Lake Khanka

№ п/п	Русское название	Латинское название
<i>Семейство Миноговые Petromyzontidae</i>		
1	Минога дальневосточная ручьевая	<i>Lethenteron reissneri</i> (Dybowski, 1869)
<i>Семейство Осетровые Acipenseridae</i>		
2	Калуга	<i>Huso dauricus</i> (Georgi, 1775)
3	Осетр амурский	<i>Acipenser schrenckii</i> Brandt, 1869
<i>Семейство Веслоносовые Polyodontidae</i>		
4	Веслонос	<i>Polyodon spathula</i> (Walbaum, 1792)
<i>Семейство Карповые Cyprinidae</i>		
5	Абботтина речная	<i>Abbottina rivularis</i> (Basilewsky, 1855)
6	Амур белый	<i>Ctenopharyngodon idella</i> (Valenciennes, 1844)
7	Амур черный	<i>Mylopharyngodon piceus</i> (Richardson, 1846)
8	Верхогляд	<i>Chanodichthys erythropterus</i> (Basilewsky, 1855)
9	Владиславия, или ладиславия	<i>Ladislavia taczanowskii</i> Dybowski, 1869

* Eschmeyer W.N., Fricke R., van der Laan R. Catalog of fishes. Updated internet version, 5 October 2021. Catalog databases of CAS cited in FishBase (website).

№ п/п	Русское название	Латинское название
10	Востробрюшка корейская	<i>Hemiculter leucisculus</i> (Basilewsky, 1855)
11	Востробрюшка уссурийская	<i>Hemiculter lucidus</i> (Dybowski, 1872)
12	Гольян китайский	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> (Sauvage et Dabry de Thiersant, 1874)
13	Гольян Лаговского	<i>Rhynchocypris lagowskii</i> (Dybowski, 1869)
14	Гольян обыкновенный амурский	<i>Phoxinus</i> sp.
15	Гольян озерный маньчжурский	<i>Rhynchocypris mantschuricus</i> (Berg, 1907)
16	Гольян Чекановского	<i>Rhynchocypris czekanowskii</i> (Dybowski, 1869)
17	Горбушка лещевидная	<i>Chanodichthys abramoides</i> (Dybowski, 1872)
18	Горбушка Дабри	<i>Chanodichthys dabryi</i> (Bleeker, 1871)
19	Горбушка обыкновенная	<i>Chanodichthys oxycephalus</i> (Bleeker, 1871)
20	Горчак амурский	<i>Rhodeus amurensis</i> (Vronsky, 1967)
21	Горчак амурский обыкновенный	<i>Rhodeus sericeus</i> (Pallas, 1776)
22	Горчак колючий ханкайский	<i>Acheilognathus chankaensis</i> (Dybowski, 1872)
23	Горчак колючий амурский	<i>Acheilognathus asmussii</i> (Dybowski, 1872)
24	Горчак колючий желтоперый	<i>Acheilognathus</i> sp. I
25	Горчак колючий	<i>Acheilognathus</i> sp. II
26	Желтопер мелкочешуйный	<i>Plagiognathops microlepis</i> (Bleeker, 1871)
27	Желтощек	<i>Elopichthys bambusa</i> (Richardson, 1845)
28	Жерех плоскоголовый амурский, или краснопер	<i>Pseudaspius leptocephalus</i> (Pallas, 1776)
29	Карась китайский, или золотая рыбка	<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus, 1758)
30	Карась серебряный	<i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)
31	Конь-губарь	<i>Hemibarbus labeo</i> (Pallas, 1776)
32	Конь пятнистый	<i>Hemibarbus maculatus</i> Bleeker, 1871
33	Краснопер монгольский	<i>Chanodichthys mongolicus</i> (Basilewsky, 1855)
34	Лещ белый амурский	<i>Parabramis pekinensis</i> (Basilewsky, 1855)
35	Лещ черный амурский	<i>Megalobrama mantschuricus</i> (Basilewsky, 1855)
36	Охетобиус	<i>Ochetobius elongatus</i> (Kner, 1867)
37	Пескарь амурский белоперый	<i>Romanogobio tenuicorpus</i> (Mori, 1934)
38	Пескарь амурский носатый	<i>Microphysogobio (Rostrigobio) amurensis</i> (Taranetz, 1937)
39	Пескарь амурский обыкновенный	<i>Gobio cynocephalus</i> Dybowski, 1869
40	Пескарь Солдатова	<i>Gobio soldatovi</i> Berg, 1914
41	Пескарь восьмиусый	<i>Gobiobotia pappenheimi</i> Kreyenberg, 1911
42	Пескарь-губач Солдатова	<i>Sarcocheilichthys (Chilogobio) soldatovi</i> (Berg, 1914)
43	Пескарь-губач Черского	<i>Sarcocheilichthys (Chilogobio) czerskii</i> (Berg, 1914)
44	Пескарь-лень	<i>Sarcocheilichthys lacustris</i> (Dybowski, 1872)
45	Пескарь длиннохвостый колючий, или ящерный пескарь	<i>Saurogobio dabryi</i> Bleeker, 1871
46	Пескарь маньчжурский, или чебаковидный пескарь	<i>Gnathopogon mantschuricus</i> (Berg, 1914)
47	Пескарь ханкинский	<i>Squalidus chankaensis</i> Dybowski, 1872
48	Пескарь маньчжурский, сквалидус маньчжурский	<i>Squalidus mantschuricus</i> (Mori, 1927)
49	Подуст-чернобрюшка, или крупночешуйный желтопер	<i>Xenocypris macrolepis</i> Bleeker, 1871
50	Пунтиус зеленый	<i>Puntius semifasciolatus</i> (Günther, 1868)
51	Сазан амурский	<i>Cyprinus rubrofasciatus</i> Lacepède, 1803
52	Сазан европейский, или карп	<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758
53	Толстолобик белый	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenciennes, 1844)

Продолжение таблицы
Table continued

№ п/п	Русское название	Латинское название
54	Толстолобик пестрый	<i>Hypophthalmichthys nobilis</i> (Richardson, 1845)
55	Троегуб амурский, или амурская трегубка	<i>Opsariichthys bidens</i> Günther, 1873
56	Уклея	<i>Culter alburnus</i> Basilevsky, 1855
57	Чебачок амурский	<i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck et Schlegel, 1846)
58	Язь амурский, или чебак амурский	<i>Leuciscus waleckii</i> (Dybowski, 1869)
<i>Семейство Вьюновые Cobitidae</i>		
59	Вьюн Никольского	<i>Misgurnus nikolskyi</i> Vasil'eva, 2001
60	Паработия маньчжурская	<i>Parabotia mantschuricus</i> (Berg, 1907)
61	Щиповка Лютера	<i>Cobitis lutheri</i> Rendahl, 1935
62	Щиповка сибирская	<i>Cobitis melanoleuca</i> Nichols, 1925
<i>Семейство Гольцовые Nemacheilidae</i>		
63	Голец восьмиусый Плеске, или лефуа	<i>Lefua pleskei</i> (Herzenstein, 1887)
64	Голец сибирский	<i>Barbatula toni</i> (Dybowski, 1869)
<i>Семейство Косатковые Bagridae</i>		
65	Косатка Бражникова, или синяя, или малая, косатка	<i>Tachysurus brashnikowi</i> (Berg, 1907)
66	Косатка Герценштейна	<i>Tachysurus herzensteini</i> (Berg, 1907)
67	Косатка-крошка	<i>Tachysurus argentivittatus</i> (Regan, 1905)
68	Косатка-плеть, или уссурийская косатка	<i>Tachysurus ussuriensis</i> (Dybowski, 1872)
69	Косатка-скрипун китайская	<i>Tachysurus sinensis</i> Lacepède, 1803
<i>Семейство Сомовые Siluridae</i>		
70	Сом амурский	<i>Silurus asotus</i> Linnaeus, 1758
71	Сом Солдатов	<i>Silurus soldatovi</i> Nikolsky et Soim, 1948
<i>Семейство Щуковые Esocidae</i>		
72	Щука амурская	<i>Esox reichertii</i> Dybowski, 1869
<i>Семейство Корюшковые Osmeridae</i>		
73	Корюшка малоротая обыкновенная (пресноводная жилая форма)	<i>Hypomesus olidus</i> (Pallas, 1814)
<i>Семейство Саланксовые Salangidae</i>		
74	Рыба-лапша китайская	<i>Protosalanx chinensis</i> (Basilevsky, 1855)
<i>Семейство Сиговые Coregonidae</i>		
75	Сиг уссурийский	<i>Coregonus ussuriensis</i> Berg, 1906
<i>Семейство Хариусовые Thymallidae</i>		
76	Хариус нижеамурский	<i>Thymallus tugarinae</i> Knizhin, Antonov, Safronov et Weiss, 2007
<i>Семейство Лососевые Salmonidae</i>		
77	Кета	<i>Oncorhynchus keta</i> (Walbaum, 1792)
78	Ленок острорылый	<i>Brachymystax lenok</i> (Pallas, 1773)
79	Ленок тупорылый	<i>Brachymystax tumensis</i> Mori, 1930
80	Мальма южная (жилая форма)	<i>Salvelinus curilus</i> (Pallas, 1814)
81	Таймень сибирский	<i>Hucho taimen</i> (Pallas, 1773)
<i>Семейство Налимовые Lotidae</i>		
82	Налим	<i>Lota lota</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Семейство Колюшковые Gasterosteidae</i>		
83	Колюшка девятиглая амурская, или китайская	<i>Pungitius sinensis</i> (Guishenot, 1869)
84	Колюшка девятиглая Буссе	<i>Pungitius bussei</i> (Warpachowski, 1887)
85	Колюшка Каибары (приморская колюшка)	<i>Pungitius kaibarae</i> Tanaka, 1915
<i>Семейство Перцихтовые, или Лавраковые Percichthyidae</i>		
86	Окунь китайский, или ауха	<i>Siniperca chuatsi</i> (Basilevsky, 1855)
<i>Семейство Окуневые Percidae</i>		
87	Судак	<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)

№ п/п	Русское название	Латинское название
<i>Семейство Головешковые Odontobutidae</i>		
88	Ротан, или головешка-ротан	<i>Perccottus glenii</i> Dybowski, 1877
<i>Семейство Бычковые Gobiidae</i>		
89	Бычок амурский речной	<i>Rhinogobius lindbergi</i> Berg, 1933
<i>Семейство Змееголовые Channidae</i>		
90	Змееголов	<i>Channa argus</i> (Cantor, 1842)

Поимка обыкновенной малоротой корюшки в бассейне оз. Ханка может свидетельствовать о наметившемся естественном обновлении ихтиофауны отдельными видами рыб, встречающимися в бассейне р. Уссури, что обусловлено продолжающимся периодом высокой водности бассейна. За период с 2006 г. [Барабанщиков и др., 2006], кроме корюшки, в бассейне водного объекта обнаружены веслонос, рыба-лапша, выполнены ревизии пескарей, колюшек, горбушек и других видов рыб, за счет чего список видов увеличился с 85 до 90.

По сравнению с маловодным периодом (до 2010 г.) и периодом переэксплуатации запаса основных ресурсообразующих видов рыб, из-за чего вводился запрет для промысла (2002–2006 гг.), отмечается как рост их запасов (вырос почти в 3 раза) [Барабанщиков, Шаповалов, 2006; Шаповалов, 2016], так и рост количества неиспользуемых и малоиспользуемых промыслом видов водных биологических ресурсов. Например, по данным наших исследований запасы косаток выросли более чем на порядок, запасы рыбы-лапши и креветок достигли значительных промысловых объемов и могут эксплуатироваться рыбаками. Все это связано с увеличением на треть емкости водного объекта и значительным увеличением нерестовых площадей и ростом количества кормовой базы [Барабанщиков, 2016, 2021; Бортин и др., 2016; Шаповалов, 2016; Барабанщиков, Шаповалов, 2019]. Данные изменения позволяют расширить ассортимент добываемой в водоеме рыбопродукции на ближайшие годы, пока уровненный режим озера не вернется к средним значениям.

Таким образом, в результате последних изменений в бассейне оз. Ханка зарегистрировано 90 видов круглоротых и рыб, принадлежащих к 21 семейству.

Благодарности

Авторы выражают благодарность рыбакам, предоставившим материал для анализа.
Authors are thankful to fishermen who presented the data on their catches for analysis.

Финансирование работы

Исследование не имело спонсорской поддержки.
The study had no any sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы использования животных были соблюдены. Информация обо всех пойманных рыбах была включена в статью. Библиографические ссылки на все использованные в работе данные других авторов оформлены в соответствии с правилами данного издания.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for the use of animals have been followed. Information on all fish caught is included in the article. Bibliographic references to all data from other authors used in the work are made in accordance with the rules of this publication.

Информация о вкладе авторов

Н.А. Черных, М.Е. Шаповалов — сбор материала; Е.И. Барабанщиков — систематизация материала, рисунки и написание статьи.

E.I. Barabanshchikov — systematization of the material, figures drawing, text writing; M.E. Shapovalov and N.A. Chernykh — data collecting.

Список литературы

Барабанщиков Е.И. Изменение качественных и количественных показателей зоопланктона и нектобентоса в озере Ханка в 2014–2015 гг. // Трансграничное озеро Ханка: причины повышения уровня воды и экологические угрозы. — Владивосток : Дальнаука, 2016. — С. 170–174.

Барабанщиков Е.И. Результаты исследований зоопланктона озера Ханка в сентябре 2020 года // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — 2021. — Вып. 9. — С. 31–35. DOI: 10.25221/levanidov.09.04.

Барабанщиков Е.И., Назаров В.А., Свирский В.Г. Фауна круглоротых и рыб озера Ханка // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 146. — С. 97–110.

Барабанщиков Е.И., Шаповалов М.Е. Некоторые результаты введения запрета на промышленный лов рыбы в озере Ханка (2002–2006 гг.) // Рыб. хоз-во. — 2006. — № 5. — С. 50–53.

Барабанщиков Е.И., Шаповалов М.Е. Распределение и динамика количественных показателей дальневосточных пресноводных креветок (сем. Palaemonidae) в оз. Ханка в летне-осенний период 2018 года // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — 2019. — Вып. 8. — С. 23–27. DOI: 10.25221/levanidov.08.03.

Богущая Н.Г., Насека А.М. Круглоротые и рыбы бассейна озера Ханка (система реки Амур): аннотированный список видов с комментариями по их таксономии и зоогеографии региона : Научные тетради. — СПб. : ГосНИОРХ, 1996. — Вып. 3. — 89 с.

Бортин Н.Н., Горчаков А.М., Кролевецкая Ю.В. Причины и последствия аномального роста уровня воды в озере Ханка // Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата: VI Дружининские чтения : мат-лы Всерос. конф. с междунар. участием [Электронный ресурс]. — Хабаровск : ИВЭП ДВО РАН, 2016. — С. 16–19.

Бушуев В.П., Барабанщиков Е.И. Пресноводные и эстуарные рыбы Приморья : справ. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2012. — 313 с.

Горяинов А.А., Барабанщиков Е.И., Шаповалов М.Е. Рыбохозяйственный атлас озера Ханка. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2014. — 205 с.

Пржевальский Н.М. Путешествие в Уссурийском крае : моногр. — Владивосток : Дальневост. кн. изд-во, 1990. — 336 с.

Розов В.Е. Список видов ханкайской ихтиофауны // Рыб. хоз-во Дальнего Востока. — 1934. — № 1–2. — С. 79–84.

Рыбы Амура : моногр. / А.Л. Антонов, Е.И. Барабанщиков, С.Ф. Золотухин и др. — Владивосток : Всемирный фонд охраны природы (WWF), 2019. — 318 с.

Самуйлов А.Е., Свирский В.Г. Список рыб оз. Ханка // Биология рыб Дальнего Востока. — Владивосток : ДВГУ, 1976. — С. 87–90.

Шаповалов М.Е. Динамика состояния запасов рыб озера Ханка // Трансграничное озеро Ханка: причины повышения уровня воды и экологические угрозы. — Владивосток : Дальнаука, 2016. — С. 174–181.

References

Barabanshchikov, E.I., Changes in the qualitative and quantitative indicators of zooplankton and nektobenthos in Lake Khanka in 2014–2015, in *Transgranichnoye ozero Khanka: prichiny povysheniya urovnya vody i ekologicheskkiye ugrozy* (Transboundary Lake Khanka: causes of rising water levels and environmental threats), Vladivostok: Dal'nauka, 2016, pp. 170–174.

Barabanshchikov, E.I., Results of zooplankton studies in Khanka Lake in September 2020, in *Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova* (Vladimir Yakovlevich Levanidov's Biennial Memorial Meetings), Vladivostok: Dal'nauka, 2021, vol. 9, pp. 31–35. doi 10.25221/levanidov.09.04

Barabanshchikov, E.I., Nazarov, V.A., and Svirsky, V.G., Fauna of fish and cyclostomata in Khanka Lake, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 146, pp. 97–110.

Barabanshchikov, E.I. and Shapovalov, M.E., Some results of the bun on commercial fishing in Lake Khanka (2002–2006), *Rybn. Khoz.*, 2006, no. 5, pp. 50–53.

Barabanshchikov, Ye.I. and Shapovalov, M.Ye., Distribution and dynamics of quantitative indicators of Far Eastern freshwater shrimp (family Palaemonidae) in Lake Hanka in the summer-autumn period of 2018, in *Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova* (Vladimir Yakovlevich Levanidov's Biennial Memorial Meetings), Vladivostok: Dal'nauka, 2019, vol. 8, pp. 23–27. doi 10.25221/levanidov.08.03

Bogutskaya, N.G. and Naseka, A.M., Cyclostomata and fishes of Khanka Lake drainage area (Amur River basin): an annotated check-list with comments on taxonomy and zoogeography of the region, *Nauchnyye tetradi*, St. Petersburg: GosNIORKH, 1996, Iss. 3.

Bortin, N.N., Gorchakov, A.M., and Kroleveckaa, Yu.V., Causes and consequences of abnormal growth of the water level in Lake Khanka, in *VI Druzhininskiye chteniya: mat-ly Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiyem "Vodnyye i ekologicheskiye problemy, preobrazovaniye ekosistem v usloviyakh global'nogo izmeneniya klimata"* (Water and Ecological Problems, Ecosystems Transformations under the Global Climate Change: VIth Druzhinin's Readings: the Scientific Conference Proceedings), Khabarovsk: IWEP FEB RAS, 2016, pp. 16–19.

Bushuev, V.P. and Barabanshchikov, E.I., *Presnovodnye i estuarnye ryby Primor'ya* (Freshwater and Estuarine Fishes of Primorsky Krai), Vladivostok: Dal'rybvtuz, 2012.

Goryainov, A.A., Barabanshchikov, Ye.I., and Shapovalov, M.Ye., *Rybohozyajstvennyy atlas ozera Khanka* (Fishery Atlas of Lake Khanka), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2014.

Przhevalsky, N.M., *Puteshestviye v Ussuriyskom kraye* (Travel in the Ussuriysk Territory), Vladivostok : Dal'nevost. Knizhnoye Izd., 1990.

Rozov, V.E., List of species of the Khanka fish fauna, *Rybn. Khoz. Dal'nego Vostoka*, 1934, no. 1–2, pp. 79–84.

Antonov, A.L., Barabanshchikov, E.I., Zolotukhin, S.F., Mikheev, I.E., and Shapovalov, M.E., *Ryby Amura* (Cupid fish), Vladivostok: Vsemirnyy fond okhrany prirody (WWF), 2019.

Samuilov, A.E. and Svirsky, V.G., List of fish of the lake. Khanka, in *Biologiya ryb Dal'nego Vostoka*, Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ, 1976, pp. 87–90.

Shapovalov, M.E., Dynamics of the state of fish stocks in Lake Khanka, in *Transgranichnoye ozero Khanka: prichiny povysheniya urovnya vody i ekologicheskiye ugrozy* (Transboundary Lake Khanka: causes of rising water levels and environmental threats), Vladivostok: Dal'nauka, 2016, pp. 174–181.

Eschmeyer, W.N., Fricke, R., and van der Laan R., *Catalog of fishes*. Updated internet version, 5 October 2021. Catalog databases of CAS cited in FishBase (website).

Поступила в редакцию 24.11.2021 г.

После доработки 22.12.2021 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

*The article was submitted 24.11.2021; approved after reviewing 22.12.2021;
accepted for publication 25.02.2022*

Краткое сообщение

УДК 597.556.332.9(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-113-117



НОВЫЙ СЛУЧАЙ ПОИМКИ РЕДКОГО ДЛЯ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ ВИДА РЫБ — ДРАКОНЧИКА *DRACULO MIRABILIS* (CALLIONYMIDAE)

Е.В. Колпаков¹, П.А. Савельев^{2*}¹ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;² Национальный научный центр морской биологии
им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17

Аннотация. Представлены сведения о новой находке редкого для зал. Петра Великого Японского моря субтропическо-низкобореального вида рыб дракончика *Draculo mirabilis*. Один взрослый экземпляр с полной длиной тела 39 мм (TL) отловлен в приустьевой зоне р. Суходол на глубине 0,6–0,7 м на песчаном грунте в сентябре 2021 г. Температура воды у дна в момент его поимки составляла 20 °С, соленость — 27 ‰. Приведено иллюстрированное описание данной особи.

Ключевые слова: дракончик, *Draculo mirabilis*, распространение, бухта Суходол, залив Петра Великого, Японское море.

Для цитирования: Колпаков Е.В., Савельев П.А. Новый случай поимки редкого для залива Петра Великого Японского моря вида рыб — дракончика *Draculo mirabilis* (Callionymidae) // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 113–117. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-113-117.

Short message

New finding of rare fish species for Peter the Great Bay in the Japan Sea — dragonet *Draculo mirabilis* (Callionymidae)

Eugeny V. Kolpakov¹, Pavel A. Saveliev²¹ chief specialist, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley,
Vladivostok, 690091, Russia, kolpakovternei@mail.ru² Ph.D., senior researcher, National Scientific Center of Marine Biology, Russian Ac. Sci.,
17, Palchevskogo Str., Vladivostok, 690041, Russia, tomthumb@mail.ru

Abstract. New data on finding of dragonet *Draculo mirabilis* in Peter the Great Bay (Japan Sea) are presented. This subtropical-lowboreal fish species is rare for this area. One adult specimen (39 mm TL) was found in the Sukhodol River estuary on sandy bottom at the depth of 0.6–0.7 m in September 2021, under the water temperature 20 °C and salinity 27 ‰. An illustrated description of this specimen is presented.

Keywords: dragonet *Draculo mirabilis*, distribution, Sukhodol Bay, Peter the Great Bay, Japan Sea.

* Колпаков Евгений Викторович, главный специалист, kolpakovternei@mail.ru; Савельев Павел Александрович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, tomthumb@mail.ru, ORCID 0000-0001-8005-8883.

© Колпаков Е.В., Савельев П.А., 2022

For citation: Kolpakov E.V., Saveliev P.A. New finding of rare fish species for Peter the Great Bay in the Japan Sea — dragonet *Draculo mirabilis* (Callionymidae), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 113–117. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-113-117.

Дракончик *Draculo mirabilis* Snyder, 1911 относится к субтропическо-низкобореальному комплексу видов рыб. Его ареал охватывает Бохайское море, северную и восточную части Желтого моря, южную часть Японского моря и тихоокеанские воды японского архипелага [Mori, 1952; Li, 1955; Nakabo, 1983; Соколовский и др., 2007; Ogata, Murase, 2019]. В водах России *D. mirabilis* отмечался только в зал. Петра Великого Японского моря [Линдберг, 1955; Yabe et al., 1997; Sokolovskaya et al., 2010; Епур, Баланов, 2015]. Это южный мигрант, сюда он проникает спорадически в летне-осенний период [Соколовский и др., 2004]. В нашем понимании периодическое освоение *D. mirabilis* данной акватории происходит как в результате его пассивного заноса с течениями на личиночной стадии, так и путем миграции особей старших возрастных групп в теплые типы лет в узкой прибрежной полосе с восточной стороны Корейского полуострова. Поимки последних здесь особенно редки, до сих пор было известно о двух таких находках. Один экземпляр с полной длиной тела 43,9 мм (*TL*) добыт 6 октября 1948 г. в зал. Посыета на литорали песчаной косы Назимова (Чурхадо) в бухте Рейд Паллада [Линдберг, 1955], второй — в 1994 г. в бухте Сивучьей [Yabe et al., 1997; Соколовский и др., 2007]. В настоящем сообщении описывается новый случай обнаружения взрослой особи этого редкого для зал. Петра Великого представителя южной фауны рыб. В этот раз *D. mirabilis* был выловлен в бухте Суходол на заметном удалении от прежних его местонахождений (рис. 1).



Рис. 1. Вероятный ареал *D. mirabilis*. На вкладке обозначены места поимок взрослых особей в зал. Петра Великого: *красный круг* — бухта Сивучья [Соколовский и др., 2007]; *синий круг* — бухта Рейд Паллада [Линдберг, 1955]; *зеленый круг* — бухта Суходол (наши данные)

Fig. 1. Propable geographical distribution of *D. mirabilis*. Sites of the adult specimens captures in Peter the Great Bay are shown: *red circle* — Sivuchya Bay [Sokolovsky et al., 2007]; *blue circle* — Reid Pallada Bay [Lindberg, 1955]; *green circle* — Sukhodol Bay (authors' data)

Материал. 1 экз. (в 75 %-ном спирте), 39,0 мм *TL*, 43°21,431' с.ш. 132°37,625' в.д. (рис. 2, приустьевая зона р. Суходол, бухта Суходол, Уссурийский залив, зал. Петра Великого), глубина 0,6–0,7 м, температура воды 20 °С, соленость 27 ‰, песок, 17.09.2021 г., 11–12 час дня, закидной невод (длина 12 м, высота 1,5 м, ячея в кутце 3 мм), коллектор

Е.В. Колпаков. Передан на хранение в Музей Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (ММБ 42949) (рис. 3).

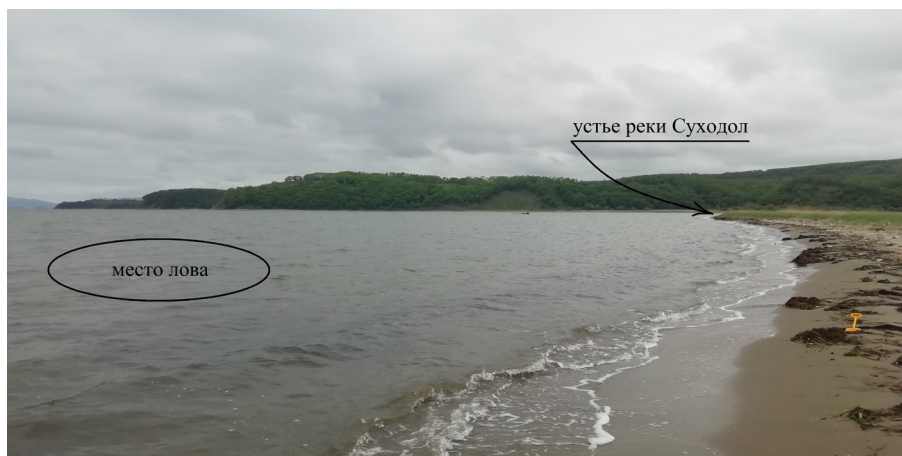


Рис. 2. Место вылова *D. mirabilis* в бухте Суходол на расстоянии 180 м от устья р. Суходол. Фото Е.В. Ревенко

Fig. 2. Place of *D. mirabilis* capture in the Sukhodol Bay, at the distance of 180 m from the Sukhodol River mouth. Photo by E.V. Revenko

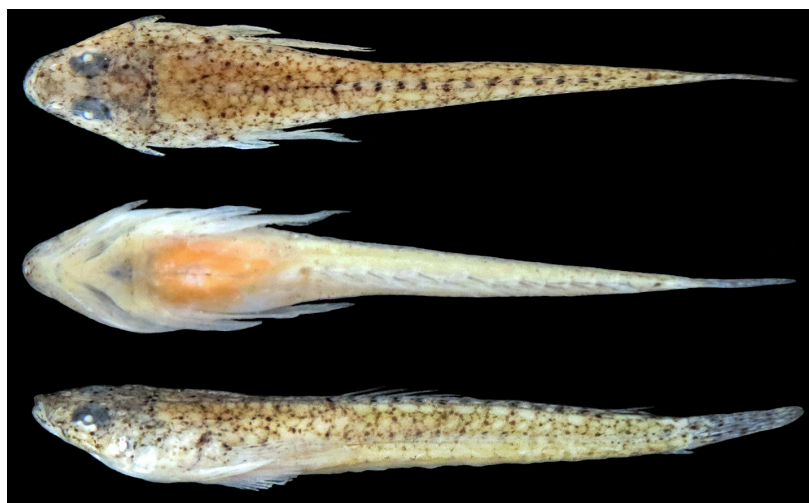


Рис. 3. *D. mirabilis* Snyder, 1911, 39 мм TL, ММБ 42949, бухта Суходол, Японское море
Fig. 3. *D. mirabilis* Snyder, 1911, 39 mm TL, ММБ 42949, Sukhodol Bay, Japan Sea

Промеры. Морфологический анализ проведен по схеме Огаты и Мурасы [Ogata, Murase, 2019] на фиксированном материале. Меристические признаки: лучей в дорсальном плавнике (*D*) — 13, лучей в анальном плавнике (*A*) — 13, лучей в грудных плавниках (*P*) — $i+19$, лучей в брюшных плавниках (*V*) — I, 5, позвонков с уростилем (по рентгенограмме) — 8+17. Пластические признаки, % ($SL = 33,0$ мм): полная длина тела — 118,2, высота тела у начала брюшных плавников — 9,4, длина головы — 30,9, длина рыла — 7,6, длина глазницы — 7,3, постанальное расстояние — 43,9, постдорсальное расстояние — 42,4, длина основания спинного плавника — 45,8, длина основания анального плавника — 53,0, длина грудного плавника — 24,2, длина хвостового стебля — 7,0, длина первого луча спинного плавника — 9,1, длина второго луча спинного плавника — 10,0, длина третьего луча спинного плавника — 10,6.

Размеры. Мелкоразмерный вид. Максимальных размеров достигает в водах Японии. С тихоокеанской стороны о. Хонсю у наиболее крупных особей полная длина тела составляет 66,7 мм [Ishikawa, 1978].

Сведения по экологии. Морской литорально-верхнециркумлиторальный донный вид. Обитатель мелководных морских песчаных пляжей как открытых прибойных побережий, так и закрытых бухт на глубинах до 10 м [Линдберг, 1955; Ishikawa, 1978]. Выносит незначительное распреснение. Обычен в приустьевых пространствах рек [Ogata, Murase, 2019]. Во внешней эстуарии р. Суходол температура воды у дна в момент отлова *D. mirabilis* была на уровне 20 °C, соленость — 27 ‰.

Новая находка *D. mirabilis* в зал. Петра Великого совсем не выглядит случайной. На наш взгляд, она стоит в одном ряду с недавними обнаружениями в этом районе многих других тепловодных видов рыб и свидетельствует о продолжающейся в последние два десятилетия активной экспансии южных мигрантов в северо-западную часть Японского моря.

Благодарности (ACKNOWLEDGMENT)

Авторы выражают благодарность сотрудникам Тихоокеанского филиала ВНИРО (ТИНРО) С.А. Нужденко и Е.В. Ревенко за участие в сборе материала.

Authors are thankful to S.A. Nuzhdenko and E.V. Revenko (TINRO) for their assistance in collection of the material.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study has no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (CMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы использования животных были соблюдены. Информация о месте отлова рыбы включена в статью.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animal were implemented. Information about the place of fish captures is presented in the article.

Authors declare no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHORS CONTRIBUTIONS)

Сбор и фиксация материала — Е.В. Колпаков; определение вида рыб и промеры, изготовление фотографии *D. mirabilis* — П.А. Савельев; написание текста статьи — Е.В. Колпаков, П.А. Савельев.

Collection and fixation of the material — E.V. Kolkpakov; taxonomic identification, measurements, photographing of *D. mirabilis* — P.A. Saveliev; writing the text — E.V. Kolkpakov, P.A. Saveliev.

Список литературы

Епур И.В., Баланов А.А. Видовой состав и сезонная динамика ихтиопланктона прибрежной зоны западной части залива Петра Великого Японского моря в 2007–2010 гг. // Вопр. ихтиол. — 2015. — Т. 55, № 4. — С. 397–410. DOI: 10.7868/S0042875215030030.

Линдберг Г.У. О нахождении рыбки-дракончика *Draculo mirabilis* Snyder (Pisces, Calionymidae) в заливе Посъет у Владивостока // Тр. ЗИН АН. — 1955. — Т. 18. — С. 385–388.

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.

Соколовский А.С., Соколовская Т.Г., Епур И.В., Азарова И.А. Вековые изменения в составе и числе рыб — южных мигрантов в ихтиофауне северо-западной части Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 136. — С. 41–57.

Ishikawa K. Record of the dragonet, *Draculo mirabilis* Snyder, in the shallow sea area of Ibaraki Prefecture, Japan // Bull. Fish. Exp. st. Ibaraki-ken. — 1978. — Vol. 22. — P. 1–6.

Li S.C. *Callionymoidei* / by eds K.H. Chang, C.T. Cheng, P.S. Cheng et al. // *Fishes of the Yellow Sea and Pohai China*. — Beijing : Science Press, 1955. — P. 178–185 (Chinese).

Mori T. Check list of the fishes of Korea // *Mem. Hyogo Univ. Agric. Biol. Ser. 1*. — Sasayama, Japan, 1952. — Vol. 1, № 3. — P. 1–228.

Nakabo T. Revision of the dragonets (Pisces: Callionymidae) found in the waters of Japan // *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.* — 1983. — Vol. 27. — P. 193–259.

Ogata Y., Murase A. Voucher-based southernmost records of a dragonet species, *Eleutherochir mirabilis* (Actinopterygii, Callionymidae), from Nobeoka City, Miyazaki Prefecture, southern Japan // *Bull. biogeogr. Soc. Japan*. — 2019. — Vol. 74. — P. 64–69 (Jap.).

Sokolovskaya T.G., Sokolovsky A.S., Epur I.V. Composition and seasonal variability of ichthyoplankton collected using fishing lights in Vostok Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) // *Proceedings of the China-Russia Bilateral Symposium of “Comparison on Marine Biodiversity in the Northwest Pacific Ocean”*. — Qingdao (China), 2010. — P. 182–186.

Yabe M., Ikeya K., Amaoka A. et al. The composition of intertidal fish fauna of the southern Primorye region and adjacent parts of Russian Far East // *Evolution of coastal-freshwater fishes in Northern Far-East*. — Hakodate : Univ. of Hokkaido, 1997. — № 3. — P. 15–22 (Jap.).

References

Epur, I.V. and Balanov, A.A., Species composition and seasonal dynamics of ichthyoplankton of the coastal zone of the western part of Peter the Great Bay of the Sea of Japan in 2007–2010, *Vopr. Ikhtiol.*, 2015, vol. 55, no. 4, pp. 464–477. doi 10.1134/S0032945215030030

Lindberg, G.U., On the finding of the dragon fish *Draculo mirabilis* Snyder (Pisces, Callionymidae) in Posyet Bay near Vladivostok, *Tr. Zool. Inst., Akad. Nauk SSSR*, 1955, vol. 18, pp. 385–388.

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.

Sokolovsky, A.S., Sokolovskaya, T.G., Epur, I.V., and Azarova, I.A., Centennial changes in composition and abundance of ichthyofauna of the northwestern Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 136, pp. 41–57.

Ishikawa, K., Record of the dragonet, *Draculo mirabilis* Snyder, in the shallow sea area of Ibaraki Prefecture, Japan, *Bull. Fish. Exp. st. Ibaraki-ken*, 1978, vol. 22, pp. 1–6.

Li, S.C., *Callionymoidei*, Chang, K.H., Cheng, C.T., Cheng, P.S., Li, S.C., Cheng, W.L. and Wang, W.P., eds, *Fishes of the Yellow Sea and Pohai China*, Beijing: Science Press, 1955, pp. 178–185.

Mori, T., Check list of the fishes of Korea, *Mem. Hyogo Univ. Agric. Biol. Ser. 1*, 1952, vol. 1, no. 3, pp. 1–228.

Nakabo, T., Revision of the dragonets (Pisces: Callionymidae) found in the waters of Japan, *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, 1983, vol. 27, pp. 193–259.

Ogata, Y. and Murase, A., Voucher-based southernmost records of a dragonet species, *Eleutherochir mirabilis* (Actinopterygii, Callionymidae), from Nobeoka City, Miyazaki Prefecture, southern Japan, *Bull. biogeogr. Soc. Japan*, 2019, vol. 74, pp. 64–69.

Sokolovskaya, T.G., Sokolovsky, A.S., and Epur, I.V., Composition and seasonal variability of ichthyoplankton collected using fishing lights in Vostok Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Proceedings of the China-Russia Bilateral Symposium of “Comparison on Marine Biodiversity in the Northwest Pacific Ocean”*, Qingdao, China, 2010, pp. 182–186.

Yabe, M., Ikeya, K., Amaoka, A., Nakataya, K., Matsuura, K., Pitruk, D.I., Sobolevsky, Ye.I., Sokolovsky, A.S., and Markevitch, A.I., The composition of intertidal fish fauna of the southern Primorye region and adjacent parts of Russian Far East, *Evolution of coastal-freshwater fishes in Northern Far-East*, Hakodate: Univ. of Hokkaido, 1997, no. 3, pp. 15–22.

Поступила в редакцию 15.02.2022 г.

После доработки 22.02.2022 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

The article was submitted 15.02.2022; approved after reviewing 22.02.2022;
accepted for publication 25.02.2022

Краткое сообщение

УДК 597.552.511(265.53)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-118-121



**ПЕРВАЯ НАХОДКА НЕРКИ *ONCORHYNCHUS NERKA* (WALBAUM)
В РЕКЕ БОЛЬШАЯ РЕЧКА О. ЗАВЬЯЛОВА**

М.Б. Горшунов*Институт биологических проблем Севера ДВО РАН,
685000, г. Магадан, ул. Портовая, 18

Аннотация. Впервые 26.07.2021 г. в р. Большая Речка на о. Завьялова в северной части Охотского моря был отмечен заход нерки. В группах горбуши, идущей на нерест и обычной в это время для этой реки, иногда выделялись более крупные лососевые. Во время наблюдений за бурым медведем в 300 м от устья р. Большая Речка был обнаружен один свежевывловленный им экземпляр самки нерки. Представлены данные по размеру и массе найденной нерки.

Ключевые слова: нерка, *Oncorhynchus nerka* (Walbaum, 1792), северная часть Охотского моря, остров Завьялова, первый случай нахождения в реке нерки.

Для цитирования: Горшунов М.Б. Первая находка нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) в реке Большая Речка о. Завьялова // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 118–121. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-118-121.

Short message

**The first finding of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Walbaum)
in the Bolshaya River on Zavyalov Island**

Maxim B. Gorshunovjunior researcher, Institute of Biological Problems of the North, Russian Ac. Sci.,
Far-Eastern Branch, 18, Portovaya Str., Magadan, 685000, Russia, mbgmmg@mail.ru

Abstract. The sockeye salmon entry to the Bolshaya River on Zavyalov Island in the northern Okhotsk Sea was registered for the first time on July 26, 2021. Larger specimens were observed among the pink salmon going to spawn in this river, and one of them was caught by a brown bear at a distance of 300 m from the river mouth. It was the female of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Walbaum, 1792); the data on its size and weight are presented.

Keywords: sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*, northern Okhotsk Sea, Zavyalov Island, first finding.

For citation: Gorshunov M.B. The first finding of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) in the Bolshaya River on Zavyalov Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 118–121. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-118-121.

Нерка, или красная, *Oncorhynchus nerka* (Walbaum, 1792), относится к видам тихоокеанских лососей с длительными пресноводным и морским периодами жизни. Проходная

* Горшунов Максим Бориславич, младший научный сотрудник, mbgmmg@mail.ru, ORCID 0000-0002-7812-8771.

и жилая рыба бассейна Тихого океана. Нерестится в местах выходов грунтовых вод. В соответствии с условиями размножения нерка делится на два экотипа — лимнофильный и реофильный. В относительно близкой от о. Завьялова популяции нерки, в бассейне р. Ола, преобладает лимнофильный экотип [Никулин, 1970], также известно, что реофильная нерка заходит на нерест в малые реки североохоотоморского побережья длиной 19–22 км (Кулькуты, Быструха) и в некоторые средние водотоки протяженностью 50–90 км (реки Хобота, Сиглан) [Волобуев и др., 2019]. Река Ола — самая близкая к о. Завьялова из крупных рек на материке, ее устье находится в 56 км от острова, численность ольской популяции нерки в 1996 г. составила 10 тыс. рыб [Пузиков, 1998]. Река Кулькуты находится в 70 км от о. Завьялова (рис. 1). Близость нерестовых для нерки рек и схожесть р. Кулькуты на п-ове Кони и р. Большая Речка на о. Завьялова (протекают по равнине, некоторые участки имеют спокойный характер с обширными плесами, а также рядом с руслом имеются небольшие озера) подтверждают возможность наличия в последней мест нереста для нерки. На о. Завьялова нерка ранее зарегистрирована не была.

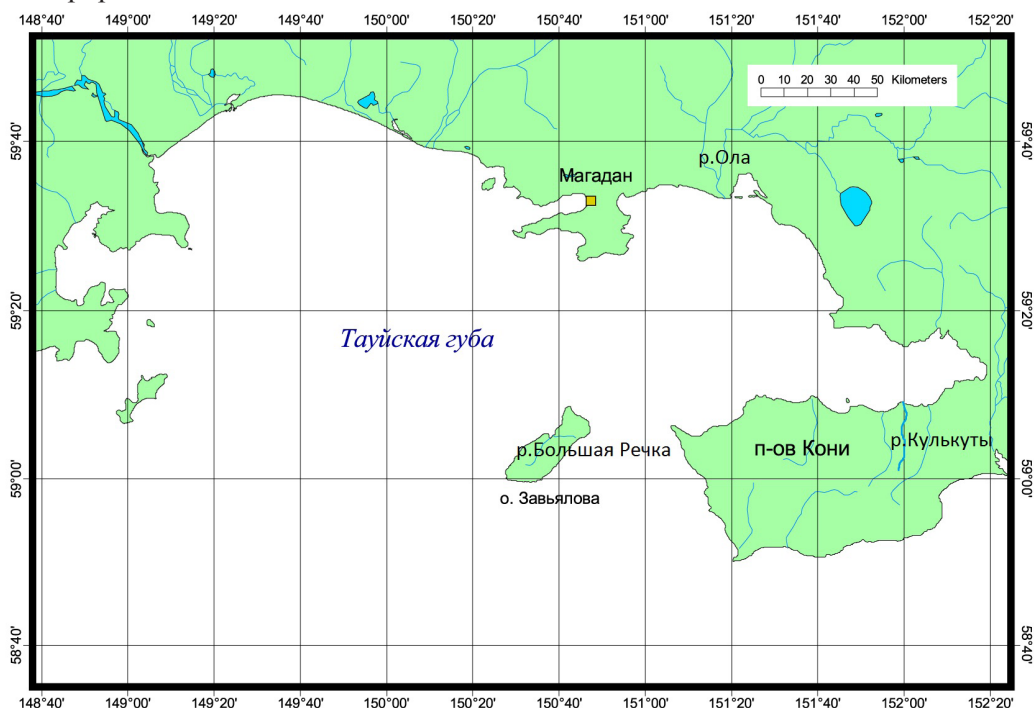


Рис. 1. Карта Тауйской губы

Fig. 1. Scheme of the Tauiskaya Guba Bay (Okhotsk Sea)

Материалом для исследования послужили визуальные наблюдения в р. Большая Речка среди обычных для этой реки идущих на нерест групп горбуши более крупных особей лососевых и находка одного свежевывловленного бурый медведем (*Ursus arctos*) экземпляра нерки (рис. 2) в 300 м от устья р. Большая Речка, самой крупной реки о. Завьялова.

Измерения найденного экземпляра нерки проведены по «Руководству по изучению рыб» И.Ф. Правдина [1966].

26 июля 2021 г. при наблюдении за бурый медведем на мелководье галечной косы р. Большая Речка (о. Завьялова) во время нерестового хода горбуши была обнаружена нерка, пойманная им.

Это была самка. Общая длина ее тела, длина по Смитту и промысловая длина равны соответственно 63,5, 59,9 и 56,4 см. Масса тела — 2600 г, масса ястыков — 300 г. Жаберных тычинок — 36 шт. По форме они тонкие и длинные (рис. 3). На



Рис. 2. Экземпляр нерки
Fig. 2. Sockeye salmon specimen



Рис. 3. Жабры
Fig. 3. Gills

челюстях, небных костях и на язычной кости есть небольшие острые зубы. Ротовая полость — розовая.

Хотя ранее о встречах нерки вблизи о. Завьялова и в его реках никогда не упоминалось, наблюдение в р. Большая Речка лососевых по размеру крупнее, чем горбуша, и данная находка свежей рыбы свидетельствуют о возможности нереста нерки на о. Завьялова, в самой большой протекающей по нему реке. Вероятное наличие мест для нерестилища нерки также подтверждает и то, что в 4 км от устья Большая Речка протекает по равнине и имеет спокойный характер с обширными плесами, а в 5 км от устья и выше по течению рядом с руслом реки имеются небольшие озера. Для выяснения, являются ли озера также нерестовыми для нерки, необходимо их исследование.

Данное сообщение позволяет считать вероятным местом нереста нерки р. Большая Речка на о. Завьялова и указывает на увеличение количества предполагаемых мест нереста нерки в Тауйской губе.

Список литературы

Волобуев В.В., Горохов М.Н., Голованов И.С. и др. Нерка (*Oncorhynchus nerka* Walbaum) северо-восточной части материкового побережья Охотского моря // Вестн. Камчат-ГТУ. — 2019. — № 48. — С. 49–58. DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-49-58.

Никулин О.А. О связи между снижением абсолютной численности красной *Oncorhynchus nerka* (Walb.) и увеличением относительной численности карликов среди нагуливающейся молоди в озере Уегинском (Охотский район) // Изв. ТИНРО. — 1970. — Т. 71. — С. 205–217.

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

Пузиков П.И. Нерка североохотоморского побережья и методы формирования ее заводских популяций // 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. 104–105.

References

Volobuev, V.V., Gorokhov, M.N., Golovanov, I.S., Khovanskaya, L.L., and Yamborko, A.V., Sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) from the north-eastern continental coast of the Okhotsk sea, *Vestn. Kamchatskogo Gos. Tekh. Univ.*, 2019, no. 48, pp. 49–58. doi 10.17217/2079-0333-2019-48-49-58

Nikulin, O.A., Connection between reduction of absolute numbers of red *Oncorhynchus nerka* (Walb.) salmon of absolute numbers dwarves among fattening juvenales in the Ueginsk Lake (Okhotsk area), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1970, vol. 71, pp. 205–217.

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

Puzikov, P.I., Sockeye salmon of the North Sea of Okhotsk coast and methods of formation of its hatchery populations, 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. 104–105.

Поступила в редакцию 21.01.2022 г.

После доработки 24.02.2022 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

The article was submitted 21.01.2022; approved after reviewing 24.02.2022;
accepted for publication 25.02.2022

**УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ
ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES**

Научная статья

УДК 574.583(268.56)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-122-145

**СОСТАВ, СТРУКТУРА И БИОМАССА ЗООПЛАНКТОНА
В ЧУКОТСКОМ МОРЕ В АВГУСТЕ-СЕНТЯБРЕ 2019 Г.****Н.А. Кузнецова, К.М. Горбатенко, А.Л. Фигуркин***

Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),

690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Представлены результаты гидробиологических исследований, выполненных в августе-сентябре 2019 г. в западной части Чукотского моря на НИС «Профессор Леванидов» и в восточной части на НИС «Ocean Start». Биомассу зоопланктона в северо-западной части Чукотского моря определяли виды арктического и арктическо-бореального комплекса: *Calanus glacialis* и занесенные из Восточно-Сибирского моря, в северо-восточной также копеподы *C. glacialis*, медузы *Aglantha digitale* и виды арктических вод и моря Бофорта. В зоопланктоне повсеместно доминировали сагитты *Parasagitta elegans*. В южной части Чукотского моря, на акватории, занятой берингоморскими водами, доминировали виды берингоморского комплекса, проникающие из Берингова моря: *Eucalanus bungii*, *Neocalanus plumchrus/flemingeri*. В восточной части преобладали также неритические виды, характерные для аляскинской прибрежной водной массы. В северном районе наблюдался весенний период развития планктонного сообщества, в южной части моря его состояние можно характеризовать как летнее. В 2019 г. общая плотность зоопланктона в северо-западной части моря составила 65 т/км², доминировала крупная фракция — 56 т/км², за счет сагитт (35 т/км²) и копепод (13 т/км²). В юго-западной части моря общая плотность зоопланктона и его крупной фракции (48 и 40 т/км²) находилась на уровне биомассы в годы значительного поступления в этот район берингоморских вод (2008 г. — 40 и 36 т/км²). В восточной акватории моря общая плотность зоопланктона на севере составила 44 т/км² (КФ — 29 т/км², МФ — 12 т/км²), на юге — 43 т/км² (КФ — 24, МФ — 14), что выше, чем в 2017 г., — 15 т/км², но меньше, чем в 2007 г., — 49 т/км². Состояние планктонного сообщества в 2019 г. — летнее, в 2017 г. — весеннее, а в 2007 г. — позднелетнее.

Ключевые слова: Чукотское море, зоопланктон, фракция, биомасса, структура, запас.

Для цитирования: 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 Наталья Алексеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, natalya.kuznetsova@tinro-center.ru; Горбатенко Константин Михайлович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, konstantin.gorbatenko@tinro-center.ru; Фигуркин Александр Леонидович, кандидат географических наук, заведующий сектором, aleksandr.figurkin@tinro-center.ru.

Original article

**Species composition, structure and biomass of zooplankton
in the Chukchi Sea in August-September 2019**

Natalia A. Kuznetsova*, Konstantin M. Gorbatenko, Aleksander L. Figurkin*****

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

* Ph.D., leading researcher, natalya.kuznetsova@tinro-center.ru

** D.Biol., principal researcher, konstantin.gorbatenko@tinro-center.ru

*** Ph.D., head of section, aleksandr.figurkin@tinro-center.ru

Abstract. Plankton survey was conducted in the Chukchi Sea in August-September 2019 by two research vessels: RV Professor Levanidov in the western part of the sea and RV Ocean Starr in its eastern part. *Parasagitta elegans* dominated everywhere in zooplankton. Beside these arrowworms, species of the arctic and arctic-boreal complex were abundant in the northwestern Chukchi Sea, as *Calanus glacialis* and other species typical for the adjacent East-Siberian Sea. *C. glacialis* was numerous in the northeastern Chukchi Sea, too, together with species of the Arctic waters and the Beaufort Sea. The southern Chukchi Sea was occupied by the waters invaded from the Bering Sea, so species of the Bering Sea complex were abundant there, as *Eucalanus bungii* and *Neocalanus plumchrus/flemingeri*, at Alaska coast together with neritic species typical for the Alaska coastal water mass. The zooplankton community structure corresponded to the spring phase of seasonal succession in the northern area, whereas to the summer phase in the southern area. Total density of zooplankton was estimated as 65 t/km² for the northwestern part of the sea, presented mostly by large-sized fraction (56 t/km²) including arrowworms (35 t/km²) and copepods (13 t/km²), and as 48 t/km² for the southwestern part of the sea, also mostly large-sized fraction (40 t/km²). So high zooplankton density in the western Chukchi Sea is considered as result of the Bering Sea waters advection (previously such abundance was observed in 2008 — 40 and 36 t/km², when the advection was also active). In the eastern Chukchi Sea, the total density of zooplankton was 44 t/km² in the northeastern area (including 29 t/km² of large-sized fraction) and 43 t/km² in the southeastern area, that was higher than in 2017 (15 t/km²) but lower than in 2007 (49 t/km²). However, different phases of seasonal succession should be noted: summer season in 2019, spring season in 2017, and late-summer season in 2007.

Keywords: Chukchi Sea, zooplankton, size fraction, zooplankton biomass, species structure, stock of zooplankton.

For citation: Kuznetsova N.A., Gorbatenko K.M., Figurkin A.L. 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. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-122-145.

Введение

Данные по Чукотскому морю о видовом составе зоопланктона (в основном копепод), состояние планктонного сообщества и количественные показатели по исследованиям, проведенным в Арктике в 1930–1950-е гг., были опубликованы в работах российских исследователей [Богоров, 1939; Яшнов, 1940; Бродский, 1950; Виркетис, 1952; Зенкевич, 1963; Бродский и др., 1983]. На большей части Чукотского моря К.А. Бродский с соавторами [1983] отмечали большое влияние как арктической, так и бореальной фаун, при этом преобладала бореальная (северотихоокеанская) фауна. Для южной, центральной и восточной частей моря ими была выделена чукотская группировка калянид, в которой по биомассе доминировали *Pseudocalanus minutus* и *Calanus glacialis*. Но эти выводы были основаны на небольшом материале, также в тот период не применяли коэффициенты уловистости и все количественные показатели (численность и биомасса) рассчитывали без учета недолова зоопланктона планктонными сетями. В августе-сентябре 2003, 2007–2008 и 2010 гг. ТИНРО-центром были проведены рыбохозяйственные исследования в юго-западном районе Чукотского моря для оценки его биологических ресурсов, состояния запасов промысловых объектов и условий их обитания. В юго-восточной части моря в 2007 г. по программе НПАФК

проводились исследования на НИС «Oscar Dyson» с участием российских ученых. В результате были получены качественные и количественные характеристики состояния планктонных сообществ, что дало возможность проводить сравнение и оценку количественных показателей планктона [Волков, Murphy, 2007; Кузнецова, Слабинский, 2007; Фигуркин, Слабинский, 2012; Слабинский, Фигуркин, 2014].

В Чукотском море потепление отмечалось уже с начала 21 в., когда количество мягких зим увеличилось в среднем на 36 % по сравнению с 20 в. [Думанская, 2017]. Более раннее наступление «летних» условий в Беринговом море и увеличение притока теплой тихоокеанской воды в Чукотское море приводит к более длительному летнему периоду безо льда [Woodgate et al., 2012]. Анализ полученных данных по биомассе пелагических сообществ за период с 1946 по 2012 г. показал, что с уменьшением морского льда и изменениями водной массы в Чукотском море наблюдались межгодовые изменения в сообществе зоопланктона. Значительное увеличение биомассы и численности зоопланктона в пределах южной части Чукотского моря, скорее всего, отражает увеличение притока богатой биомассой тихоокеанской водной массы в течение более длительного лета. Наблюдается также смещение ареалов распространения нескольких ключевых видов, а теплые летние температуры в сочетании с меняющейся фенологией способствуют более раннему развитию видов [Ershova et al., 2015].

В августе 2019 г. в соответствии с Планом ресурсных исследований и государственного мониторинга водных биоресурсов на 2019 г. на НИС «Профессор Леванидов» в российских водах Чукотского моря были проведены океанографическая, траловая и планктонная съемки. Исследования, помимо юго-западной части моря, впервые охватили и северо-западную часть.

В восточной части Чукотского моря в августе-сентябре 2017 и 2019 гг. в рамках американской Программы комплексного исследования экосистем Арктики (The Arctic Integrated Ecosystem Survey, Arctic IES) были проведены комплексные исследования, в том числе и планктонологические.

Цель настоящего исследования — оценка качественных, количественных и региональных особенностей биомассы и структуры планктонных сообществ, а также ресурсов зоопланктона в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г.

Материалы и методы

Настоящая работа основана на материале, полученном в экспедициях в 2019 г. на НИС «Профессор Леванидов» на шельфе Чукотского моря в российских водах и на шельфе в восточной части в американских водах Чукотского моря. Один из авторов, Н.А. Кузнецова (ТИНРО-центр), была приглашена для участия в морских экспедициях в 2017 и 2019 гг. в Чукотское море на НИС «Ocean Starr», где ею были проведены сборы и обработка проб зоопланктона по методике, принятой в ТИНРО-центре [Волков, 2008]. Для получения интегральных характеристик район исследования был поделен на 4 района. Российские воды (западная часть Чукотского моря): 1 — южный район, 2 — северный район; американские воды (восточная часть моря): 3 — южный район, 4 — северный район. В российских водах Чукотского моря исследования были проведены в южном районе с 11 по 19 августа (район 1), в северном районе с 21 по 28 августа 2019 г. (район 2), диапазон глубин соответственно 35–64 и 57–265 м (рис. 1). В американских водах в северном районе сборы зоопланктона были проведены с 28 августа по 11 сентября (район 4), в южном — с 17 по 26 сентября 2019 г. (район 3). В северном районе глубины находились в пределах 24–64 м (лишь на северо-востоке на 5 станциях глубины были от 93 до 1156 м); в южном — 20–59 м. Планктон облавливался сетью БСД, площадь входного отверстия 0,1 м², капроновое сито № 49, размер ячеей 0,168 мм, в слое 200–0 м или «дно»–0 м, если глубина была менее 200 м. Скорость подъема сетей — 0,7 м/с. В Чукотском море в августе-сентябре 2019 г. в российской

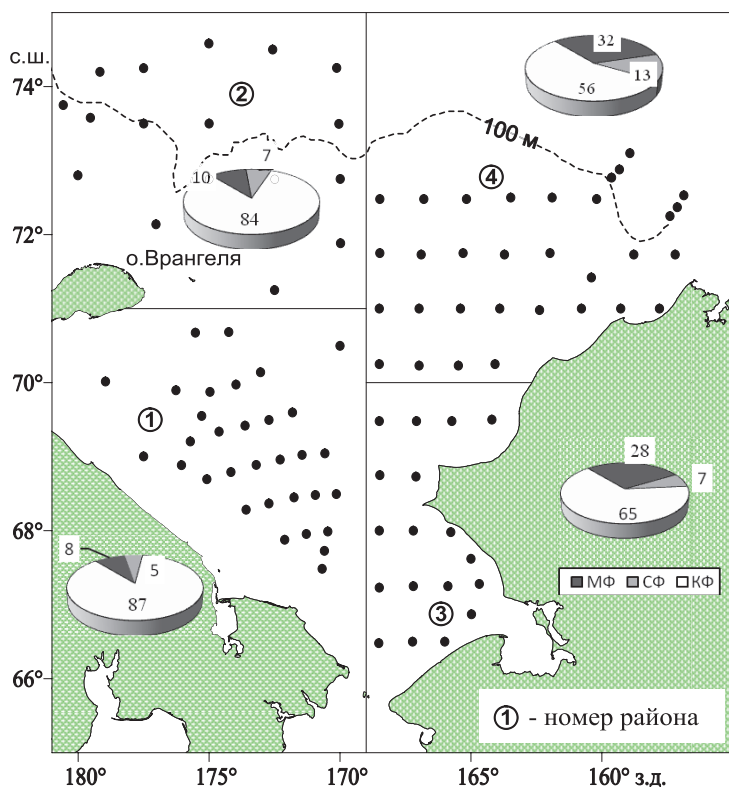


Рис. 1. Районы работ и схема расположения гидробиологических станций в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г. Российские воды: 1 — юго-западный, 2 — северо-западный; американские воды: 3 — юго-восточный, 4 — северо-восточный районы. Циклограммы — состав биомассы зоопланктона, %: МФ — мелкая, СФ — средняя, КФ — крупная фракции

Fig. 1. Scheme of surveys in the Chukchi Sea in August-September 2019. Russian waters: 1 — southwestern area, 2 — northwestern area; American waters: 3 — southeastern area, 4 — northeastern area. Cyclograms — percentage composition of zooplankton biomass: MF — small-sized fraction, SF — medium-sized fraction, KF — large-sized fraction

зоне было собрано 48, в американской — 50 проб зоопланктона. При обработке пробы зоопланктона разделяли на размерные фракции. В итоге получаются 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 подсчитывали в камере Богорова, а крупной — тотально. В полученные результаты вводили поправки на недолов: для мелкой фракции — 1,5; для средней — 2,0. Для планктона крупной фракции применялись группно-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 — 3,0, более 10 мм — 5,0; 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].

Океанологические условия в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г. 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. Известно, что непериодическую составляющую циркуляции вод южной части Чукотского моря обеспечивают два основных течения: Берингоморское, выносящее воды тихоокеанского происхождения через Берингов пролив широким веером от северо-восточного до северо-западного направления, и вдольбереговой поток распресненных вод Сибирского течения в направлении от прол. Лонга к Бе-

рингову проливу [Коучмен и др., 1979; Добровольский, Залогин, 1982; Weingartner et al., 2005; Danielson et al., 2014] (рис. 2). Режим Чукотского моря складывается под влиянием арктического бассейна и Тихого океана. С начала 21 в. идет активная интенсификация процесса уменьшения ледяного покрова [Плотников и др., 2020]. В мае под действием теплого Берингоморского течения от Берингова пролива начинает распространяться на север зона чистой воды. В последние годы гидрологической особенностью было отсутствие льда в Чукотском море в летние месяцы на всем шельфе до 75° с.ш.

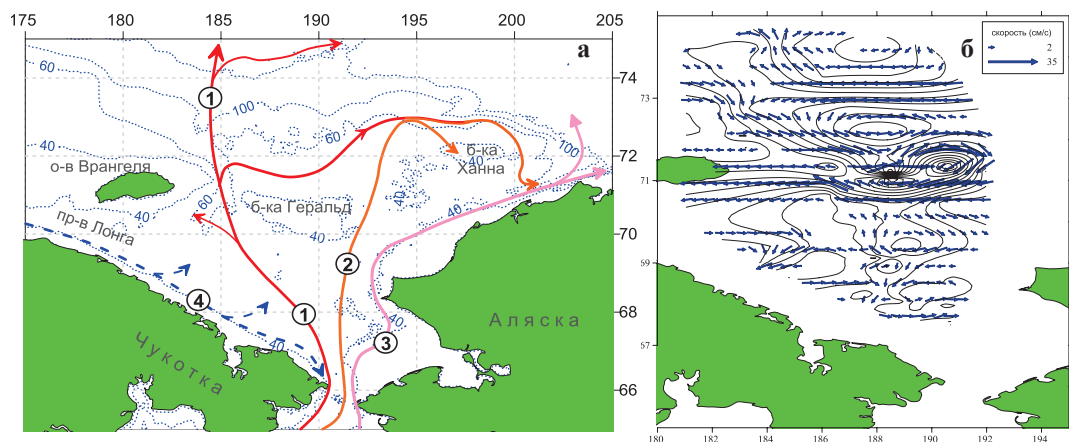


Рис. 2. Основные географические названия и схема течений Чукотского моря: 1 — течение жёлоба Геральда, 2 — течение жёлоба Центрального, 3 — прибрежное Аляскинское, 4 — прибрежное Сибирское течение [Weingartner et al., 2005]; изобаты 40, 60 100 и 200 м (а) и геострофическая составляющая течений 0/100 м, Чукотское море, НИС «Профессор Леванидов», 11–29 августа 2019 г. (б)

Fig. 2. Scheme of the Chukchi Sea currents: а) 1 — Herald Trench Current, 2 — Central Trough Current, 3 — Alaska Coastal Current, 4 — Siberian Coastal Current; isobaths of 40, 60 100 and 200 m are shown; б) geostrophic currents at the sea surface relative to 100 m depth, on the data of RV Professor Levanidov survey on August 11–29, 2019

Картина геострофической составляющей течений в августе 2019 г. (рис. 2) существенно сложнее средней схемы. Помимо циклонической циркуляции теплых и соленых вод берингоморского происхождения над южным участком, примыкающем к Берингову проливу, наблюдалась еще одна зона влияния берингоморских вод с циклонической циркуляцией (севернее и северо-западнее банки Геральда, над изобатами шельфа 50–100 м). По западной и северной периферии участков вод берингоморского происхождения отмечались трансформированные зимние воды, в том числе холодные, сильно распресненные таянием вдоль кромки арктических льдов, которые проявлялись антициклоническим характером циркуляции. На карте течений, рассчитанной по спутниковой альтиметрии, по всей ширине прол. Лонга доминировал поток с востока на запад, что позволяет предполагать относительно слабое развитие прибрежной ветви Сибирского течения в период съемки.

В августе 2019 г. в северо-западной 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. В южной части российской зоны моря на поверхности преобладала относительно высокая температура, от 6,0 до 8,0 °С, формируемая проникновением через Берингов пролив берингоморских вод с максимумом до 9,5 °С южнее банки Геральда (рис. 3). На северном участке вод берингоморского происхождения температура поверхностного слоя также достигала очень высоких значений, 5–7 °С,

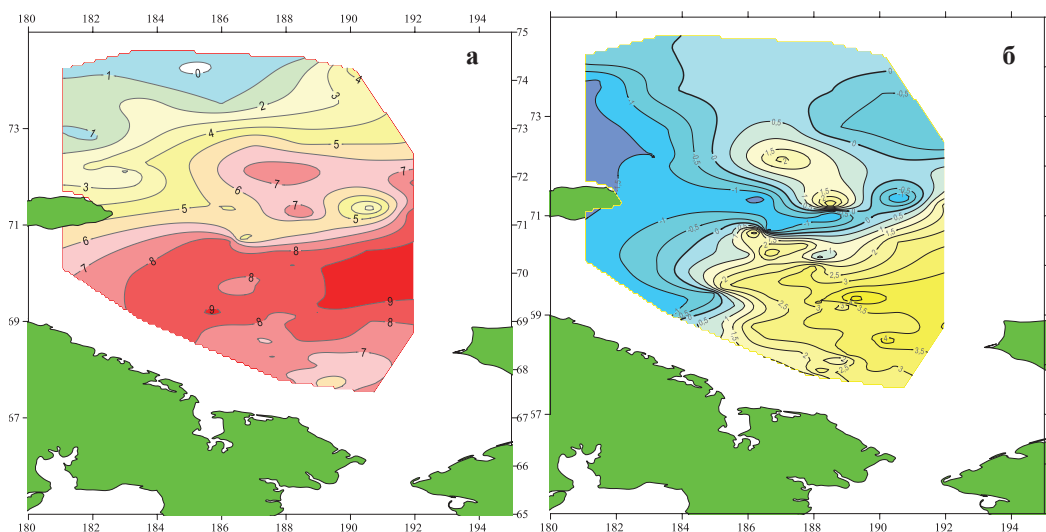


Рис. 3. Распределение температуры в поверхностных (а) и придонных (б) водах в западной части Чукотского моря, НИС «Профессор Леванидов», август 2019 г.

Fig. 3. Water temperature at the sea surface (a) and at the bottom (b) in the western Chukchi Sea (RV Professor Levanidov, August 2019)

но их соленость (26,0–30,6 ‰) была меньше, чем на южном участке (30,0–33,0 ‰), что показывает возможное влияние Аляскинской прибрежной ветви. Температура придонных вод южного района постепенно уменьшалась от 3,0...4,8 °C со стороны Берингова пролива до –1,4 °C — в сторону прол. Лонга. Температура придонных вод северного района уменьшалась от 2,2 °C в зоне влияния берингоморских вод до –1,7 °C на изобатах менее 100 м северного склона о. Врангеля (рис. 3).

В восточной части моря в районе съемки от 72,5° с.ш. в Чукотском море до прибрежных районов моря Бофорта и к югу до Берингова пролива не было морского льда. Во время предыдущих съемок, которые проводились в 2012 и 2013 гг., в северных регионах нашей области исследований присутствовал лед [Moss et al., 2009; Eisner et al., 2013; Pinchuk, Eisner, 2017]. Температура поверхности моря была выше, чем в предыдущие годы, и составляла от 5,3 до 10,9 °C. В северо-восточной части Чукотского моря, где на шельф поступала холодная вода из арктического бассейна и из моря Бофорта, максимальная температура на поверхности была в пределах 2,0–3,5 °C, в юго-восточном районе в слое 0–5 м температура воды была 7,4–10,9 °C*. В 2017 г. на северо-востоке температура была 0,3 °C, на северо-западе, где преобладали прибрежные воды Аляски, — 6,0–8,0 °C. В юго-восточной части моря в берингоморских водах поверхностная температура была 4,0–6,0 °C, но часть шельфа занимала аляскинская прибрежная водная масса с температурой 8,5 °C.

В южной части моря высокая температура обусловлена, с одной стороны, притоком берингоморских вод, а с другой — летним прогревом верхних горизонтов. Традиционное более высокое теплосодержание в Аляскинской ветви берингоморских вод по сравнению с их западными участками было усилено и более поздними сроками обследования этого участка (длительность периода их активного прогрева была на полмесяца-месяц больше, чем для вод российской зоны).

* Farley E., Cieciel K., Vollenweider J. et al. Arctic Integrated Ecosystem Survey. Cruise Report to the Arctic Integrated Research Program. August 1 to October 3, 2019. 118 p.

Результаты и их обсуждение

На шельфе Чукотского моря биомасса зоопланктона составляла в западной части моря 766,2 мг/м³ и 951,9 мг/м³ — в восточной. Средняя величина биомассы крупной фракции в западной части шельфа Чукотского моря равнялась 649,8 мг/м³, что составляет 84,8 % от общего количества зоопланктона. Доля мелкого и среднеразмерного зоопланктона составляла от общей биомассы зоопланктона соответственно всего 9 и 6 %. В восточной части моря доля крупного зоопланктона была ниже, всего 59,1 % (563 мг/м³), за счет высоких биомасс мелкого и среднего планктона — соответственно 30,0 и 11,0 % (табл. 1). На карте горизонтального распределения мелкого и среднеразмерного планктона (рис. 4) видно, что наибольшие скопления были отмечены в восточной части моря.

Таблица 1
Биомасса фракций и групп крупной фракции зоопланктона в различных районах Чукотского моря в августе-сентябре 2019 г., мг/м³

Table 1
Biomass of large-sized fraction of zooplankton and its taxonomic groups in August-September 2019, by areas of the Chukchi Sea, mg/m³

Показатель	Западная часть моря			Восточная часть моря		
	Северный	Южный	Весь шельф	Северный	Южный	Весь шельф
Биомасса						
Фитопланктон	172,7	19,9	96,3	111,9	100,1	106,0
Весь зоопланктон	535,6	996,7	766,2	684,5	1219,4	951,9
Мелкая фракция	45,0	96,5	70,7	188,8	383,6	286,2
Средняя фракция	25,4	65,8	45,6	48,4	157,1	102,7
Крупная фракция	465,2	834,4	649,8	447,4	678,7	563,0
Биомасса групп крупной фракции						
Chaetognatha	291,8	277,2	284,5	280,0	400,1	340,0
Copepoda	103,9	266,4	185,2	34,8	85,6	60,2
Euphausiacea	21,9	110,7	66,3	7,8	58,5	33,2
Amphipoda	19,7	7,2	13,4	13,6	4,9	9,3
Decapoda	1,5	12,4	6,9	1,2	0,2	0,7
Mysidacea	7,0	32,4	19,7	3,0	1,7	2,4
Coelenterata	11,1	94,8	53,0	98,9	44,1	71,5
Pteropoda	3,8	1,6	2,7	2,5	65,5	34,0
Tunicata	4,0	1,6	2,8	4,8	17,6	11,2
Прочие	0,6	30,0	15,3	0,8	0,6	0,7

Фитопланктон. Максимальная биомасса фитопланктона наблюдалась в северных районах моря (табл. 1), где температура воды была минимальной. В северо-западной части в зоне влияния вод из Восточно-Сибирского моря она достигала 1400 мг/м³, а на северо-востоке — 977 мг/м³ в зоне взаимодействия холодных арктических вод и аляскинской прибрежной водной массы (рис. 4). Средняя величина биомассы фитопланктона составляла 172,7 мг/м³ в западном районе и 112,0 мг/м³ в восточном. Основу «цветения» создавали диатомовые водоросли из рода *Chaetoceros* (*Ch. atlanticus*) и *Thalassiothrix*, *Ceratium*, *Coscinodiscus*, *Rhizosolenia*. В южной части шельфа отмечена более высокая температура, чем на севере, и обусловлена она, с одной стороны, притоком берингоморских вод, а с другой — летним прогревом верхних горизонтов. В западной части наблюдалось незначительное развитие фитопланктона (20 мг/м³), а повышенная биомасса (167 мг/м³) в районе трансформированных тихоокеанских вод и вод северной части Анадырского залива, возможно, связана с ее механическим накоплением за счет циклонического круговорота, характерного для данной области.

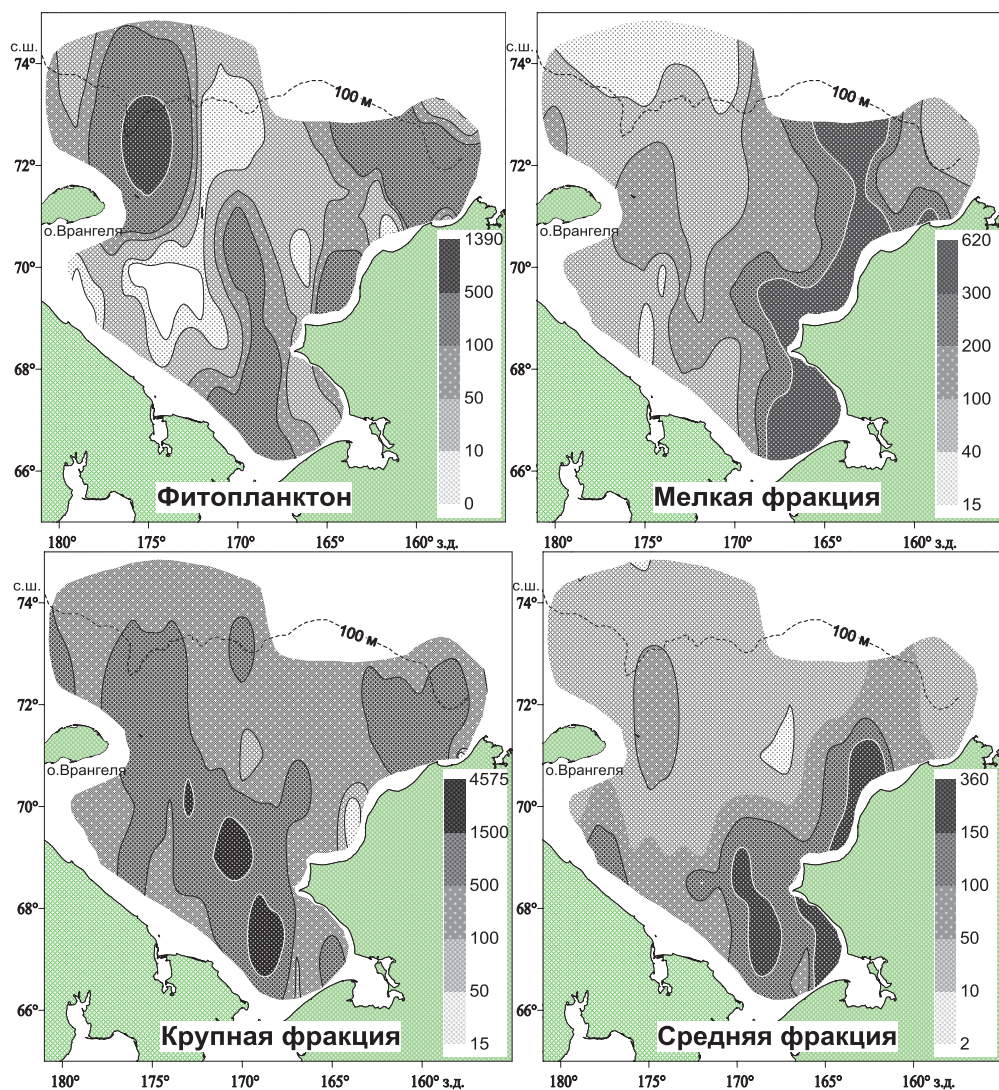


Рис. 4. Распределение фитопланктона и размерных фракций зоопланктона в эпипелагиали Чукотского моря в слое 200–0 м («дно»–0 м) в летний период 2019 г., мг/м^3

Fig. 4. Distribution of phyto- and zooplankton in the layer 0–200 m (0–«bottom») in August–September 2019, by size fractions, mg/m^3

В восточной части высокие значения биомассы фитопланктона ($360\text{--}509 \text{ мг/м}^3$) были отмечены в прибрежье и у Берингова пролива, в зоне взаимодействия трансформированных берингоморских вод с аляскинской прибрежной массой, средняя биомасса — 110 мг/м^3 . Основу биомассы формировали диатомовые водоросли из родов *Thalassiosira*, *Coscinodiscus*, *Thalassiothrix*, *Chaetoceros* и *Rhizosolenia*. В северной части моря состояние планктонного сообщества можно оценить как весеннее (биологическая весна), в южной — как летнее (биологическое лето).

Зоопланктон. В западной части моря биомасса мелкого зоопланктона составляла в северном районе $45,0 \text{ мг/м}^3$ и в южном — $96,5 \text{ мг/м}^3$ (табл. 1), основу его биомассы формировал 1 вид копепоид — *Ps. minutus*. Повышенной была биомасса науплии и циприсов *Cirripedia*, копепоидитов родов *Calanus*, *Neocalanus* и *Metridia*, но основные концентрации зоопланктона мелкой фракции располагались в юго-восточной части шельфа, так же как и средней фракции (рис. 4, табл. 1–3). В средней фракции в северном районе многочис-

Таблица 2

Биомасса зоопланктона мелкой фракции в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г., мг/м³

Table 2

Biomass of small-sized fraction of zooplankton in the Chukchi Sea in August-September 2019, mg/m³

Вид	Западная часть моря			Восточная часть моря		
	Северный	Южный	Весь шельф	Северный	Южный	Весь шельф
<i>Pseudocalanus minutus</i> , spp.	51,22	22,77	37,0	80,98	196,15	138,56
<i>Oithona similis</i>	8,63	7,76	8,2	35,71	90,32	63,02
<i>Calanus</i> , copepodits	9,39	2,77	6,1	0,15	—	0,07
<i>Neocalanus</i> , copepodits	4,68	0,03	2,4	—	—	—
<i>Metridia</i> , copepodits	1,03	0,44	0,7	0,16	—	0,08
<i>Centropages abdominalis</i>	2,25	0,36	1,3	0,42	5,29	2,85
<i>Oithona plumifera</i>	0,51	0,11	0,3	1,43	0,40	0,91
Copepodits 1–2 стадии	0,78	3,33	2,1	1,64	14,42	8,03
Copepoda (nauplius)	0,19	0,59	0,4	1,35	4,51	2,93
<i>Acartia clausi</i> , copepodits	0,39	0,20	0,3	2,85	6,13	4,49
<i>Acartia longiremis</i>	0,32	0,14	0,2	—	—	—
<i>Epilabidocera amphitrites</i>	0,11	0,03	0,1	—	0,32	0,16
<i>Microcalanus pygmaeus</i>	0,08	0,05	0,1	0,63	1,59	1,11
Яйца Copepoda	0,00	0,01	0,01	0,13	0,02	0,08
<i>Tortanus discaudatus</i>	0,01	0,00	0,003	—	0,79	0,39
<i>Limnocalanus macrurus</i>	0,01	0,36	0,2	—	—	—
<i>Microsetella norvegica</i>	0,003	0,004	0,003	0,11	0,50	0,31
<i>Eurytemora</i> sp.	0,04	0,06	0,05	—	1,15	0,57
<i>Oncaea borealis</i>	0,03	0,06	0,05	0,49	1,45	0,97
<i>Cladocera</i> spp.	0,03	0,00	0,01	—	0,33	0,17
<i>Scolecithricella minor</i>	0,02	0,01	0,01	—	—	—
<i>Temora longicornis</i>	—	0,04	0,02	—	—	—
<i>Corycaeus</i> sp.	—	0,001	0,0005	—	—	—
<i>Podon</i> sp.	—	—	—	1,04	7,41	4,22
<i>Evadne</i> sp.	—	—	—	0,26	0,72	0,49
Harpacticoida	—	—	—	0,42	1,16	0,79
Copepoda всего	79,7	39,1	59,4	127,8	332,7	230,2
<i>Aglantha digitale</i>	1,99	1,11	1,5	13,72	0,00	6,86
Coelenterata gen. sp.	1,21	0,06	0,6	4,68	2,50	3,59
<i>Oikopleura vanhoeffeni</i>	1,10	0,26	0,7	0,35	2,3	1,30
Cirripedia (nauplius, cyprys)	10,75	2,14	6,4	0,41	1,11	0,76
<i>Fritillaria borealis</i>	0,05	0,00	0,02	15,81	17,27	16,54
Echinodermata (larvae)	—	—	—	12,70	0,57	6,64
Veliger Bivalvia	0,19	0,08	0,1	5,17	12,2	8,69
<i>Limacina helicina</i>	0,15	0,37	0,3	0,61	6,5	3,55
<i>Sagitta</i> sp.	0,07	0,01	0,04	2,88	2,93	2,90
Polychaeta (larvae)	0,35	0,34	0,3	1,71	3,62	2,66
Themisto juv.	0,50	—	0,3	—	—	—
Decapoda (larvae)	0,53	0,09	0,3	—	—	—
Euphausiacea (nauplius)	0,15	0,62	0,4	—	—	—
Яйца Euphausiacea	0,10	0,30	0,2	0,08	0,05	0,06
<i>Clione limacina</i> (larvae)	0,06	0,17	0,1	—	—	—
<i>Globigerina bulloides</i>	0,04	0,06	0,05	—	—	—
Radiolaria	—	0,01	0,00	—	—	—
<i>Conchoecia</i> sp.	—	0,30	0,2	0,02	—	0,01
Isopoda	—	—	—	—	0,98	0,98
<i>Ophiura</i> sp. (larvae)	—	—	—	—	0,06	0,06
Ova spp.	—	—	—	2,86	0,86	1,86

Таблица 3
Биомасса зоопланктона средней фракции в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г., мг/м³
Table 3
Biomass of medium-sized fraction of zooplankton in the Chukchi Sea in August-September 2019, mg/m³

Вид	Западная часть моря			Восточная часть моря		
	Северный	Южный	Весь шельф	Северный	Южный	Весь шельф
<i>Pseudocalanus minutus</i> , spp.	9,69	42,71	26,20	9,86	55,93	32,89
<i>Calanus glacialis</i>	2,42	2,06	2,0	1,32	—	0,66
<i>Calanus finmarchicus</i>	3,05	0,01	1,80	—	—	—
<i>Metridia longa</i>	1,11	4,40	2,70	—	—	—
<i>Bradyidius similis</i>	1,71	—	0,90	—	—	—
<i>Calanus hyperboreus</i>	0,60	0,06	0,30	—	—	—
<i>Neocalanus plumchrus/flemingeri</i>	0,34	3,69	2,0	0,005	—	0,002
Копеподиты <i>Neocalanus</i>	0,11	0,59	0,40	—	—	—
<i>Metridia lucens</i>	—	—	—	1,12	—	0,56
<i>Metridia pacifica</i>	0,01	2,29	1,20	0,13	0,55	0,34
<i>Eucalanus bungii</i>	0	0,23	0,12	0,08	—	0,04
<i>Epilabidocera amphitrites</i>	0,01	0,05	0,03	0,17	2,37	1,27
<i>Centropages abdominalis</i>	0,04	0,23	0,10	0,49	25,71	13,1
<i>Eurytemora herdmanni</i>	—	—	—	—	0,38	0,19
<i>Tortanus discaudatus</i>	—	—	—	—	0,97	0,48
<i>Microcalanus pygmaeus</i>	0,01	0,01	0,009	0,01	—	0
<i>Scolecithricella minor</i>	0,004	0,002	0,003	0,01	—	0,01
<i>Acartia clausi</i>	—	—	—	0,30	1,15	0,72
<i>Acartia longiremis</i>	0,08	0,09	0,10	—	—	—
<i>Microsetella norvegica</i>	0,10	0,03	0,10	—	0,20	0,10
<i>Oncaea</i> sp.	—	—	—	0,005	—	0
<i>Podon</i> sp.	—	—	—	0,14	1,72	0,93
<i>Evadne</i> sp.	—	—	—	0,01	—	0
<i>Oithona plumifera</i>	—	—	—	—	0,03	0,02
<i>Pareuchaeta</i> sp.	0,01	0,01	0,01	—	—	—
<i>Limnocalanus macrurus</i>	0,01	0,003	0,01	—	—	—
<i>Gaitanus similis</i>	0,02	—	0,01	—	—	—
<i>Gaidius brevispinus</i>	0,06	—	0,03	—	—	—
<i>Drepanopus bungei</i>	0,26	0,02	0,10	—	—	—
<i>Chiridius obtusifrons</i>	0,02	—	0,01	—	—	—
<i>Jaschnovia tolli</i>	0,0008	—	0,0004	—	—	—
<i>Temora longicornis</i>	0,10	—	0	—	—	—
Copepoda всего	19,8	56,0	38,1	14,0	89,0	51,3
<i>Limacina helicina</i>	0,22	0,02	0,10	0,72	13,13	6,93
<i>Clione limacina</i>	0,09	—	0,05	—	4,24	2,12
Bivalvia larvae	—	—	—	0,29	26,98	13,64
<i>Oikopleura vanhoeffeni</i>	0,46	1,43	0,90	0,26	4,47	2,36
<i>Fritillaria borealis</i>	—	—	—	0,10	0,24	0,17
<i>Aglantha digitale</i>	1,04	2,52	1,80	23,55	4,33	13,94
Coelenterata	0,11	2,69	1,40	7,06	9,91	8,48
<i>Dimophyes arctica</i>	0,38	0	0,20	—	1,19	0,59
Euphausiacea juv.	0,95	0,99	1,00	0,02	—	0,01
<i>Themisto</i> sp.	—	0,06	0,03	1,56	0,89	1,23
Gammaridae	0,01	—	0	—	0,13	0,07
Decapoda (larvae)	0,14	0,34	0,20	—	—	—
<i>Conchoecia</i> sp.	0,08	—	0,04	0,05	—	0,02
<i>Sagitta elegans</i>	0,02	0,23	0,10	1,00	0,06	0,53
Polychaeta (larvae)	1,01	0,34	0,70	0,05	1,62	0,84
<i>Pelagobia longicirrata</i>	0,51	0	0,30	—	—	—
Cirripedia (nauplius, cypris)	0,58	0,54	0,60	0,10	0,60	0,32
Mysidacea (larvae)	0,10	0,17	0,10	—	—	—
Larvae pisces	—	0,02	0,01	—	—	—
Echinodermata (larvae)	—	—	—	—	0,10	0,05
Cumacea gen. sp.	—	—	—	—	0,28	0,14

ленны были арктические виды *C. glacialis*, *Calanus finmarchicus*, *Calanus hyperboreus*, присутствовали *Bradyidius similis*, *Metridia longa*. В южном районе *C. finmarchicus* и *C. hyperboreus* встречались штучно только в западной части района (в районе прол. Лонга) (табл. 3). Наибольшее количество мелкого и среднего зоопланктона наблюдалось в восточной части моря — 188,8–383,6 мг/м³ (см. табл. 1), так как значительную часть акватории занимали воды аляскинской прибрежной водной массы. В северо-восточном районе в мелкой фракции преобладали копеподы рода *Pseudocalanus* и *Oithona similis*, фритиллярии и молодь иглокожих, в средней — мелкие медузы *Aglantha digitale* (табл. 2, 3). В юго-восточном районе значительно возросла биомасса копепод *Pseudocalanus* spp. и копеподитов I–II стадий развития. В средней фракции увеличилось количество прибрежных копепод *Centropages abdominalis* и молоди крылоногих и двустворчатых моллюсков (табл. 2, 3). Более низкая биомасса в северных районах, видимо, связана с сезонной сукцессией, так как в северных районах наблюдалось весеннее состояние планктонного сообщества, в южной части моря — летнее.

Максимальные концентрации крупного планктона были сосредоточены в южных районах Чукотского моря, в области распространения берингоморских вод (834 мг/м³ — на юго-западе и 679 мг/м³ — на юго-востоке) (рис. 4). В северных районах биомасса была в 1,5–2,0 раза ниже (табл. 1, 4). Основу крупного планктона формировали группы зоопланктона, составляющие 95 % биомассы, в северной части моря это сагитты, копеподы и гиперииды, кроме того, на западе — эвфаузииды и на востоке — медузы. В южной части моря — это сагитты, копеподы, эвфаузииды и медузы, на востоке — также крылоногие моллюски (табл. 1, 4, рис. 5).

Таблица 4
Биомасса зоопланктона крупной фракции в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г., мг/м³
Table 4
Biomass of large-sized fraction of zooplankton in the Chukchi Sea in August-September 2019, mg/m³

Вид	Западная часть моря			Восточная часть моря		
	Северный	Южный	Весь шельф	Северный	Южный	Весь шельф
<i>Calanus glacialis</i>	50,75	78,83	64,08	28,54	13,86	21,20
<i>Calanus hyperboreus</i>	19,81	–	9,90	1,41	–	0,70
<i>Calanus finmarchicus</i>	19,01	–	10,21	–	–	–
<i>Neocalanus plumchrus/flemingeri</i>	5,25	52,76	29,0	0,76	0,32	0,54
<i>Neocalanus cristatus</i>	0	6,21	3,11	–	–	–
<i>Limnocalanus grimaldii</i>	0,20	–	0,10	–	–	–
<i>Eucalanus bungii</i>	0,56	119,25	59,90	2,59	48,04	25,31
<i>Metridia pacifica</i>	0,14	4,75	2,45	–	0,42	0,21
<i>Metridia longa</i>	5,67	4,32	4,99	–	–	–
<i>Metridia lucens</i>	–	–	–	0,53	–	0,26
<i>Pareuchaeta glacialis</i>	1,40	0,32	0,86	0,86	–	0,43
<i>Gaidius brevispinus</i>	0,30	–	0,15	0,02	–	0,01
<i>Chiridius obtusifrons</i>	0,07	–	0,03	–	–	–
<i>Bradyidius pacificus</i>	0,68	–	0,34	–	–	–
<i>Gaetanus simplex</i>	0,07	–	0,04	–	–	–
<i>Epilabidocera amphitrites</i>	–	–	–	0,06	22,26	11,16
<i>Tortanus discaudatus</i>	–	–	–	0	0,71	0,36
<i>Themisto pacifica</i>	0	0,28	0,14	1,83	1,03	1,43
<i>Themisto libellula</i>	14,15	4,57	9,36	11,04	–	5,52
<i>Themisto abyssorum</i>	1,11	–	0,56	–	–	–
<i>Hyperia medusarum</i>	1,55	0,27	0,91	–	–	–
<i>Scina spinosa</i>	0	0,10	0,05	–	–	–
<i>Hyperia galba</i>	0,95	0,80	0,87	0	3,79	1,89
Gammaridae	1,89	1,19	1,54	0,76	0,09	0,43

Окончание табл. 4
Table 4 finished

Вид	Западная часть моря			Восточная часть моря		
	Северный	Южный	Весь шельф	Северный	Южный	Весь шельф
<i>Euphausiacea (furcilia)</i>	0,18	0,82	0,50	0,33	0,04	0,18
<i>Thysanoessa raschii</i>	14,28	63,67	38,97	0,99	57,22	29,11
<i>Thysanoessa inermis</i>	2,61	46,24	24,42	6,50	1,28	3,89
<i>Thysanoessa longicaudata</i>	0,62	—	0,31	—	—	—
<i>Meganectiphanes norvegica</i>	4,18	—	2,09	—	—	—
<i>Sagitta elegans</i>	284,10	277,20	280,60	279,96	400,06	340,01
<i>Flaccisagitta maxima</i>	7,75	0	3,87	—	—	—
<i>Chionoecetes opilio</i> (megalopa)	0,67	2,99	1,83	0,20	0	0,10
Pagurudae gen. sp.	0,03	1,81	0,92	0,89	0,15	0,52
Pandalidae (larvae)	0,03	4,03	2,03	0,14	0	0,07
Decapoda (larvae)	0,78	3,54	2,16	—	—	—
<i>Clione limacina</i>	2,01	1,63	1,82	1,61	18,20	9,91
<i>Limacina helicina</i>	1,79	0,02	0,90	0,90	47,25	24,08
<i>Aglantha digitale</i>	1,48	27,28	14,38	96,31	42,87	69,59
<i>Sarsia flammea</i>	1,43	13,02	7,23	—	—	—
<i>Sarsia tubutesa</i>	0,82	2,76	1,79	—	—	—
<i>Rathkea jaschnovi</i>	0,22	0,45	0,33	—	—	—
Hydromedusae	6,73	42,42	24,58	1,93	1,23	1,58
<i>Dimophyes arctica</i>	0,03	0,12	0,07	—	—	—
<i>Beroe</i> sp.	0,41	8,79	4,60	0,63	—	0,31
Polychaeta gen. sp.	0,17	0,10	0,14	0,04	0,04	0,04
<i>Tomopteris pacifica</i>	—	0,30	0,15	—	—	—
<i>Pelagobia longicirrata</i> (Polych.)	0,16	—	0,08	—	—	—
<i>Sagitella</i> sp.	—	—	—	0,01	—	0
Mysidacea	7,0	32,40	19,70	3,03	1,70	2,36
Ostracoda	0,24	0,04	0,14	0,13	0,11	0,12
Cumacea	0	0,21	0,11	0,02	0,03	0,02
<i>Oikopleura</i> sp.	3,96	1,63	2,80	4,80	17,61	11,21
Bivalvia (larvae)	0	0,04	0,02	—	—	—
<i>Theragra chalcogramma</i> (larvae)	0	29,27	14,64	—	—	—
Pleuronectidae (larvae)	—	—	—	0,56	0,37	0,46

В Чукотском море повсеместно доминировали сагитты (табл. 1, 4, рис. 5, 6). Сагитты *Parasagitta elegans* были распространены по всей акватории моря, *Flaccisagitta maxima* встречалась только в северо-западном районе. В распределении сагитт прослеживаются две области с повышенной биомассой: одна в северной части моря — более 700 мг/м³ и другая обширная область — в южной части акватории — 1785 мг/м³ (рис. 6). Средняя биомасса сагитт в северных районах составила 291,8 и 280,0 мг/м³, в юго-восточном районе она была выше, чем в юго-западном — соответственно 400,0 и 277,0 мг/м³ (табл. 1, 4). Доминировала молодь сагитт размером 15–20 и 20–25 см.

В северных районах моря из копепоид доминировал арктический вид *C. glacialis* (50,8 и 28,5 мг/м³) — это автохтонный арктический вид, наиболее массовый на всей акватории арктического бассейна, обладает высокой репродуктивной активностью и обилием молоди в летний период [Кособокова, 2010]. В северо-западном районе биомассу зоопланктона определяли также арктические копепоиды *C. hyperboreus* и бореально-арктический вид *C. finmarchicus*, гиперииды — холодноводная *Themisto libellula* и *Th. abyssorum*, эвфаузииды *Thysanoessa longicaudata* и *Meganectiphanes norvegica* и сагитты

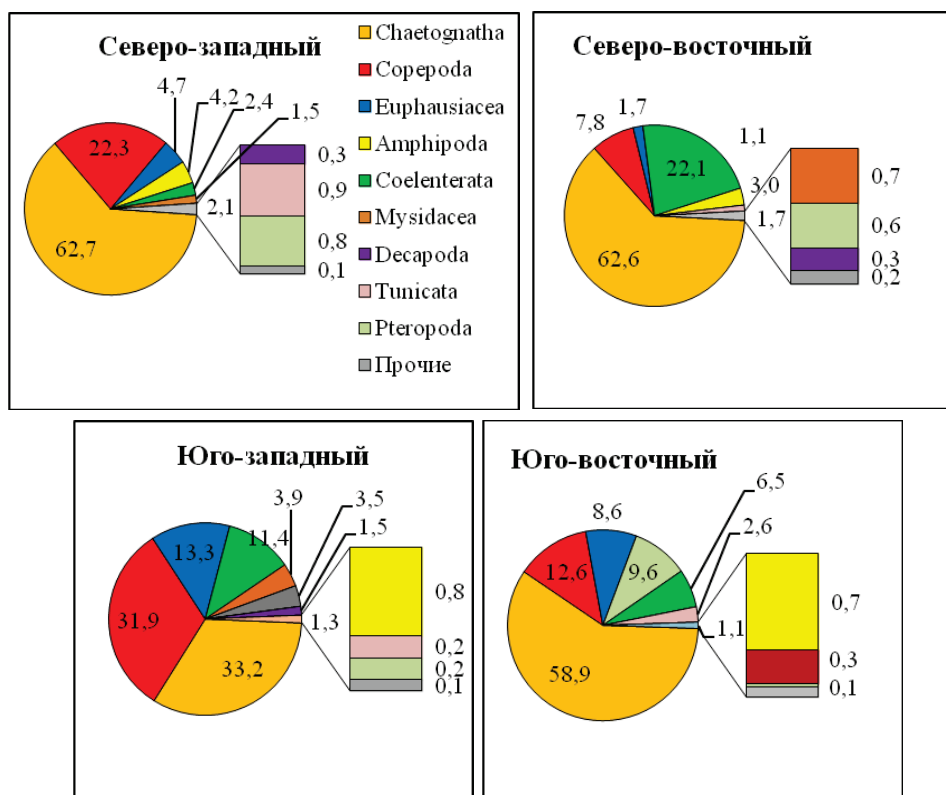


Рис. 5. Групповой состав крупной фракции зоопланктона в различных районах Чукотского моря, %

Fig. 5. Percentage of taxonomic groups in large-sized fraction of zooplankton in August-September 2019, by areas of the Chukchi Sea

Fl. maxima, занесенные арктическими водами бассейна из Восточно-Сибирского моря (Евразийский бассейн). Из эвфаузиид преобладал также арктическо-бореальный вид *Th. raschii* (рис. 6, табл. 1, 4).

В северо-восточном районе по биомассе доминировали медузы *A. digitale* — 96,3 мг/м³, гиперииды *T. libellula* — 11,0 мг/м³ и копеподы *C. glacialis* — 28,5 мг/м³ (табл. 4). Биомасса автохтонного арктического вида *C. hyperboreus*, поступающего на шельф из арктического бассейна и моря Бофорта (Канадский бассейн), низкая, так как он обитатель открытых вод. Надо отметить, что на северо-востоке моря не встречался бореально-арктический вид *C. finmarchicus*, который был в обилии в западной части Чукотского моря, так как в канадском бассейне вид почти полностью отсутствовал [Кособокова, 2010]. В северных районах ближе к центральной части моря единично были отмечены копеподы *Eucalanus bungii*, *Neocalanus plumchrus*/*N. flemingeri*, но их биомасса была невысокой. Количество океанических тихоокеанских экспатриантов, достигающих северных районов канадского бассейна с тихоокеанскими водами, ничтожно мало и не сказывается на величине биомассы [Кособокова, 2010, 2012].

В южной части моря как на западе, так и на востоке на акватории, занятой беринговоморскими водами, общая биомасса зоопланктона была в 2 раза выше — 996,7–1219,4 мг/м³. Основу биомассы зоопланктона, кроме сагитт, составляли копеподы, эвфаузииды и медузы, в восточной части также крылоногие моллюски. Максимальные концентрации копепоид были сосредоточены в границах распределения тихоокеанских вод в южной части шельфовой зоны (рис. 6). Обилие крупного зоопланктона обеспе-

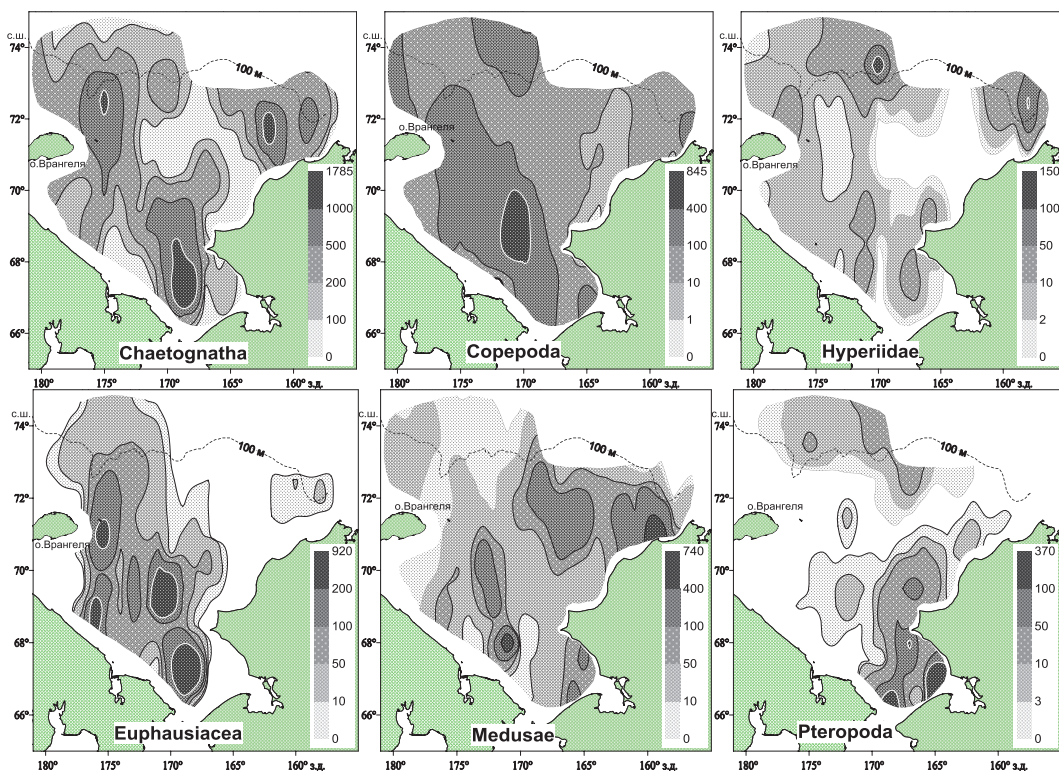


Рис. 6. Распределение доминирующих групп зоопланктона в слое 0–200 м (0–«дно») в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г., мг/м³

Fig. 6. Distribution of dominant zooplankton groups in the layer 0–200 m (0–«bottom») in the Chukchi Sea in August-September 2019, mg/m³

чивали берингоморские копеподы *E. bungii*, *N. plumchrus+flemingeri*, *Neocalanus cristatus*, *Metridia pacifica*. По биомассе здесь доминировали тихоокеанский интерзональный вид *E. bungii* (на западе 119,3 мг/м³ и на востоке 48,0 мг/м³), *C. glacialis* (78,0 мг/м³) и *C. glacialis/marshallae* — 13,9 мг/м³ (табл. 4). Увеличение биомассы *C. glacialis* в западной части на юге возможно за счет популяции из Берингова моря, в восточной части моря на севере популяция *C. glacialis* представлена из арктических вод, а на юге *C. glacialis/marshallae* — из Берингова моря [Pinchuk, Eisner, 2017]. В юго-восточной части моря высокую биомассу имели виды прибрежных вод, выносящие некоторое распреснение вод, наиболее многочисленен *Epilabidocera amphitrites* (22,3 мг/м³). Доминировали здесь крылоногие моллюски *Limacina helicina* и *Clione limacina* (65,5 мг/м³), максимальные концентрации которых (340,0 мг/м³) были отмечены в прибрежной области юго-восточного района (см. рис. 5, 6). В южной части шельфа биомасса эвфаузиид была в 5–7 раз выше, чем в северных районах. Средняя биомасса эвфаузиид в юго-западной части составила 110,7 мг/м³ за счет *Th. raschii* и *Th. inermis*, а в юго-восточной — значительно увеличилась за счет *Th. raschii* (57,2 мг/м³) (рис. 6, табл. 4).

В южном районе в западной части моря встречались десятиногие *Chionoecetes opilio* (megalopa) (2,99 мг/м³), а также личинки минтая (от 4 до 35 мм), их биомасса составляла 29,30 мг/м³, или 2,9 % от общего количества зоопланктона.

Оценив вклад видов и групп зоопланктона в суммарную биомассу зоопланктона (табл. 5), можно отметить, что ее основу как на севере, так и на юге составляли сагитты *P. elegans*. В северных районах на западе вторыми по значимости были копеподы *C. glacialis*, на востоке — медузы *A. digitale*, мелкие копеподы рода

Таблица 5

Биомасса (мг/м³) доминирующих видов зоопланктона и их вклад (%) в суммарную биомассу в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г.

Table 5

Biomass of the dominant zooplankton species (mg/m³) and their contribution to the total zooplankton biomass (%) in the Chukchi Sea in August-September 2019

Вид	Мг/м ³	%	Вид	Мг/м ³	%
Северный район (западная часть моря)			Северный район (восточная часть моря)		
<i>Parasagitta elegans</i>	284,1	53,0	<i>Parasagitta elegans</i>	283,8	41,5
<i>Calanus glacialis</i>	53,2	9,9	<i>Aglantha digitale</i>	133,6	19,5
<i>Pseudocalanus minutus</i>	32,5	6,1	<i>Pseudocalanus</i> spp.	90,0	13,2
<i>Calanus finmarchicus</i>	22,1	4,1	<i>Oithona similis</i>	35,7	5,2
<i>Calanus hyperboreus</i>	20,4	3,8	<i>Calanus glacialis</i>	30,0	4,4
<i>Themisto libellula</i>	19,9	3,7	<i>Fritillaria borealis</i>	15,9	2,3
<i>Thysanoessa raschii</i>	14,2	2,7	Medusae	13,5	2,0
<i>Oithona similis</i>	7,8	1,4	Echinodermata (larvae)	12,7	1,9
Mysidacea gen. sp.	7,1	1,3	<i>Themisto libellula</i>	11,0	1,6
<i>Metridia longa</i>	6,8	1,3	<i>Thysanoessa inermis</i>	6,5	1,0
Сумма 10 видов	467,9	87,3	Сумма 10 видов	632,8	92,6
Весь зоопланктон	535,6	100	Весь зоопланктон	684,5	100
Южный район (западная часть моря)			Южный район (восточная часть моря)		
<i>Parasagitta elegans</i>	277,4	27,8	<i>Parasagitta elegans</i>	403,1	33,1
<i>Eucalanus bungii</i>	119,5	12,0	<i>Pseudocalanus</i> spp.	246,7	20,2
<i>Pseudocalanus minutus</i>	93,9	9,4	<i>Oithona similis</i>	90,3	7,4
<i>Calanus glacialis</i>	79,0	7,9	<i>Limacina helicina</i>	66,9	5,5
<i>Thysanoessa raschii</i>	63,2	6,3	<i>Thysanoessa raschii</i>	57,2	4,7
<i>Neocalanus plumchrus+flemingeri</i>	61,7	6,2	<i>Eucalanus bungii</i>	48,0	3,9
<i>Thysanoessa inermis</i>	45,9	4,6	<i>Aglantha digitale</i>	47,2	3,9
Mysidacea gen. sp.	32,6	3,3	<i>Centropages abdominalis</i>	31,0	2,5
<i>Gadus chalcogrammus</i> juv.	29,3	2,9	Bivalvia (larvae)	27,0	2,2
<i>Aglantha digitale</i>	29,3	2,9	<i>Epilabidocera amphitrites</i>	25,0	2,1
Сумма 10 видов	831,8	83,3	Сумма 10 видов	1042,4	85,5
Весь зоопланктон	996,7	100	Весь зоопланктон	1219,4	100

Pseudocalanus входили в тройку доминирующих видов на западном и на восточном шельфах. В южных районах на западе моря второй по значимости стала копепода *E. bungii*, третьим был также *Ps. minutus*, а *C. glacialis* — на четвертом месте. На востоке доминировали мелкие копеподы рода *Pseudocalanus* и *O. similis* (28,0 %), встречался *E. bungii* (4,0 %), а *C. glacialis/marshallae* не входил в десятку доминирующих видов — 13,9 мг/м³ (1,1 % от суммарной биомассы зоопланктона) (табл. 5).

Таким образом, на исследованной акватории шельфа Чукотского моря основной вклад в биомассу зоопланктона (суммарно мелкая, средняя и крупная фракции) вносили сагитты (на западе 37,2 и на востоке 36,1 %) и копеподы (36,9 и 35,8 %). Доля эвфаузиид составляла 8,9 % в западной части и 3,5 % — в восточной, здесь третьими по значимости были медузы — 10,9 % (табл. 6). Надо отметить, что в южной части моря как на западе, так и на востоке на акватории, занятой берингоморскими водами, общая биомасса зоопланктона была в 2 раза выше — 996,7 и 1219,4 мг/м³. Наибольший вклад в суммарную биомассу вносили копеподы (40,4 и 41,6 %), сагитты были на втором месте. В юго-западной части доминировали берингоморские копеподы *E. bungii*, *N. plumchrus/flemingeri*, а также *C. glacialis* и *Ps. minutus*. В юго-восточном районе значительный вклад в суммарную биомассу копепод также вносили виды мелкой и средней фракций: *Pseudocalanus* spp., *O. similis*, прибрежные *C. abdominalis*, *E. amphitrites* (см. табл. 5).

Таблица 6

Суммарная биомасса зоопланктона (мг/м³) и доля (%) основных таксономических групп зоопланктона в шельфовой зоне Чукотского моря в августе-сентябре 2019 г., слой 200–0 м («дно»–0 м)

Table 6

Total biomass of zooplankton (mg/m³) and percentage of the main taxonomic groups in the layer 200–0 m (bottom — 0) on the Chukchi Sea shelf in August-September 2019

Группа планктона	Западная часть моря						Восточная часть моря					
	Северный		Южный		Весь шельф		Северный		Южный		Весь шельф	
	Мг/м³	%	Мг/м³	%	Мг/м³	%	Мг/м³	%	Мг/м³	%	Мг/м³	%
Copepoda	162,7	30,4	402,6	40,4	282,7	36,9	175,90	25,7	506,6	41,5	341,2	35,8
Chaetognatha	291,9	54,5	277,5	27,8	284,7	37,2	283,80	41,5	403,1	33,1	343,4	36,1
Hyperiididae	17,8	3,3	6,6	0,7	12,2	1,6	12,90	1,9	4,8	0,4	8,8	0,9
Medusae	13,0	2,4	94,4	9,5	53,7	7,0	147,20	21,5	60,7	5,0	104,0	10,9
Euphausiacea	23,7	4,4	112,0	11,2	67,9	8,9	7,90	1,2	58,6	4,8	33,2	3,5
Mysidacea	7,1	1,3	32,6	3,3	19,8	2,6	3,03	0,4	1,7	0,1	2,4	0,2
Pteropoda	4,7	0,9	1,9	0,2	3,3	0,4	3,80	0,6	89,3	7,3	46,6	4,9
Appendicularia	4,0	0,7	1,6	0,2	2,8	0,4	2,50	0,4	65,5	5,4	34,0	3,6
Decapoda	1,5	0,3	12,4	1,2	6,9	0,9	4,80	0,7	17,6	1,5	11,2	1,2
Прочие	9,3	1,8	55,2	5,5	32,3	4,1	42,50	6,1	11,6	0,9	27,1	2,9
Всего	535,6	100	996,7	100	766,2	100	684,50	100	1219,4	100	951,9	100

Распространение представителей арктического комплекса — *C. hyperboreus* — и тихоокеанского — *E. bungii* — в Чукотском море, на наш взгляд, могут определять границы распространения трансформированных тихоокеанских и арктических вод. Следует отметить, что арктические воды также поступают с противотечением через прол. Лонга из Восточно-Сибирского моря. На это указывает присутствие в средней фракции зоопланктона в западной части южного района представителей арктического комплекса *C. finmarchicus* и штучно молоди *C. hyperboreus* (рис. 7).

На основании полученных данных в 2019 г. были определены валовый запас (тыс. т) и плотность зоопланктона (т/км²). Запас зоопланктона в северо-западной части моря определяла крупная фракция (85 %), а в северо-восточной — крупная (59 %) и мелкая фракции (30 %). Запасы кормового зоопланктона в 2019 г. в западной части моря формировали сагитты, копеподы, эвфаузииды и кишечнотолостные, в восточной — также птероподы (табл. 7).

На шельф Чукотского моря в южной его части в теплое полугодие сильное влияние оказывают тихоокеанские воды, постоянно проникающие на шельф с течениями [Khen et al., 2016]. В межгодовом аспекте с 2003 по 2010 г. возросла биомасса и плотность зоопланктона увеличился с 37,4 т/км² в 2003 г. до 118,1 т/км² в 2010 г. [Фигуркин, Слабинский, 2012; Слабинский, Фигуркин, 2014] (табл. 8). Для сравнения мы использовали показатель плотности на единицу площади (т/км²), ввиду того что валовый запас зоопланктона в 2019 г. и в 2003, 2007–2008 и 2010 гг. был определен на разных площадях исследования. Как видно, плотность зоопланктона и его крупной фракции в 2019 г. (48 и 40 т/км²) находился на уровне плотности в годы значительного поступления в этот район берингоморских вод, как в 2008 г. (40 и 36 т/км²). В северо-западном районе в 2019 г. плотность зоопланктона была выше только за счет сагитт (табл. 7, 8).

В юго-западной части моря в 2003 г. плотность зоопланктона формировали копеподы (копеподы р. *Pseudocalanus*, *C. glacialis* и *E. bungii* — 10,1 т/км²), биомасса сагитт была невысокой. В районе исследований отмечался большой объем вод Сибирского прибрежного течения, тем не менее большая акватория под распресненными водами была занята и тихоокеанскими водами. В 2007–2008 и 2010 гг. отмечалось наибольшее распространение берингоморских вод, основу запаса зоопланктона формировали

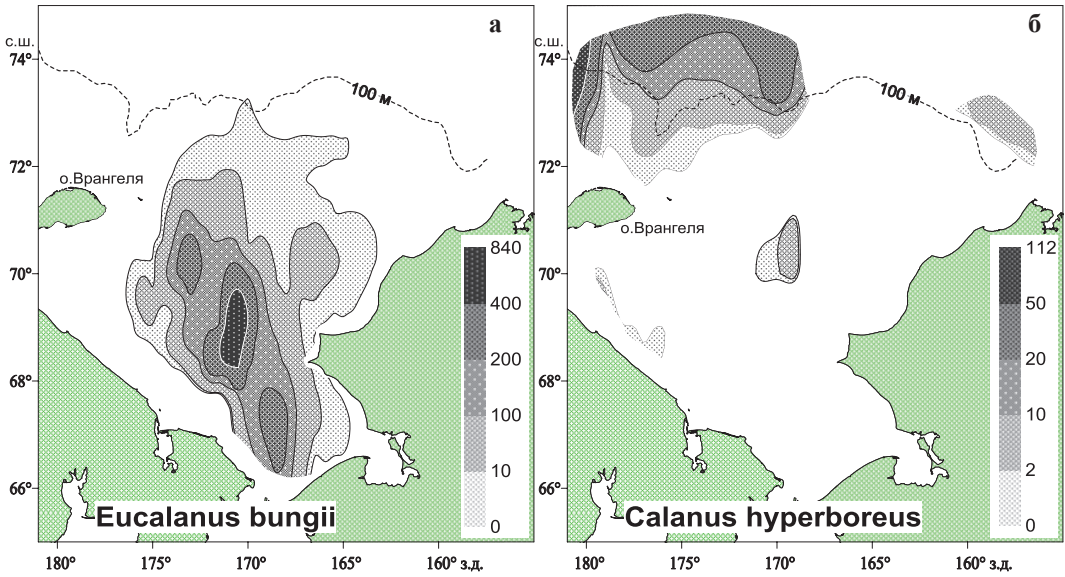


Рис. 7. Горизонтальное распределение тихоокеанского вида копепод *E. bungii* (а) и арктического *C. hyperboreus* (б) в августе-сентябре 2019 г.

Fig. 7. Spatial distribution of copepods of Pacific origin (*E. bungii* — а) and Arctic origin (*C. hyperboreus* — б) in August-September 2019

Таблица 7

Валовый запас (тыс. т) и плотность (т/км²) зоопланктона в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г.

Table 7

Gross stock (10³ t) and distribution density (t/km²) of zooplankton in the Chukchi Sea in August-September 2019

Группа планктона	Западная часть моря						Восточная часть моря					
	Северный		Южный		Весь шельф		Северный		Южный		Весь шельф	
	Тыс. т	Т/км²	Тыс. т	Т/км²	Тыс. т	Т/км²	Тыс. т	Т/км²	Тыс. т	Т/км²	Тыс. т	Т/км²
Фитопланктон	2938	20,9	154	1,0	2471	8,2	685	7,2	148	3,5	724	5,3
Зоопланктон	9115	64,8	7718	47,8	19665	65,1	4192	44,1	1804	43,2	6502	47,5
МФ	766	5,4	747	4,6	1816	6,0	1156	12,2	567	13,6	1955	14,3
СФ	433	3,1	510	3,2	1171	3,9	296	3,1	232	5,6	702	5,1
КФ, в том числе	7916	56,3	6461	40,1	16678	55,2	2740	28,8	1004	24,0	3846	28,1
Copepoda	1768	12,6	2063	12,8	4753	15,7	213	2,2	127	3,0	411	3,0
Euphausiacea	372	2,6	857	5,3	1701	5,6	48	0,5	87	2,1	227	1,7
Hyperiidæ	302	2,1	47	0,3	305	1,0	79	0,8	7	0,2	60	0,4
Chaetognatha	4966	35,3	2146	13,3	7302	24,2	1715	18,0	592	14,2	2322	17,0
Coelenterata	182	1,3	666	4,1	1242	4,1	606	6,4	65	1,6	488	3,6
Mysidacea	118	0,8	251	1,6	505	1,7	19	0,2	3	0,1	16	0,1
Pteropoda	65	0,5	13	0,1	70	0,2	15	0,2	97	2,3	232	1,7
Appendicularia	67	0,5	13	0,1	72	0,2	29	0,3	26	0,6	76	0,6
Decapoda	26	0,2	96	0,6	177	0,6	7	0,1	0	0	5	0
Прочие	49	0,4	310	1,9	552	1,8	9	0,1	1	0	7	0,1
Площадь, тыс. км²	161,32		140,64		301,96		95,0		41,80		136,80	

в 2007 г. сагитты, копеподы (*E. bungii*, *N. cristatus*, *C. glacialis*) и эвфаузииды (*Th. raschii*), в 2008 г. — сагитты и эвфаузииды (*Th. raschii*), а также аппедикуляррии, за счет *Oikopleura vanhoeffeni*. В 2010 г. происходил значительный рост биомассы копепод, эвфаузиид, сагитт, ее величина стала в 3–5 раз выше, чем в предыдущие

Таблица 8

Биомасса (мг/м³) и плотность (т/км²) фито- и зоопланктона, фракций зоопланктона и групп крупной фракции в южной части Чукотского моря

Table 8

Biomass (mg/m³) and distribution density (t/km²) of phyto- and zooplankton, size fractions of zooplankton and taxonomic groups of the large-sized fraction in the southwestern Chukchi Sea

Группа планктона	2003 г.		2008 г.		2010 г.		2007 г.				
	Юго-западная часть моря										Юго-восточная
	Мг/м³	Т/км²	Мг/м³	Т/км²	Мг/м³	Т/км²	Мг/м³	Т/км²	Мг/м³	Т/км²	
Фитопланктон	674,1	31,7	80,2	4,0	474,4	23,9	1683,0	79,0	0	0	
Зоопланктон	796,6	37,4	876,8	40,0	2348,0	118,1	660,8	31,1	1228,0	49,3	
МФ	165,7	7,8	26,8	1,2	121,6	6,1	41,5	2,0	169,5	6,8	
СФ	228,5	10,7	58,6	2,7	139,0	7,0	51,8	2,4	451,0	18,1	
КФ, в том числе	402,4	18,9	791,4	36,0	2088,0	105,0	567,5	26,7	607,7	24,4	
Chaetognatha	51,1	2,4	323,2	14,9	1137,0	57,2	281,7	13,2	77,0	3,1	
Copepoda	214,5	10,1	118,3	5,4	427,2	21,5	139,1	6,5	241,5	9,7	
Euphausiacea	75,9	3,6	268,6	12,4	454,4	22,9	43,9	2,1	267,2	10,7	
Amphipoda	0	0	27,8	1,3	54,8	2,8	8,1	0,4	2,2	0,1	
Pteropoda	1,3	0,1	–	–	–	–	3,1	0,1	0,8	0	
Coelenterata	3,4	0,2	–	–	–	–	1,5	0,1	8,6	0,3	
Appendicularia	–	–	49,4	2,3	–	–	69,7	3,3	2,7	0,1	
Decapoda	1,3	0,1	1,9	0,1	3,0	0,1	2,4	0,1	6,1	0,2	
Прочие	54,9	2,5	2,2	0,1	11,4	0,6	18,0	0,9	1,4	0,1	
Площадь, тыс. км²	46,74		93,80		104,50		140,41		40,11		
Сроки выполнения	24–28.08		02–08.09		07–17.09		11–22.08		05–12.09		

годы, наблюдалось широкое распространение не только берингоморских вод, но и на востоке района — аляскинской прибрежной водной массы. Основной вклад в биомассу вносили сагитты, копеподы (*C. glacialis*, р. *Pseudocalanus* и *E. bungii*) и эвфаузииды (*Th. raschii*). Высокая биомасса, возможно, связана с более длительным существованием зоопланктона в благоприятных условиях, съемка проводилась в более поздний срок по сравнению с предыдущими годами, в сентябре [Фигуркин, Слабинский, 2012].

В юго-западной части моря в августе 2007 г. общая плотность зоопланктона составляла 31,1 т/км² за счет крупной фракции — 26,7 т/км², ее определяли сагитты и копеподы (*E. bungii*, *N. cristatus*, *C. glacialis*) и эвфаузииды (*Th. raschii*). В сентябре 2007 г. в юго-восточной части наблюдались высокие показатели общей плотности зоопланктона — 49 т/км², за счет крупной (24 т/км²) и средней (18,1 т/км²) фракций. Основной вклад в общую биомассу зоопланктона вносили копеподы средней фракции *C. abdominalis* — вид аляскинской прибрежной водной массы — и виды берингоморского комплекса: копеподы (*E. bungii*, *C. glacialis/marshallae*) и эвфаузииды (*Th. raschii*). Этот период наблюдений можно характеризовать как переходный от биологического лета к осени, для этого времени характерны убыль фитопланктона, увеличение биомассы прибрежных копепод *C. abdominalis*, максимумы биомассы копепод р. *Pseudocalanus*, *O. similis*, личинок двустворчатых моллюсков, что и отмечено в 2007 г. [Волков, Murphy, 2007]. В 2007 г. наблюдалась интенсификация залива тихоокеанских вод, было зафиксировано наибольшее количество берингоморских вод как по площади распространения, так и по объему, и температурный фон был рекордно высоким [Фигуркин, Слабинский, 2012]. Как отмечали американские исследователи [Волков, Murphy, 2007; Eisner et al., 2013; Gann et al., 2013], в период 2002–2011 гг. скорость течения сильно возрастала при движении через Берингов пролив, и в южной его части было большое количество крупного зоопланктона.

Как видно, плотность зоопланктона и его крупной фракции в 2019 г. (48–40 т/км²) находилась на уровне плотности в годы значительного поступления в этот район берингоморских вод в 2008 г. (40–36 т/км²). В северо-западном районе в 2019 г. плотность зоопланктона выше только за счет сагитт (табл. 7).

В юго-восточной части моря в 2019 г. общая плотность зоопланктона всех фракций была на уровне 2007 г. (49 т/км², крупной — 24 т/км²), но выше, чем в 2017 г. В 2019 г. температурный фон был выше, чем в 2017 г., преобладающей стала берингоморская водная масса, биомасса зоопланктона в 2019 г. была почти в 3 раза выше, чем в 2017 г. (1219,0 и 408,3 мг/м³) [Кузнецова, 2018]. Доминировал зоопланктон крупной фракции — 678,7 мг/м³ и мелкой — 383,6 мг/м³, где в значительном количестве были науплии, ранние стадии копепод и личинки донных организмов, что указывало на летнее состояние планктонного сообщества. В 2017 г. наблюдалось снижение влияния тихоокеанских вод на шельф Чукотского моря и в зоне взаимодействия этих вод с Аляскинским прибрежным течением прослеживались высокие биомассы фитопланктона (664,0 мг/м³), зоопланктона мелкой фракции (243,5 мг/м³), биомасса крупной фракция составляла всего 142,9 мг/м³. Состояние планктонного сообщества характеризовалось как весенне-летнее, биомасса не достигла максимальных значений [Кузнецова, 2018]. Общая плотность зоопланктона всех фракций в 2019 г. была выше, чем в 2017 г., на уровне 2007 г. (табл. 7, 9).

Таблица 9

Биомасса (мг/м³) и плотность (т/км²) фито- и зоопланктона, фракций зоопланктона и групп крупной фракции в восточной части Чукотского моря

Table 9

Biomass (mg/m³) and distribution density (t/km²) of phyto- and zooplankton, size fractions of zooplankton and taxonomic groups of the large-sized fraction in the eastern Chukchi Sea

Группа планктона	2017 г.				2007 г.	
	Северо-восточный		Юго-восточный		Мг/м ³	Т/км ²
	Мг/м ³	Т/км ²	Мг/м ³	Т/км ²		
Фитопланктон	40,6	3,9	664,0	27,8	0	0
Зоопланктон	241,6	22,9	408,3	17,1	1228,0	49,3
МФ	83,0	7,9	243,5	10,2	169,5	6,8
СФ	5,1	0,5	21,8	0,9	451,0	18,1
КФ, в том числе	153,5	14,6	143,0	6,0	607,7	24,4
Chaetognatha	52,8	5,0	77,8	3,3	77,0	3,1
Copepoda	34,9	3,3	13,8	0,6	241,5	9,7
Euphausiacea	3,1	0,3	27,6	1,2	267,2	10,7
Hyperidae	3,3	0,3	1,0	0	2,2	0,1
Pteropoda	35,8	3,4	19,7	0,8	0,8	0
Coelenterata	22,3	2,1	2,5	0,1	8,6	0,3
Appendicularia	0	0	0,2	0	2,7	0,1
Decapoda	1,1	0,1	0,2	0	6,1	0,2
Прочие	0	0	0	0	1,4	0,1
Площадь, тыс. км ²	95,0		41,80		40,11	
Сроки выполнения	29.08–13.09		19–26.09		05–12.09	

Таким образом, состав и структура планктонного сообщества зависят от распространения на шельфе Чукотского моря тех или иных водных масс: с одной стороны, арктических вод из Восточно-Сибирского моря, поступающих в северо-западную часть моря, арктических вод и моря Бофорта — в северо-восточную, с другой — берингоморских вод (берингоморская шельфовая, анадырская и аляскинская прибрежные водные массы), поступающих через Берингов пролив в южную часть моря, и в юго-западной части моря поступление сибирских вод через прол. Лонга. Увеличение притока и скорости поступления теплой берингоморской воды влияет на состав и

количество чукотского зоопланктона. Более ранние сроки наступления потепления в Беринговом море, высокий температурный фон влияют не только на состав и биомассу зоопланктона, но и на состояние планктонного сообщества Чукотского моря, создавая более длительный период благоприятных условий.

Заключение

В северных районах Чукотского моря максимальная биомасса фитопланктона достигала 1785 мг/м³ в северо-западной части и 977 мг/м³ — в северо-восточной. В северном районе наблюдался весенний и поздне-весенний период развития планктона. В южной части моря состояние планктонного сообщества можно охарактеризовать как летнее, отмечены низкие концентрации фитопланктона и присутствие в планктоне в значительном количестве науплий и ранних стадий копепоид и личинок донных организмов.

Состав и структура планктонного сообщества зависят от распространения на шельфе Чукотского моря тех или иных водных масс. В северной части моря общая биомасса зоопланктона была 535,0 мг/м³ в западной части моря и 684,5 мг/м³ — в восточной. Повсеместно основу биомассы крупной фракции составляли сагитты *P. elegans*. В северо-западной части Чукотского моря доминировали копепоиды арктического и арктическо-бореального комплекса: *C. glacialis* и занесенные из Восточно-Сибирского моря. В северо-восточной части моря биомассу крупной фракции определяли медузы *A. digitale*, также копепоиды *C. glacialis* и виды арктических вод и моря Бофорта, а также виды мелкой и средней фракций, что говорит о влиянии Аляскинского прибрежного течения. В южной части Чукотского моря, на акватории, занятой берингоморскими водами, общая биомасса зоопланктона была в 2 раза выше и составляла 996,7 мг/м³ в западной части моря и 1219,0 мг/м³ — в восточной. Здесь доминировали виды берингоморского комплекса, проникающие из Берингова моря: *E. bungii*, *N. plumchrus/flemingeri*, в меньшей степени *N. cristatus*. В восточной части в прибрежье преобладали также неритические виды, характерные для аляскинской прибрежной водной массы. Мелкие поверхностные виды рода *Pseudocalanus* входили в тройку доминирующих видов во всех районах моря.

В 2019 г. общая плотность зоопланктона в северо-западной части моря составила 65 т/км², доминировала крупная фракция — 56 т/км², за счет сагитт (35 т/км²) и копепоид (13 т/км²). В юго-западной части моря плотность зоопланктона и его крупной фракции в 2019 г. (48 и 40 т/км²) находилась на уровне биомассы зоопланктона в годы значительного поступления в этот район берингоморских вод (2008 г. — 40 и 36 т/км²).

В восточной акватории моря общая плотность зоопланктона на севере составила 44 т/км² (КФ — 29 т/км², МФ — 12 т/км²), на юге — 43 т/км² (КФ — 24, МФ — 14), что выше, чем в 2017 г., — 15 т/км² (КФ — 5 и МФ — 9), но меньше, чем в 2007 г., — 49 т/км² (КФ — 24, СФ — 18). Состояние планктонного сообщества в 2019 г. — летнее, в 2017 г. — весенне-летнее, а в 2007 г. — позднелетнее.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы глубоко признательны сотрудникам ВНИРО И.В. Григорову и ПИНРО А.Н. Бензику, американским исследователям E.V. Farley и K. Cieciel, а также членам экипажа и научной группы НИС «Профессор Леванидов» и «Ocean Starr», помогавшим и принимавшим участие в сборе проб зоопланктона.

Authors are deeply thankful to their co-workers I.V. Grigorov (VNIRO), A.N. Benzik (PINRO), and American scientists E.V. Farley and K. Cieciel, as well to the crews and researchers of RV Professor Levanidov and RV Ocean Strarr for their assistance in sampling of zooplankton.

Финансирование (FUNDING)

В российских водах Чукотского моря в соответствии с Планом ресурсных исследований и государственного мониторинга водных биоресурсов на 2019 г., утвержденным приказом Федерального агентства по рыболовству от 30 ноября 2018 г. № 701 (пп. 22–25, 38, 91, 92).

Комплексное исследование арктических экосистем (Arctic IES) финансируется в рамках Программы исследований арктических комплексных экосистем Северного Тихоокеанского совета по исследованиям (NPRB) (IERP; <http://www.nprb.org/arctic-program/>).

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The survey in the western Chukchi Sea within the Russian EEZ was funded by Federal Fishery Agency of Russia, according to the Plan of resource research and state monitoring of water bioresources for 2019 (order № 701 dated November 30, 2018).

Ecosystem studies in the eastern Chukchi Sea are funded by North Pacific Research Board (NPRB) within the Program of integrated study of the Arctic ecosystems (IERP; <http://www.nprb.org/arctic-program/>).

The study had no any 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.

Authors claim that they have no conflicts of interests. All applicable international, national and/or institutional guidelines for the use of animals have been followed.

Список литературы

Богоров В.Г. Особенности сезонных явлений в планктоне полярных морей и их значение для ледовых прогнозов // Зоол. журн. — 1939. — Т. 18, вып. 5. — С. 735–747.

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. 139. — С. 355–367.

Бродский К.А. Веслоногие рачки Calanoida дальневосточных морей СССР и Полярного бассейна : моногр. — М. ; Л. : АН СССР, 1950. — 442 с. (Определители по фауне СССР, изд. ЗИН АН СССР, т. 35.)

Бродский К.А., Вышкварцева Н.В., Кос М.С., Мархасева Е.Л. Веслоногие ракообразные (Copepoda: Calanoida) морей СССР и сопредельных вод : моногр. — Л. : Наука, 1983. — Т. 1. — 358 с. (Определители по фауне СССР, изд. ЗИН АН СССР, вып. 135.)

Виркетис М.А. Зоопланктон Чукотского моря и Берингова пролива // Крайний Северо-Восток Союза СССР. Т. 2 : Флора и фауна Чукотского моря. — М. : АН СССР, 1952. — С. 323–335.

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 : моногр. — М. ; Обнинск : ИГ-СОЦИН, 2017. — 640 с.

Зенкевич Л.А. Биология морей СССР : моногр. — М. : АН СССР, 1963. — 739 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.

Кособокова К.Н. Зоопланктон Арктического бассейна. Структура сообществ, экология, закономерности распределения : моногр. — М. : ГЕОС, 2012. — 272 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., 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.

Плотников В.В., Вакульская Н.М., Мезенцева Л.И. и др. Изменчивость ледовых условий в Чукотском море и их связь с арктической осцилляцией // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 1. — С. 155–167. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-155-167.

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.

Яшнов В.А. Планктическая продуктивность северных морей СССР. — М. : МОИП, 1940. — 86 с.

Danielson S.L., Weingartner T.J., Hedstrom K.S. et al. Coupled wind-forced controls of the Bering–Chukchi shelf circulation and the Bering Strait throughflow: Ekman transport, continental shelf waves, and variations of the Pacific–Arctic sea surface height gradient // Prog. Oceanogr. — 2014. — Vol. 125. — P. 40–61.

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. — № 36. — 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.

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.

Khen G.V., Basuk E.O., Kivva K., Matveev V.I. Summer water masses and fish communities in the north-western Bering and western Chukchi Seas in 2003–2010 // PICES-2016. 25 Year of PICES: Celebrating the Past, Imagining the Future. — San Diego, 2016. — P. 112.

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

Bogorov, V.G., Features of seasonal phenomena in the plankton of the polar seas and their importance for ice forecasts, *Zool. Zh.*, 1939, vol. 18, no. 5, pp. 735–747.

Borisov, B.M., Volkov, A.F., Gobatenko, 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.

Brodsky, K.A., *Opredeliteli po faune, izdavaemye zoologicheskim institutom akademii nauk SSSR. T. 35. Veslonogiye rakhki Calanoida dal'nevostochnykh morey SSSR i Polyarnogo basseyna* (Keys to Fauna Published by the Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, vol. 35: Copepods Calanoida of the Far Eastern seas of the USSR and the Polar Basin), Leningrad: Akad. Nauk SSSR, 1950.

Brodskiy, K.A., Vyshkvartseva, N.V., Kos M.S., and Markhaseva, E.L., *Opredeliteli po faune, izdavaemye zoologicheskimi institutami akademii nauk SSSR. T. 135. Veslonogiye rakoobraznyye (Copepoda: Calanoida) morey SSSR i sopredel'nykh vod* (Keys to Fauna Published by the Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, vol. 135: Copepods (Copepoda: Calanoida) of the seas of the USSR and adjacent waters), Leningrad: Nauka, 1983, vol. 1.

Virketis, M.A., Zooplankton of the Chukchi Sea and Bering Strait, in *Krayniy Severo-Vostok Soyuz SSSR. T. 2: Flora i fauna Chukotskogo morya* (Extreme North-East of the USSR. Vol. 2: Flora and fauna of the Chukchi Sea), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1952, pp. 323–335.

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, in *Byull. N 2 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinnoi 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., *Ledovyye usloviya morey aziatskoy chasti Rossii* (Ice conditions of the seas of the Asian part of Russia, Moscow; Obninsk: IG-SOCIN, 2017.

Zenkevich, L.A., *Biologiya morey SSSR* (Biology of the seas of the USSR), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1963.

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.

Kosobokova, K.N., *Zooplankton Arkticheskogo basseyana. Struktura soobshchestv, ekologiya, zakonomernosti raspredeleniya* (Zooplankton of the Arctic Basin. Community structure, ecology, distribution patterns), Moscow: GEOS, 2012.

Coachman, L.K., Aagaard, K., and 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 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 basseinnoi 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.

Plotnikov, V.V., Vakulskaya, N.M., Mezentseva, L.I., Dubina, V.A., and Pustoshnova, V.I., Variability of the ice conditions in the Chukchi Sea and their links with Arctic Oscillation, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 1, pp. 155–167. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-155-167

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.

Yashnov, V.A., *Planktonicheskaya produktivnost' severnykh morey SSSR* (Planktic productivity of the northern seas of the USSR), Moscow: Mosk. O-vo Ispyt. Prir., 1940.

Danielson, S.L., Weingartner, T.J., Hedstrom, K.S., Aagaard, K., Woodgate, R., Curchitser, E., and Stabeno, P.J., Coupled wind-forced controls of the Bering–Chukchi shelf circulation and the Bering Strait throughflow: Ekman transport, continental shelf waves, and variations of the Pacific–Arctic sea surface height gradient, *Prog. Oceanogr.*, 2014, vol. 125, pp. 40–61.

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

Ershova, E.A., Hopcroft, R.R., Kosobokova, K.N., Matsuno, K., Nelson, R.J., Yamaguchi, A., and Eisner, L.B., Long-term changes in summer zooplankton communities of the western Chukchi Sea, 1945–2012, *Oceanography*, 2015, vol. 28, no. 3, pp. 100–115. doi 10.5670/oceanog.2015.60

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.

Khen, G.V., Basuk, E.O., Kivva, K., and Matveev, V.I., Summer water masses and fish communities in the north-western Bering and western Chukchi Seas in 2003–2010, in *PICES-2016, 25 Year of PICES: Celebrating the Past, Imagining the Future*, San Diego: PICES, 2016, p. 112.

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

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, no. 24, p. L24603. doi 10.1029/2012GL054092

Farley, E., Cieciel, 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., Juranek, 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, 118 p.

Поступила в редакцию 21.09.2021 г.

После доработки 2.12.2021 г.

Принята к публикации 25.02.2022

*The article was submitted 21.09.2021; approved after reviewing 2.12.2021;
accepted for publication 25.02.2022*

Научная статья

УДК 574.587(268.5)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-146-160



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ ГРУПП И ДОМИНИРУЮЩИХ ВИДОВ МАКРОБЕНТОСА МОРЕЙ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

Е.В. Колпаков, С.А. Нужденко, Д.А. Соколенко*Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. В августе-сентябре 2015 г. в ходе рейса НИС «ТИНРО» проведена дночерпательная съемка макробентоса мягких грунтов шельфовой зоны двух арктических морей. В Восточно-Сибирском море исследованиями охвачен участок дна площадью 32,8 тыс. км² в диапазоне глубин 15–34 м; в море Лаптевых — 22,5 тыс. км² и 45–96 м. В составе донной фауны Восточно-Сибирского моря выявлено 13 таксономических групп, в море Лаптевых — 20. Основной вклад в создание общей биомассы донных организмов в первом водоеме вносили *Bivalvia* (75,9 %), во втором — *Polychaeta* (34,1 %), *Bivalvia* (27,7 %) и *Sipuncula* (21,2 %). В сравнении с данными прошлых лет в нижнем отделе шельфа моря Лаптевых на глубинах более 70 м выявлены существенные изменения в структуре донных сообществ. В местах прежнего доминирования *Ophiuroidea* теперь лидирующее положение принадлежит *Sipuncula*. Возрастание роли *Sipuncula* в общей биомассе бентосных животных рассматривается в контексте глобального потепления климата. Биомассообразующие категории макробентоса занимают всю или почти всю площадь обследованных участков дна, но при этом характеризуются неравномерным и отличным друг от друга количественным распределением. Слагающие их виды-доминанты относятся к разным трофическим группировкам. В зависимости от условий обитания в придонном слое они формируют разобщенные зоны преобладания сестонофагов и детритофагов. Средняя плотность поселения и биомасса макробентоса в Восточно-Сибирском море составили соответственно 881 ± 174 экз./м² и $149,2 \pm 25,5$ г/м²; в море Лаптевых — 251 ± 32 экз./м² и $71,0 \pm 13,0$ г/м².

Ключевые слова: макробентос, распределение, плотность поселения, биомасса, Восточно-Сибирское море, море Лаптевых.

Для цитирования: Колпаков Е.В., Нужденко С.А., Соколенко Д.А. Распределение основных таксономических групп и доминирующих видов макробентоса морей восточной Арктики // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 146–160. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-146-160.

* Колпаков Евгений Викторович, главный специалист, kolpakovternei@mail.ru; Нужденко Сергей Анатольевич, ведущий специалист, sergey.nuzhdenko@tinro-center.ru; Соколенко Дмитрий Анатольевич, заведующий лабораторией, dmitriy.sokolenko@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-4431-6571.

Distribution of the main taxa and dominant species of macrobenthos in the seas of the East Arctic

Eugeny V. Kolpakov*, Sergey A. Nuzhdenko**, Dmitry A. Sokolenko***

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

* chief specialist, kolpakovternei@mail.ru

** leading specialist, sergey.nuzhdenko@tinro-center.ru

*** head of laboratory, dmitriy.sokolenko@tinro-center.ru

Abstract. Macrobenthos of soft bottoms on the shelf of two Arctic seas was investigated in the survey conducted aboard RV TINRO in August–September 2015. The area of 32,800 km² in the depth range of 15–34 m was researched in the East Siberian Sea where 13 taxonomic groups of bottom fauna were found, mainly Bivalvia (75.9 % by biomass). The area of 22,500 km² in the depth range of 45–96 m was surveyed in the Laptev Sea, where 20 groups of macrobenthos were identified, with predominance of Polychaeta (34.1 %), Bivalvia (27.7 %), and Sipuncula (21.2 %), by biomass. Significant changes in structure of benthic communities are revealed on the external shelf of the Laptev Sea (below of 70 m), in comparison with the data of previous years, possibly caused by warming of the environments: the previously dominated group of Ophiuroidea was replaced by Sipuncula. Although the dominant groups were widely occurred, their quantitative distribution was neither uniform nor similar. The dominant species had different trophic habits and occupied disjointed zones with domination of sestonophages or detritophages, in dependence on the habitat conditions. The average abundance and biomass of macrobenthos were assessed as 881 ± 174 ind./m² and 149.2 ± 25.5 g/m² in the East Siberian Sea, and 251 ± 32 ind./m² and 71.0 ± 13.0 g/m² in the Laptev Sea, respectively.

Keywords: macrobenthos, benthos distribution, benthos abundance, benthos biomass, East Siberian Sea, Laptev Sea.

For citation: Kolpakov E.V., Nuzhdenko S.A., Sokolenko D.A. Distribution of the main taxa and dominant species of macrobenthos in the seas of the East Arctic, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 146–160. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-146-160.

Посвящается светлой памяти
Виктора Александровича Надточего
(1957–2019)

Введение

Изучение биоты восточных арктических морей продолжается на протяжении многих лет [Горбунов, 1946; Голиков и др., 1990; Петряшев и др., 1994, 2004; Piepenburg, Schmid, 1997; Сиренко, 1998, 2004; Сиренко, Алимов, 2004; Гуков, 2013; и др.]. В 2015 г. к этим исследованиям подключились ученые ТИНРО. С целью оценки состояния сырьевой базы ими в период с августа по сентябрь проведено комплексное обследование двух локальных участков шельфовой зоны Восточно-Сибирского моря и моря Лаптевых. Сбор материала шел по разным направлениям и включал выполнение траловой, гидрологической, планктонной и бентосной съемок. Полученные результаты оказались довольно интересными и порой неожиданными, однако большая их часть остается неопубликованной. Это касается и данных по дночерпательному макробентосу [Глебов и др., 2016а, б]. В литературе лишь кратко освещаются сведения по составу и роли крупных таксонов в формировании их общей биомассы.

Цель работы заключалась в выяснении количественного распределения преобладающих по биомассе таксономических групп и видов макробентоса на шельфе Восточно-Сибирского моря и моря Лаптевых в летне-осенний период 2015 г.

Материалы и методы

Материал собран в экспедиции на НИС «ТИНРО» в августе-сентябре 2015 г. Обследовано два локальных участка дна. В Восточно-Сибирском море в диапазоне

глубин 15–34 м на площади 32,8 тыс. км² выполнено 20 бентосных станций; в море Лаптевых — соответственно 45–96 м, 22,5 тыс. км² и 13 станций* (рис. 1). Количественный учет произведен с помощью дночерпателя Ван-Вина (площадь вырезания 0,1 м²) в трех повторностях на каждой станции. Глубину определяли эхолотом. Тип донных осадков оценивали визуально (табл. 1). Пробы промывали на палубе в металлическом сите с ячейей 1 мм и до фиксации 4 %-ным раствором формалина подвергали первичной обработке. В ее ходе организмы разбирали по таксономическим группам, подсчитывали и после обсушивания на фильтровальной бумаге взвешивали в прижизненном состоянии на электронных весах с точностью до 0,01 г. Идентификацию видов основных категорий макробентоса проводили в лабораторных условиях. Построение графических карт и расчет ресурсов макробентоса осуществляли в ГИС MapInfo Professional.

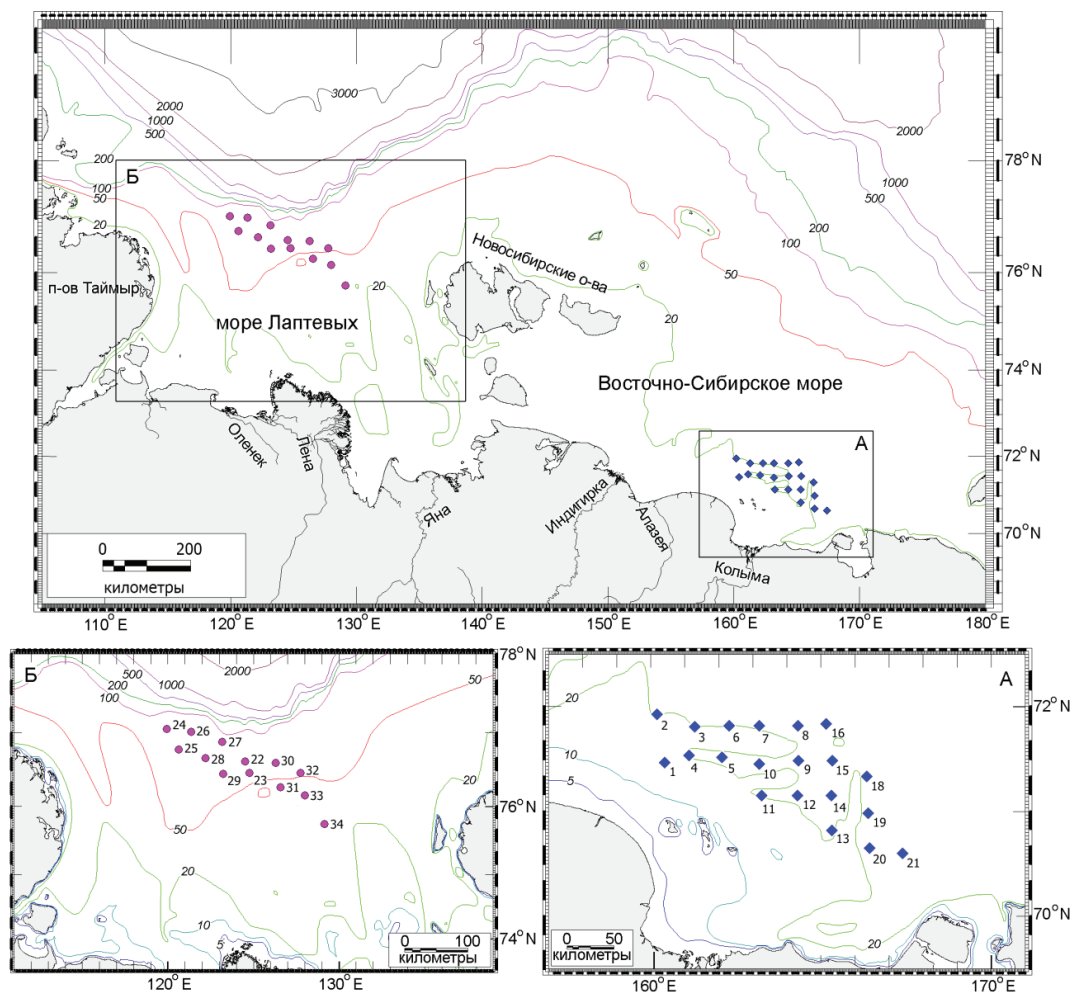


Рис. 1. Схема дночерпательных станций в Восточно-Сибирском море (А) и море Лаптевых (Б) в августе-сентябре 2015 г.

Fig. 1. Scheme of bottom samplings in the East Siberian Sea (А) and Laptev Sea (Б) in August-September, 2015

* Планирование дночерпательных станций, отбор и первичная обработка бентосных проб выполнена зав. лабораторией бентоса Тихоокеанского филиала ВНИРО (ТИНРО) к.б.н. В.А. Надточим.

Таблица 1

Станции отбора проб и показатели обилия макробентоса в Восточно-Сибирском море (ст. 1–21) и в море Лаптевых (ст. 22–34) в августе-сентябре 2015 г.

Table 1

Abundance and biomass of macrobenthos in the East Siberian Sea (stations 1–21) and Laptev Sea (stations 22–34) in August-September 2015

Станция	Дата	Координаты		Глубина, м	Грунт	Р, экз./м ²	В, г/м ²
		N	E				
1	15.08	71°48'3"	160°42'8"	15	И	1834,83	178,62
2	15.08	71°94'1"	160°20'2"	21	И	449,55	206,79
3	15.08	71°82'6"	161°30'3"	20	Гл	19,98	2,78
4	16.08	71°55'0"	161°13'3"	21	И	412,92	102,07
5	16.08	71°53'3"	162°10'0"	22	И	526,14	107,94
6	16.08	71°83'3"	162°31'7"	20	И	179,82	14,88
7	17.08	71°83'3"	163°20'0"	23	И	902,43	69,58
8	17.08	71°83'3"	164°33'3"	24	И	1425,24	204,77
9	17.08	71°50'0"	164°35'0"	23	И	932,40	91,05
10	18.08	71°46'7"	163°20'0"	23	И	342,99	292,81
11	18.08	71°16'7"	163°26'7"	23	И	905,76	194,86
12	18.08	71°16'7"	164°31'7"	23	И	402,93	474,91
13	19.08	70°83'3"	165°33'3"	24	И	369,63	21,27
14	19.08	71°16'7"	165°31'7"	23	И	1085,58	150,39
15	19.08	71°50'0"	165°35'0"	24	И	352,98	40,59
16	20.08	71°85'0"	165°16'7"	23	И	439,56	29,97
18	22.08	71°35'0"	166°35'0"	24	И	2677,32	251,14
19	22.08	71°00'0"	166°40'0"	26	И	2877,12	219,94
20	22.08	70°66'7"	166°43'3"	26	И	616,05	161,51
21	23.08	70°61'7"	167°40'0"	34	Гл-И	859,14	168,88
22	01.09	76°61'7"	124°51'7"	83	Гл-И	203,13	45,12
23	01.09	76°46'7"	124°75'0"	63	Гл-И	389,61	23,50
24	06.09	77°05'0"	119°93'3"	83	Гл-И	153,18	92,45
25	06.09	76°78'3"	120°61'7"	70	Гл-И	319,68	75,11
26	06.09	77°01'7"	121°35'0"	76	Гл-И	253,08	94,31
27	06.09	76°88'3"	123°18'3"	96	Гл-И	96,57	60,85
28	06.09	76°66'7"	122°18'3"	85	Гл-И	166,50	17,04
29	06.09	76°45'0"	123°21'7"	70	Гл-И	116,55	19,81
30	07.09	76°60'0"	126°30'0"	55	Гл-И	236,43	60,11
31	07.09	76°26'7"	126°56'7"	48	Гл-И	263,07	49,58
32	07.09	76°46'7"	127°75'0"	52	Гл-И	283,05	93,78
33	07.09	76°15'0"	128°00'0"	47	Гл-И	519,48	192,48
34	07.09	75°75'0"	129°13'3"	45	Гл-И	263,07	99,40

Примечание. И — ил; Гл — глина; Гл-И — глинистый ил; Р — плотность поселения; В — биомасса.

Результаты и их обсуждение

Восточно-Сибирское море

Таксономический состав. С биогеографической точки зрения обследованный нами участок Восточно-Сибирского моря входит в состав фаунистически обедненного Полиэвгалинного округа Сибирской солонатоводной провинции [Петряшев и др., 2010]. В составе макробентоса зарегистрировано 13 таксономических групп животных (табл. 2). На всех или подавляющем большинстве станций присутствовали Polychaeta,

Таблица 2

Состав и количественные характеристики макробентоса на шельфе
Восточно-Сибирского моря в августе 2015 г.
[по: Глебов и др., 2016а с уточнениями и дополнениями]

Table 2

Taxonomic composition, abundance and biomass of macrobenthos
on shelf of the East Siberian Sea in August 2015
[from: Glebov et al., 2016, with corrections and additions]

Таксон	Плотность поселения, экз./м ²				Биомасса, г/м ²				ЧВ, %
	Mean	%	Min	Max	Mean	%	Min	Max	
Hydrozoa	—	—	—	—	0,07 ± 0,07	0,04	1,33	1,33	5
Nemertea	0,33 ± 0,20	0,04	3	3	0,16 ± 0,13	0,11	0,10	2,49	10
Priapulida	0,33 ± 0,20	0,04	3	3	0,37 ± 0,26	0,25	3,00	4,50	10
Polychaeta	47,95 ± 9,60	5,45	3	183	14,75 ± 2,56	9,88	1,33	39,96	100
Sipuncula	1,50 ± 1,20	0,17	3	23	2,01 ± 1,24	1,35	6,99	22,31	15
Amphipoda	103,06 ± 19,80	11,70	7	276	5,03 ± 1,08	3,37	0,33	19,31	95
Cumacea	2,66 ± 1,10	0,30	3	20	0,08 ± 0,05	0,06	0,01	0,92	35
Isopoda	13,82 ± 2,80	1,57	3	37	9,55 ± 2,35	6,40	0,27	38,30	90
Gastropoda	7,99 ± 2,00	0,91	3	33	0,77 ± 0,46	0,52	0,03	9,26	70
Bivalvia	701,3 ± 166,90	79,64	3	2634	113,41 ± 23,58	75,99	0,09	426,24	100
Holothurioidea	0,33 ± 0,20	0,04	3	3	0,45 ± 0,45	0,30	0,03	8,99	10
Asteroidea	0,17 ± 0,20	0,02	3	3	1,20 ± 1,20	0,80	23,98	23,98	5
Ascidacea	1,17 ± 0,44	0,13	3	7	1,37 ± 0,69	0,92	1,17	12,32	30
Всего	880,62 ± 174,40	100			149,24 ± 25,52	100			

Примечание. ЧВ — частота встречаемости.

Bivalvia, Amphipoda и Isopoda (частота встречаемости 90–100 %). Несколько реже попадались Gastropoda (70 %). Слабую представленность имели Hydrozoa, Nemertea, Priapulida, Sipuncula, Holothurioidea и Asteroidea. Частота их встречаемости не превышала 15 %. На одной станции одновременно находилось от 4 до 12 групп, но обычно их было 5–7 (в 85 % случаев).

Распределение макробентоса. В районе наших исследований плотность поселения макробентоса на илистом субстрате варьировала в широком диапазоне значений — от 20 до 2877 экз./м², биомасса — от 2,8 до 474,9 г/м². На большей площади дна показатели обилия были на уровне 200–2000 экз./м² (85,2 %) и более 100 г/м² (73,1 %). Средняя плотность поселения бентосной фауны составила 881 ± 174 экз./м², а биомасса — 149,2 ± 25,5 г/м² (табл. 2). Для восточной части шельфа Восточно-Сибирского моря в целом характерна повышенная степень количественного развития донного населения [Гуков и др., 2005; Сиренко и др., 2009; Денисенко, 2010; Денисенко и др., 2010; Гуков, 2013; Гуков, Волосникова, 2020].

В пространстве макробентос распределен неравномерно. Имеет мозаичный вид с поочередно сменяющимися друг друга пятнами повышенных и пониженных концентраций. При этом локальные максимумы плотности поселения и биомассы между собой плохо согласуются и отчетливо совпадают только в восточной части полигона (ст. 8, 18–19) (рис. 2). Такие различия обусловлены разным вкладом крупных и мелких особей в общую биомассу. Мелкоразмерные организмы лишь за счет высокой численности способны образовывать внушительные биомассы.

Выявленный пятнистый тип распределения донных животных на сходном типе субстрата свидетельствует о неоднородности условий обитания на дне. В частности, в период проведения съемки западная половина полигона находилась под воздействием распресненных (31 %) и теплых (до 2,5 °C) вод Новосибирского течения, а в его восточной половине прослеживалось влияние более соленых (до 33 %) и холодных (–0,6 °C) вод Чукотского моря [Глебов и др., 2016а].

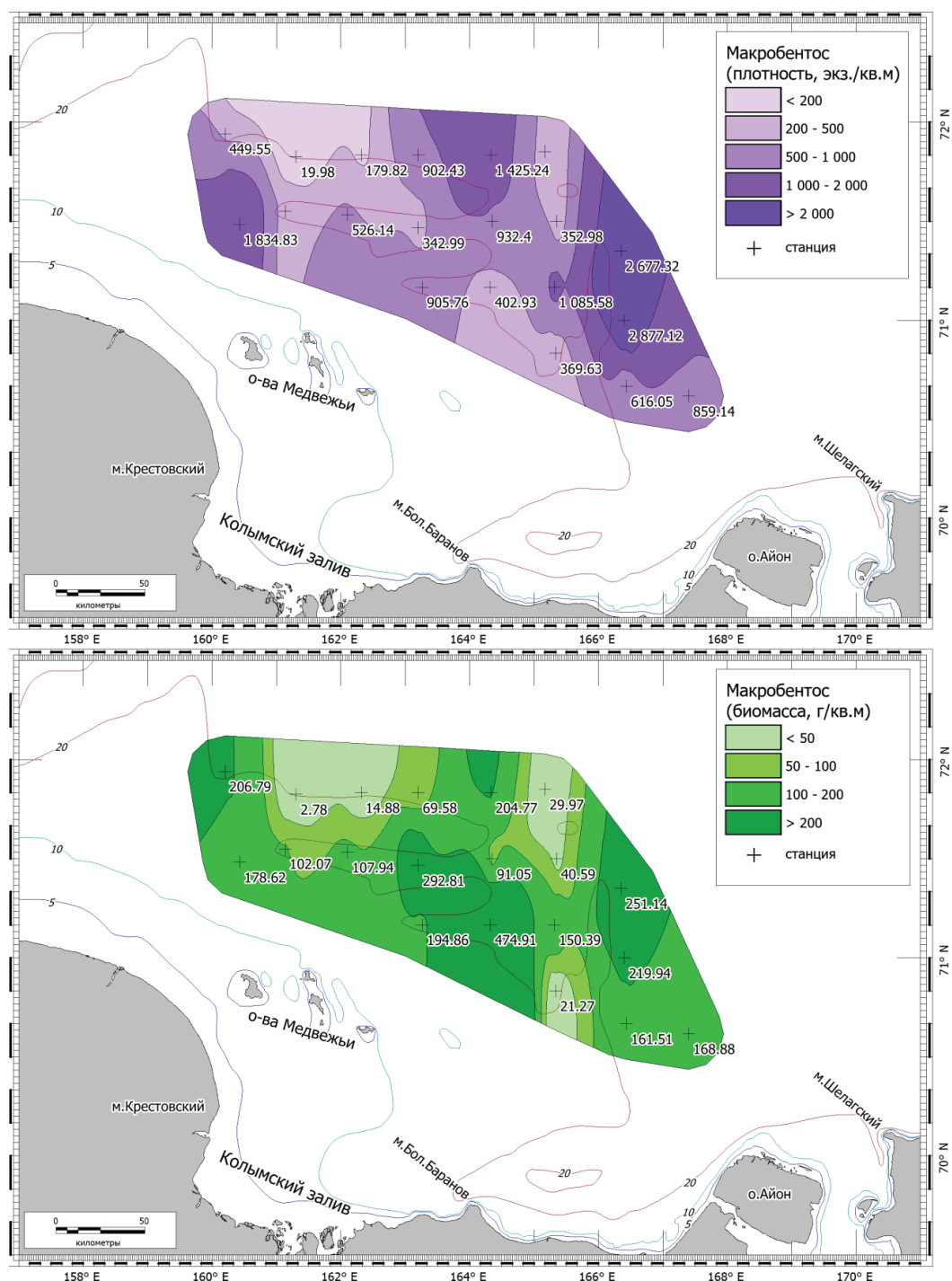


Рис. 2. Распределение плотности поселения (вверху) и общей биомассы (внизу) макробентоса в Восточно-Сибирском море в августе 2015 г.

Fig. 2. Distribution density of macrobenthos in the East Siberian Sea in August 2015 by abundance (upper panel) and total biomass (lower panel)

Основу численности и биомассы бентосной фауны формируют *Bivalvia* (соответственно 79,6 и 76,0 %) (рис. 3). Они же определяют общие черты и характер пространственного распределения макробентоса. На отдельных станциях по численности

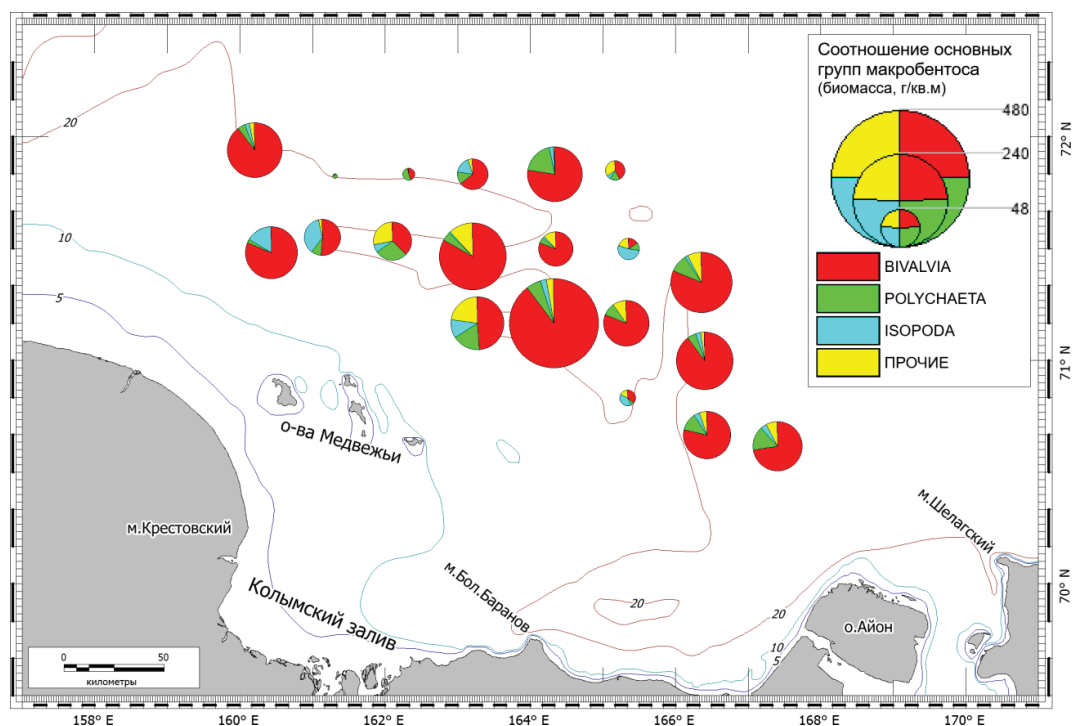


Рис. 3. Распределение доминирующих по биомассе групп макробентоса в Восточно-Сибирском море в августе 2015 г.

Fig. 3. Distribution of biomass for the dominant taxa of macrobenthos in the East Siberian Sea in August 2015

также были заметны Amphipoda (11,7 %) и Polychaeta (5,5 %), по биомассе — Polychaeta (9,9 %) и Isopoda (6,4 %). Их суммарный вклад в общую численность составил 96,8 %, биомассу — 92,3 % (табл. 2).

Распределение доминирующих групп. Ведущие по биомассе таксономические группы представлены обитателями как инфауны (Bivalvia и Polychaeta), так и эпифауны (Isopoda, частью Bivalvia). Их роль на разных участках неодинакова (рис. 3):

— Bivalvia — крупные скопления с биомассой от 150,4 до 426,4 г/м², рассредоточены в пределах всего полигона (ст. 2, 8, 10, 12, 18–19). Доминируют *Portlandia arctica* и *Astarte borealis*. Средняя биомасса двустворчатых моллюсков равнялась $113,4 \pm 23,6$ г/м²;

— Polychaeta — локальные максимумы с биомассой от 24,6 до 40,0 г/м² располагаются преимущественно в центральной и восточной частях полигона (ст. 5, 8, 11–12, 18, 21). Основу дают *Nephtys* sp., *Maldane sarsi* и *Ampharete* sp. Средняя биомасса полихет составила $14,8 \pm 2,6$ г/м²;

— Isopoda — распределение довольно равномерное с несколькими небольшими пиками с биомассой от 21,3 до 38,3 г/м² в западной и центральной частях полигона (ст. 1, 4, 11, 15). Наибольшее значение имеет *Saduria sabini*. Средняя биомасса изопод оказалась равна $9,6 \pm 2,4$ г/м².

Абсолютное преобладание Bivalvia в общем макробентосе Восточно-Сибирского моря является отличительной особенностью этого водоема. В его восточной части ключевыми видами выступают *P. arctica*, *A. borealis* и *Ennucula tenuis* [Денисенко, 2010]. В нашем случае таковыми были первые два вида. Отсутствие в их числе *E. tenuis* хорошо поддается объяснению. Его основные скопления расположены за границами съемки и поэтому нами не были охвачены. Интересным выглядит распределение *P. arctica* и *A. borealis*. Их места обитания слабо соотносятся между собой, а локальные максимумы не

перекрываются. Причем в зонах обилия *P. arctica* повышенные биомассы отмечаются и у других моллюсков-детритофагов — *E. tenuis*, *Macoma calcaria* и *M. moesta*; в случае же с *A. borealis* — наоборот, фильтраторов *Astarte montagui* и *Musculus niger*. Сходная ситуация наблюдается и на участках слабого количественного развития *P. arctica* и *A. borealis*. В первом случае на лидирующие позиции выходит *E. tenuis* (ст. 21), во втором — *A. montagui* (ст. 4–5). В целом прослеживается четкая закономерность: в одних районах преобладают детритофаги (ст. 1, 3, 6–9, 13, 15–19, 21), в других — фильтраторы (ст. 2, 4–5, 10–12, 20). Лишь на одной станции представители данных трофических группировок находились примерно в равном количественном соотношении (ст. 14). Зоны процветания детритофагов обычно формируются в местах с интенсивными процессами осадконакопления, а фильтраторов — с высоким содержанием органического вещества во взвешенном состоянии [Гуков, 2013].

Ресурсы макробентоса. Общий запас дночерпательного макробентоса на площади дна 32,8 тыс. км² оценен в 5100,6 тыс. т (табл. 3). Подавляющая его часть сформирована *Bivalvia* — 3882,6 тыс. т (76,1 %). Вклад других таксономических групп не был весомым. Среди них выделялись *Polychaeta*, *Isopoda*, *Amphipoda* и *Sipuncula*. На их суммарную долю пришлось 21,1 % всех биоресурсов.

Таблица 3
Суммарные ресурсы (тыс. т) и соотношение (%) крупных таксонов макробентоса морей восточной Арктики в 2015 г.

Table 3
Total stock of macrobenthos in the seas of East Arctic in 2015 (10³ t) and its percent composition, by macrotaxa

Таксон	Восточно-Сибирское море		Море Лаптевых	
	Ресурс, тыс. т	Доля, %	Ресурс, тыс. т	Доля, %
Porifera	—	—	2,64	0,15
Hydrozoa	1,78	0,03	0,88	0,05
Anthozoa	—	—	2,13	0,12
Nemertea	5,87	0,12	34,84	2,04
Priapulida	14,39	0,28	4,05	0,24
Polychaeta	511,74	10,03	616,80	36,15
Sipuncula	85,03	1,67	300,95	17,64
Pycnogonida	—	—	0,69	0,04
Amphipoda	165,79	3,25	52,50	3,08
Cumacea	2,59	0,05	14,21	0,83
Isopoda	313,09	6,14	5,11	0,30
Aplacophora	—	—	10,82	0,63
Gastropoda	23,04	0,45	35,40	2,07
Bivalvia	3882,57	76,12	514,70	30,17
Brachiopoda	—	—	0,78	0,05
Holothuriodea	11,17	0,22	10,30	0,60
Asteroidea	38,05	0,75	38,10	2,23
Ophiuroidea	—	—	50,87	2,98
Ascidacea	45,45	0,89	6,57	0,39
Algae	—	—	3,87	0,23
Итого	5100,56	100	1706,21	100
Площадь, тыс. км ²	32,8		22,5	

Море Лаптевых

Таксономический состав. По существующим представлениям обследованный нами участок моря Лаптевых принадлежит к полиэвгалинно-арктическому эколого-биогеографическому району [Петряшев, Новожилов, 2004]. В составе макробентоса

обнаружено 20 таксономических групп животных и растений (табл. 4). Повсеместное распространение имели Polychaeta, Bivalvia и Amphipoda. У Sipuncula, Ophiuroidea, Gastropoda и Cumacea встречаемость равнялась 62–85 %; у Ascidiacea, Asteroidea, Brachiopoda, Holothurioidea, Aplacophora и Nemertea — 15–55 %. Редко попадались Porifera, Hydrozoa, Anthozoa, Priapulida, Pycnogonida, Isopoda и Algae (менее 10 %). На одной станции число групп варьировало от 4 до 12. Повышенное их разнообразие (более 9 групп) выявлено в юго-восточной части полигона с наименьшими глубинами (ст. 30–34).

Таблица 4

Состав и количественные характеристики макробентоса на шельфе моря Лаптевых в сентябре 2015 г. [по: Глебов и др., 2016б с уточнениями и дополнениями]

Table 4

Taxonomic composition, abundance and biomass of macrobenthos on shelf of the Laptev Sea in September 2015 [from: Glebov et al., 2016, with corrections and additions]

Таксон	Плотность поселения, экз./м ²				Биомасса, г/м ²				ЧВ, %
	Mean	%	Min	Max	Mean	%	Min	Max	
Porifera	–	–	–	–	0,08 ± 0,08	0,11	1,00	1,00	8
Hydrozoa	–	–	–	–	0,03 ± 0,03	0,04	0,33	0,33	8
Anthozoa	0,26 ± 0,26	0,10	3	3	0,13 ± 0,13	0,18	1,67	1,67	8
Nemertea	2,05 ± 0,71	0,82	3	7	1,42 ± 0,62	2,00	0,33	6,99	46
Priapulida	0,26 ± 0,26	0,10	3	3	0,36 ± 0,36	0,50	4,66	4,66	8
Polychaeta	100,41 ± 5,58	40,00	7	356	24,25 ± 6,37	34,13	1,83	83,04	100
Sipuncula	5,89 ± 1,20	2,35	3	13	15,07 ± 5,30	21,21	0,10	52,95	85
Pycnogonida	0,26 ± 0,26	0,10	3	3	0,03 ± 0,03	0,04	0,33	0,33	8
Amphipoda	21,52 ± 9,01	8,57	3	117	2,27 ± 0,78	3,20	0,02	9,99	100
Cumacea	3,59 ± 0,96	1,43	3	10	0,66 ± 0,22	0,93	0,02	2,00	62
Isopoda	1,28 ± 1,28	0,51	17	17	0,20 ± 0,20	0,29	2,66	2,66	8
Aplacophora	3,07 ± 0,96	1,22	3	10	0,41 ± 0,17	0,58	0,08	2,00	54
Gastropoda	4,61 ± 1,22	1,84	3	13	1,32 ± 0,54	1,86	0,07	6,66	69
Bivalvia	94,78 ± 25,94	37,75	7	353	19,65 ± 7,44	27,66	0,67	93,24	100
Brachiopoda	1,02 ± 0,79	0,41	3	10	0,03 ± 0,03	0,04	0,03	0,33	15
Holothurioidea	2,31 ± 1,02	0,92	3	10	0,43 ± 0,22	0,60	0,11	2,33	39
Asteroidea	0,77 ± 0,41	0,31	3	3	1,99 ± 1,71	2,79	0,17	22,31	23
Ophiuroidea	7,68 ± 2,45	3,06	3	33	2,20 ± 0,50	3,10	0,67	5,99	85
Ascidiacea	1,28 ± 0,60	0,51	3	7	0,32 ± 0,15	0,45	0,50	1,67	31
Algae	–	–	–	–	0,20 ± 0,20	0,29	2,66	2,66	8
Всего	251,03 ± 31,87	100			71,04 ± 12,97	100			

Примечание. ЧВ — частота встречаемости.

Распределение макробентоса. В районе наших исследований плотность поселения макробентоса на глинистых илах изменялась от 97 до 520 экз./м², биомасса — от 12,2 до 192,5 г/м². На большей площади дна показатели обилия были на уровне 200–400 экз./м² (60,1 %) и менее 100 г/м² (82,8 %). Средняя плотность поселения бентосных организмов составила 251 ± 32 экз./м², биомасса — 71,0 ± 13,0 г/м² (табл. 4). Невысокое количественное развитие донного населения наблюдается в пределах всей шельфовой зоны моря Лаптевых [Гуков и др., 1999; Петряшев и др., 2004; Гуков, 2013].

В пространстве макробентос распределен очень неравномерно. При этом места повышенных и пониженных концентраций плотности поселения и биомассы оказались хорошо согласованы. В обоих случаях зона максимального обилия находится в юго-восточной части полигона, в наибольшей степени подверженной влиянию речного стока р. Лена (рис. 4). В период отбора проб здесь отмечена самая низкая придонная температура (–1,7 °C) и соленость (33,8 ‰) воды [Глебов и др., 2016б].

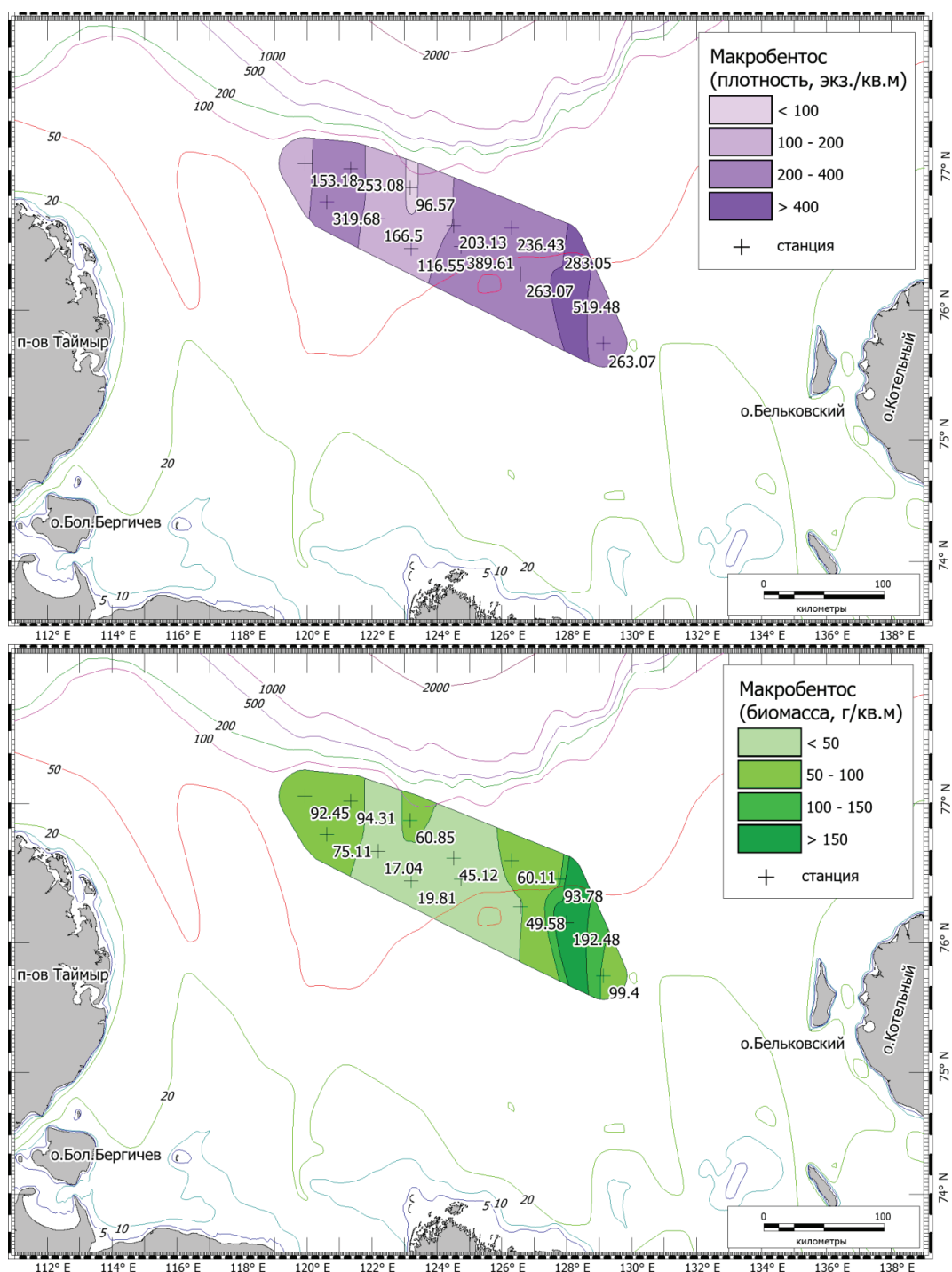


Рис. 4. Распределение плотности поселения (вверху) и биомассы (внизу) макробентоса в море Лаптевых в сентябре 2015 г.

Fig. 4. Distribution density of macrobenthos in the Laptev Sea in September 2015 by abundance (upper panel) and total biomass (lower panel)

Полученные данные только отчасти вписываются в генерализованную схему распределения биомассы макробентоса моря Лаптевых [Петряшев и др., 2004]. На глубоководных станциях северо-западной части полигона зафиксированы несвойственные для нижнего отдела шельфа повышенные ее величины со значениями более 50 г/м² (ст. 24–27).

Общую картину пространственного распределения плотности поселения донных беспозвоночных определяют Polychaeta (40,0 %) и Bivalvia (37,8 %), а в ряде мест еще Amphipoda (8,6 %); биомассы — Polychaeta (34,1 %), Bivalvia (27,7 %), а также Sipuncula (21,2 %). Их суммарный вклад в общую численность составил 86,4 %, биомассу — 83,0 % (табл. 4).

Распределение доминирующих групп. Ведущие по биомассе таксономические группы представлены преимущественно обитателями инфауны. Каждая из них занимает всю или большую площадь дна, но в количественном отношении распределена различным образом. Особенно очевидны эти различия между Polychaeta и Bivalvia с одной стороны и Sipuncula — с другой (рис. 5):

— Polychaeta — формирует скопления практически повсеместно. Наиболее выраженные из них с биомассой от 26,8 до 83,0 г/м² расположены в юго-восточной части полигона (ст. 30–34). Доминантами выступают *Myriochele heeri*, *M. sarsi* и *Scoletoma fragilis*. Средняя биомасса полихет равнялась $24,3 \pm 6,4$ г/м²;

— Bivalvia — крупные скопления с биомассой от 39,0 до 93,2 г/м² сосредоточены на весьма ограниченном участке дна в юго-восточной части полигона (ст. 32–34). Основу создают *Macoma* spp., *A. borealis*, *Nuculana* spp. Средняя биомасса двустворчатых моллюсков составила $19,7 \pm 7,4$ г/м²;

— Sipuncula — зоны повышенных биомасс со значениями от 17,0 до 53,0 г/м² находятся в северо-западной части полигона (ст. 22, 24–27). Биомассообразующий вид один — *Golfingia margaritacea*. Средняя биомасса сипункулид оказалась равна $15,1 \pm 5,3$ г/м².

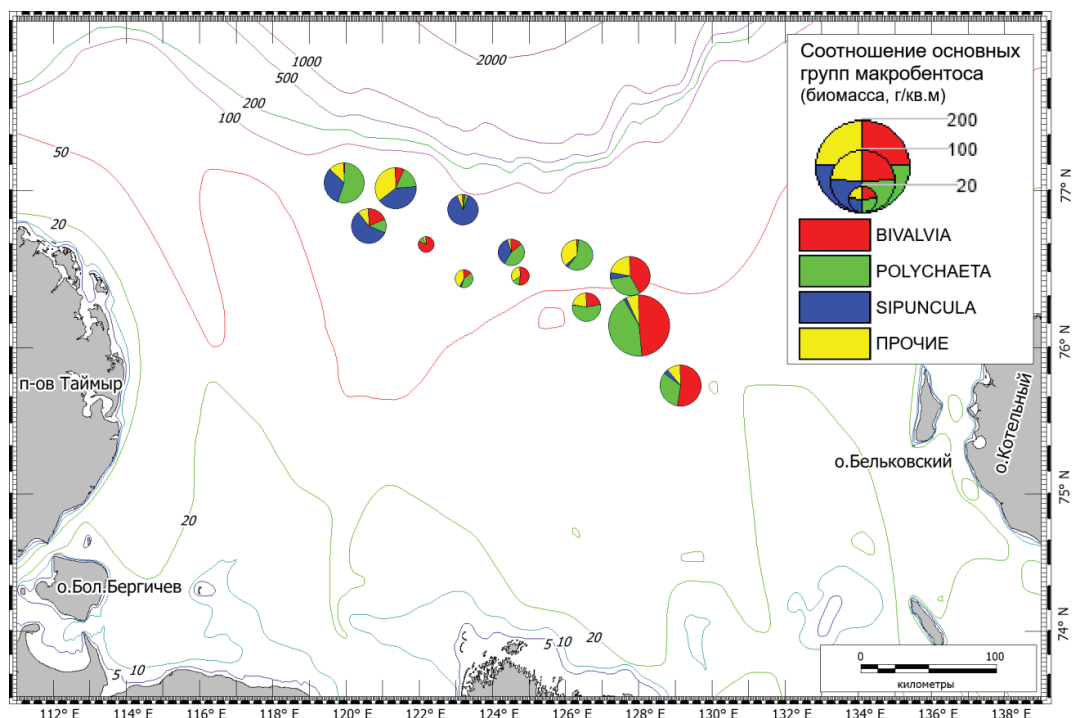


Рис. 5. Распределение доминирующих по биомассе групп макробентоса в море Лаптевых в сентябре 2015 г.

Fig. 5. Distribution of biomass for the dominant taxa of macrobenthos in the Laptev Sea in September 2015

По соотношению биомасс Polychaeta, Bivalvia и Sipuncula явно выделяются две группы станций:

— юго-восточная часть полигона (ст. 30–34). При повышенных показателях обилия преобладают Polychaeta и Bivalvia или только одна из этих таксономических

групп. В составе Polychaeta заметную роль играют *M. heeri*, *Bivalvia* — *Macoma* spp. и *A. borealis*;

— северо-западная часть полигона (ст. 22, 24–27). Доминирует или занимает субдоминантное положение Sipuncula с одним видом *G. margaritacea*. У Polychaeta наибольший вклад в создание общей биомассы вносят *M. sarsi* и *S. fragilis*; у Bivalvia — *Nuculana* spp.

Выявленные особенности в локализации видов-доминантов, судя по всему, неслучайны и на наш взгляд отражают трофические условия их обитания: в юго-восточной части полигона с повышенной концентрацией органической взвеси в придонных горизонтах количественное развитие получают фильтраторы (*M. heeri*, *Macoma* spp. и *A. borealis*)*, а в глубоководной северо-западной части с преобладанием процессов осадконакопления — детритофаги (*G. margaritacea*, *M. sarsi*, *S. fragilis* и *Nuculana* spp.).

Доминирование в макробентосе северной части шельфа моря Лаптевых Polychaeta, Bivalvia и Sipuncula отмечалось и ранее [Гуков, 2013]. Однако в прежние годы представители последней таксономической группы никогда не занимали здесь лидирующие позиции и тем более в нижнем отделе шельфа на обширных площадях. Для этих участков до сих пор был известен только один биоценоз с руководящим видом *Ophiosten sericeum* (Ophiuroidea) [Петряшев и др., 2004]. В наших же сборах его доля не превышала 4,0 % от общей биомассы. В связи с этим напрашивается вывод о произошедших за последнее время перестройках в структуре донных сообществ. Продолжающийся в Баренцевом море многолетний рост биомассы Sipuncula специалисты связывают с увеличением теплосодержания водных масс на фоне глобального потепления климата [Гарбуль, 2009].

Ресурсы макробентоса. Общий запас днотерпательного макробентоса на площади дна 22,5 тыс. км² оценен в 1706,2 тыс. т (см. табл. 3). Основная его часть сформирована Polychaeta, Bivalvia и Sipuncula. В сумме они дают 1432,5 тыс. т (84,0 %). Вклад других крупных таксонов не был существенным. Среди них особенно заметными были Nemertea, Amphipoda, Gastropoda, Asteroidea и Ophiuroidea. На их суммарную долю пришлось 12,4 % всех биоресурсов.

Заключение

Результаты наших исследований хорошо согласуются и некоторым образом дополняют данные литературы. С их учетом можно в общих чертах охарактеризовать состав и структуру макробентоса мягких грунтов всей шельфовой зоны моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. В обоих водоемах бентосная фауна складывается преимущественно за счет представителей животного мира. Высокого количественного развития достигает ограниченное число крупных таксонов. В Восточно-Сибирском море структура донного населения упрощенная олигодоминантная с абсолютным преобладанием Bivalvia; в море Лаптевых — более сложная, но менее стабильная в многолетнем аспекте с доминированием нескольких категорий макробентоса. Их состав и соотношение в разных районах неодинаков. Преобладающие таксономические группы занимают обширные участки дна, однако их распределение носит неравномерный характер. В зависимости от условий обитания в придонном слое они формируют локальные максимумы обилия. Происходит это за счет видов со сходным типом питания. Зоны преобладания сестонофагов и фильтраторов четко разобщены в пространстве.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы глубоко признательны всем сотрудникам Тихоокеанского филиала ВНИРО (ТИНРО) и членам экипажа НИС «ТИНРО», принимавшим участие в сборе и первичной обработке материала.

* В зависимости от условий обитания *M. heeri* и двустворчатые моллюски рода *Macoma* могут получать пищу не только посредством сбора детрита с поверхности дна, но и фильтрации [Денисенко, 2010; Гуков, 2013].

Authors are deeply grateful to all their collaborators in TINRO and to the crew of RV TINRO who joined the samples collection and primary processing of the material.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.
The study has no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

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

Authors declare no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Определение видов доминирующих таксономических групп макробентоса, обсуждение результатов, написание статьи — Е.В. Колпаков и С.А. Нужденко; идея написания статьи, построение карт, расчет ресурсов макробентоса — Д.А. Соколенко.

Identification of species for dominant taxonomic groups of macrobenthos, data analysis, writing the text — E.V. Kolpakov and S.A. Nuzdenko; conception of the study, data mapping, stocks assessment — D.A. Sokolenko.

Список литературы

Гарбуль Е.А. Распределение морских червей Sipuncula в районе Новой Земли и Земли Франца-Иосифа // Докл. РАН. — 2009. — Т. 426, № 6. — С. 834–837.

Глебов И.И., Надточий В.А., Савин А.Б. и др. Результаты комплексных исследований в Восточно-Сибирском море в августе 2015 г. // Изв. ТИНРО. — 2016а. — Т. 186. — С. 81–92. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-186-81-92.

Глебов И.И., Надточий В.А., Савин А.Б. и др. Результаты комплексных исследований в море Лаптевых в августе-сентябре 2015 г. // Изв. ТИНРО. — 2016б. — Т. 187. — С. 72–88. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-72-88.

Голиков А.Н., Скарлато О.А., Аверинцев В.Г. и др. Экосистемы Новосибирского мелководья и некоторые закономерности их распределения и функционирования // Экосистемы Новосибирского мелководья и фауна моря Лаптевых и сопредельных вод : сб. науч. тр. — Л. : Наука, 1990. — С. 4–79. (Исслед. фауны морей, т. 37(45).)

Горбунов Г.П. Донное население Новосибирского мелководья и центральной части Северного Ледовитого океана // Тр. дрейфующей экспедиции Главсевморпути на ледокольном пароходе «Г. Седов» 1937–1940 гг. — М. ; Л. : Главсевморпути, 1946. — Т. 3. — С. 30–138.

Гуков А.Ю. Экология донных биоценозов морей Лаптевых и Восточно-Сибирского : дис. ... д-ра биол. наук. — Якутск : ЯКГУ, 2013. — 417 с.

Гуков А.Ю., Волосникова А.С. О распределении донных биоценозов в центральной части Восточно-Сибирского моря // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России : мат-лы ежегод. конф. по результатам экспедицион. исслед. — СПб., 2020. — Вып. 7. — С. 49–51. DOI: 10.24411/2687-1092-2020-10707.

Гуков А.Ю., Дударев О.В., Семилетов И.П. и др. Особенности распределения биомассы макробентоса и донных биоценозов в южной части Восточно-Сибирского моря // Океанол. — 2005. — Т. 45, № 6. — С. 889–896.

Гуков А.Ю., Тищенко П.Н., Семилетов И.П. и др. Особенности распределения биомассы макробентоса в верхней сублиторали юго-восточной части моря Лаптевых // Океанол. — 1999. — Т. 39, № 3. — С. 406–411.

Денисенко С.Г. Биоресурсы и продуктивность зообентоса Восточно-Сибирского моря // Фауна Восточно-Сибирского моря, закономерности развития и количественного распределения донных сообществ. — СПб. : ЗИН РАН, 2010. — С. 144–159. (Исслед. фауны морей, т. 66(74).)

Денисенко С.Г., Сиренко Б.И., Гагаев С.Ю., Петряшев В.В. Состав и распределение донных сообществ Восточно-Сибирского моря на глубинах более 10 м // Фауна Восточно-Сибирского моря, закономерности развития и количественного распределения донных сообществ. — СПб. : ЗИН РАН, 2010. — С. 130–143. (Исслед. фауны морей, т. 66(74).)

Петряшев В.В., Василенко С.В., Воронков А.Ю. и др. Биогеографический анализ фауны макробентоса Восточно-Сибирского моря и реконструкция путей ее формирования // Фауна Восточно-Сибирского моря, закономерности развития и количественного распределения донных сообществ. — СПб. : ЗИН РАН, 2010. — С. 160–177. (Исслед. фауны морей, т. 66(74).)

Петряшев В.В., Голиков А.А., Шмид М., Рахор А. Макробентос шельфа моря Лаптевых и сопредельных акваторий // Фауна и экосистемы моря Лаптевых и сопредельных глубоководных участков Арктического бассейна. — СПб. : ЗИН РАН, 2004. — С. 9–27. (Исслед. фауны морей, т. 54(62), ч. 1.)

Петряшев В.В., Новожилов А.В. Влияние гидрологического режима на распределение макробентоса моря Лаптевых // Фауна и экосистемы моря Лаптевых и сопредельных глубоководных участков Арктического бассейна. — СПб. : ЗИН РАН, 2004. — С. 74–85. (Исслед. фауны морей, т. 54(62), ч. 1.)

Петряшев В.В., Сиренко Б.И., Рахор А., Хинц К. Распределение макробентоса в море Лаптевых по материалам экспедиции на э/с «Иван Киреев» и л/к «Polarstern» в 1993 г. // Научные результаты экспедиции ЛАПЭКС-93. — СПб. : Гидрометеиздат, 1994. — С. 277–288.

Сиренко Б.И. К изученности фауны моря Лаптевых и сопредельных акваторий // Фауна и экосистемы моря Лаптевых и сопредельных глубоководных участков Арктического бассейна. — СПб. : ЗИН РАН, 2004. — С. 5–8. (Исслед. фауны морей, т. 54(62), ч. 1.)

Сиренко Б.И. Морская фауна Арктики (по экспедициям Зоологического института РАН) // Биол. моря. — 1998. — Т. 24, вып. 6. — С. 341–350.

Сиренко Б.И., Алимов А.Ф. Арктические морские экосистемы // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 137. — С. 77–84.

Сиренко Б.И., Денисенко С.Г., Гагаев С.Ю. Донные сообщества восточной части Восточно-Сибирского моря и пролива Лонга // Экосистемы и биоресурсы Чукотского моря и сопредельных акваторий. — М. : ЗИН РАН, 2009. — С. 231–237.

Piepenburg D., Schmid M.K. A photographic survey of the epibenthic megafauna of the Arctic Laptev Sea shelf: distribution, abundance, and estimates of biomass and organic carbon demand // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 1997. — № 147. — P. 63–75.

References

Garbul, E.A., Distribution of Sipunculids in the areas of the Franz Josef Land and Novaya Zemlya, *Dokl. Ross. Akad. Nauk*, 2009, vol. 426, no. 6, pp. 834–837.

Glebov, I.I., Nadtochiy, V.A., Savin, A.B., Slabinsky, A.M., Borilko, O.Yu., Chulchekov, D.N., and Sokolov, A.S., Results of complex surveys in the East Siberian Sea in August 2015, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016a, vol. 186, pp. 81–92. doi 10.26428/1606-9919-2016-186-81-92

Glebov, I.I., Nadtochiy, V.A., Savin, A.B., Slabinsky, A.M., Borilko, O.Yu., Chulchekov, D.N., and Sokolov, A.S., Results of multidisciplinary survey in the Laptev Sea in August–September, 2015, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016b, vol. 187, pp. 72–88. doi 10.26428/1606-9919-2016-187-72-88

Golikov, A.N., Scarlato, O.A., Averinzev, V.G., Menshutkina, T.V., Novikov, O.K., and Sheremetevsky, A.M., Ecosystems of the New Siberian shoals, their distribution and functioning, in *Issledovaniya fauny morei. T. 37: Ekosistemy Novosibirskogo melkovod'ya i fauna morya Laptevyykh i sopredel'nykh vod* (Marine Fauna Research, vol. 37: Ecosystems of the New Siberian shoals and the fauna of the Laptev Sea and adjacent waters), Leningrad: Nauka, 1990, no. 45, pp. 4–79.

Gorbunov, G.P., Bottom Population of the Novosibirsk Shallow Area and the Central Part of the Arctic Ocean, *Tr. dreyfyuyushchey ekspeditsii Glavsevmorputi na ledokol'nom parokhode «G. Sedov» 1937–1940* (Tr. drifting expedition of the Glavsevmorput on the icebreaker “G. Sedov” 1937–1940), Moscow: Glavsevmorputi, 1946, vol. 3, pp. 30–138.

Gukov, A.Yu., Ecology of benthic biocenoses of the Laptev Sea and the East Siberian Sea, *Doctoral (Biol.) Dissertation*, Yakutsk: Yakutskiy Gos. Univ., 2013.

Gukov, A.Yu. and Volosnikova, A.S., On the distribution of bottom biocenoses, in *Mater. yezhegodnoy konferentsii po rezul'tatam ekspeditsionnykh issledovaniy “Rel'yef i chetvertichnyye obrazovaniya Arktiki, Subarkтики i Severo-Zapada Rossii”* (Materials of the annual conference on the results of expedition research “Relief and Quaternary Formations of the Arctic, Subarctic and North-West of Russia”), St. Petersburg, 2020, no. 7, pp. 49–51. doi 10.24411/2687-1092-2020-10707

Gukov, A.Yu., Dudarev, O.V., Semiletov, I.P., Charkin, A.N., and Gorshkova, Ya.S., Distribution of macrobenthos biomass and bottom biocoenoses in the Southern East Siberian Sea, *Oceanology*, 2005, vol. 45, no. 6, pp. 841–848.

Gukov, A.Yu., Shapkin, S.A., Tishchenko, P.Ya., Semiletov, I.P., and Popov, V.V., Features of distribution of the biomass of macrobenthos over the upper sublittoral zone of the Southeastern part of the Laptev Sea, *Oceanology*, 1999, vol. 39, no. 3, pp. 369–373.

Denisenko, S.G., Bioresources and production of zoobenthos in the East Siberian Sea, in *Issledovaniya fauny morei. T. 66: Fauna Vostochno-Sibirskogo morya, zakonovernosti razvitiya i kolichestvennogo raspredeleniya donnykh soobshchestv* (Marine Fauna Research, vol. 66: Fauna of the East Siberian Sea, distribution patterns and structure of bottom communities), St. Petersburg: Zool. Inst., Ross. Akad. Nauk, no. 74, pp. 144–159.

Denisenko, S.G., Sirenko, B.I., Gagaev, S.Yu., and Petryashov, V.V., Bottom communities: structure and spatial distribution in the East Siberian Sea at depth more than 10 m, in *Issledovaniya fauny morei. T. 66: Fauna Vostochno-Sibirskogo morya, zakonovernosti razvitiya i kolichestvennogo raspredeleniya donnykh soobshchestv* (Marine Fauna Research, vol. 66: Fauna of the East Siberian Sea, distribution patterns and structure of bottom communities), St. Petersburg: Zool. Inst., Ross. Akad. Nauk, 2010, no. 74, pp. 130–143.

Petryashev, V.V., Vasilenko, S.V., Voronkov, A.Yu., Sirenko, B.I., Smirnov, A.V., Smirnov, I.S., and Chaban, E.M., Biogeographical analysis of macrobenthos fauna in the East Siberian Sea and reconstruction of the fauna forming ways, in *Issledovaniya fauny morei. T. 66: Fauna Vostochno-Sibirskogo morya, zakonovernosti razvitiya i kolichestvennogo raspredeleniya donnykh soobshchestv* (Marine Fauna Research, vol. 66: Fauna of the East Siberian Sea, distribution patterns and structure of bottom communities), St. Petersburg: Zool. Inst., Ross. Akad. Nauk, no. 74, pp. 160–177.

Petryashev, V.V., Golikov, A.A., Shmid, M., and Rakhor, A., Macrobenthos of the Laptev Sea shelf, in *Issledovaniya fauny morei. T. 54: Fauna i ekosistema morya Laptevskikh i sopredel'nykh glubokovodnykh uchastkov Arkticheskogo baseyna* (Marine Fauna Research, vol. 54: Fauna and Ecosystems of the Laptev Sea and Adjacent Deep Sea Areas of the Arctic Basin), St. Petersburg: Zool. Inst., Ross. Akad. Nauk, no. 62, part 1, pp. 9–27.

Petryashev, V.V. and Novozhilov, A.V., Effect of hydrological regime on distribution of macrobenthos in the Laptev Sea, in *Issledovaniya fauny morei. T. 54: Fauna i ekosistema morya Laptevskikh i sopredel'nykh glubokovodnykh uchastkov Arkticheskogo baseyna* (Marine Fauna Research, vol. 54: Fauna and Ecosystems of the Laptev Sea and Adjacent Deep Sea Areas of the Arctic Basin), St. Petersburg: Zool. Inst., Ross. Akad. Nauk, no. 62, part 1, pp. 74–85.

Petryashev, V.V., Sirenko, B.I., Rakhor, A., and Hinz K., Distribution of the macrobenthos in the Laptev Sea from materials of the expeditions of RV “Ivan Kireev” and ice-breaker RV “Polarstern” in 1993, in *Nauchnyye rezul'taty ekspeditsii LAPEKS-93* (Scientific results of the expedition LAPEX-93), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1994, pp. 277–288.

Sirenko, B.I., On the study of the fauna of the Laptev Sea and adjacent water areas, in *Issledovaniya fauny morei. T. 54: Fauna i ekosistema morya Laptevskikh i sopredel'nykh glubokovodnykh uchastkov Arkticheskogo baseyna* (Marine Fauna Research, vol. 54: Fauna and Ecosystems of the Laptev Sea and Adjacent Deep Sea Areas of the Arctic Basin), St. Petersburg: Zool. Inst., Ross. Akad. Nauk, no. 62, part 1, pp. 5–8.

Sirenko, B.I., Arctic marine fauna (resultants from expeditions of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences), *Russ. J. Mar. Biol.*, 1998, vol. 24, no. 6, pp. 341–350.

Sirenko, B.I. and Alimov, A.F., Arctic sea ecosystems, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 137, pp. 77–84.

Sirenko, B.I., Denisenko, S.G., and Gagaev, S.Yu., Bottom communities of the eastern East Siberian Sea and de Longe Strait, in *Ekosistemy i bioresursy Chukotskogo morya i sopredel'nykh akvatoriy* (Ecosystems and biological resources of the Chukchi Sea and adjacent areas), Moscow: Zool. Inst., Ross. Akad. Nauk, 2009, pp. 231–237.

Piepenburg, D. and Schmid, M.K., A photographic survey of the epibenthic megafauna of the Arctic Laptev Sea shelf: distribution, abundance, and estimates of biomass and organic carbon demand, *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 1997, no. 147, pp. 63–75.

Поступила в редакцию 12.07.2021 г.

После доработки 1.12.2021 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

The article was submitted 12.07.2021; approved after reviewing 1.12.2021;
accepted for publication 25.02.2022

Научная статья

УДК 574.587(265.51)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-161-171

**МАКРОЗООБЕНТОС ОЛЮТОРСКОГО ЗАЛИВА (БЕРИНГОВО МОРЕ)
ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА СПУСТЯ: СОСТАВ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, СООБЩЕСТВА****В.А. Надточий¹, Н.В. Колпаков^{2*}**¹ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;² Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),
693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196

Аннотация. В 1985 и 2012 гг. в Олюторском заливе Берингова моря выполнены дночерпательные съемки (37 станций (60 проб) в диапазоне глубин 20–200 м и 26 станций (48 проб) на глубинах 51–270 м), что позволило сравнить изменения в донных сообществах, произошедшие за четверть века. Средняя общая биомасса макрозообентоса Олюторского залива в 2012 и 1985 гг. была очень близка: соответственно $581,3 \pm 94,5$ и $561,1 \pm 95,2$ г/м². Доминирующими по биомассе таксономическими группами макробентоса в 2012 г. являлись морские ежи, двустворчатые моллюски, полихеты и сипункулиды (91,3 % общей биомассы), в 1985 г. — морские ежи, двустворчатые моллюски и полихеты (84,7 % общей биомассы). Основные сообщества макрозообентоса, отмеченные в 1985 г., практически сохранили свое местоположение и количественные характеристики к 2012 г. По результатам проведенных исследований сделан вывод о стабильности состава, распределения и количественных характеристик макрозообентоса Олюторского залива на протяжении четверти века.

Ключевые слова: Олюторский залив, дночерпательная съемка, макрозообентос, распределение, донные сообщества.

Для цитирования: Надточий В.А., Колпаков Н.В. Макрозообентос Олюторского залива (Берингово море) четверть века спустя: состав, распределение, сообщества // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 161–171. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-161-171.

Original article

**Macrozoobenthos of the Olyutorsky Bay (Bering Sea) a quarter of century later:
composition, distribution, communities****Victor A. Nadtochy¹, Nikolay V. Kolpakov²**¹ Ph.D., Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia² D.Biol., head of branch, Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO), 196, Komsomolskaya Str.,
Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia, kolpakov_nv@mail.ru

Abstract. Results of two bottom grab surveys in the Olyutorsky Bay of the Bering Sea conducted in 1985 (37 stations with 60 samples in the depth range of 20–200 m) and 2012

* Надточий Виктор Александрович, кандидат биологических наук; Колпаков Николай Викторович, доктор биологических наук, руководитель филиала, kolpakov_nv@mail.ru, ORCID E-1091-2013.

(26 stations with 48 samples at the depths of 51–270 m) are compared. Average biomass of macrozoobenthos was rather stable: $561.1 \pm 95.2 \text{ g/m}^2$ in 1985 and $581.3 \pm 94.5 \text{ g/m}^2$ in 2012. Sea urchins, bivalves and polychaetes dominated by biomass in 1985 (84.7 % of the total biomass for these 3 groups), but sipunculids appeared in the list of the dominant taxonomic groups in 2012 when 91.3 % of the total biomass consisted of the top 4 groups. The main communities of macrozoobenthos practically retained their location and quantitative parameters. There is concluded that composition, distribution and abundance of macrozoobenthos in the Olyutorsky Bay were stable over a quarter of century.

Keywords: Olyutorsky Bay, bottom grab survey, macrozoobenthos, benthos distribution, bottom community.

For citation: Nadtochy V.A., Kolpakov N.V. Macrozoobenthos of the Olyutorsky Bay (Bering Sea) a quarter of century later: composition, distribution, communities, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 161–171. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-161-171.

Введение

В начале 2000-х гг. после перерыва в 20–25 лет ТИНРО-центром была выполнена новая серия дночерпательных бонитировочных съемок макрозообентоса в дальневосточных морях России, включая Берингово море [Надточий и др., 2008]. При этом удалось получить сравнительные данные по составу, биомассе и распределению макрозообентоса для трех крупных участков: Анадырского залива, Корякского и Корфо-Карагинского районов. По результату этих работ показано, что с середины 1980-х гг. величина средней общей биомассы макрозообентоса в упомянутых районах увеличилась, распределение оставалось довольно стабильным, доминирующими группами бентоса в оба сравниваемых периода были морские ежи, двустворчатые моллюски и полихеты, их соотношение со временем может меняться. Вместе с тем одним из крупных районов, не охваченных данными исследованиями, оказался Олюторский залив. Шельф залива является районом обитания ряда промысловых донных видов рыб, а бентос района служит для них кормовой базой [Напазаков и др., 2001; Дьяков, 2011]. К тому же многолетняя динамика макробентоса Олюторского залива исследована слабо [Кобликов, Надточий, 2002; Чалиенко и др., 2016; Архипова, 2019; Архипова, Коростелев, 2020]. Для ликвидации этого пробела первым из авторов данной работы в 2012 г. выполнена дночерпательная съемка.

В настоящей статье представлены результаты этой съемки (состав и распределение макрозообентоса, донные сообщества), а также сравнение полученных данных с результатами более ранних исследований.

Материалы и методы

Олюторский залив расположен в западной части Берингова моря между мысами Олюторский и Говена, открыт к югу, вдается в материк на 83 км, ширина залива у входа 228 км (рис. 1). В 1985 и 2012 гг. здесь выполнены дночерпательные съемки, что позволяет сравнить изменения в донных сообществах, произошедшие за четверть века. В октябре 1985 г. съемка выполнена на НПС «Мыс Тихий» в интервале глубин 20–200 м на 37 станциях, всего отобрано 60 количественных проб макрозообентоса (рис. 1, а). В августе 2012 г. на НИС «Профессор Кагановский» в Олюторском заливе выполнено 26 станций в интервале глубин 51–270 м и получено 48 количественных проб (рис. 1, б). К сожалению, в 2012 г. для работы была закрыта 12-мильная зона, поэтому не удалось обследовать глубины менее 50 м. Пробы собирались дночерпателем «Океан-50» с площадью раскрытия $0,25 \text{ м}^2$. Грунт промывался через систему сит с диаметром ячеек нижнего 1 мм. Животные из проб разбирались по таксономическим группам, затем производилось их взвешивание и подсчет количества экземпляров. Величина средней биомассы подсчитана как средняя арифметическая.

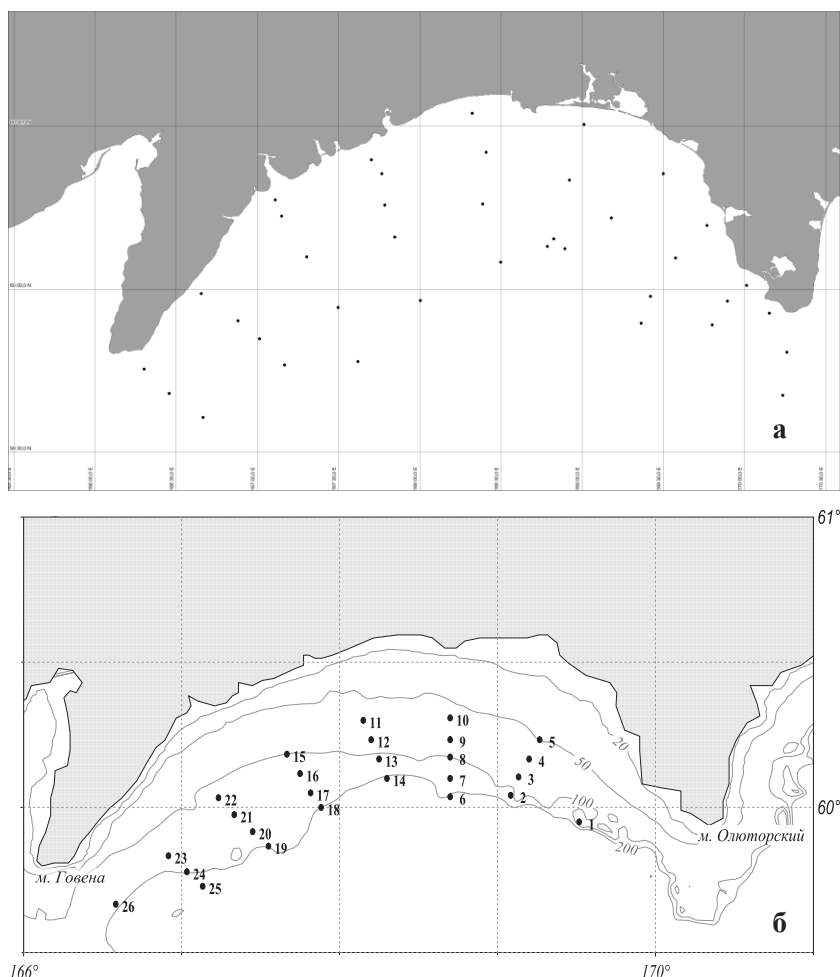


Рис. 1. Схемы распределения дночерпательных станций в Олюторском заливе: **а** — октябрь-ноябрь 1985 г.; **б** — август 2012 г.

Fig. 1. Schemes of sampling in the Olyutorsky Bay: **a** — October-November, 1985; **b** — August, 2012

Карты распределения биомассы донных животных построены с помощью графической программы Surfer методом kriging. Расчет ресурсов макробентоса в 1985 г. осуществлялся методом интерполяции [Аксютин, 1968], в 2012 г. — при помощи метода диаграмм Вороного [Препарата, Шеймос, 1989].

Выделение донных сообществ проводили по доминирующему по биомассе виду [Воробьев, 1949; Кузнецов, 1963; Нейман, 1977; и др.]. К одному сообществу относили все станции, на которых доминировал один и тот же вид совместно с небольшим числом характерных для каждого сообщества видов. К этому же сообществу относили и те станции, на которых руководящий вид не доминировал или отсутствовал вовсе, но оставались неизменными состав сопровождающих его характерных видов и свойственный данному сообществу биотоп.

Результаты и их обсуждение

Количественное распределение макробентоса. В пределах обследованной акватории величина общей биомассы макробентоса в 2012 г. изменялась от 98,0 до 2428,9 г/м² (табл. 1). Средняя общая биомасса для всего района составила $581,2 \pm 94,5$ г/м². Наибольшие площади дна были заняты поселениями животных с биомассой 100–500 г/м² (рис. 2).

Самые высокие величины биомассы, превышающие 1 кг/м², регистрировались в восточной части залива. Так, на станции 3 на глубине 83 м и разнотекстом песке с примесью гравия и ракушки 89 % биомассы, равной 1125,2 г/м², формировал плоский морской еж *Echinarachnius parma* (1002,8 г/м²). Здесь же (станция 5) в прибрежной части на глубине 51 м и таком же типе грунта основу (96,5 %) биомассы в 1413,1 г/м² составляли плоский морской еж — 893,8 г/м² (63,3 %), палевый морской еж *Strongylocentrotus pallidus* — 82,0 г/м² (5,8 %) и двустворчатый моллюск *Serripes groenlandicus* — 387,0 г/м² (27,4 %). Ближе к центральной части залива формировал поселения плоский еж, создавая скопления плотностью до 268 экз./м² при биомассе 2395,8 г/м² на глубине 61 м и песчаном грунте (ст. 10) (рис. 2). Несколько меньшая биомасса (576,0 г/м²) была отмечена в западной половине залива (ст. 22) на глубине 112 м и илистом грунте. Здесь было идентифицировано 8 видов моллюсков, а доминировала *Macoma calcaria* (464,8 г/м², 46 экз./м²), что составило 80,7 % от общей биомассы двустворчатых моллюсков на станции.

Средняя биомасса (г/м²) и соотношение (%) таксономических групп бентоса в Олюторском заливе, август 2012 г.

Table 1

Average biomass (g/m²) and percentage for taxonomic groups of macrobenthos in the Olyutorsky Bay in August, 2012

Таксон	Г/м ²	%	Min	Max	Ресурс, тыс. т
Foraminifera	3,16 ± 3,14	0,54	0,48	81,60	14,41
Spongia	0,68 ± 0,68	0,12	17,60	17,60	3,65
Hydroidea	1,95 ± 1,09	0,34	0,04	26,40	6,98
Anthozoa	2,24 ± 2,23	0,39	0,34	58,00	10,29
Actinia	8,77 ± 6,51	1,51	0,06	165,80	28,48
Nemertini	1,05 ± 0,80	0,18	0,06	20,00	3,81
Priapulida	1,19 ± 1,10	0,20	0,24	28,60	4,00
Polychaeta	62,30 ± 7,15	10,72	9,20	143,80	247,50
Sipunculida	29,45 ± 10,14	5,07	0,44	192,00	140,48
Ostracoda	+	+	+	+	+
Panthopoda	+	+	0,001	0,001	+
Cumacea	0,19 ± 0,09	0,03	0,002	2,08	0,50
Amphipoda	1,35 ± 0,30	0,23	0,044	5,60	4,74
Decapoda	3,78 ± 2,02	0,65	0,16	48,32	11,65
Loricata	0,58 ± 0,26	0,10	0,056	6,00	2,67
Solenogastres	0,01 ± 0,01	0,002	0,33	0,33	0,02
Gastropoda	7,06 ± 1,73	1,21	0,072	30,40	28,96
Bivalvia	188,12 ± 34,68	30,61	8,40	609,20	669,32
Bryozoa	2,78 ± 1,78	0,48	0,052	45,40	13,90
Brachiopoda	0,56 ± 0,55	0,10	0,16	14,40	2,42
Asteroidea	0,02 ± 0,02	0,004	0,64	0,64	0,14
Ophiuroidea	11,90 ± 4,56	2,05	0,006	77,20	53,16
Echinoidea:	261,25 ± 102,73	44,94	0,12	2395,80	852,23
<i>Echinarachnius parma</i>	686,55 ± 280,72	36,34	1,12	2395,80	659,51
<i>Strongylocentrotus pallidus</i>	144,47 ± 40,25	8,60	2,12	373,80	192,71
Holothuroidea	0,04 ± 0,03	0,01	0,46	0,52	0,18
Ascidia	2,66 ± 2,22	0,46	0,04	58,00	5,99
Algae	0,26 ± 0,16	0,04	0,04	3,80	0,72
Varia	0,14 ± 0,13	0,02	0,10	3,40	0,55
Итого	581,28 ± 94,46	100	98,08	2428,92	2106,74
Кол-во станций (проб)	26(48)				
Площадь, км ²	3835				

Примечание. Значения менее 0,001 обозначены знаком «+».

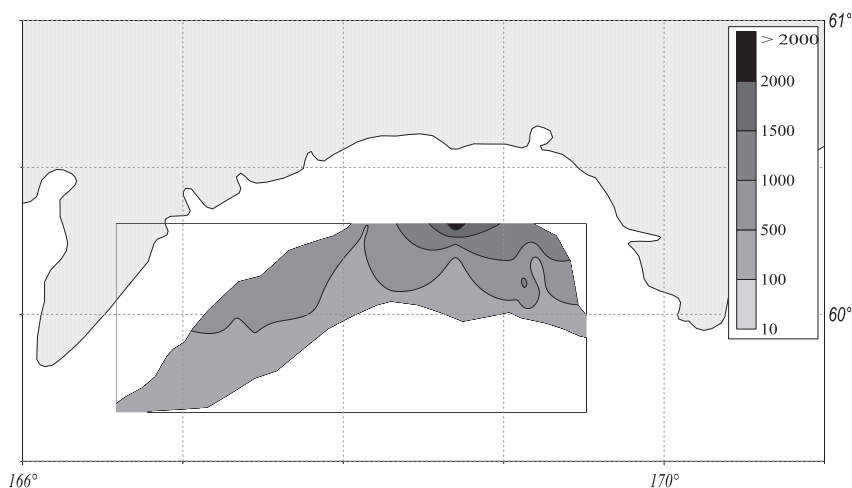


Рис. 2. Распределение общей биомассы бентоса в Олюторском заливе, август 2012 г., г/м²
Fig. 2. Spatial distribution of total biomass of benthos (g/m²) in the Olyutorsky Bay in August,

2012

Минимальная величина биомассы (98,08 г/м²) была зафиксирована в восточной части района на разнорзернистом заиленном песке с вкраплениями гравия и гальки на глубине 65 м и формировалась в основном мелкими двустворчатыми моллюсками и полихетами.

По материалам экспедиции 1985 г. величина общей биомассы макробентоса изменялась от 19 до 3023 г/м². Средняя общая биомасса для всего района составила $561,1 \pm 95,2$ г/м² (табл. 2). Наибольшие площади дна также были заняты поселениями животных с биомассой 100–500 г/м² (рис. 3).

Средняя биомасса (г/м²) и соотношение (%) таксономических групп бентоса в Олюторском заливе, октябрь-ноябрь 1985 г.

Таблица 2

Average biomass (g/m²) and percentage for taxonomic groups of macrobenthos in the Olyutorsky Bay in October-November, 1985

Table 2

Таксон	Г/м²	%
Foraminifera	+	+
Spongia	+	+
Actiniaria	$2,80 \pm 2,30$	0,50
Polychaeta	$44,20 \pm 7,30$	7,90
Cirripedia	$11,30 \pm 6,97$	2,00
Amphipoda	$2,50 \pm 0,65$	0,40
Gastropoda	$8,20 \pm 3,40$	1,50
Bivalvia	$139,20 \pm 31,80$	24,80
Asteroidea	+	2,50
Ophiuroidea	$13,90 \pm 7,60$	2,05
Echinoidea	$291,60 \pm 89,20$	52,00
Holothuroidea	+	+
Ascidia	$24,70 \pm 18,70$	4,40
Varia	$22,70 \pm 17,50$	4,00
Итого	$561,10 \pm 95,20$	100
Кол-во станций (проб)	37(60)	
Площадь, км²	8700	
Ресурс, млн т	5,0	

Примечание. Значения менее 0,01 обозначены знаком «+».

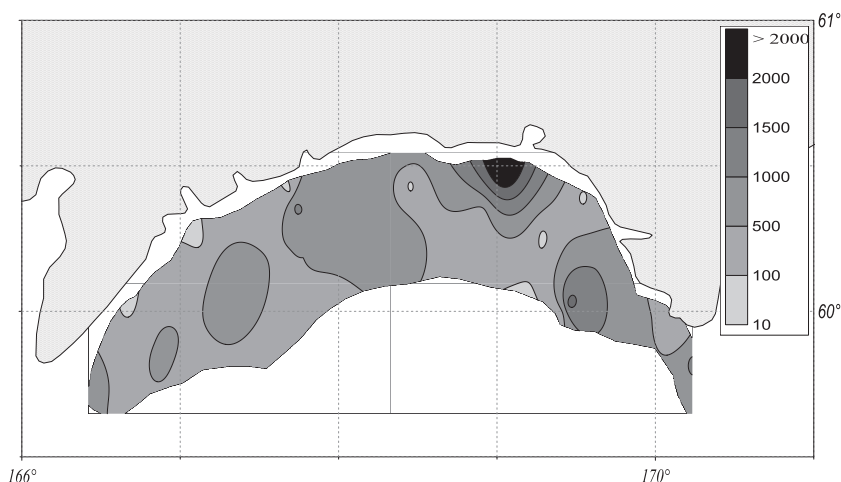


Рис. 3. Распределение общей биомассы бентоса в Олюторском заливе осенью 1985 г.
Fig. 3. Spatial distribution of total biomass of benthos in the Olyutorsky Bay in autumn of 1985

Максимальные значения (свыше 1 кг/м²) были отмечены на трех участках восточной части района. Так, в некотором удалении от мыса Олюторского за счет скоплений плоского ежа *E. parma*, двустворчатого моллюска *Cyclocardia crebricostata*, полихет и асцидий биомасса составила 1672 г/м²; в северо-восточной прибрежной части залива, где на 99 % доминировал плоский еж, биомасса была равна 3032 г/м², а к западу от этого скопления, также благодаря массовому развитию этого вида (98,8 % общей биомассы), она равнялась 1135 г/м². Биомасса чуть меньше 1 кг/м² (812,4 г/м²) была отмечена в западной половине залива на глубине 180 м и илистом грунте. Здесь доминировала *M. calcarea* (660 г/м², 44 экз./м²), что составило 81 % общей биомассы на станции.

Таким образом, средняя общая биомасса макрозообентоса Олюторского залива в сравниваемых съемках была очень близка: $581,3 \pm 94,5$ г/м² в 2012 г. и $561,1 \pm 95,2$ г/м² в 1985 г. (табл. 1, 2). Основными таксономическими группами макробентоса обследованной части Олюторского залива, играющими главную роль в формировании его общей биомассы в 2012 г., являлись морские ежи, двустворчатые моллюски, полихеты и, в несколько меньшей степени, сипункулиды, на долю которых приходилось 91,3 % общей биомассы макробентоса (см. табл. 1). В 1985 г. так же и в той же последовательности доминировали морские ежи, двустворчатые моллюски и полихеты, которые формировали 84,7 % биомассы макрозообентоса залива (табл. 2).

Следует отметить, что по результатам исследований дночерпательного бентоса Олюторского залива осенью 2002 г. камчатскими специалистами сделан вывод о стабильности распределения и количественных характеристик поселений доминирующего вида — плоского морского ежа [Архипова, 2019; Архипова, Коростелев, 2020] — по сравнению с результатами съемки ТИНРО в 1985 г. [Кобликов, Надточий, 2002].

Донные сообщества. В пределах обследованной акватории залива в 2012 г. в интервале глубин 51–270 м выделено 4 сообщества макрозообентоса, в 1985 г. — 6 сообществ в интервале глубин 20–200 м (рис. 4, 5).

Самое крупное сообщество в 2012 г. — это сообщество с доминированием известковой макамы *M. calcarea*. Оно выделено по 11 станциям, занимает практически всю западную половину обследованной акватории Олюторского залива. Располагается в диапазоне глубин 103–270 м на илистом грунте, местами с включением разноразмерного песка, гравия и гальки (рис. 4). Средняя общая биомасса сообщества — $473,97 \pm 63,80$ г/м². Биомасса руководящего вида колебалась в пределах от 16,8 до 485,4 г/м². Средняя биомасса двустворчатых моллюсков — $265,1 \pm 59,2$ г/м² (56 %); руководящего вида — $258,0 \pm 59,2$ г/м², что составляет 44,5 % общей биомассы сообщества. Средняя плотность поселения руководящего вида — $26,0 \pm 5,1$ экз./м². В

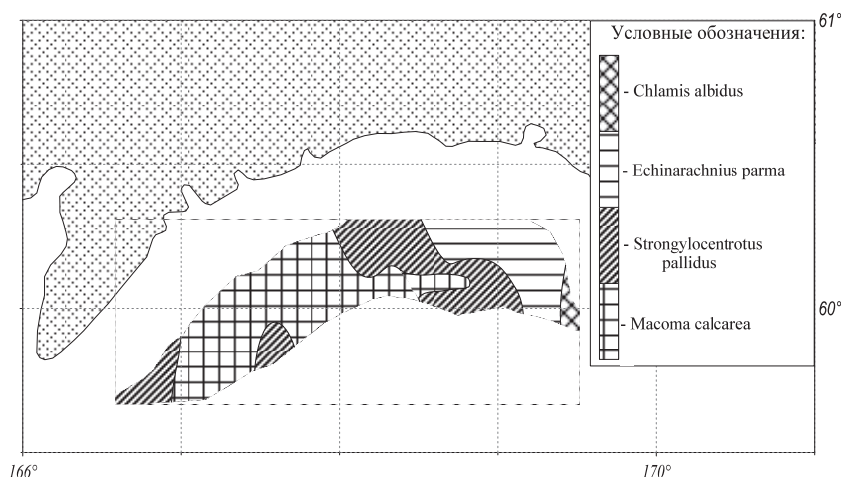


Рис. 4. Пространственное распределение сообществ макрозообентоса в Олюторском заливе, август 2012 г.

Fig. 4. Spatial distribution of macrozoobenthos communities in the Olyutorsky Bay in August, 2012

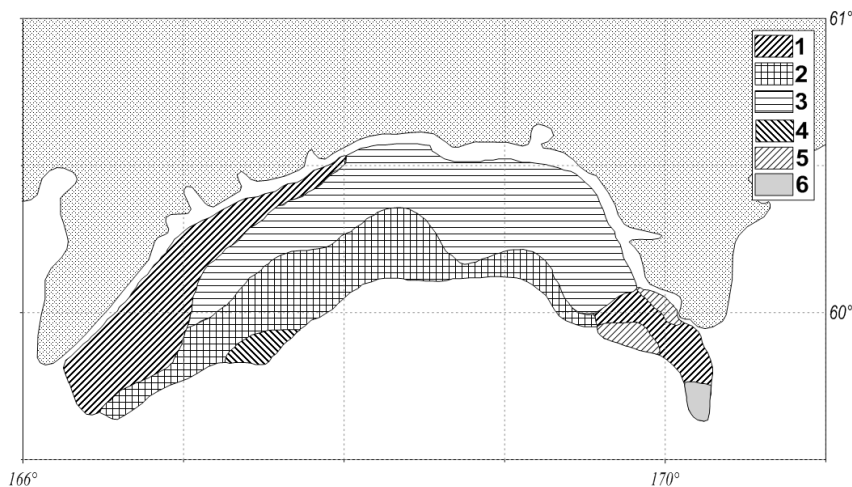


Рис. 5. Пространственное распределение сообществ макрозообентоса в Олюторском заливе, осень 1985 г.: 1 — *Strongylocentrotus pallidus*; 2 — *Macoma calcaria*; 3 — *Echinarachnius parma*; 4 — *Polychaeta*; 5 — *Cirripedia*; 6 — *Ophiopholis aculeata*

Fig. 5. Spatial distribution of macrozoobenthos communities in the Olyutorsky Bay in autumn of 1985. The communities: 1 — *Strongylocentrotus pallidus*; 2 — *Macoma calcaria*; 3 — *Echinarachnius parma*; 4 — *Polychaeta*; 5 — *Cirripedia*; 6 — *Ophiopholis aculeata*

состав сообщества, кроме двустворчатых моллюсков, входят представители 21 таксономической группы, среди которых по величине биомассы можно выделить полихет и сипункулид.

В 1985 г. это сообщество занимало практически всю внешнюю часть шельфа в интервале глубин 100–200 м (рис. 5). Сообщество было выделено по 10 станциям. Средняя общая биомасса сообщества — $445,3 \pm 80,5$ г/м². Биомасса руководящего вида колебалась в пределах от 18,4 до 660,0 г/м² при средней — $208,5 \pm 64,4$ г/м², что составляет 46,8 % общей биомассы сообщества. Достаточно часто в сообществе встречались двустворчатые моллюски *Tridonta elliptica*, палевый морской еж и сипункулиды.

Другим крупным сообществом в 2012 г. являлось сообщество с доминированием палевого морского ежа *S. pallidus*. Оно было выделено по 8 станциям, занимало три

участка дна обследованного залива: первый располагался в центральной части залива в диапазоне глубин 68–201 м, в основном на песчаном грунте различной степени заиленности, часто с вкраплениями гравия (см. рис. 4). Второй и третий — находились в западной мористой части залива в интервале глубин 148–161 м и на том же типе грунта (рис. 4). Средняя общая биомасса сообщества составила $417,3 \pm 45,6$ г/м². Биомасса руководящего вида колебалась в пределах от 4,2 до 373,8 г/м². Средняя биомасса руководящего вида — $167,9 \pm 39,6$ г/м², что составляет 40,2 % общей биомассы сообщества. Средняя плотность поселения руководящего вида — $12,0 \pm 3,4$ экз./м². В состав сообщества, кроме палевого ежа, входят представители 19 таксономических групп, но больше всего двустворчатых моллюсков (26 %) и полихет (12 %).

В 1985 г. это сообщество занимало два участка: в западной и восточной прибрежных частях залива в интервале глубин 30–120 м (рис. 5) — и было выделено по 8 станциям. Средняя общая биомасса сообщества составила $434,8 \pm 159,3$ г/м². Биомасса руководящего вида колебалась в пределах от 18,4 до 866,0 г/м². Средняя биомасса руководящего вида — $252,0 \pm 104,3$ г/м², что составляет 58 % общей биомассы сообщества. Достаточно обильной в сообществе была известковая макома *M. calcarea*.

Третьим крупным сообществом в 2012 г. являлось сообщество с доминированием плоского морского ежа *E. parma*, выделенное по 6 станциям. Отмечено оно в восточной части Олюторского залива в диапазоне глубин 51–100 м (см. рис. 4). Сообщество приурочено к песчаным грунтам, иногда с вкраплениями гравия. Средняя биомасса сообщества — $1045,6 \pm 342,3$ г/м². Биомасса руководящего вида колеблется в пределах от 98,1 до 2428,9 г/м². Средняя биомасса руководящего вида — $868,6 \pm 347,6$ г/м² при плотности поселения $109,6 \pm 41,1$ экз./м², что составляет 83,3 % общей биомассы сообщества. В состав сообщества, кроме плоского ежа, входят представители еще 14 таксономических групп, из которых по величине биомассы можно выделить двустворчатых моллюсков и в несколько меньшей степени полихет.

В 1985 г. сообщество с доминированием плоского морского ежа являлось, пожалуй, самым крупным, было выделено по 11 станциям и занимало практически весь шельф к востоку от 168°30' в.д. и его центральную часть на глубинах 20–110 м (рис. 5). Средняя биомасса сообщества — $806,6 \pm 274,3$ г/м². Средняя биомасса руководящего вида — $605,0 \pm 263,2$ г/м², что составляет 75 % общей биомассы сообщества. В составе сообщества, кроме плоского ежа, по величине биомассы можно выделить двустворчатых моллюсков *M. calcarea* и *C. crebricostata*.

Четвертым является сообщество с доминированием морского гребешка *Chlamys albidus*, прилегающее с востока к сообществу плоского ежа на глубине 119 м и заиленном песке с примесью гравия и гальки (рис. 4). Сообщество выделено по 1 станции. Средняя общая биомасса сообщества — $287,6$ г/м². Биомасса руководящего вида — $144,0$ г/м², что составляет 50,1 %, плотность поселения — 2 экз./м². В состав сообщества, кроме двустворчатых моллюсков, входят представители 11 таксономических групп, среди которых по величине биомассы можно выделить асцидий, полихет и десятиногих раков. Ранее это сообщество отмечено не было.

В 1985 г. были выделены еще три небольших по площади сообщества, которые в 2012 г. не отмечались. Первое из них — это сообщество с доминированием усонюгих раков, поделенное сообществом палевого морского ежа на два участка к западу и юго-западу от п-ова Олюторского на глубине 27–103 м и песчаном с примесью крупной и средней гальки грунте (рис. 5). Средняя биомасса сообщества — $481,9 \pm 321,9$ г/м². Средняя биомасса руководящего вида — $139,5 \pm 58,2$ г/м², что составляет 29 % общей биомассы сообщества. Сообщество выделено по двум станциям. Достаточно обильны в сообществе были представители эпифауны (губки и мягкие кораллы рода *Gersemia*).

Следующее сообщество с доминированием офиуры *Ophiopholis aculeata* было выделено по 1 станции и располагалось на песчано-илистом грунте с вкраплениями

гравия и гальки на глубине 98 м к югу от п-ова Олюторского (рис. 5). Средняя биомасса сообщества — 555,1 г/м², средняя биомасса офиуры — 241,6 г/м² (44 %). На втором месте по величине биомассы в сообществе были палевые морские ежи (22 %).

Третье сообщество с доминированием многощетинковых червей было также выделено по 1 станции на песчанистом илу с примесью гравия на глубине 180 м и при-мыкало к сообществу с доминированием известковой макомы в юго-восточной части района (рис. 5). Средняя биомасса сообщества равнялась 132,4 г/м², средняя биомасса полихет — 46,4 г/м², или 44 %.

Таким образом, в пределах обследованной акватории Олюторского залива по данным 2012 г. в интервале глубин 51–270 м выделено 4 сообщества макрозообентоса, из них три сообщества с доминированием двустворчатого моллюска *M. calcarea* и морских ежей — плоского *E. parma* и палевого *S. pallidus* — занимают практически всю обследованную акваторию залива. По результатам съемки 1985 г. имела та же картина. По картам распределения сообществ (рис. 4, 5) можно сделать вывод: поскольку в 2012 г. было запрещено работать в 12-мильной зоне, сборами охвачены только небольшой участок сообщества палевого морского ежа в западной и такой же участок сообщества плоского морского ежа в центральной частях залива. Что касается мелких сообществ, занимающих небольшие участки дна, их обнаружение зависит от комплекса субъективных причин (дробности сетки станций, количества повторностей и т.д.).

Выводы

Средняя общая биомасса макрозообентоса Олюторского залива в 1985 и 2012 гг. была очень близка — соответственно $561,1 \pm 95,2$ и $581,3 \pm 94,5$ г/м².

Доминирующими по биомассе таксономическими группами макробентоса в 2012 г. являлись морские ежи, двустворчатые моллюски, полихеты и сипункулиды (91,3 % общей биомассы). В 1985 г. так же и в той же последовательности доминировали морские ежи, двустворчатые моллюски и полихеты (84,7 % общей биомассы).

Основные сообщества макрозообентоса, отмеченные в 1985 г., практически сохранили свое местоположение и количественные характеристики к 2012 г.

По результатам проведенных исследований можно констатировать стабильность состава, распределения и количественных характеристик макрозообентоса Олюторского залива на протяжении четверти века.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы признательны И.А. Корнейчуку, ведущему инженеру ТИНРО, за помощь в техническом оформлении рисунков к статье.

Authors are grateful to I.A. Korneychuk, leading engineer of TINRO, for his help in figure drawing for the article.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.
The study has 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.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

В.А. Надточий — сбор первичных данных, анализ, подготовка таблиц и рисунков; совместно — написание первого варианта рукописи; Н.В. Колпаков — подготовка итоговой версии статьи.

V.A. Nadtochy — collection of primary data, analysis, preparation of tables and figures; both authors — writing the first version of the manuscript; N.V. Kolpakov — final version of the article.

Список литературы

Аксютин З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1968. — 288 с.

Архипова Е.А. Количественные характеристики *Echinarachnius parma* шельфа восточной части Олюторского залива (Берингово море) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : мат-лы 20-й междунар. научн. конф., посвящ. 150-летию со дня рождения акад. РАН В.Л. Комарова. — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2019. — С. 153–156.

Архипова Е.А., Коростелев С.Г. Количественные характеристики кормового бентоса на шельфе западной части Олюторского залива (Берингово море) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : мат-лы 21-й междунар. науч. конф., посвящ. 75-летию со дня рождения одного из организаторов современной гидробиологической науки на Камчатке, д.б.н. В.В. Ошуркова. — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2020. — С. 190–192.

Воробьев В.П. Бентос Азовского моря : моногр. — Симферополь : Крымиздат, 1949. — 193 с. (Тр. АзЧерНИРО; вып. 13.)

Дьяков Ю.П. Питание дальневосточных камбал (Pleuronectiformes) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2011. — Вып. 21. — С. 5–72.

Кобликов В.Н., Надточий В.А. Макрозообентос шельфа северо-западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 329–335.

Кузнецов А.П. Фауна донных беспозвоночных прикамчатских вод Тихого океана и северных Курильских островов : моногр. — М. : АН СССР, 1963. — 272 с.

Надточий В.А., Будникова Л.Л., Безруков Р.Г. Некоторые результаты бонитировки бентоса в российских водах дальневосточных морей: состав и количественное распределение (Берингово море) // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 153. — С. 264–282.

Напазаков В.В., Чучукало В.И., Кузнецова Н.А. и др. Питание и некоторые черты экологии тресковых рыб западной части Берингова моря в летне-осенний период // Изв. ТИНРО. — 2001. — Т. 128. — С. 907–928.

Несис К.Н. Общие экологические понятия в приложении к морским сообществам. Сообщество как континуум // Биология океана. Т. 2 : Биологическая продуктивность океана. — М. : Наука, 1977. — С. 5–13.

Нейман А.А. Донные сообщества шельфов // Биология океана. Т. 2 : Биологическая продуктивность океана. — М. : Наука, 1977. — С. 162–165.

Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия: Введение : пер. с англ. : моногр. — М. : Мир, 1989. — 487 с.

Чалиенко М.О., Борисов Е.Э., Надточий В.А. Особенности распределения палевого морского ежа в заливах Олюторский и Корфа (Берингово море) // Морские биологические исследования: достижения и перспективы : сб. мат-лов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции. — Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. — Т. 1. — С. 338–341.

References

Aksyutina, Z.M., *Elementy matematicheskoi otsenki rezul'tatov nablyudenii v biologicheskikh i rybokhozyaystvennykh issledovaniyakh* (Elements of Mathematical Evaluation of the Results of Observations in Biological and Fishery Research), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1968.

Arkhipova, E.A., Quantitative characteristics of *Echinarachnius parma* in the shelf of the eastern part of the Olyutorsky Bay (Bering Sea), in *Mater. 20-y mezhduar. nauchn. konf., posvyashch. 150-letiyu so dnya rozhdeniya akad. RAN V.L. Komarova* "Sokhraneniye bioraznoobraziya Kamchatki i prilegayushchikh morey" (Proc. 20th Int. Sci. Conf., dedicated to the 150th anniversary of

academic V.L. Komarov's birthday "Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters"), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2019, pp. 153–156.

Arkhipova, E.A. and Korostelev, S.G., Quantitative characteristics of the fodder benthos on the shelf of the western part of Olyutorskii Gulf (Bering Sea), in *Mater. 21-y mezhdunar. nauchn. konf., posvyashch. 75-letiyu so dnya rozhdeniya odnogo iz organizatorov sovremennoy gidrobiologicheskoy nauki na Kamchatke, d.b.n. V.V. Oshurkova* (Proc. 21st Int. Sci. Conf., dedicated to the 75th anniversary of one of the organizers of modern hydrobiological science in Kamchatka, doctor of biological sciences V.V. Oshurkov's birthday "Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters"), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2020, pp. 190–192.

Vorobyev, V.P., *Bentos Azovskogo morya* (Benthos of the Sea of Azov), Simferopol: Krymizdat, 1949.

Diakov, Yu.P., Feeding by far east flounders (Pleuronectiformes), *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2011, no. 21, pp. 5–72.

Koblikov, V.N. and Nadtochy V.A., Macrobenthos of the western Bering Sea shelf, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 329–335.

Kuznetsov, A.P., *Fauna donnykh bespozvonochnykh prikamchatskikh vod Tikhogo okeana i severnykh Kuril'skikh ostrovov* (The Fauna of Benthic Invertebrates in the Pacific Waters off Kamchatka and the Northern Kuril Islands), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1963.

Nadtochy, V.A., Budnikova, L.L., and Bezrukov, R.G., Some results of benthos researches in the Russian Far Eastern Seas: composition and quantitative distribution (Bering Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 153, pp. 264–282.

Napazakov, V.V., Chuchukalo, V.I., Kuznetsova, N.A., Radchenko, V.I., Slabinsky, A.M., and Nadtochy, V.A., Feeding and some features of ecology of Gadidae fish in the western part of Bering Sea in the summer-autumn season, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2001, vol. 128, pp. 907–928.

Neyman, A.A., Bottom communities of shelves, in *Biologiya okeana. T. 2: Biologicheskaya produktivnost' okeana* (Biology of the Ocean, vol. 2: Biological Capacity of the Ocean), Moscow: Nauka, 1977, pp. 162–165.

Preparata, F. and Sheimos, M., *Vychislitel'naya geometriya: Vvedeniye* (Computational Geometry: An Introduction), New York Inc.: Springer-Verlag, 1985.

Chalienko, M.O., Borisovets, E.E., and Nadtochy, V.A., Features of the distribution of pale-left sea urchin in the Olyutorsky and Korfa bays (Bering Sea), 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. 1, pp. 338–341.

Поступила в редакцию 17.12.2021 г.

После доработки 17.01.2022 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

*The article was submitted 17.12.2021; approved after reviewing 17.01.2022;
accepted for publication 25.02.2022*

Научная статья

УДК 639.3.07

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-172-186



**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ ПО ПОДАВЛЕНИЮ
РОСТА МИКРОМИЦЕТОВ СЕМ. SAPROLEGNACEAE
НА ЯЙЦЕВЫХ ОБОЛОЧКАХ ЭМБРИОНОВ РУССКОГО ОСЕТРА
И БЕЛУГИ В ПЕРИОД ИНКУБАЦИИ**

В.В. Барина¹, А.А. Бахарева², М.Е. Перунова^{1*}

¹ Волжско-Каспийский филиал ВНИРО (КаспНИРХ),
414056, г. Астрахань, ул. Савушкина, 1;

² Астраханский государственный технический университет,
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

Аннотация. Изложены результаты экспериментальных исследований по подавлению роста сапролегниевых микромицетов на яйцевых оболочках эмбрионов русского осетра и белуги в период инкубации. В ходе работы исследовали влияние нескольких химических веществ (хлорид натрия, пероксид водорода), лекарственного препарата «Йодинол», в том числе фиолетовый «К», ранее применяемый в рыбоводной практике и в настоящее время не разрешенный к применению, на показатели выживаемости, заражения, количества аномалий у эмбрионов. Анализ полученных результатов показал, что наиболее эффективными для подавления роста сапролегниевых микромицетов были 0,05 %-ный раствор пероксида водорода (экспозиция 10 мин) и 0,90 %-ный раствор хлорида натрия (экспозиция 3 мин). Данные растворы максимально ингибировали рост микромицетов, оказывая минимальное воздействие на эмбриональное и постэмбриональное развитие русского осетра и белуги.

Ключевые слова: сапролегниевые микромицеты, лекарственные средства, осетровые виды рыб, эмбрионы, выживаемость, заражение, аномалии, вылупление, предличинки.

Для цитирования: Барина В.В., Бахарева А.А., Перунова М.Е. Результаты экспериментальных работ по подавлению роста микромицетов сем. Saprolegniaceae на яйцевых оболочках эмбрионов русского осетра и белуги в период инкубации // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 172–186. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-172-186.

* Барина В.В. — Барина Виктория Владимировна, начальник центра аквакультуры, batina87@bk.ru; Бахарева Анна Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой, post@astu.org; Перунова Маргарита Евгеньевна, магистр, ведущий специалист, kaspnirh@vniro.ru, ORCID 0000-0002-7769-0105.

© Барина В.В., Бахарева А.А., Перунова М.Е., 2022

Original article

Results of experimental studies on suppressing the growth of micromycetes (fam. Saprolegniaceae) on egg membranes of embryos of russian sturgeon and beluga in the incubation period

Victoria V. Barinova¹, Anna A. Bahareva², Margarita E. Perunova¹

¹ aquaculture center supervisor, Volga-Caspian branch of VNIRO (CaspNIRKh), 1, Savushkina St., Astrakhan, 414056, Russia, batina87@bk.ru; leading specialist, Volga-Caspian branch of VNIRO (CaspNIRKh), 1, Savushkina St., Astrakhan, 414056, Russia, kaspnirh@vniro.ru

² D.Agr., professor, head of department, Astrakhan State Technical University, 16, Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russia, post@astu.org

Abstract. For successful development of aquaculture, fish farms have to be provided by effective means and methods to prevent and treat diseases of fish. Many drugs are limited for using in aquaculture, so the influence of each particular drug or chemical substance on the fish development should be investigated carefully. Effectiveness of chemical solutions for suppressing the growth of saprolegnium micromycetes on egg membranes and other tissues of sturgeon embryos during their incubation is evaluated. The experiment was conducted at the research and experimental base BIOS belonged to the Russian Res. Inst. of Fisheries and Oceanography, Volga-Caspian branch (CaspNIRKh) located in Astrakhan and included a series of observations on incubation of sturgeon eggs processed with solutions of some chemicals (Purple-K, sodium chloride, hydrogen peroxide) or drug (Iodinol). Two sturgeon species (russian sturgeon and beluga) were tested with measuring biological parameters of their embryos, as survival rate, contamination by saprolegnia micromycetes, number of abnormally developing embryos, and number of obtained prelarvae. The processing with 0.05 % solution of hydrogen peroxide (10 min. exposure) and with 0.90 % solution of sodium chloride (3 min. exposure) showed the best results: these solutions made the lowest negative effect on the embryos survival but reduced significantly infection of incubated eggs.

Keywords: saprolegnium micromycete, drug, sturgeon, embryo, survival, infection, abnormality, hatching, prolarva.

For citation: Barinova V.V., Bahareva A.A., Perunova M.E. Results of experimental studies on suppressing the growth of micromycetes (fam. Saprolegniaceae) on egg membranes of embryos of russian sturgeon and beluga in the incubation period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 172–186. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-172-186.

Введение

Одним из факторов, влияющих на темпы развития современной аквакультуры, является обеспечение рыбоводных хозяйств эффективными средствами и методами профилактики и лечения заболеваний объектов выращивания, которые могут возникать на предприятиях в условиях высокой интенсификации производственных процессов. При этом требования к качеству продукции аквакультуры с каждым годом становятся все выше, что влечет за собой необходимость использования эффективных, экологически-безопасных и доступных средств, методов лечения и профилактики заболеваний.

В настоящее время существует проблема дефицита лекарственных препаратов, разрешенных к применению в отечественной аквакультуре, решение которой достигается комплексными исследовательскими работами, обосновывающими применение того или иного лекарственного средства.

Реализация технологий аквакультуры, как правило, сопровождается различными видами патологий рыб. В индустриальном рыбоводстве широко распространены алиментарные, бактериальные и микозные заболевания, реже — паразитарные. Одними из самых распространенных заболеваний являются сапролегниозы, вызываемые сапролегниевыми микромицетами, относящимися к царству Chromista (Stramenopila), отделу Oomycota, классу Oomycetes, порядку Saprolegniales, семейству Saprolegniaceae [Гарибова, Лекомцева, 2005]. Сапролегниозы вызывают виды разных родов, самые рас-

пространенные из которых — *Achlya* и *Saprolegnia*. Сапролегниевые микромицеты не выделяют токсины, они способны лизировать покровы, постепенно проникая в ткани хозяина и разрушая их. Некоторые исследователи считают, что смерть организма, пораженного сапролегниозом, происходит в результате нарушения водного баланса в связи с разрушением структуры тканей [Переведенцева, 2009].

В ходе производства продукции аквакультуры складываются благоприятные условия для развития сапролегниевых микромицетов. Высокие плотности посадки выращиваемых объектов, снижение концентрации кислорода, увеличение содержания биогенного азота вследствие увеличения количества погибающей икры или количества продуктов метаболизма рыб, постоянный хэндлинг создают предпосылки для развития микозной инфекции.

Таким образом, интенсификация производственных процессов в условиях замкнутого водоснабжения требует постоянного контроля за эпизоотической ситуацией на рыбоводных хозяйствах, а также разработки системы лечебно-профилактических мероприятий.

В настоящее время вопрос восстановления естественной Волжско-Каспийской популяции данных видов является актуальным и требует комплексного подхода к его решению, этот факт обусловил выбор объектов исследования. Кроме того, активному развитию товарного осетроводства препятствует отсутствие разрешенных для применения лекарственных средств профилактики и лечения сапролегниоза, при котором массовая гибель особей на ранних этапах эмбриогенеза является одной из основных экономических потерь предприятия.

Цель исследований заключалась в оценке эффективности применения растворов различных химических веществ для подавления роста сапролегниевых микромицетов на яйцевых оболочках и тканях эмбрионов осетровых видов рыб в процессе инкубации.

Материалы и методы

Экспериментальные работы по оценке степени влияния растворов химических веществ (фиолетовый «К», хлорид натрия, пероксид водорода) и лекарственного препарата «Йодинол» на развитие эмбрионов осетровых рыб проводили на базе научно-экспериментального комплекса аквакультуры «БИОС» Волжско-Каспийского филиала ВНИРО (КаспНИРХ) (НЭКА «БИОС»). Объектом исследований являлись оплодотворенные ооциты и развивающиеся эмбрионы русского осетра и белуги. Экспериментальные работы проводили в два этапа. На первом этапе инкубировали эмбрионов русского осетра, на втором — эмбрионов белуги.

Инкубация оплодотворенных ооцитов проводилась в инкубационных аппаратах типа «Осетр» в условиях замкнутого водоснабжения при средних значениях рН $8,5 \pm 0,1$ и температуре воды $15,7 \pm 0,9$ °С в течение семи суток. Обработку экспериментальными растворами осуществляли методом кратковременных лечебных ванн [Рахконен и др., 2012]. При инкубации эмбрионов русского осетра обработку осуществляли однократно на стадии нейруляции (21–22-я стадии развития) [Ларцева и др., 2017], так как заражение эмбрионов сапролегниевыми микромицетами регистрировали только с 21-й стадии развития. Во время инкубации белуги заражение отмечали так же, как и у русского осетра, на этапе нейруляции, но обработку во время эмбрионального развития проводили на более поздних стадиях, чем у русского осетра, до стадии биения сердечной трубки (до 29-й стадии развития) — на 21–22 и 27–28-й стадиях развития [Детлаф, Гинзбург, 1954; Ларцева и др., 2017], так как заражение эмбрионов белуги регистрировали до вылупления свободных эмбрионов.

Для оценки степени воздействия экспериментальных растворов на развитие эмбрионов использовали рыбоводно-биологические показатели: количество оплодотворенных ооцитов, количество выживших эмбрионов и вылупившихся предличинок, количество эмбрионов, зараженных микромицетами сем. *Saprolegniaceae*, подсчет

которых осуществляли стандартными методами*, заключающимися в выявлении количества оплодотворенных, выживших или зараженных эмбрионов в пробе из 300 икринок. Оплодотворение определяют на стадии 4 бластомеров — все икринки, которые на данной стадии имеют 4 клетки, считаются развивающимися. Выживаемость эмбрионов определяли на разных стадиях, в соответствии с типичностью эмбрионального развития для определенной стадии. При подсчете зараженных икринок в пробе подсчитывали икринки, пораженные сапролегниевыми микромицетами. Количество аномально развивающихся особей подсчитывали так же, как и вышеперечисленные показатели, при этом для каждой стадии развития регистрировали разные виды аномалии [Атлас нарушений..., 2004]. Показатели определяли с использованием микроскопа Биомед МС-1 Стерео. Количество вылупившихся предличинок определяли весовым методом*. Результаты подвергали статистической обработке с использованием программы Microsoft Excel.

В соответствии с биотехническими нормативами [http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_188208/2ff7a8c72de3994f30496a0ccbb1ddafdaddd518/] оплодотворяемость икры белуги должна быть не менее 80 %, русского осетра — 80 %, количество выживших эмбрионов белуги — 70 %, русского осетра — 70 %. Условно показатель выживаемости по окончании инкубации был принят для характеристики количества полученных предличинок белуги и стерляди на 36-й стадии развития. Показатель количества развивающихся эмбрионов необходим для выявления динамики их развития в ходе инкубации. Количество аномально развивающихся эмбрионов не нормируется, но в соответствии с данными Т.А. Детлаф и А.С. Гинзбург [1954] количество аномально развивающихся эмбрионов не должно превышать 14 % при использовании качественных половых продуктов. Показатель заражения инкубируемой икры сапролегниевыми микромицетами в период инкубации может достигать 100 % при использовании половых продуктов низкого качества, несоблюдении условий инкубации и т.д. Поэтому показатель заражения сравнивали между контрольными и опытными группами.

Определение эффективности препаратов для подавления роста сапролегниевых микромицетов проводили в экспериментальных группах в двукратной повторности. В контрольном варианте инкубировали ооциты без обработки лекарственными препаратами, в опытных вариантах ооциты обрабатывали растворами химических веществ с различной концентрацией (см. таблицу).

Для проведения исследований были использованы растворы химических веществ: фиолетовый «К», пероксид водорода, хлорид натрия и лекарственного препарата «Йодинол».

Фиолетовый «К» — это органический основной анилиновый краситель, лейко-основание [Вишторская и др., 2020]. Долгое время его использовали в аквакультуре для борьбы с сапролегниозами и бактериальными заболеваниями. Однако в настоящее время данное химическое вещество не разрешено к применению в рыбоводстве, в связи с тем, что была выявлена его способность аккумулироваться в организме рыб и проявлять канцерогенные свойства. В ходе эксперимента был использован раствор концентрацией 0,7 % с экспозицией 20 мин [Ларцева и др., 2017]. Данный раствор был взят для сравнения эффективности применения растворов пероксида водорода, хлорида натрия и «Йодиола» с эффективностью применения фиолетового «К».

Хлорид натрия — натриевая соль соляной кислоты. В быту называется поваренной солью [Большая советская энциклопедия, 1974]. В рыбоводстве применяют для снижения содержания биогенов в системах с установками замкнутого водоснабжения. Для обработки эмбрионов русского осетра и белуги использовали 0,9 %-ный раствор с экспозицией 3 мин, концентрация которого была выбрана по результатам предыдущих работ [Баринова и др., 2020а–в].

* Сборник инструкций и нормативно-методических указаний по промышленному разведению осетровых рыб в Каспийском и Азовском бассейнах. М.: ВНИРО, 1986. 271 с.

Схема экспериментальных работ
Scheme of experiment

№ этапа	Наименование вида	№ опытной группы	№ группы в соответствии с графиками	Химическое вещество	Концентрация растворов, %	Экспозиция, мин
I	Русский осетр (РО)	1	1	Контроль	0	0
		2				
		3	2	Фиолетовый «К»	0,70	20
		4				
		5	3	Хлорид натрия	0,90	3
		6				
		7	4	«Йодинокс»	0,01	1
		8				
		9	5	Пероксид водорода	0,05	10
		10				
II	Белуга (БГ)	1	1	Контроль	0	0
		2		Контроль	0	0
		3	2	Фиолетовый «К»	0,70	20
		4				
		5	3	Хлорид натрия	0,90	3
		6				
		7	4	«Йодинокс»	0,01	1
		8				
		9	5	Пероксид водорода	0,05	10
		10				

Пероксид водорода — представитель пероксидов. Являясь сильным окислителем, он обладает бактерицидными свойствами. В Европе используется для обработки икры форели [Рахконен и др., 2012]. Эмбрионы русского осетра и белуги обрабатывали 0,05 %-ным раствором с экспозицией 10 мин. В ходе экспериментальных работ, проведенных ранее, выяснилось, что снижение концентрации до 0,05 % с увеличением длительности воздействия данного раствора до 10 мин приводит к подавлению роста и развития сапролениевых микромицетов [Баринова и др., 2020б].

«Йодинокс» — препарат, в состав которого входит кристаллический йод и йодистый калий. Йодистый калий — более стабильное соединение, чем другие соединения йода (йодистый натрий, йодистый кальций) [Шалак, Гончарик, 2017]. При проведении эксперимента использовали 0,01 %-ный раствор с экспозицией 1 мин.

Растворы фиолетового «К», пероксида водорода, «Йодинокса» готовили путем разбавления маточного раствора до необходимой концентрации, раствор хлорида натрия — путем растворения поваренной соли в воде. Поскольку экспериментальные работы проводили в производственных условиях, для приготовления растворов использовали ту же воду, что и для инкубации. При этом вода, поступающая в инкубационную стойку, проходила механическую, биологическую и ультрафиолетовую очистку.

Гистологический анализ развивающихся эмбрионов проводили в лаборатории молекулярной генетики и физиологии Волжско-Каспийского филиала ВНИРО (КаспНИРХ). Были отобраны пробы эмбрионов (по 10 эмбрионов в яцевых оболочках в одной пробе) после оплодотворения на разных стадиях развития.

Гистологические исследования проводили стандартными гистологическими методами [Ромейс, 1954] с фиксацией в жидкости Буэна и дальнейшей проводкой через серию спиртов возрастающей крепости и заливкой в парафин. При изготовлении гистологических препаратов использовали окраску гематоксилин-эозином и кислым фуксином с доокраской по Маллори. Просмотр препаратов велся под микроскопом

OLYMPUS BX40. Фотографии изготовили с помощью цифровой камеры-окуляра для микроскопа ДСМ500.

Результаты и их обсуждение

Одним из основных показателей, характеризующих степень влияния экспериментальных растворов на эмбриональное развитие, является выживаемость эмбрионов (рис. 1).

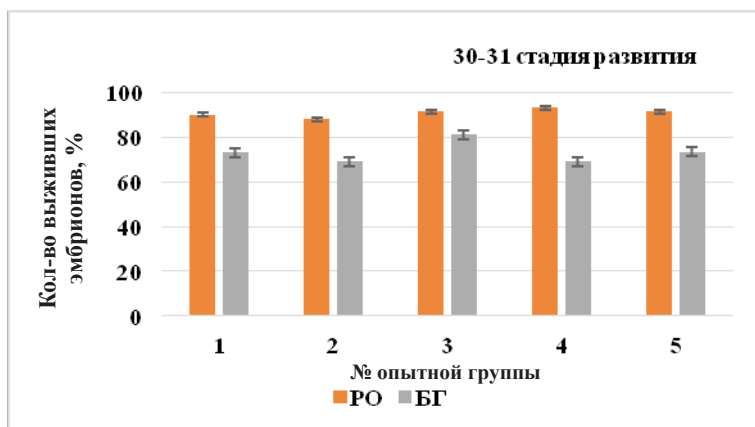


Рис. 1. Количество выживших эмбрионов русского осетра (ПО) и белуги (БГ) в контрольной и опытных группах

Fig. 1. Number of survived embryos of russian sturgeon (ПО) and beluga (БГ) in the control and experimental groups

В результате первого этапа эксперимента выживаемость эмбрионов русского осетра на 30–31-й стадиях развития после однократной обработки была выше нормативных значений развития [http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_188208/2ff7a8c72de3994f30496a0ccbb1ddafdaddf518/] как в опытных, так и в контрольной группах. Максимальные значения показателя выживаемости регистрировали в вариантах опыта с применением раствора «Йодинола» (93,0), а также раствора хлорида натрия ($92,5 \pm 2,5$) и пероксида водорода ($91,5 \pm 3,5$). Минимальная выживаемость отмечена у эмбрионов, прошедших обработку раствором препарата фиолетового «К» (88,0).

При проведении второго этапа экспериментальных работ с эмбрионами белуги их выживаемость на 30–31-й стадиях развития была на уровне или выше нормативных значений развития (выживаемости) [http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_188208/2ff7a8c72de3994f30496a0ccbb1ddafdaddf518/]. Максимальные значения выживаемости отмечены в опытных группах с применением хлорида натрия ($81,0 \pm 1,0$) и пероксида водорода ($73,5 \pm 2,5$). Значения показателя в этих группах были выше значения контрольной (73,0). Минимальное количество выживших эмбрионов регистрировали в опытных группах с использованием растворов фиолетового «К» (69,0) и «Йодинола» ($69,0 \pm 6,0$).

В ходе эксперимента учитывали количество аномально развивающихся эмбрионов (рис. 2).

Учет количества аномально развивающихся эмбрионов русского осетра и белуги в контрольной и опытных группах проводили с целью определения возможного негативного действия экспериментальных растворов на развитие осетровых видов рыб. В результате проведенных исследований было установлено максимальное количество аномалий у эмбрионов русского осетра, подвергнувшихся обработке раствором фиолетового «К», — 2 %. В других вариантах опыта, т.е. при обработке ооцитов растворами хлорида натрия и пероксида водорода, этот показатель не превышал 1 % (рис. 2).

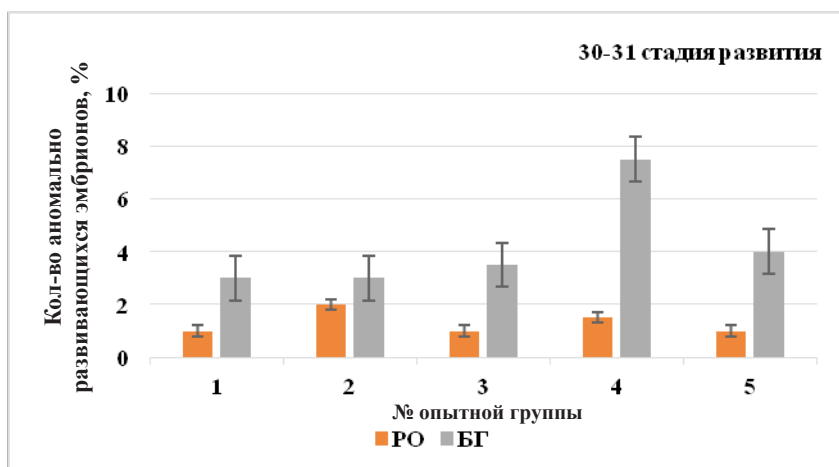


Рис. 2. Количество аномально развивающихся эмбрионов русского осетра (РО) и белуги (БГ) в контрольных и опытных группах

Fig. 2. Number of abnormally developing embryos of russian sturgeon (РО) and beluga (БГ) in the control and experimental groups

Анализ результатов исследований по оценке влияния препаратов фунгистатического действия на типичность развития эмбрионов белуги показал минимальную степень воздействия раствора фиолетового «К». Количество аномально развивающихся эмбрионов в этом варианте составило 3 %. Наибольшее воздействие на развитие зародышей белуги оказал раствор «Йодинола» — $7,5 \pm 1,5$ % особей с атипичным развитием. При обработке эмбрионов растворами хлорида натрия и пероксида водорода аномалии в развитии встречались соответственно у $3,5 \pm 0,5$ и $4,0 \pm 1,0$ % особей.

Следует отметить, что во всех опытных вариантах количество аномально развивающихся эмбрионов у белуги было выше, чем у русского осетра. Это объясняется меньшим коэффициентом генетического родства (от 1,8 до 2,5) самок и самцов русского осетра. Потомство белуги было получено от производителей, коэффициент генетического родства которых изменялся в пределах от 4,5 до 6,0. Данная проблема в настоящее время существует практически на каждом осетровом рыбноводном хозяйстве, осуществляющем свою деятельность за счет собственного маточного стада, без пополнения его особями из естественной популяции. Несомненно, это влияет на качество половых продуктов и, как следствие, может быть дополнительным фактором развития аномалий, гибели эмбрионов, приводящей к высокой зараженности сапролегниевыми микромицетами.

Основными видами аномалий эмбрионов русского осетра и белуги, которые регистрировали в пробах из контрольной и опытной групп при проведении экспериментальных работ, были формирование тела эмбриона при открытом бластопоре на стадии окончания гастрюляции и начала нейруляции, искривление и укорочение тела эмбрионов, искривление хвостового отдела.

У русского осетра во всех вариантах опыта отмечено максимальное количество аномалий морфологического характера (искривление и укорочение тела эмбриона), которые в большей степени проявлялись у групп особей, обработанных растворами хлорида натрия, «Йодинола» и пероксида водорода (рис. 3). При этом общее количество аномалий в пробах данных опытных групп не превышало 1 % (см. рис. 2). Максимальное количество аномалий, связанных с формированием тела у эмбрионов русского осетра при открытом бластопоре, отмечено в экспериментальной группе с применением раствора хлорида натрия в качестве фунгистатического препарата.

У эмбрионов белуги во всех опытных группах отмечено максимальное количество аномалий, связанных с формированием тела у эмбрионов при открытом бластопоре,

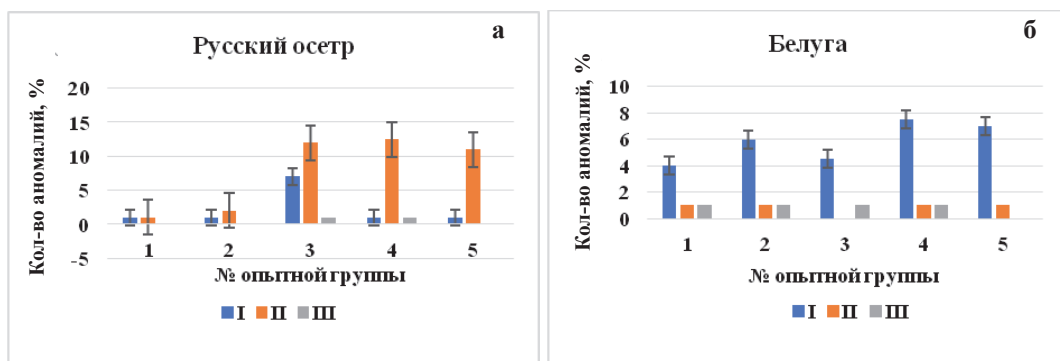


Рис. 3. Виды аномалий и их количество у эмбрионов русского осетра (а) и белуги (б) в соответствии с опытными группами: I — формирование тела эмбриона при открытом бластопоре; II — искривление и укорочение тела эмбрионов; III — искривление хвостового отдела

Fig. 3. Types of abnormalities and their number for embryos of russian sturgeon (а) and beluga (б), by experimental groups: I — embryo body with open blastopore; II — curved or shortened body of embryos; III — tail curvature

относительно значений контрольной группы (рис. 3). При этом наибольшее количество всех аномалий и, в частности, аномалий, связанной с закрытием бластопора, отмечали в опытной группе с использованием «Йодинола» (см. рис. 2).

Тем не менее частота встречаемости и разнообразие аномалий в опытных группах с эмбрионами русского осетра и белуги была выше, чем в контрольной, с преобладанием в экспериментах эмбрионов русского осетра.

В целом количество аномально развивающихся эмбрионов не превышало 14 % (рис. 3), что свидетельствует об удовлетворительном рыболовном качестве половых продуктов и незначительном влиянии окружающих факторов на эмбриональное развитие [Детлаф, Гинзбург, 1954].

Возможно, доминирование определенного вида аномалий связано не столько с обработкой эмбрионов растворами экспериментальных веществ (учитывая, что вещества, их концентрации и экспозиции были одинаковы и в опытах с русским осетром, и в опытах с белугой), сколько с видовой специфичностью и склонностью к развитию определенного отклонения в ходе эмбрионального развития.

Анализ результатов гистологических исследований икры белуги и русского осетра показал изменения в строении студенистой и желточной оболочках как в опыте, так и в контроле.

В контрольном варианте на 18-й стадии развития у некоторых эмбрионов белуги отмечено локальное разрушение студенистой оболочки, отслаивание оболочек от содержимого икринок, у эмбрионов русского осетра на 28–29-й стадиях развития регистрировали поперечные разрывы студенистой оболочки, а также неравномерное окрашивание (рис. 4).

В опытных группах с использованием 0,7 %-ного раствора фиолетового «К» у эмбрионов белуги отмечено отслаивание студенистой оболочки от желточных, у эмбрионов русского осетра регистрировали разрывы студенистой оболочки и ее неравномерное окрашивание (рис. 5). При использовании 0,9 %-ного раствора хлорида натрия отмечено локальное отслаивание оболочек от содержимого икринок, образование полостей в клеточной массе (рис. 6, а). У эмбрионов русского осетра регистрировали разрывы студенистой оболочки (рис. 6, б).

При обработке икры белуги 0,01 %-ным раствором «Йодинола» регистрировали отслаивание оболочек от содержимого икринок, расслаивание оболочек и их разрывы (рис. 7, а). У эмбрионов русского осетра, кроме отслаивания оболочек, отмечали неравномерное их окрашивание и отсутствие четких границ (рис. 7, б).

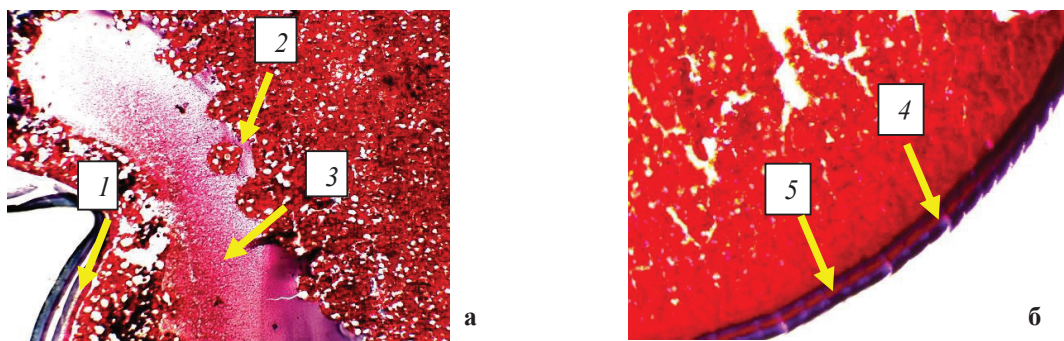


Рис. 4. Фрагменты оплодотворенных икринок белуги на 18–19-й стадиях развития (а) (ув. 10×10) и русского осетра на 28–29-й стадиях развития (б) (ув. 10×10) контрольной группы (окраска кислым фуксином с докраской по Маллори): 1 — расслаивание оболочек, отслаивание студенистой оболочки от содержимого икринки; 2 — зачаток хорды; 3 — целом; 4 — разрывы студенистой оболочки; 5 — неравномерное окрашивание оболочки

Fig. 4. Parts of inseminated eggs of beluga on the 18–19th stage of development (а) and eggs of russian sturgeon in the control group (Mallory staining) on the 28–29th stage of development (б): 1 — membranes delamination, gelatinous membrane separation; 2 — notochord at the bud stage; 3 — coelom; 4 — ruptures of gelatinous membrane; 5 — uneven coloration of membranes. Magnification 10×10

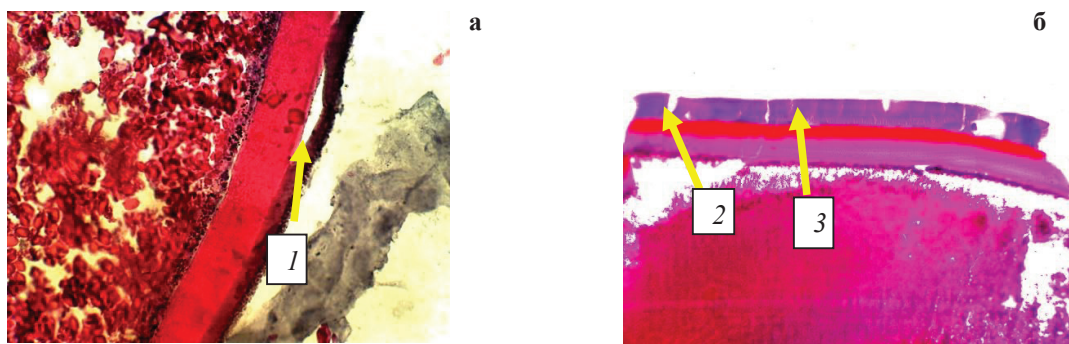


Рис. 5. Фрагменты оплодотворенных икринок белуги на 18–19-й стадиях развития (а) (ув. 22×40) и русского осетра на 28–29-й стадиях развития (б) (ув. 10×10), обработанных 0,7 %-ным раствором фиолетового «К» (окраска кислым фуксином с докраской по Маллори): 1 — отслаивание оболочек от содержимого икринки; 2 — разрывы в студенистой оболочке; 3 — неравномерно окрашенная студенистая оболочка

Fig. 5. Parts of inseminated eggs of beluga on the 18–19th stage of development (а, magn. 22×40) and eggs of russian sturgeon treated with Purple-K 0.7 % (Mallory staining) on the 28–29th stage of development (б, magn. 10×10): 1 — membrane separation from the egg content; 2 — ruptures in gelatinous membrane; 3 — uneven coloration of gelatinous membrane

Раствор пероксида водорода концентрацией 0,05 % также негативно воздействовал на состояние оболочек эмбрионов белуги, что выражалось в их отслаивании (рис. 8, а). У эмбрионов русского осетра регистрировали отслаивание желточной оболочки от содержимого икринок, неравномерную окраску и поперечные разрывы оболочек (рис. 8, б). Аналогичные патологии наблюдались в контрольном варианте.

Основным показателем эффективности применения растворов химических веществ является количество зараженных эмбрионов до и после обработок (рис. 9).

Низкий уровень зараженности эмбрионов наблюдали у русского осетра. Максимальное количество зараженных особей отмечено в контрольном варианте и при обработке раствором фиолетового «К» — 1 %. Единичные случаи заражения обнаруживались в остальных вариантах, где обработку ооцитов проводили растворами

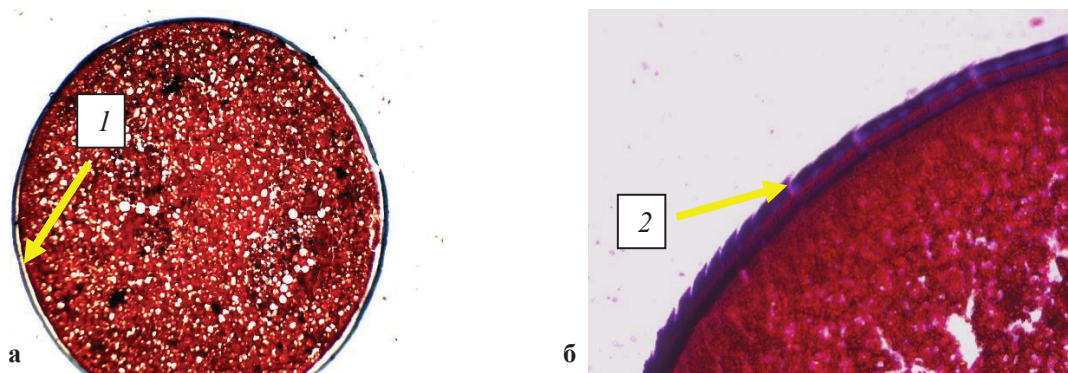


Рис. 6. Фрагменты оплодотворенных икринок белуги на 18–19-й стадиях развития (а) (ув. 4×10) и русского осетра на 28–29-й стадиях развития (б) (ув. 10×10), обработанных 0,9 %-ным раствором хлорида натрия (окраска кислым фуксином с докраской по Маллори): 1 — отслаивание оболочки от содержимого икринок; 2 — разрывы студенистой оболочки

Fig. 6. Parts of inseminated eggs of beluga on the 18–19th stage of development (а, magn. 4×10) and eggs of russian sturgeon treated with sodium chloride 0.9 % (Mallory staining) on the 28–29th stage of development (б, magn. 10×10): 1 — membrane separation from the egg content; 2 — ruptures of gelatinous membrane

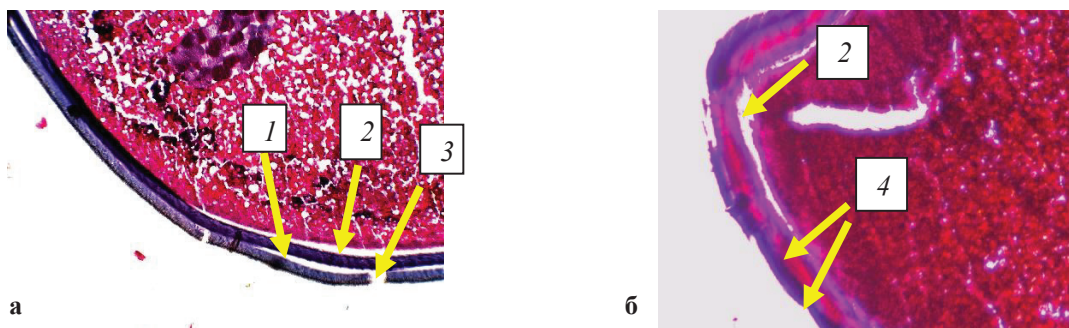


Рис. 7. Фрагменты оплодотворенных икринок белуги на 18–19-й стадиях развития (а) (ув. 10×10) и русского осетра на 28–29-й стадиях развития (б) (ув. 10×10), обработанных 0,01 %-ным раствором «Йодинола» (окраска кислым фуксином с докраской по Маллори): 1 — расслаивание оболочек; 2 — отслаивание оболочек от содержимого икринок; 3 — разрывы в оболочках; 4 — оболочки неравномерно окрашены, не имеют четких границ

Fig. 7. Parts of inseminated eggs of beluga on the 18–19th stage of development (а, magn. 10×10) and eggs of russian sturgeon treated with Iodinol 0.01 % (Mallory staining) on the 28–29th stage of development (б, magn. 10×10): 1 — membranes delamination; 2 — membrane separation from the egg content; 3 — ruptures in membranes; 4 — uneven coloration of membranes, absence of the clear contours

«Йодинола», хлорида натрия и пероксида водорода. Вероятнее всего, низкое заражение эмбрионов связано с хорошим качеством половых продуктов и высокой жизнестойкостью потомства.

В отличие от осетра, заражение эмбрионов белуги было достаточно интенсивным. Так, максимальное заражение сапролегнией наблюдали у группы особей, обработанных растворами фиолетового «К» — 15 % и «Йодинола» — 12 ± 5 %. Значение заражения икры в опытной группе с применением раствора хлорида натрия составило $9,5 \pm 4,5$ %, что выше показателей заражения в контрольной группе, но ниже, чем в двух первых. Максимальный эффект наблюдали при обработке ооцитов пероксидом водорода. Процент заражения в этом варианте оказался самым низким — $5,5 \pm 3,5$ %, что свидетельствует о негативном воздействии данного раствора на сапролегниевые микромицеты или создании неблагоприятных условий для их развития. Действие растворов высоких

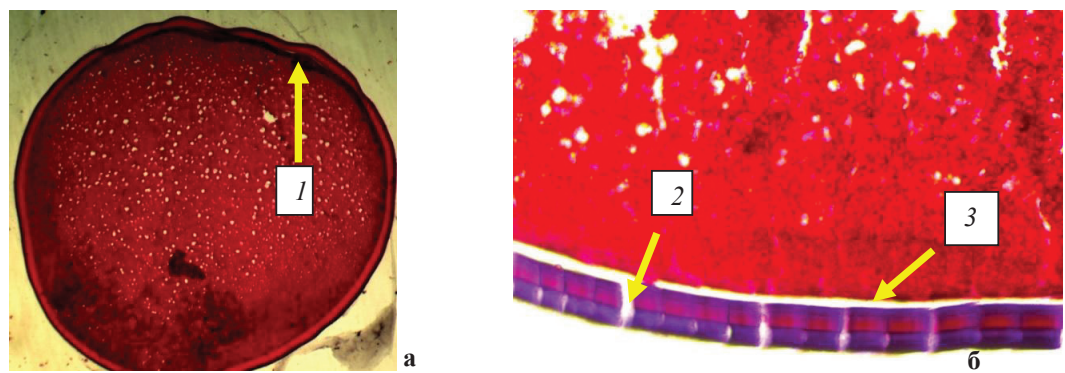


Рис. 8. Фрагменты оплодотворенных икринок белуги на 18–19-й стадиях развития (а) (ув. 4×10) и русского осетра на 28–29-й стадиях развития (б) (ув. 10×10), обработанных 0,05 %-ным раствором пероксида водорода (окраска кислым фуксином с докраской по Маллори): 1 — отслаивание оболочки от содержимого икринки; 2 — разрывы студенистой и желточных оболочек; 3 — отслаивание 2-й желточной оболочки от содержимого икринки

Fig. 8. Parts of inseminated eggs of beluga on the 18–19th stage of development (а, magn. 4×10) and eggs of russian sturgeon treated with hydrogen peroxide 0.05 % (Mallory staining) on the 28–29th stage of development (б, magn. 10×10): 1 — membrane separation from the egg content; 2 — ruptures of gelatinous and vitelline membranes; 3 — separation of the 2nd vitelline membrane from the egg content

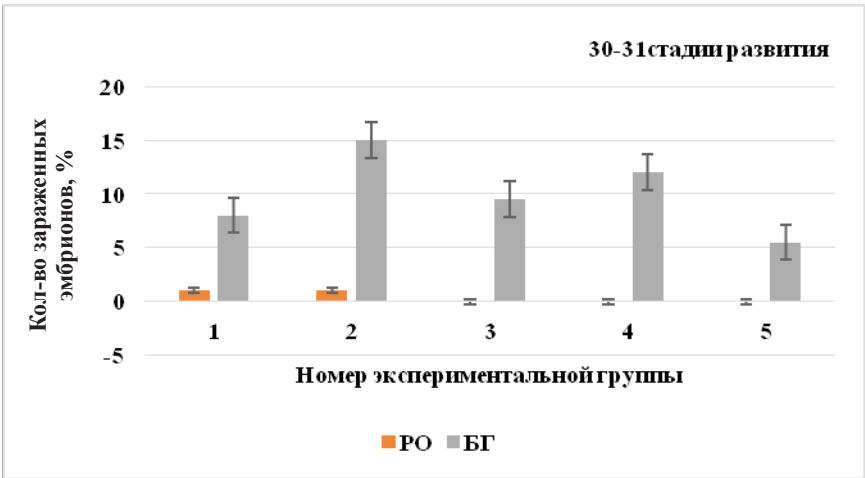


Рис. 9. Количество зараженных эмбрионов русского осетра (PO) и белуги (БГ) в контрольной и опытных группах

Fig. 9. Number of infected embryos of russian sturgeon (PO) and beluga (БГ) in the control and experimental groups

концентраций не приводит к положительному результату, а способствует снижению выживаемости и повышению уровня заражения [Володина и др., 2019; Баринова и др., 2020б]. Обработка развивающихся эмбрионов растворами химических веществ низкой концентрации, не способных оказать губительного действия на эмбрионы, при более длительной экспозиции позволяет снизить уровень заражения и повысить выход свободных эмбрионов после инкубации.

Раствор хлорида натрия, несмотря на низкую эффективность относительно сапролегниевых микромицетов, приводит к увеличению количества выживших эмбрионов.

Количество полученных предличинок является важным показателем с точки зрения оценки экономической эффективности полученных результатов. Количество полученных свободных эмбрионов представлено на рис. 10.

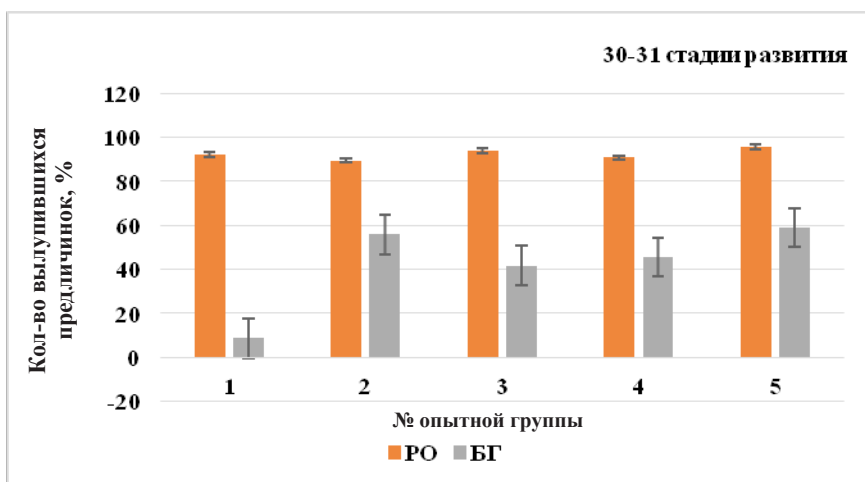


Рис. 10. Количество полученных предличинок русского осетра (ПО) и белуги (БГ) в контрольной и опытных группах

Fig. 10. Number of obtained prelarvae of russian sturgeon (ПО) and beluga (БГ) in the control and experimental groups

В результате инкубации эмбрионов русского осетра количество полученных предличинок было практически одинаковым во всех опытных группах и составило чуть менее 100 %, что свидетельствует о хорошем рыбоводном качестве икры и отсутствии негативного влияния применяемых растворов.

Выход свободных эмбрионов белуги после инкубации был значительно ниже, чем русского осетра. При этом контрольные варианты отличались от опытных низкими показателями выхода предличинок белуги, что подтверждает необходимость проведения лечебно-профилактических обработок инкубируемых эмбрионов в яцевых оболочках от сапролегниозов в период инкубации, начиная со стадии нейруляции.

Закключение

Количество выживших эмбрионов русского осетра было приблизительно одинаковым во всех экспериментальных группах. Выживаемость эмбрионов белуги в разных группах различалась. Так, в опытных группах с применением 0,70 %-ного раствора фиолетового «К» и 0,01 %-ного раствора лекарственного препарата «Йодинол» выживаемость эмбрионов была ниже, чем в контрольной. В опытной группе с использованием 0,90 %-ного раствора хлорида натрия значение показателя выживаемости эмбрионов было выше, чем в контроле, а в группе с 0,05 %-ным раствором пероксида водорода практически равно значениям контрольной группы.

Количество аномалий больше в опытных группах, чем в контрольной. При этом у белуги регистрировали большее количество аномалий, чем у русского осетра, но их число не превышало 14 %, что свидетельствует о хорошем качестве половых продуктов. Гистологический анализ показал, что и у эмбрионов русского осетра, и у эмбрионов белуги отмечены изменения в оболочках как в опытных, так и в контрольной группах.

Заражение сапролегниевыми микромицетами эмбрионов русского осетра было единичным. У белуги регистрировали максимальное заражение в опытных группах с использованием 0,70 %-ного раствора фиолетового «К», 0,90 %-ного раствора хлорида натрия и 0,01 %-ного раствора «Йодиола» относительно значений показателя заражения в контрольной группе. Минимальное заражение эмбрионов белуги отмечено при применении 0,05 %-ного раствора пероксида водорода.

Количество полученных предличинок русского осетра приближалось к 100 % во всех экспериментальных группах. Количество свободных эмбрионов белуги, получен-

ных в опытных группах, было намного выше, чем в контроле. При этом максимальное количество предличинок было получено в опытных группах с использованием 0,90 %-ного раствора хлорида натрия и 0,05 %-ного раствора пероксида водорода

На основании полученных результатов можно сделать выводы, что в период инкубации икры русского осетра хорошего качества использование обработок химическими веществами для подавления роста сапролегниевых микромицетов необязательно вследствие низкого заражения инкубируемой икры. Достаточно осуществлять ежедневный сбор зараженной икры.

В период инкубации икры белуги регистрировали высокий уровень заражения икры сапролегниевыми микромицетами, в связи с этим подавление их активного роста и развития возможно с использованием 0,05 %-ного раствора пероксида водорода (экспозиция 10 мин) и 0,90 %-ного раствора хлорида натрия (экспозиция 3 мин). При использовании 0,05 %-ного раствора пероксида водорода отмечено снижение заражения икры при минимальном негативном воздействии на эмбриональное развитие белуги. Заражение икры после обработки 0,9 %-ным раствором хлорида натрия оставалось на уровне значений заражения контрольной группы, однако данный раствор оказывал минимальное действие на эмбриональное развитие, и количество полученных предличинок было больше, чем в контрольной группе.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарны коллективу научно-экспериментального комплекса аквакультуры «БИОС» Волжско-Каспийского филиала ВНИРО (КаспНИРХ) за помощь в организации проведения экспериментальных работ на базе комплекса.

Авторы признательны сотрудникам лаборатории молекулярной генетики и физиологии Волжско-Каспийского филиала ВНИРО (КаспНИРХ) за предоставление оборудования и помощь в проведении гистологических исследований, а также ведущему специалисту лаборатории ихтиопатологии В.В. Проскуриной и заведующей лабораторией Е.А. Ворониной за полезные рекомендации и помощь в анализе полученного материала.

Authors thank the staff of the research and experimental base BIOS for their assistance in organizing experimental works at the base, are grateful to the staff of Lab. Molecular Genetics and Physiology of the Volga-Caspian branch of VNIRO (CaspNIRKh) for using their equipment and their assistance in histological studies and personally to V.V. Proskurina, leading specialist, and E.A. Voronina, head of laboratory, from Lab. Ichthyopathology of the same institute for their help in analysis of the material and the manuscript preparing.

Финансирование работы (FUNDING)

Результаты настоящего исследования были получены в рамках выполнения государственного задания «Проведение прикладных научных исследований» (раздел 3 государственного задания ВНИРО № 076-00007-22ПР).

The study is made within implementation of the state assignment for VNIRO «Carrying out of the applied scientific research» (№ 076-00007-22PR, section 3).

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for the care and use of animals have been followed.

The authors have no conflicts of interest to declare.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

В.В. Баринава придумала, разработала схему проведения экспериментальных работ и в дальнейшем непосредственно участвовала в их проведении, проводила определение рыбоводно-биологических показателей, обрабатывала материал, писала основной текст статьи, анализировала полученные результаты.

М.Е. Перунова занималась гистологическими исследованиями отобранного материала, участвовала в обработке данных, написании текста статьи, обсуждении результатов.

А.А. Бахарева внесла существенный вклад в анализ собранных данных, их интерпретацию, осуществила критический пересмотр статьи на предмет важного интеллектуального содержания.

V.V. Barinova — design and development of the experiment and its implementation, biological analyses, data processing and analyzing, writing the main text; M.E. Perunova — histological studies, data processing, discussing the results, co-writing the text; A.A. Bahareva — significant contribution to analysis of the collected data and their interpretation, critical revision of the manuscript for enhancing its scientific content.

Список литературы

Атлас нарушений в гаметогенезе и строении молоди осетровых / Н.В. Акимова, В.Б. Горюнова Е.В. Микодина и др. — М. : ВНИРО, 2004. — 120 с.

Баринава В.В., Баталова Р.Р., Золотовская О.В. Результаты экспериментальных работ по оценке влияния растворов хлорида натрия на эмбриональное развитие белуги в процессе инкубации // Современное состояние и развитие аквакультуры: экологическое и ихтиопатологическое состояние водоемов и объектов разведения, технологии выращивания : мат-лы Междунар. конф. — Новосибирск : Золотой колос, 2020а. — С. 62–66.

Баринава В.В., Бахарева А.А., Баталова Р.Р. Определение степени воздействия растворов химических веществ разной концентрации на рост и развитие культуры микромицетов сем. Saprolegniaceae «in vitro» // Вестн. АГТУ. Сер.: Рыб. хоз-во. — 2020б. — № 4. — С. 121–130. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-4-121-130.

Баринава В.В., Бахарева А.А., Бедрицкая И.Н., Баталова Р.Р. Предварительные результаты экспериментальных исследований по подавлению роста микромицетов сем. Saprolegniaceae растворами пероксида водорода и хлорида натрия при инкубации икры белуги // Мат-лы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. — Астрахань : АГТУ. — 2020в. — С. 13–19.

Большая советская энциклопедия (БСЭ) / гл. ред. А.М. Прохоров. — 3-е изд. — М. : Сов. энциклопедия, 1974. — Т. 17. — 616 с.

Вишторская А.А., Романова Н.Н., Головин П.П. О сроках выведения трифенилметановых красителей после обработки рыб // Рыб. хоз-во. — 2020. — Вып. 3. — С. 94–100. DOI: 10.37663/0131-6184-2020-3-94-100.

Володина В.В., Баринава В.В., Менькова А.В. и др. Поиск эффективных средств против сапролегниоза икры осетровых рыб // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. — 2019. — № 3(43). — С. 53–63. DOI: 10.24411/2074-5036-2019-10039.

Гарибова Л.В., Лекомцева С.Н. Основы микологии: морфология и систематика грибов и грибоподобных организмов : учеб. пособие. — М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2005. — 221 с.

Детлаф Т.А., Гинзбург А.С. Зародышевое развитие осетровых рыб (севрюги, осетра и белуги) в связи с вопросами их разведения : моногр. — М. : АН СССР, 1954. — 228 с.

Ларцева Л.В., Обухова О.В., Алтуфьев Ю.В. Сапролегниоз икры ценных видов рыб при искусственном разведении в дельте р. Волги : моногр. — Астрахань : Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2017. — 98 с.

Переведенцева Л.Г. Микология: грибы и грибоподобные организмы : учеб. пособие. — Пермь : Перм. гос. ун-т, 2009. — 199 с.

Рахконен Р., Веннерстрем П., Ринтамяки П., Каннел Р. Здоровая рыба. Профилактика, диагностика и лечение болезней Финляндии : моногр. : пер. с нем. — 2-е изд., перераб и доп. — Хельсинки : НИИ охотничьего и рыбного хозяйства, 2012. — 180 с.

Ромейс Б. Микроскопическая техника : моногр. — М. : Изд-во иностр. лит., 1954. — 710 с.

Шалак М.В., Гончарик Ю.М. Влияние препарата на биохимические показатели крови линя (tinca tinca) // Животноводство и ветеринарная медицина. — 2017. — Вып. 3(26). — С. 18–22.

References

- Akimova, N.V., Goryunova, V.B., Mikodina, Ye.V., Nikol'skaya, M.P., Ruban, G.I., Sokolova, S.A., Shagayeva, V.G., and Shatunovskiy, M.I., *Atlas narusheniy v gametogeneze i stroyenii molodi osetrovyykh* (Atlas of disorders in gametogenesis and structure of sturgeon juveniles), Moscow: VNIRO, 2004.
- Barinova, V.V., Batalova, R.R., and Zolotovskaya, O.V., The results of the experimental evaluation of the effect of sodium chloride on the embryonic development of the beluga in the process of incubation, in *Mater. Mezhdunar. conf. "Sovremennoye sostoyaniye i razvitiye akvakul'tury: ekologicheskoye i ikhtopatologicheskoye sostoyaniye vodoyemov i ob'yektov razvedeniya, tekhnologii vyrashchivaniya"* (Proc. Int. Conf. "Current state and development of aquaculture: ecological and ichthyopathological state of reservoirs and breeding objects, cultivation technologies"), Novosibirsk: Zolotoy kolos, 2020, pp. 62–66.
- Barinova, V.V., Bakhareva, A.A., and Batalova, R.R., Determining impact of solutions with different concentration of chemicals on growth and development of micromycetes Saprolegniaceae in vitro, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2020, no 4, pp. 121–130. doi 10.24143/2073-5529-2020-4-121-130
- Barinova, V.V., Bakhareva, A.A., Bedritskaya, I.N., and Batalova, R.R., Preliminary results of experimental research on suppressing the growth of micromycetes of sem. Saprolegniaceae solutions of hydrogen peroxide and sodium chloride at the incubation of white caviar, in *Mater. 3-y Mezhdunar. nauchno-prakt. conf. (Proc. 3rd Int. Sci. Pract. Conf.)*, Astrakhan: Astrakhan. Gos. Tekh. Univ., 2020, pp. 13–19.
- Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya* (Great Soviet Encyclopedia), Prokhorov, A.M., vol. 17, Moscow: Sovetskaya Entsiklopediya, 3rd ed., 1974.
- Vishtorskaya, A.A., Romanova, N.N., and Golovin, P.P., On the periods of triphenylmethane dyes removal after fish processing, *Rybn. Khoz.*, 2019, no. 3, pp. 94–100. doi 10.37663/0131-6184-2020-3-94-100
- Volodina, V.V., Barinova, V.V., Men'kova, A.V., Saketova, K.S., Gnucheva, V.I., Yakovleva, E.P., and Lushnikova, A.A., The search of effective agents against Saprolegniosis of Sturgeon eggs, *Aktual'nyye voprosy veterinarnoy biologii*, 2019, no. 3(43), pp. 53–63. doi 10.24411/2074-5036-2019-10039
- Garibova, L.V. and Lekomtseva, S.N., *Osnovy mikologii: morfologiya i sistema gribov i gribopodobnykh organizmov* (Fundamentals of mycology: morphology and systematics of fungi and mushroom-like organisms), Moscow: KMK, 2005.
- Detlaf, T.A. and Ginzburg, A.S., *Zarodyshevoye razvitiye osetrovyykh ryb (severyugi, osetra i belugi) v svyazi s voprosami ikh issledovaniya* (Embryonic development of sturgeons (stellate sturgeon, sturgeon and beluga) in connection with the issues of their research), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1954.
- Lartseva, L.V., Obukhova, O.V., and Altuf'yev, Yu.V., *Saprolegniosis ikry tsennykh vidov ryb pri iskusstvennom razvedenii v del'te r. Volgi* (Saprolegniosis of eggs of valuable fish species during artificial breeding in the delta of the river Volga), Astrakhan: Izdatel': Sorokin Roman Vasil'yevich, 2017.
- Perevedentseva, L.G., *Mikologiya: griby i gribopodobnyye organizmy* (Mycology: fungi and mushroom-like organisms), Perm': Permskiy Gos. Univ., 2009.
- Rakhkonen, R., Vennerstrem, P., Rintamyaki, P., and Kannel, R., *Zdorovaya ryba. Profilaktika, diagnostika i lecheniye bolezney Finlyandii* (Healthy fish. Prevention, diagnosis and treatment of diseases in Finland), 2nd ed., Khel'sinki : NII okhotnich'yego i rybnogo khozyaystva, 2012.
- Romeys, B., *Mikroskopicheskaya tekhnika* (Microscopic technique), Moscow: Izd-vo inostr. Lit., 1954.
- Shalak, M.V. and Goncharik, Yu.M., *Vliyaniye preparata na biokhimicheskiye pokazateli krovi linya (tinca tinca), Zhivotnovodstvo i veterinarnaya meditsina*, 2017, no. 3(26), pp. 18–22.
- Sbornik instruktsiy i normativno-metodicheskikh ukazaniy po promyshlennomu razvedeniyu osetrovyykh ryb v Kaspiyskom i Azovskom basseynakh* (Collection of instructions and normative and methodological guidelines for the industrial breeding of sturgeon in the Caspian and Azov basins), Moscow: VNIRO, 1986.

Поступила в редакцию 30.11.2021 г.

После доработки 3.02.2022 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

The article was submitted 30.11.2021; approved after reviewing 3.02.2022;
accepted for publication 25.02.2022

Научная статья

УДК 551.463.6:551.5

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-187-207



МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ И СЗТО И ИХ СВЯЗЬ С КРУПНОМАСШТАБНЫМИ КЛИМАТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Г.В. Хен, Е.И. Устинова, Ю.Д. Сорокин*

Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),

690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Исследованы закономерности многолетних изменений температуры поверхности океана (ТПО) в дальневосточных морях и северо-западной части Тихого океана (СЗТО) в 1950–2019 гг. Во все сезоны года температура воды повышалась, при этом зимой и осенью тренды выражены наиболее ярко, а летом они менее показательны. Проведен анализ связей между ТПО трех дальневосточных морей России и СЗТО и 8 основными для северной части Тихого океана климатическими индексами: АО, Nino 3.4, PDO, ALPI, NPI, PNA, SHI, WP. В Беринговом море резкий скачок ТПО произошел в 1977 г., он совпал с резким изменением во временном ходе индексов PDO, ALPI, NPI и PNA. В Охотском море такой скачок пришелся на 1981 г., в Японском море — на 1990 г., через год после резких перепадов в ходе АО, PDO и PNA. В 2008 и 2018 гг. наблюдались небольшие скачки температуры в СЗТО. Основной вклад в изменчивость температуры Берингова моря во все сезоны вносит PDO. Зимой и весной заметную роль играют ALPI и PNA. Для Охотского моря основное значение имеет АО, для Японского — АО, SHI и WP. В СЗТО во все сезоны значимые связи между ТПО и индексами не наблюдаются. По вкладу в изменчивость ТПО в отдельных районах дальневосточного бассейна индексы можно разделить на две категории: западные и восточные. К первой относятся АО, SHI и WP, которые воздействуют на западную часть бассейна, условно ограниченную долготой Камчатки. К основным индексам восточной части относятся PDO, PNA и ALPI.

Ключевые слова: дальневосточные моря России, СЗТО, климатические индексы, ТПО, климатические сдвиги, связи.

Для цитирования: Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. Многолетние изменения термических условий на поверхности дальневосточных морей и СЗТО и их связь с крупномасштабными климатическими процессами // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 202, вып. 1. — С. 187–207. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-187-207.

* Хен Геннадий Васильевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, gennady.khen@tinro-center.ru, ORCID 0000-0003-3966-6208; Устинова Елена Ивановна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, elena.ustinova@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-2322-8505; Сорокин Юрий Дмитриевич, ведущий специалист, yuriy.sorokin@tinro-center.ru.

© Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д., 2022

Long-term changes in thermal conditions on the surface of the Far-Eastern Seas and North-West Pacific and their relationship with large-scale climate processes

Gennady V. Khen*, Elena I. Ustinova**, Yuriy D. Sorokin***

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

* Ph.D., leading researcher, gennady.khen@tinro-center.ru

** Ph.D., leading researcher, elena.ustinova@tinro-center.ru

*** leading specialist, yuriy.sorokin@tinro-center.ru

Abstract. Previously published results of the study [Khen et al., 2019b] are continued. Long-term changes of the sea surface temperature (SST) in the Far-Eastern Seas and North-West Pacific (NWP) are described for 1950–2019 and their relationship with large-scale climate processes described by climatic indices (AO, Nino 3.4, PDO, ALPI, NPI, PNA, SHI, and WP) is analyzed. SST has increased in all seasons, with higher rate in winter and autumn and less significant trend in summer. A prominent shift to warmer regime occurred in the Bering Sea in 1977 that coincided with a sharp change in dynamics of PDO, ALPI, NPI, and PNA indices. Such shifts were observed in the Okhotsk Sea in 1981 and in the Japan Sea in 1990, one year after the shifts in the time-series of AO, PDO, and PNA indices. Smaller shifts to warming happened in NWP in 2008 and 2018. Pacific Decadal Oscillation is the main contributor to temperature variability in the Bering Sea in all seasons, though the contribution of ALPI and PNA variation is considerable in winter and spring. Arctic Oscillation is the most important for the Okhotsk Sea. Variations of AO, SHI and WP are significant for the SST variability in the Japan Sea. Any single climatic index does not determine the SST variability in NWP, in all seasons. The set of climatic indices can be divided into two categories: western and eastern ones, according to their contribution to SST variability in certain regions. The western group includes AO, SHI, and WP, which contribute mostly to the variations in the western regions, westward from the longitude of Kamchatka. The most important indices in the eastern group are PDO, PNA and ALPI.

Keywords: Far-Eastern Seas, North-West Pacific, climate index, SST, climate shift, atmosphere-ocean relationship.

For citation: Khen G.V., Ustinova E.I., Sorokin Yu.D. Long-term changes in thermal conditions on the surface of the Far-Eastern Seas and North-West Pacific and their relationship with large-scale climate processes, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 187–207. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-187-207.

Введение

Многолетние изменения термических условий в дальневосточных морях и северо-западной части Тихого океана (СЗТО) рассмотрены во многих публикациях [например, Nakanowatari et al., 2007; Хен и Сорокин, 2008; Лобанов и др., 2014; Ростов и др., 2020; и др.]. Главный вывод — потепление со второй половины XX столетия — никем не подвергается сомнению. Однако не все так однозначно. В отдельных областях (например, в СЗТО и Японском море) температура на поверхности океана (ТПО) во второй половине XX столетия понижалась [Пономарев и др., 2005], в частности в зимние месяцы [Хен и др., 2008]. Но в последние три десятилетия и в этих областях, как и в Беринговом и Охотском морях, наблюдается заметный рост ТПО [Шатилина и др., 2016; Хен и др., 2020].

В настоящее время для выяснения происходящих изменений ТПО в северной части Тихого океана (СТО) и прогнозирования определенных параметров морской среды большое внимание уделяется климатическим индексам [Хен и Сорокин, 2008; Yeh et al., 2011; Miyasaka et al., 2014; Кровнин и др., 2018; Ростов и др., 2018; и др.], характеризующим состояние крупномасштабных процессов в атмосфере и гидросфере, и закономерностям их многолетних изменений. Однако обычно рассматривается ограниченный набор индексов, а сравнения проводятся в основном на качественном уровне, без глубокого анализа полученных связей.

В данной статье мы проведем статистический анализ связей между ТПО трех дальневосточных морей России, а также СЗТО, являющихся основными районами отечественного морского промысла, и 8 основными климатическими индексами СТО: АО (Арктическая осцилляция), Nino 3.4 (Эль-Ниньо), PDO (Тихоокеанская декадная осцилляция), ALPI (индекс Алеутского минимума), NPI (Северо-Тихоокеанский индекс), PNA (Тихоокеанский/Североамериканский индекс), SHI (индекс Сибирского антициклона), WP (Западно-Тихоокеанский индекс). Выбор индексов, их история, природа и методы расчета, а также результаты анализа их временных рядов для выявления закономерностей изменений и оценки взаимосвязи между ними были рассмотрены нами в предыдущих работах [Хен и др., 2019а, б]. Учитывая размеры дальневосточных морей и СЗТО, а также физическое и биологическое разнообразие отдельных их частей, выделим 11 локальных районов, оценим параметры статистической связи ТПО в них с различными климатическими индексами. На основе выполненного анализа определим наиболее значимые индексы для каждого из выбранных районов, что позволит в дальнейшем более обоснованно подойти к выбору существенных климатических факторов в океанологических, биологических и даже экосистемных исследованиях.

Материалы и методы

Для характеристики термического состояния поверхностных вод дальневосточных морей России и СЗТО исходные данные о ТПО выбирались из баз данных Японского метеорологического агентства (JMA), доступ к которым предоставлен в рамках международного проекта NEAR-GOOS через сайт <https://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/database.html>. При этом были использованы 3 типа данных с разным пространственным разрешением:

1. «COBE-SST» (среднемесячная температура для периода с 1950 по 2019 г.; разрешение $1 \times 1^\circ$; анализ на основе данных *in situ* по методу Ишии с соавторами [Ishii et al., 2005]);

2. «MGDSST» (среднедекадная температура для периода с 1982 по июнь 2017 г.; разрешение $0,25 \times 0,25^\circ$; анализ на основе спутниковых данных и данных *in situ* по методу, предложенному Курихара с соавторами [Kurihara et al., 2006]);

3. «HIMSST» (среднедекадная температура для периода с июля 2017 по 2019 г.; разрешение $0,1 \times 0,1^\circ$; анализ на основе спутниковых данных высокого разрешения, полученных с датчика геостационарного спутника Himawari-8/AHI, с инфракрасных датчиков полярно-орбитальных спутников NOAA/AVHRR, MetOp/AVHRR, с микроволновых датчиков Coriolis/WINDSAT, GCOM-W1/AMSR-2 и на основе данных *in situ*).

Их сравнение показало, что наилучшей для дальневосточных морей является база данных «MGDSST» и ее продолжение «HIMSST» [Устинова, Сорокин, 2013]. Однако они охватывают только последние 4 десятилетия, а также ограничены долготой 180° и не учитывают восточную часть Берингова моря. Поэтому для нашего исследования в качестве основного источника данных о ТПО была принята база «COBE-SST» с 1950 г., не включающая спутниковые данные. «MGDSST» и «HIMSST» использовались для сравнения и контроля полученных результатов.

Были рассмотрены термические условия в каждом море в целом, а также в отдельных районах дальневосточных морей и СЗТО (рис. 1). Описание наиболее важных климатических индексов для северной части Тихого океана и дальневосточных морей, а также источники их многолетних данных подробно рассмотрены нами в предыдущих сообщениях [Хен и др., 2019б].

Для оценки трендов, корреляционных связей, коэффициентов детерминации и индексов сдвига режима использовался уровень статистической значимости не менее 95 %, как это обычно применяется в гидрометеорологии. Для расчета статистических оценок изменчивости и характеристик взаимосвязей применялся пакет «Статистика», а также оригинальные авторские программы, созданные Ю.Д. Сорокиным. Анализ

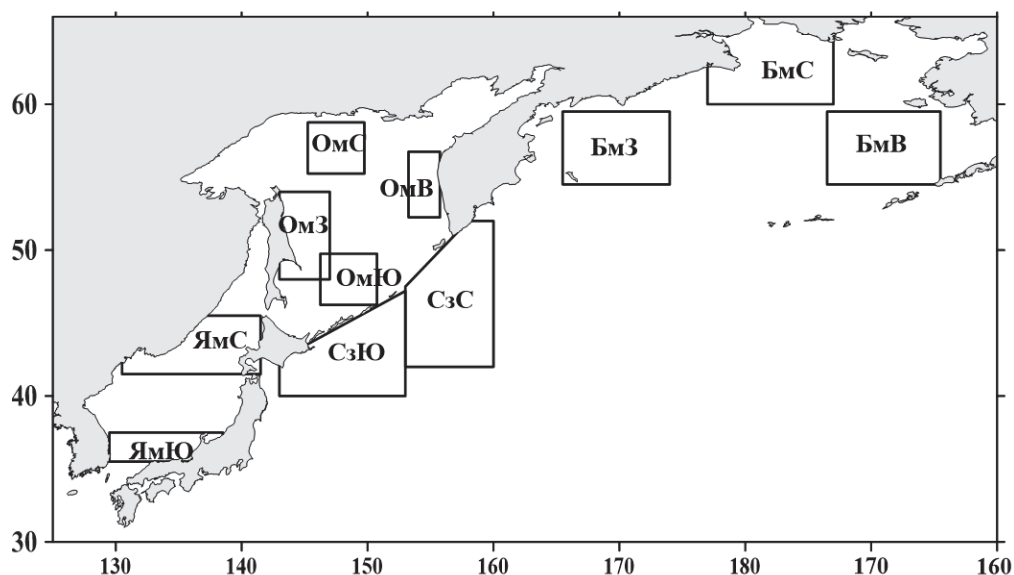


Рис. 1. Выделенные районы дальневосточных морей и СЗТО: Бм, Ом, Ям — Берингово, Охотское и Японское моря; Сз — СЗТО; С, В, Ю, З — север, восток, юг и запад

Fig. 1. Scheme of considered regions and areas: Бм, Ом, Ям — Bering, Okhotsk and Japan Seas; Сз — North-West Pacific; С, В, Ю, З — northern, eastern, southern, and western areas, respectively

взаимосвязи рассматриваемых параметров поводился с использованием аппарата корреляционного и регрессионного анализа [Бендат, Пирсол, 1989; Смирнов и др., 1992]. Влияние крупномасштабных климатических процессов на изменения ТПО анализировалось на основе вклада каждого климатического индекса в общую дисперсию с учетом физических основ климатических индексов, приведенных нами ранее [Хен и др., 2019а, б]. Вклад оценивался как доля объясненной дисперсии, выраженная в процентах.

Как и в предыдущей работе [Хен и др., 2019а], для оценки возможных сдвигов климатического режима (резких переходов от одного режима к другому) в рядах температуры поверхностных вод мы использовали метод С.Н. Родионова [Rodionov, 2004, 2006] и рассчитали предложенный им индекс сдвига режима (regime shift index, RSI).

Результаты и их обсуждение

Многолетняя изменчивость поверхностной температуры в дальневосточных морях и СЗТО

В рассматриваемый нами период (1950–2019 гг.) многолетние изменения ТПО во всех дальневосточных морях России протекали по сходному сценарию (рис. 2, А–В). Во все сезоны года температура воды повышалась, при этом зимой и осенью тренды выражены наиболее ярко, а летом — наименее. В Охотском и Беринговом морях коэффициенты детерминации ($R^2 > 0,5$) указывают на их максимальную вероятность, тогда как в Японском море она заметно слабее ($R^2 = 0,3–0,4$). Закономерности многолетней изменчивости в СЗТО (рис. 2, Г) сильно отличаются от морских. Линейный тренд практически отсутствует, во все сезоны $R^2 < 0,1$, т.е. вероятность многолетнего потепления здесь незначима, что согласуется с результатами исследований Т.А. Шатиловой с соавторами [2016] для временного ряда 1950–2014 гг. в 5 районах СЗТО. В ряде исследований [Пономарев и др., 2005; Хен, Сорокин, 2008] даже показано похолодание во второй половине XX столетия. Однако в последние десятилетия произошла смена тренда в сторону потепления [Шатилина и др., 2016].

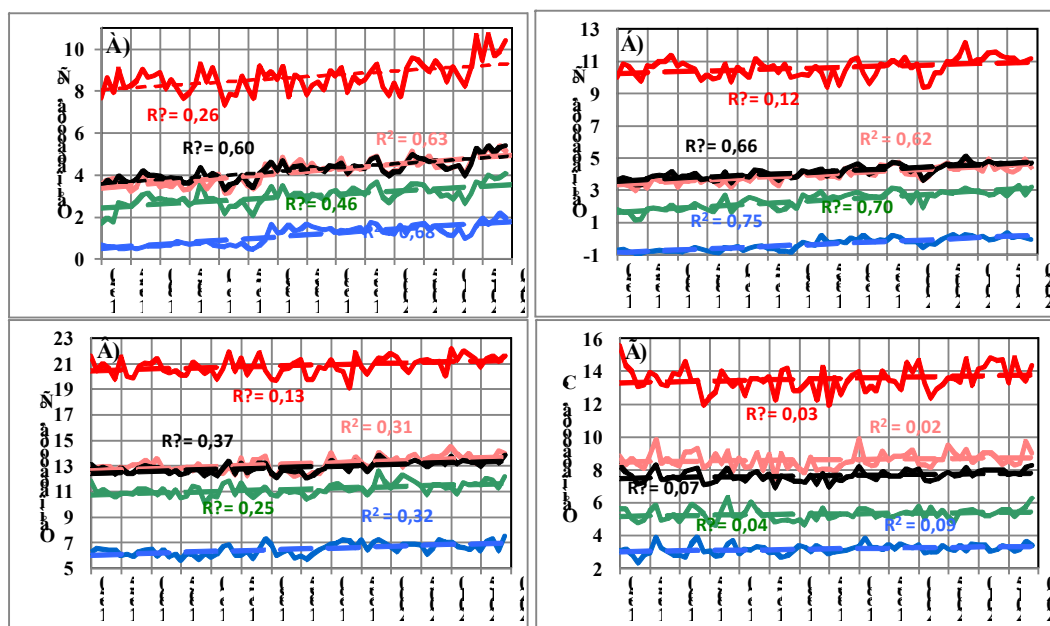


Рис. 2. Многолетние изменения температуры воды на поверхности дальневосточных морей и СЗТО: А — Берингово море; Б — Охотское море; В — Японское море; Г — СЗТО; синий — зимой; зеленый — весной; красный — летом; коричневый — осенью; черный — среднегодовой; штриховые линии — тренды

Fig. 2. Long-term changes of SST, by regions and seasons: А — Bering Sea; Б — Okhotsk Sea; В — Japan Sea; Г — North-West Pacific; blue — winter; green — spring; red — summer; brown — autumn; black — annual; linear trends are shown by dashed lines

Известно [IPCC, 2007], что скорости и масштабы потепления от Арктики к тропикам заметно уменьшаются. По расчетам Т.Р. Кильматова с соавторами [2012] темп роста средней зимней температуры в субарктике в 5 раз выше, чем в субтропиках. Данные береговых станций в Охотском, Японском и Южно-Китайском морях в зимние месяцы 1978–2017 гг., согласно которым трендовое потепление оценивается соответственно как 0,96, 0,40 и 0,21 °C/10 лет [Ростов и др., 2020], подтверждают эти результаты. Поэтому представляется закономерным, что расположенные в высоких широтах Берингово и Охотское моря более чувствительны к глобальному потеплению, чем Японское море, южная часть которого относится к субтропической зоне.

Считается [Хен, Сорокин 2008], что в дальневосточных морях знаки термических аномалий зимне-весенних сезонов сохраняются в течение остального года. Так, за холодными зимне-весенними сезонами последуют холодные лето и осень и, соответственно, год в целом будет аномально холодным. Последние исследования подтвердили данные выводы, по крайней мере для Берингова моря [Baker et al., 2020].

О наличии преобладности сезонов можно судить по данным табл. 1, где представлены коэффициенты корреляции (R) между сезонными температурами с учетом и без учета трендовой составляющей. После удаления линейного тренда во всех трех морях R заметно уменьшается, но остается на уровне значимых величин ($R = 0,30–0,55$). Это не касается СЗТО, где, как было отмечено выше, линейный тренд практически отсутствует. Уменьшение корреляции между зимой и летом до уровня ниже значимого ($R < 0,3$) вполне объяснимо, учитывая максимальное влияние солнечной инсоляции и облачности именно в летние месяцы. В осенние месяцы, когда накопленное летом тепло из верхнего слоя в процессе турбулентного обмена переходит в атмосферу, поверхность быстро охлаждается до температуры подповерхностных вод, где сохраняются зимние термические условия. Коэффициент корреляции между зимней и осенней ТПО находится на уровне значимых величин. Можно было бы ожидать различия уровней

связей между годовой и сезонными температурами, в особенности летними. Однако, как показывают данные табл. 1, во всех случаях разброс коэффициентов корреляции небольшой, за исключением зимы без линейного тренда. Несомненно, что весна, лето и осень практически в одинаковой степени влияют на формирование годовой температуры, роль зимы заметно ниже.

Таблица 1

Корреляция между сезонными и среднегодовой температурами
в дальневосточных морях и ЦЗТО

Table 1

Correlation between seasonal and annual SST in the Far-Eastern Seas and North-West Pacific

		Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Берингово море	Зима	1	0,76/0,47	0,49/0,12	0,86/0,59	0,84/0,57
	Весна		1	0,76/0,65	0,77/0,53	0,92/0,84
	Лето			1	0,70/0,55	0,86/0,85
	Осень				1	0,93/0,82
	Год					1
Охотское море	Зима	1	0,88/0,58	0,40/0,18	0,79/0,31	0,88/0,56
	Весна		1	0,42/0,23	0,80/0,41	0,90/0,67
	Лето			1	0,51/0,42	0,72/0,81
	Осень				1	0,90/0,73
	Год					1
Японское море	Зима	1	0,65/0,53	0,25/0,05	0,50/0,29	0,71/0,58
	Весна		1	0,54/0,44	0,53/0,37	0,84/0,78
	Лето			1	0,60/0,51	0,80/0,76
	Осень				1	0,84/0,76
	Год					1
ЦЗТО	Зима	1	0,50/0,48	-0,04/-0,09	0,25/0,23	0,43/0,38
	Весна		1	0,32/0,31	0,35/0,35	0,69/0,69
	Лето			1	0,39/0,39	0,78/0,78
	Осень				1	0,74/0,75
	Год					1

Примечание. В числителе — с учетом линейного тренда; в знаменателе — без учета линейного тренда.

В расположенном на стыке умеренного и субтропического климатических поясов Японском море преобладает сезонность сезонов слабая ($R = 0,5-0,6$). Особенно низкая корреляция между зимой и летом (0,25), когда роль субтропических вод в этом море возрастает. Еще хуже сохраняются зимние условия в ЦЗТО со связями, характеризующимися коэффициентом корреляции, равным нулю (летом) и 0,25 (осенью). Только с соседним весенним сезоном в ЦЗТО $R = 0,5$, что также является наименьшей величиной по сравнению с морями. Это область наиболее активного взаимодействия океана и атмосферы, мощных холодных и теплых течений, интенсивного теплообмена поверхностных и глубинных слоев. Тем не менее и здесь на формирование годовой температуры заметное влияние оказывают весна, лето и осень, хотя между собой эти сезоны связаны слабо. Только зимние условия мало отражаются на этом показателе.

Климатические сдвиги в рядах средней годовой ТПО

Рис. 3 демонстрирует климатические «сдвиги» в средних годовых ТПО, выделенные по методу С.Н. Родионова [Rodionov, 2004, 2006]. В отличие от климатических индексов [Хен и др., 2019а], все скачки ТПО были положительными, т.е. в сторону потепления.

Стоит отметить, что перед положительными климатическими сдвигами обязательно происходят непродолжительные понижения ТПО, которые можно принять как стартовые позиции перед последующим потеплением. Перед последним сдвигом в 2018 г. в

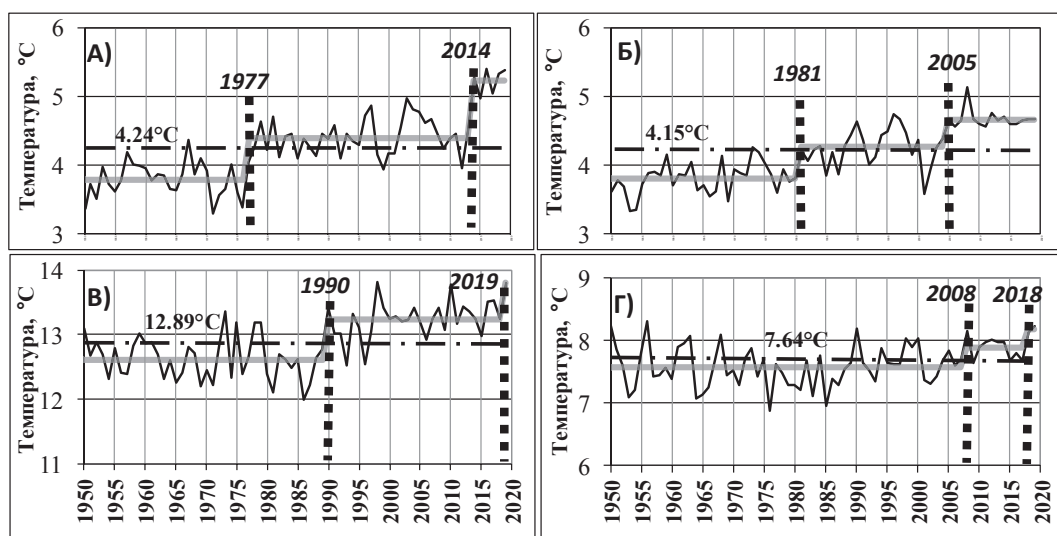


Рис. 3. Межгодовые изменения среднегодовых ТПО в дальневосточных морях (А — Берингово море; Б — Охотское море; В — Японское море) и СЗТО (Г). Ломаная сплошная линия — изменения ТПО; вертикальные прерывистые линии и цифры над ними показывают «климатические сдвиги» и годы их наступления; горизонтальные штрих-пунктирные линии — средние многолетние температуры за весь период; цифры над ними — их значения; серые линии — периоды без выраженного тренда

Fig. 3. Year-to-year variation of annual (January-December) SST in the Far-Eastern Seas (А — Bering Sea; Б — Okhotsk Sea; В — Japan Sea) and North-West Pacific (Г). The average values for the whole period of study are shown by horizontal dash-dotted lines and numbers above them; regime shifts are marked by vertical dashed lines with the years indicating; grey lines — periods without trend

СЗТО и 2019 г. в Японском море похолодание было малозаметным. Однако ему, как и предыдущим «сдвигам», предшествовал многолетний период без выраженного тренда, соответствующий «паузе в процессе глобального потепления» [Ростов и др., 2020]. Возможно, в дальнейшем по мере поступления новых данных (лет) этот скачок в сторону еще большего потепления сдвинется на более поздние сроки или совсем не проявится.

Ранее [Хен и др., 2019a] мы уже отмечали «сдвиг» режима в конце многолетнего ряда и в ходе климатических индексов с разбросом времени его наступления с 2015 по 2017 г., связанным с малым последующим периодом лет по сравнению с установленным нами параметром $l = 10$ лет при расчетах по методу С.Н. Родионова [Rodionov, 2004, 2006]. Мы предположили, что возможно совпадение сроков наступления «сдвигов» у различных индексов через 5–10 лет при дальнейшем продлении временных рядов. Данные по ТПО не исключают ложность последних «сдвигов» и более позднее резкое потепление. Но это только наше предположение, основанное на повторяемости некоторых закономерностей, в нашем случае небольшого, но заметного стартового похолодания перед скачком ТПО, которое тем не менее не является обязательным условием. Возможно, резкое потепление во второй половине прошедшего десятилетия действительно было. И можно не сомневаться в наступлении очередного потепления Берингова моря в 2014 г. (рис. 3, А), замеченного ранее другими исследователями [Bond et al., 2015; Peterson et al., 2016]. Оно продолжалось по крайней мере до 2018 г. [Басюк и Зуенко, 2019]. В других регионах потепление может проходить с некоторым запаздыванием. Так, в Чукотском море, тесно связанном с Беринговым, резкий сдвиг физических параметров произошел в 2017–2019 гг. [Baker et al., 2020].

На рис. 3 видно, что «сдвиги» в рассматриваемых регионах происходили в разные сроки, что связано с различием степени воздействия внешних факторов. Первый масштабный «сдвиг», случившийся в Беринговом море в 1977 г. (рис. 4, А), совпал

с резкими перепадами в многолетнем ходе PDO, ALPI, NPI и PNA (рис. 4, Б), т.е. во всех северотихоокеанских индексах [Хен и др., 2019а]. Несомненно, что в северотихоокеанском секторе Северного полушария во второй половине 1970-х гг. произошла быстрая смена комплекса атмосферных и океанических процессов. В Охотском море «сдвиг» запоздал на 4 года и пришелся на 1981 г. В атмосфере и в океане в этот год никаких резких перемен не наблюдалось (рис. 4, Б).

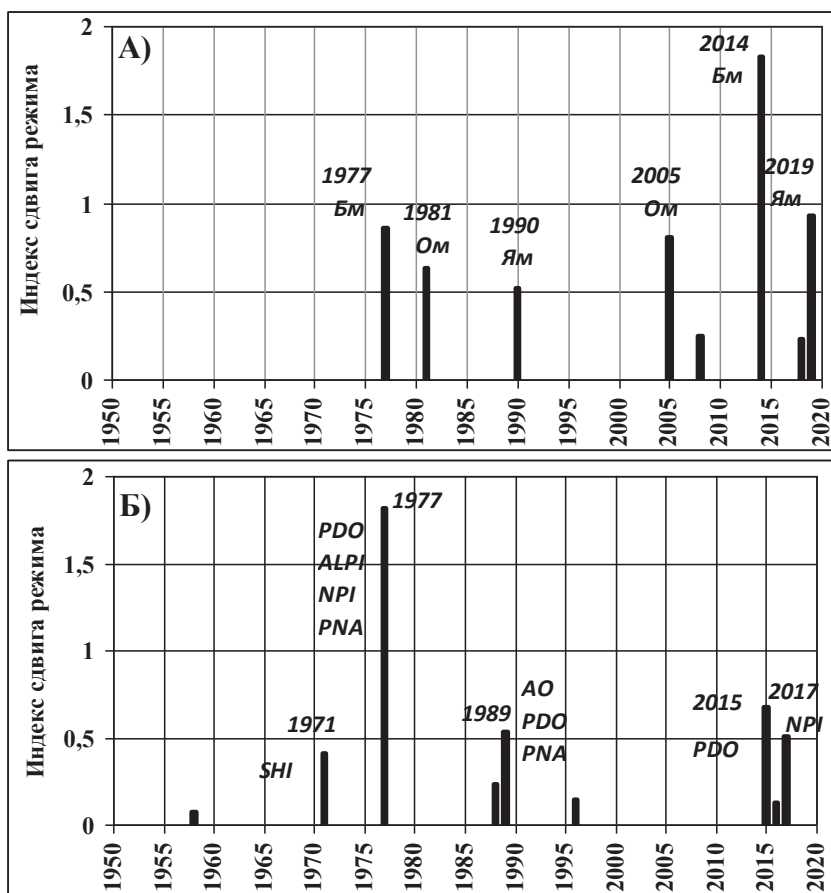


Рис. 4. Суммарные «сдвиги» режимов для дальневосточных морей (А) и зимних климатических индексов (Б). Условные обозначения как на рис. 1

Fig. 4. Aggregated regime shifts for the Far-Eastern Seas (А) and winter climatic indices (Б). See the regions and areas location at Fig. 1

В Японском море «сдвиг» термического режима пришелся на 1990 г., через год после резких перепадов в АО, PDO и PNA, описанных в предыдущем сообщении [Хен и др., 2019а]. Но их (индексов) суммарный «сдвиг», равный 0,6 RSI, заметно уступал событию в 1977 г. (1,8 RSI). Определяемый по методике С.Н. Родионова [Rodionov, 2004, 2006] основной вклад в суммарный «сдвиг» индексов в 1977 г. внес PDO (48 % суммарного RSI), вклад остальных индексов равномерно распределен в пределах 15–20 %. В 1989 г. основной вклад пришелся на индекс АО (68 %). Таким образом, «сдвиг» в Беринговом море был результатом событий в северной части Тихого океана, тогда как на Японское море основное влияние оказали резкие перемены АО, т.е. сильные изменения в атмосфере северных внетропических широт, приведшие к ослаблению зимних муссонов.

Во время очередного «сдвига» в Охотском море в 2005 г., как и в предыдущем случае (1981 г.), крупномасштабные климатические индексы резко не менялись. По всей видимости, изменения в Охотском море больше связаны с региональными процессами,

такими как охотский антициклон [Ильинский, 1959], дальневосточная депрессия [Шатилина, Анжина, 2006], приток тихоокеанских вод, внутренняя динамика вод и другими, которые в данной статье не рассматриваются. Нельзя исключить и их роль в затухании температурных аномалий в тихоокеанских водах, прилегающих к Охотскому морю.

Наиболее высокий уровень RSI (более 1,5) годовой температуры наблюдался в 2014 г. в Беринговом море, что на год раньше, чем у зимнего PDO. Однако по данным отдела климатических наблюдений Национального управления океанических и атмосферных исследований США [<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/>] положительный скачок PDO начался еще в марте 2014 г., но не был замечен нами из-за расчета индекса только для зимних месяцев. Таким образом, можно не сомневаться, что сдвиги в океане и в море практически совпали. Эти события тесно связаны с аномальным развитием атмосферной циркуляции над северной частью Тихого океана зимой 2013/14 г. Они подробно описаны в предыдущем сообщении [Хен и др., 2019a].

Небольшие «сдвиги» температуры в СЗТО наблюдались в 2008 и 2018 гг., со значениями RSI около 0,2 на уровне «методического шума» (рис. 4, А, нет названия региона). К ним можно добавить малые RSI у климатических индексов, которые также остались без названий на рис. 4. Однако следует обратить внимание на «сдвиг» 2018 г. в северных областях. Например, отмечались сильное потепление в морях Восточной Арктики и экстремально низкая зимняя ледовитость в Беринговом море, что могло произойти из-за аномального смещения полярного вихря в сторону Гренландии и соответствующих изменений ветровых потоков [Overland, Wang, 2019; Baker et al., 2020]. Последний заметный «сдвиг» в Японском море в 2019 г. проявился в конце нашего ряда и не может вызывать доверия. Он будет подтвержден или опровергнут по истечении нескольких лет.

Связи температуры воды с годовыми климатическими индексами

Вначале рассмотрим связи среднегодовых аномалий температуры воды и индексов (табл. 2). Расчеты годовых индексов проводятся только для АО, Nino3.4, PDO, PNA и WP. Остальные индексы — сезонные и более показательны для холодного периода года с проявлением характерных для него барических образований.

Таблица 2

Корреляция между годовыми индексами и средней годовой ТПО
в дальневосточных морях и СЗТО

Table 2

Correlation between annual SST and climatic indices

	АО	Nino 3.4	PDO	PNA	WP
Берингово море	0,23	0,41	0,54	0,39	-0,23
Охотское море	0,34	0,10	0,15	0,16	-0,32
Японское море	0,28	-0,01	-0,07	0,12	0,08
СЗТО	0,20	-0,20	-0,30	-0,24	-0,09

Примечание. Здесь и далее выделены значимые коэффициенты корреляции при $p = 0,01$, подчеркнуты сильные связи.

Прямое сравнение температуры и индексов показывает важность двух крупномасштабных климатических процессов для рассматриваемого нами Дальневосточного региона. Изменения в северной части Тихого океана, хорошо выраженные в индексах PDO, оказывают прямое воздействие на ТПО Берингова моря ($R = 0,54$) и обратное — на СЗТО ($R = -0,30$). Отрицательный знак корреляции СЗТО обусловлен противофазностью между восточной и западной областями СТО [Хен и др., 2019б]. Берингово море тесно связано с восточной частью СТО, откуда через многочисленные проливы Алеутской гряды постоянно проникают океанические воды. Любые природные из-

менения в СТО в той или иной степени обязательно отражаются в Беринговом море, чему способствует направление основного течения (Аляскинского и его продолжения Алеутского) с востока на запад вдоль южной стороны Алеутских островов с многочисленными ответвлениями в Берингово море. Значимые связи обнаружены между ТПО Берингова моря и индексами Nino 3.4 (0,41) и PNA (0,39).

Для Охотского моря большое значение имеет АО ($R = 0,34$), отражающее планетарное взаимодействие между воздушными потоками умеренной и полярной областей Северного полушария [Мордвинов и др., 2009]. Сравнимую связь Охотское море имеет с индексом WP ($R = -0,32$). Обратный знак означает, что с ослаблением восточноазиатского струйного течения и смещением траекторий циклонов зимой к северу Охотское море заполняется холодными воздушными массами и наоборот.

Японское море также наиболее тесно связано с АО, но уровень связи низкий, $R = 0,28$. Рассматриваемые годовые климатические индексы не оказывают значительного влияния на изменчивость среднегодовой ТПО в этом море. Здесь более важными будут зимние климатические процессы, влияние которых затухает в среднегодовых температурах из-за сильной трансформации поверхности моря в теплое полугодие, когда большую роль играет приток субтропических вод.

Связи температуры воды с зимними климатическими индексами

В предыдущем сообщении [Хен и др., 2019а], где обсуждались изменения климатических индексов, мы отмечали, что зимние процессы более показательны, и этот сезон влияет на условия всего года. В зимний период взаимодействие океана и атмосферы интенсифицируется, что влияет на крупномасштабные циркуляционные процессы, которые вызывают значительные колебания климата. Можно провести объективное сравнение изменчивости зимних климатических индексов с изменчивостью термического состояния во все сезоны года. Годовые индексы годятся только для оценки термического состояния морей с годовым осреднением, а также при оценке сезонов следующего года.

Главные связи, замеченные для годовых индексов, повторяются и для зимних индексов. Так, основной вклад в изменчивость температуры Берингова моря во все сезоны вносит зимний индекс PDO (табл. 3), что было отмечено и при анализе среднегодовых значений. При этом коэффициент корреляции R , кроме лета, выше 0,5. Зимой и весной заметную роль играют ALPI и PNA, соответствующие процессам, максимально развитым в холодное полугодие. Для Охотского моря основное значение имеет колебание АО, за исключением лета, когда усиливаются региональные барические образования [Зуенко и др., 2019]. Зимой и весной усиливается роль PDO.

На зимние и весенние изменения в Японском море в равной степени влияют АО и SHI, тесно связанные между собой [Хен и др., 2019а], а также индекс WP, характеризующий состояние атмосферного струйного течения, направленного из Азии в сторону Японии [Хен и др., 2019б]. Даже при десятилетнем осреднении ТПО в Японском море тесно связана с АО и SHI [Jung et al., 2017]. Вклад WP в изменчивость ТПО значим также для осени и для среднегодовой температуры, т.е. колебание разности давлений между умеренной и субполярной зоной играет заметную роль в изменчивости ТПО Японского моря в течение всего года. Стоит отметить усиление роли Nino 3.4 зимой, тогда как в другие сезоны его вклад становится несущественным.

Особняком выглядит СЗТО — во все сезоны значимые связи ($R \geq 0,3$) между ТПО и индексами отсутствуют. Отмечаются хотя и слабые, но выраженные отрицательные связи ТПО в этом регионе с Nino 3.4, PDO, ALPI, PNA и WP, тогда как между этими индексами и ТПО морей России знак R устойчиво положительный. Такая особенность СЗТО связана с противофазностью термического состояния между восточной и западной частями СТО, хорошо проявляемой при разложении аномалий ТПО на главные компоненты [Mantua et al., 1997]. Как было выяснено ранее [Хен и др., 2019а], PDO

Таблица 3

Корреляция между зимними индексами и температурой воды
в дальневосточных морях и СЗТО

Table 3

Correlation between winter SST and climatic indices

		AO	Nino 3.4	PDO	ALPI	NPI	PNA	SHI	WP
Берингово море	Зима	0,25	0,18	0,60	0,31	-0,27	0,36	-0,34	0,26
	Весна	0,21	0,31	0,55	0,36	-0,30	0,40	-0,24	0,12
	Лето	0,08	0,26	0,34	0,22	-0,15	0,24	-0,05	0,09
	Осень	0,19	0,25	0,58	0,39	-0,34	0,42	-0,21	0,24
	Год	0,20	0,29	0,58	0,37	-0,29	0,40	-0,22	0,19
Охотское море	Зима	0,36	0,03	0,36	0,18	-0,10	0,29	-0,22	0,19
	Весна	0,41	0,04	0,32	0,19	-0,12	0,28	-0,36	0,09
	Лето	0,24	-0,07	0,00	0,00	0,07	0,08	0,05	-0,05
	Осень	0,37	0,05	0,23	0,17	-0,07	0,24	-0,28	0,11
	Год	0,40	0,01	0,25	0,15	-0,05	0,25	-0,23	0,09
Японское море	Зима	0,43	0,30	0,03	-0,03	0,08	0,07	-0,46	0,46
	Весна	0,39	0,19	0,09	0,00	0,01	0,13	-0,42	0,33
	Лето	0,05	0,03	0,11	0,06	0,02	0,17	0,02	0,27
	Осень	0,06	0,17	0,10	0,05	0,07	0,19	-0,13	0,35
	Год	0,27	0,20	0,11	0,03	0,05	0,18	-0,28	0,43
СЗТО	Зима	0,11	-0,02	-0,24	-0,06	0,14	-0,16	-0,24	-0,26
	Весна	0,26	-0,19	-0,26	-0,26	0,27	-0,22	-0,25	-0,23
	Лето	0,04	-0,17	-0,04	-0,05	0,05	0,00	0,18	-0,05
	Осень	0,02	-0,06	-0,14	-0,17	0,22	-0,12	0,06	-0,03
	Год	0,12	-0,18	-0,20	-0,17	0,21	-0,13	0,00	-0,16

образует прямые связи с Nino 3.4, ALPI, PNA и WP в соответствии с основными процессами взаимодействия в атмосфере и гидросфере СТО [Newman et al., 2016].

Стоит отметить, что указанные в настоящей работе оценки статистических связей отличаются от предыдущих результатов, полученных ранее двумя авторами данной работы [Хен, Сорокин, 2008]. Во-первых, ряд стал длиннее на 14 лет; во-вторых, произведена ревизия данных ТПО с 1982 г. [Kurihara et al., 2006]; в-третьих, произведено обновление климатических индексов с организацией в 2005 г. нового «отдела физических наук лаборатории исследования системы Земли» (ESRL) при Национальной администрации по изучению океана и атмосферы (NOAA, США). Мы не проводим оценку и сравнение двух результатов. Ясно, что и в дальнейшем, с развитием и модернизацией технологий получения данных, будут проводиться новые обновления.

При пятилетнем скользящем осреднении, т.е. фильтрации высокочастотных колебаний, статистические связи с климатическими индексами усиливаются для Берингова и Охотского морей (табл. 4), тогда как в двух других регионах остаются на уровне мало-значимых величин ($R < 0,3$). Наиболее заметные повышения связей ($R \geq 0,7$) отмечаются между ТПО Берингова моря и индексами PDO, ALPI и PNA, которые рассчитываются для районов, близких по географическому положению. В Охотском море усиливаются вклады АО, PDO и PNA, коэффициент корреляции возрастает до $R = 0,50-0,65$. Следует отметить усиление корреляции с индексом WP во всех регионах, за исключением СЗТО. Однако летом сглаживание не приводит к заметному изменению уровней связей, они так и остаются незначимыми. Как известно, WP в значительной степени отражает состояние дальневосточной высотной ложбины [Ueno, 1993], которая во многом «дирижирует» основными процессами теплообмена системы океан–атмосфера в этом регионе в холодный период года. При фильтрации высокочастотных колебаний, характерных для региональных процессов, влияние крупномасштабной дальневосточной высотной ложбины проявляется более ярко.

Таблица 4

Корреляция между зимними индексами и температурой воды
в дальневосточных морях и СЗТО при 5-летнем скользящем осреднении

Table 4

Correlation between winter SST and climatic indices smoothed by running 5-year averaging

		АО	Nino 3.4	PDO	ALPI	NPI	PNA	SHI	WP
Берингово море	Зима	0,47	0,45	0,81	0,74	-0,56	0,82	-0,46	0,65
	Весна	0,31	0,58	0,70	0,62	-0,42	0,70	-0,30	0,41
	Лето	0,18	0,34	0,35	0,21	0,00	0,36	0,00	-0,05
	Осень	0,45	0,43	0,76	0,68	-0,49	0,77	-0,37	0,69
	Год	0,40	0,49	0,72	0,64	-0,41	0,74	-0,32	0,62
Охотское море	Зима	0,59	0,26	0,54	0,46	-0,22	0,65	-0,43	0,67
	Весна	0,54	0,24	0,56	0,49	-0,27	0,65	-0,53	0,59
	Лето	0,17	-0,15	-0,12	-0,20	0,37	0,04	0,10	-0,05
	Осень	0,56	0,23	0,45	0,42	-0,17	0,60	-0,45	0,59
	Год	0,53	0,16	0,40	0,34	-0,08	0,55	-0,37	0,58
Японское море	Зима	0,64	0,23	0,19	0,20	-0,02	0,37	-0,49	0,68
	Весна	0,47	0,01	0,20	0,23	-0,10	0,42	-0,46	0,58
	Лето	0,15	-0,26	0,09	0,14	0,03	0,35	-0,16	-0,05
	Осень	0,25	-0,05	-0,03	0,04	0,21	0,26	-0,10	0,54
	Год	0,41	-0,02	0,12	0,16	0,05	0,38	-0,32	0,63
СЗТО	Зима	0,45	0,23	0,07	0,11	0,07	0,21	-0,40	0,20
	Весна	0,28	-0,20	-0,25	-0,29	0,38	-0,07	-0,21	0,10
	Лето	0,09	-0,24	-0,12	-0,16	0,29	0,05	0,14	-0,05
	Осень	0,18	-0,07	-0,35	-0,31	0,53	-0,14	0,18	0,17
	Год	0,27	-0,16	-0,24	-0,25	0,46	0,00	0,01	0,31

Связи температуры воды в отдельных районах
с зимними климатическими индексами

Для отдельных районов (всего 11, см. рис. 1) оценивались связи с 6 индексами (рис. 5). При этом NPI и PNA не рассматривались, так как они тесно связаны с PDO и ALPI и вместе составляют северо-тихоокеанский комплекс индексов [Хен и др., 2019a]. Следует ожидать, что уровни связей между зимними индексами и ТПО отдельных районов будут близки к рассмотренным выше значениям для морей в целом и СЗТО (см. табл. 3). Однако полного совпадения этих связей ожидать не следует, так как каждый из выбранных районов имеет свои локальные особенности, иногда сильно отличающиеся от таковых соседних участков моря, причем как по физическим, так и по биологическим параметрам. Причины различий могут быть как внешние (астрономические, атмосферные, граничные), так и внутренние (сезонные, динамические, гидрофизические). Мы же рассматриваем только определенный комплекс внешних влияний, выраженный различными климатическими индексами.

Все 4 района Охотского моря в течение двух сезонов связаны с АО, связи на уровне значимых величин ($R \geq 0,3$ при $p = 0,01$). Во всех районах связи значимы весной, тогда как второй сезон с такими связями меняется от района к району. Для всего моря значимые связи отмечались во все сезоны, кроме лета (табл. 3). Надо заметить, что значимые связи с АО весной наблюдались и в обоих районах Японского моря. Несомненно, эти два моря, расположенные на краю азиатского континента, испытывают сильное воздействие континентального климата, во многом определяемого одним из основных регуляторов в северном полушарии — АО. Зимой влияние АО проявляется только в районах, свободных от ледяных полей. В районах с устойчивым ледяным покровом ТПО принимается равной $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, поэтому межгодовые изменения в них зимой слабые и могут не совпадать с изменениями открытых районов. Весной с таянием льдов тем-

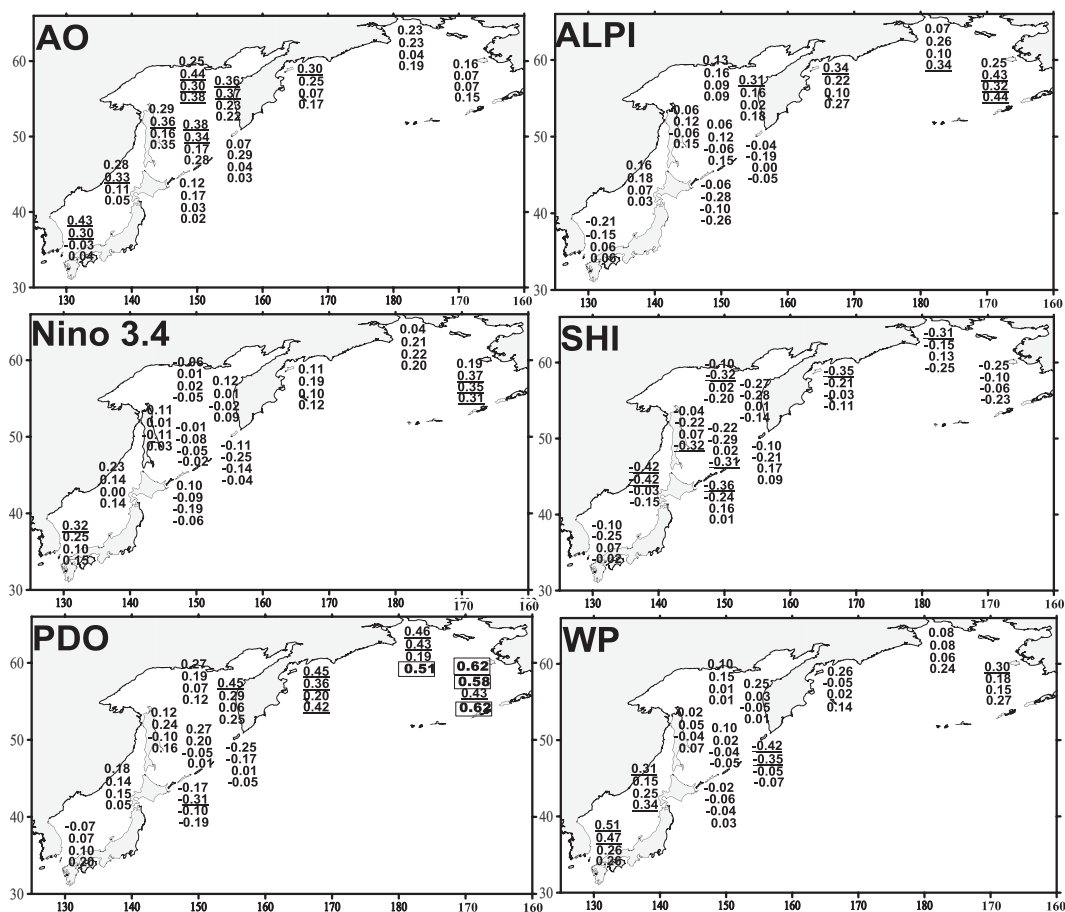


Рис. 5. Корреляции между зимними климатическими индексами и ТПО выделенных районов (см. рис. 1) по сезонам (сверху вниз: зима, весна, лето, осень). Подчеркнуты связи с $0,3 \leq R < 0,5$; прямоугольным контуром выделены связи $R \geq 0,5$ (при коэффициенте Пирсона $p = 0,01$)

Fig. 5. Correlation between winter climatic indices and SST in certain seasons (from top to bottom: winter, spring, summer, autumn). The values $0.3 \leq R < 0.5$ are underlined; the values $R \geq 0.5$ with Pearson's coefficient $p = 0.01$ are contoured

пература принимает значения, зависящие от погодных условий, т.е. континентальных атмосферных процессов, что приводит установлению значимой связи с АО.

Учитывая близость сибирского антициклона и его тесную связь с АО [Хен и др., 2019а], можно было ожидать повышенную роль SHI в формировании ТПО Охотского моря. Однако значимые связи на уровне $R = 0,30-0,35$ наблюдались по одному сезону в трех районах, причем на западе и юге осенью (скорее всего случайные), а на востоке во все сезоны они были незначимыми. Ожидание высокой связи с SHI оправдал только северный район Японского моря с $R = 0,42$ зимой и весной. Здесь свою роль сыграл ярко выраженный муссонный климат Японского моря с сильными северными ветрами в холодное полугодие.

PDO — один из самых популярных индексов, часто используемый океанологами и биологами в самых разнообразных случаях и вариантах. Его вклад в формирование ТПО действительно может быть основным, но для определенных районов, непосредственно контактирующих с Тихим океаном. Самым близким районом, постоянно подвергающимся прямому воздействию PDO через атмосферу или восточные проливы Алеутской гряды, является восточная часть Берингова моря. Уровень связи здесь самый высокий из всех районов и достигает $R = 0,62$ зимой и осенью (рис. 5), когда Алеутский

минимум наиболее развит, а приток тихоокеанских вод в Берингово море достигает годового максимума [Stabeno et al., 2016]. Даже летом, когда влияние Тихого океана заметно понижается, R остается на уровне значимой величины и составляет 0,43. С удалением от восточной части моря против часовой стрелки роль PDO ослабевает, но связи все еще превышают 0,3, а летом становятся незначимыми. В Охотском море значимая связь проявляется только на западной Камчатке в сезон наибольшей активности Алеутского минимума, т.е. зимой. Для остальных районов R значительно ниже 0,3, а летом и осенью не превышает 0,1, т.е. в эти сезоны связи незначимы.

Хорошо известна роль Алеутского минимума в переносе тепла из восточной части Тихого океана в Берингово море [Rodionov et al., 2007]. Не случайно ТПО восточной части Берингова моря значимо связана с ALPI, за исключением зимы, что стало неожиданностью. С другой стороны, в противоположной стороне Берингова моря и прилегающей части Охотского моря зимние коэффициенты корреляции превышают 0,3, тогда как в остальные сезоны они ниже этой пороговой величины. Надо полагать, что влияние Алеутского минимума на восточную часть Берингова моря происходит с сезонным запаздыванием, а на западе моря основную роль играют направления и скорости ветра в тыловой части зимней атмосферной депрессии.

В течение трех сезонов (за исключением зимы) связи между температурой воды на поверхности восточной части Берингова моря и Nino 3.4 на уровне значимых ($R = 0,31-0,34$). Влияние Nino 3.4 (Эль-Ниньо/Южного колебания (ENSO)), скорее всего, здесь опосредованное, через PDO, причем волны ENSO распространяются вдоль западного побережья Америки [Newman et al., 2016]. О проникновении волн ENSO на запад вдоль Северо-Пассатного течения можно судить по значимой связи зимой с ТПО южной части Японского моря. Вклад Nino 3.4 в изменчивости ТПО остальных районов дальневосточных морей и СЗТО статистически незначим.

Вклад еще одного индекса, WP, важен для обоих районов Японского моря и северной части СЗТО, причем везде обязательно зимой и дополнительно — весной или осенью. При этом с обоими районами Японского моря связи положительные, т.е. со смещением траекторий циклоном на север [Ueno, 1993] ТПО повышается, тогда как с северным районом СЗТО, расположенным практически в центре WP диполя, связи отрицательные. На другие районы WP не оказывает никакого влияния.

Все сказанное выше можно отобразить схематически в виде диаграммы связей (рис. 6). По вкладу в изменчивость ТПО индексы можно разбить на две категории: западные и восточные. К первой относятся АО, SHI и WP, которые воздействуют на западную часть дальневосточного бассейна, условно ограниченную долготой Камчатки. АО имеет большое значение для всех районов Охотского и Японского морей, причем ее влияние прямое: с усилением зонального потока в положительную фазу АО температура воды повышается, а с усилением меридиональных потоков (отрицательная фаза), наоборот, понижается. SHI также влияет на термическое состояние этих двух морей, но с обратным знаком, что обусловлено противоположностью его хода с АО [Хен и др., 2019а]. Прямой вклад WP в изменчивость ТПО ограничен двумя районами Японского моря; обратная связь отмечена для ТПО в районе ОмС.

Для Берингова моря, отнесенного к восточной части дальневосточного бассейна, изменения АО, SHI и WP не играют заметной роли. Для него наиболее важны изменения, происходящие в восточной категории индексов PDO, PNA и ALPI, а также в NPI и Nino 3.4, но в меньшей степени.

Следует отметить слабую связь ТПО обоих районов СЗТО с индексами, за исключением СзС с WP, о чем было сказано выше. Даже с PDO связь обнаруживается только для одного сезона в СзЮ. Такую особенность можно объяснить сильным влиянием на эту область двух мощных течений (теплого Кюросио и холодного Ойясио), которые вносят основной вклад в межгодовую изменчивость ТПО в регионе.

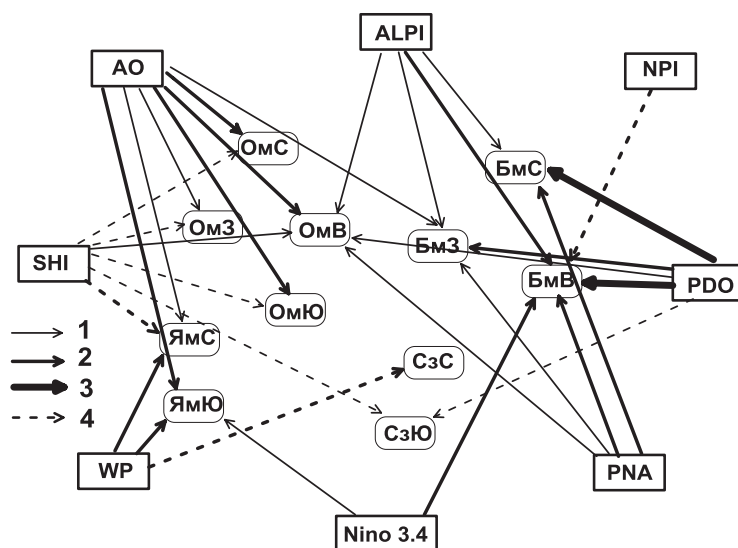


Рис. 6. Схема связей сезонных ТПО отдельных районов дальневосточных морей России и СЗТО (рис. 1) с зимними климатическими индексами: 1 — значимая ($R \geq 0,30$) связь в одном сезоне; 2 — значимая ($R \geq 0,30$) связь в двух и более сезонах; 3 — сильная ($R \geq 0,50$) связь хотя бы в одном сезоне; 4 — значимая обратная ($R \leq -0,30$) связь (тонкая штриховка — в одном сезоне, толстая — в двух сезонах)

Fig. 6. Scheme of relationships between winter climate indices and SST in certain regions and seasons: 1 — significant ($R \geq 0.30$) relationship in one season; 2 — significant ($R \geq 0.30$) relationship in two or more seasons; 3 — strong ($R \geq 0.50$) relationship at least in one season; 4 — significant inverse ($R \leq -0.30$) relationship (thin dashed line — in one season, thick dashed line — in two seasons)

Подводя итог, можем отметить, что при анализе влияния климатических индексов на гидрологию отдельных районов или биологию выбранных видов рыб и их популяции не следует слепо привлекать их только из-за того, что они сегодня стали достаточно доступными и имеют длинные ряды данных. Во всех случаях следует провести их тщательный анализ с учетом объективности привлечения того или иного индекса для конкретного района или объекта исследования.

Закключение

Были исследованы закономерности многолетних изменений ТПО в дальневосточных морях и СЗТО. Во все сезоны года температура воды повышалась, при этом зимой и осенью тренды выражены наиболее ярко, а летом они менее показательны. В Охотском и Беринговом морях коэффициенты детерминации ($R^2 > 0,5$) трендов имеют максимальные значения, тогда как в Японском море он заметно слабее ($R^2 = 0,3-0,4$). Закономерности многолетней изменчивости в СЗТО сильно отличаются от таковых морей. Линейный тренд практически отсутствует, во все сезоны $R^2 < 0,1$, т.е. вероятность многолетнего потепления здесь незначима.

Первый масштабный скачок ТПО в дальневосточном бассейне произошел в 1977 г. в Беринговом море. Он совпал с резкими перепадами в изменчивости PDO, ALPI, NPI и PNA. В Охотском море скачок ТПО запоздал на 4 года и пришелся на 1981 г. В атмосфере и в океане в этот год никаких резких перемен не наблюдалось. В Японском море скачок ТПО пришелся на 1990 г., через год после резких перепадов в АО, PDO и PNA. Скачок ТПО в Беринговом море был результатом событий в северной части Тихого океана, тогда как на Японское море основное влияние оказали резкие перемены в АО. В 2008 и 2018 гг. наблюдались небольшие скачки температуры в СЗТО.

Проведен анализ связей ТПО трех дальневосточных морей России, а также СЗТО, являющихся основными районами отечественного морского промысла, с 8 основными климатическими индексами СТО: АО, Nino 3.4, PDO, ALPI, NPI, PNA, SHI, WP.

Связи ТПО с годовыми и зимними индексами практически не различаются. Исключением является WP. При его годовом осреднении он значим для Охотского моря, а при зимнем — для Японского моря. Основной вклад в изменчивость температуры Берингова моря во все сезоны вносит PDO. При этом коэффициент корреляции R, кроме лета, выше 0,5. Зимой и весной заметную роль играют ALPI и PNA, максимально развитые в холодное полугодие. Для Охотского моря основное значение имеет колебание АО, за исключением лета, когда усиливаются региональные барические образования.

На зимние и весенние изменения термических условий в Японском море в равной степени влияют АО, SHI, тесно связанные между собой, и WP. Вклад WP значим также в осенней и годовой изменчивости. Зимой усиливается роль Nino 3.4, тогда как в другие сезоны его вклад становится несущественным.

В СЗТО во все сезоны значимые связи между ТПО и индексами не наблюдаются. Еще одной особенностью СЗТО являются противоположные связи с Nino 3.4, PDO, ALPI, PNA и WP, тогда как между этими индексами и ТПО ДВ морей России знак R устойчиво положительный. Такая особенность СЗТО связана с противофазностью термического состояния между восточной и западной частями СТО, хорошо проявляющейся при разложении ТПО на главные компоненты [Mantua et al., 1997].

По вкладу в изменчивость ТПО в отдельных районах дальневосточного бассейна индексы можно разделить на две категории: западные и восточные. К первой относятся АО, SHI и WP, которые отражают процессы, воздействующие на западную часть дальневосточного бассейна, условно ограниченную долготой Камчатки. К основным индексам восточной категории относятся PDO, PNA и ALPI, а NPI и Nino 3.4 играют второстепенные роли.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность С.Н. Родионову за доступное программное обеспечение методики выявления сдвигов климатического режима, анонимным рецензентам за ценные замечания, позволившие качественно улучшить данную статью, а также Японскому метеорологическому агентству (проект NEAR-GOOS), Центру климатического прогнозирования (*Climate Prediction Center*), Национальному центру по прогнозированию окружающей среды (NCEP) и Национальному центру атмосферных исследований (NCAR) Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) США за регулярно обновляемые данные о ТПО и климатических индексах на открытых информационных интернет-ресурсах.

Authors are thankful to S.N. Rodionov for available software for regime shifts detecting and to anonymous reviewers for valuable comments that allowed to improve the article, and are grateful to Japan Meteorological Agency (NEAR-GOOS project), Climate Prediction Center, National Center for Environmental Prediction (NCEP), and National Center for Atmospheric Research (NCAR) of the US National Oceanic and Atmospheric Administration for regularly updated time-series of climate indices available on open information resources in Internet.

Финансирование работы (FUNDING)

Результаты настоящего исследования были получены в рамках выполнения государственного задания № 076-00005-20-00 ФГБНУ «ВНИРО» на 2020 г.

Results of this study were obtained within implementation of the government assignment No. 076-00005-20-00 to the Federal State Budgetary Research Institution VNIRO for 2020.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

The authors declare that this work does not contain their own experimental data obtained using animals or with participation of people. Bibliographic references to all used data of other authors are designed in accordance with the State Standards of Russia. The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Постановка задачи принадлежит Г.В. Хену, работу с базами данных, основные расчеты и часть иллюстраций выполнил Ю.Д. Сорокин, в анализе и обсуждении результатов принимали участие все авторы, подготовку текста статьи осуществляли Г.В. Хен и Е.И. Устинова.

Problem of the study was formulated by G.V. Khen; data processing, basic calculations and partially illustration were performed by Yu.D. Sorokin, all authors took part in the analysis and discussion of the results; text and illustrations were prepared by G.V. Khen and E.I. Ustinova.

Список литературы

Басюк Е.О., Зуенко Ю.И. Берингово море 2018 — экстремально малоледовитый и теплый год // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 198. — С. 119–142. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-119-142.

Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных : пер. с англ. : моногр. — М. : Мир, 1989. — 540 с.

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.

Ильинский О.К. Охотский антициклон // Тр. ДВНИГМИ. — 1959. — Вып. 7. — С. 10–32.

Кильматов Т.Р., Тринько О.И., Дмитриева Е.В. Климатический тренд в Тихом океане и теория катастроф // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 170. — С. 184–191.

Кровнин А.С., Котенев Б.Н., Мордасова Н.В., Муры́й Г.П. Дальние связи в атмосфере и океане как основа долгосрочного рыбопромыслового прогнозирования // Тр. ВНИРО. — 2018. — Т. 173. — С. 33–65.

Лобанов В.Б., Данченков М.А., Лучин В.А. и др. Глава 5.4. Дальневосточные моря России // Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. — М. : Росгидромет, 2014. — С. 684–743.

Мордвинов В.И., Иванова А.С., Девятова Е.В. Возбуждение Арктической и Антарктической осцилляций крутильными колебаниями // Солнечно-земная физика. — 2009. — Вып. 13. — С. 55–65.

Пономарев В.И., Каплуненко Д.Д., Крохин В.В. Тенденции изменений климата во второй половине XX века в Северо-Восточной Азии, на Аляске и северо-западе Тихого океана // Метеорол. и гидрол. — 2005. — № 2. — С. 15–26.

Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Воронцов А.А. Тенденции климатических изменений термических условий в прибрежных акваториях западной части Берингова моря и прилегающих районах за последние десятилетия // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 193. — С. 167–182. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-193-167-182.

Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Рудых Н.И., Воронцов А.А. Климатические изменения термических условий окраинных морей западной части Тихого океана // Метеорол. и гидрол. — 2020. — № 3. — С. 44–57.

Смирнов Н.П., Вайновский П.А., Титов Ю.Э. Статистический диагноз и прогноз океанологических процессов : моногр. — СПб. : Гидрометеиздат, 1992. — 202 с.

Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. Сравнительная оценка баз данных о температуре поверхности океана, используемых для дальневосточных морей // Математическое моделирование и

информационные технологии в исследованиях биоресурсов Мирового океана : мат-лы отраслевого семинара. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2013. — С. 83–86.

Хен Г.В., Басюк Е.О., Сорокин Ю.Д. и др. Термические условия на поверхности Берингова и Охотского морей в начале 21-го века на фоне полувековой изменчивости // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 153. — С. 254–263.

Хен Г.В., Сорокин Ю.Д. Сезонные особенности многолетних изменений ТПО в северной части Тихого океана и в отдельных его областях // Вопр. промысл. океанол. — 2008. — Вып. 5, № 1. — С. 164–183.

Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. Изменчивость и взаимосвязь основных климатических индексов для северной части Тихого океана: тренды, климатические сдвиги, спектры, корреляции // Изв. ТИНРО. — 2019а. — Т. 199. — С. 163–178. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-199-163-178.

Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. Основные климатические индексы для северной части Тихого океана: природа и история (литературный обзор) // Изв. ТИНРО. — 2019б. — Т. 197. — С. 166–181.

Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д., Матюшенко Л.Ю. Долгопериодные изменения термических характеристик поверхностных вод Японского моря и залива Петра Великого и их связь с крупномасштабными климатическими процессами // Тр. ВНИРО. — 2020. — Т. 180. — С. 72–87. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-72-87.

Шатилина Т.А., Анжина Г.И. Изменчивость параметров азиатской и дальневосточной атмосферных депрессий во второй половине 20-го века // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 144. — С. 300–311.

Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. Комплексная оценка изменчивости температуры воды на поверхности в северо-западной части Тихого океана в июле-сентябре 1950–2014 гг. // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 184. — С. 120–134. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-184-120-134.

Baker M.R., Kivva K.K., Pisareva M.N. et al. Shifts in the physical environment in the Pacific Arctic and implications for ecological timing and conditions // Deep-Sea Res. II. — 2020. — Vol. 177. 104802. DOI: 10.1016/j.dsr2.2020.104802.

Bond N.A., Cronin M.F., Freeland H., Mantua N. Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific // Geophys. Res. Lett. — 2015. — Vol. 42, Iss. 9. — P. 3414–3420. DOI: 10.1002/2015GL063306.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / eds R.K. Pachauri and A. Reisinger. — Geneva, Switzerland : IPCC, 2007. — 104 p.

Ishii M., Shouji A., Sugimoto S., Matsumoto T. Objective Analyses of Sea-Surface Temperature and Marine Meteorological Variables for the 20th Century using ICOADS and the Kobe Collection // Int. J. Climatol. — 2005. — № 25. — P. 865–879.

Jung H.K., Rahman S.M., Kang C.-K. et al. The influence of climate regime shifts on the marine environment and ecosystems in the East Asian Marginal Seas and their mechanisms // Deep-Sea Res. II. — 2017. — Vol. 143. — P. 110–120. DOI: 10.1016/j.dsr2.2017.06.010.

Kurihara Y., Sakurai T., Kuragano T. Global daily sea surface temperature analysis using data from satellite microwave radiometer, satellite infrared radiometer and in-situ observations // Weath. Bull. — 2006. — Vol. 73, Spec. Iss. — P. 1–18 (in Jap.).

Mantua N.J., Hare S.R., Zhang Y. et al. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 1997. — Vol. 78, № 6. — P. 1069–1079. DOI: 10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2.

Miyasaka T., Nakamura H., Taguchi B., Nonaka M. Multidecadal modulations of the low-frequency climate variability in the wintertime North Pacific since 1950 // Geophys. Res. Lett. — 2014. — Vol. 41, Iss. 8. — P. 2948–2955. DOI: 10.1002/2014GL059696.

Nakanowatari T., Ohshima K.I., Wakatsuchi M. Warming and oxygen decrease of intermediate water in the northwestern North Pacific, originating from the Sea of Okhotsk, 1955–2004 // Geophys. Res. Lett. — 2007. — Vol. 34, Iss. 4. L04602. DOI: 10.1029/2006GL028243.

Newman M., Alexander M.A., Ault T.R. et al. The Pacific Decadal Oscillation, Revisited // J. Climate. — 2016. — Vol. 29. — P. 4399–4427. DOI: 10.1175/jcli-d-15-0508.1.

Overland J.E., Wang M. Impact of the winter polar vortex on greater North America // Int. J. Climatol. — 2019. — Vol. 39, Iss. 15. — P. 5815–5821. DOI: 10.1002/joc.6174.

Peterson W., Bond N., Robert M. The Blob is gone but has morphed into a strongly positive PDO/SST pattern // *PICES Press*. — 2016. — Vol. 24, № 2. — P. 46–47.

Rodionov S.N. A sequential algorithm for testing climate regime shifts // *Geophys. Res. Lett.* — 2004. — Vol. 31, № 9. — L09204, DOI: 10.1029/2004GL019448.

Rodionov S.N. The use of prewhitening in climate regime shift detection // *Geophys. Res. Lett.* — 2006. — Vol. 33, № 12. — L12707, DOI: 10.1029/2006GL025904.

Rodionov S.N., Bond N.A., Overland J.E. The Aleutian Low, storm tracks, and winter climate variability in the Bering Sea // *Deep-Sea Res. II*. — 2007. — Vol. 54, Iss. 23–26. — P. 2560–2577. DOI: 10.1016/j.dsr2.2007.08.002.

Stabeno P.J., Danielson S.L., Kachel D.G. et al. Currents and transport on the Eastern Bering Sea shelf: An integration of over 20 years of data // *Deep-Sea Res. II*. — 2016. — Vol. 134. — P. 13–29. DOI: 10.1016/j.dsr2.2016.05.010.

Ueno K. Inter-annual variability of surface cyclone tracks, atmospheric circulation patterns, and precipitation patterns, in winter // *J. Meteor. Soc. Japan*. — 1993. — Vol. 71, № 6. — P. 655–671. DOI: 10.2151/jmsj1965.71.6_655.

Yeh S.-W., Kang Y.-J., Noh Y., Miller A.J. The North Pacific Climate Transitions of the Winter of 1976/77 and 1988/89 // *J. Climate*. — 2011. — Vol. 24, Iss. 4. — P. 1170–1183. DOI: 10.1175/2010JCLI3325.1.

References

Basyuk, E.O. and Zuenko, Yu.I., Bering Sea: 2018 as the extreme low-ice and warm year, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 198, pp. 119–142. doi 10.26428/1606-9919-2019-198-119-142

Bendat, J.S. and Piersol, A.G., *Analysis and Measurement Procedures*, Moscow: Mir, 1989.

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

Il'inskii, O.K., The Okhotsk anticyclone, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1959, vol. 7, pp. 10–32.

Klimatov, T.R., Trinko, O.I., and Dmitrieva, E.V., Climate trend in the Pacific Ocean and catastrophe theory, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 170, pp. 184–191.

Krovnin, A.S., Kotenev, B.N., Mordasova, N.V., and Mury, G.P., Long-range communications in the atmosphere and ocean as the basis for long-term fishing forecasting, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 173, pp. 33–65.

Lobanov, V.B., Danchenkov, M.A., Luchin, V.A., Mezentseva, L.I., Ponomarev, V.I., Sokolov, O.V., Trusenkov, O.O., Ustinova, E.I., Ushakova, R.N., and Hen, G.W., Chapter 5.4. Far Eastern seas of Russia, in *Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii* (Second Roshydromet Assessment Report on Climate Change and its Consequences in the Russian Federation), Moscow: Roshydromet, 2014, pp. 684–743.

Mordvinov, V.I., Ivanova, A.S., and Devyatova, E.V., Excitation of Arctic and Antarctic oscillations by torsional oscillations, *Soln.-Zemnaya Fiz.*, 2009, vol. 13, pp. 55–65.

Ponomarev, V.I., Kaplunenko, D.D., and Krokhin, V.V., Climatic Trends in Northeast Asia, Alaska Peninsula, and Northwest Pacific in the Second Half of the 20th Century, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2005, no. 2, pp. 15–26.

Rostov, I.D., Dmitrieva, E.V., and Vorontsov, A.A., Tendencies of climate changes for thermal conditions in the coastal waters of the western Bering Sea and adjacent areas in the last decades, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 193, pp. 167–182. doi 10.26428/1606-9919-2018-193-167-182

Rostov, I.D., Dmitrieva, E.V., Rudykh, N.I., and Vorontsov, A.A., Climatic changes in thermal conditions of marginal seas in the Western Pacific, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2020, vol. 45, no. 3, pp. 169–178.

Smirnov, N.P., Vainovsky, P.A., and Titov, Yu.E., *Statisticheskii diagnost i prognoz okeanologicheskikh protsessov* (Statistical diagnosis and forecast of oceanological processes), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992.

Ustinova, E.I. and Sorokin, Yu.D., Comparative assessment of databases on ocean surface temperature used for the Far Eastern seas, in *Matematicheskoye modelirovaniye i informatsionnyye tekhnologii v issledovaniyakh bioresursov Mirovogo okeana: mat-ly otrasl semin* (Mathematical modeling and information technology in the study of biological resources of the oceans: industry workshop materials), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2013, pp. 83–86.

Khen, G.V., Basyuk, E.O., Sorokin, Yu.D., Ustinova, E.I., and Figurkin, A.L., Surface thermal conditions in the Bering and Okhotsk Seas in the early 21 Century against previous semi-centennial changes, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 153, pp. 254–263.

Hen, G.V. and Sorokin, Yu.D., *Sezonnyye osobennosti mnogoletnikh izmeneniy TPO v severnoy chasti Tikhogo okeana i v otdel'nykh yego oblastyakh* (Seasonal features of perennial changes in SST in the northern part of the Pacific Ocean and in its individual areas), *Vopr. Promysl. Okeanol.*, 2008, vol. 5, no. 1, pp. 164–183.

Khen, G.V., Ustinova, E.I., and Sorokin, Yu.D., Variability and interrelation of the basic climate indices for the North Pacific: trends, climate shifts, spectra, correlations, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 199, pp. 163–178. doi 10.26428/1606-9919-2019-199-163-178

Khen, G.V., Ustinova, E.I., and Sorokin, Yu.D., Principal climate indices for the North Pacific: nature and history (a review), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 197, pp. 166–181.

Khen, G.V., Ustinova, E.I., Sorokin, Yu.D., and Matyushenko, L.Yu., Long-term changes of the thermal characteristics in the Japan Sea surface water and peter the great bay and their relationship with large-scale climatic processes, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 180, pp. 72–87. doi 10.36038/2307-3497-2020-180-72-87

Shatilina, T.A. and Anzhina, G.I., Change of the Asian and Far Eastern depressions parameters in the second half of 20th century, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 144, pp. 300–311.

Shatilina, T.A., Tsitsiashvili, G.Sh., and Radchenkova, T.V., Complex assessment of variability for the sea surface temperature in the North-West Pacific in July–September 1950–2014, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 184, pp. 120–134. doi 10.26428/1606-9919-2016-184-120-134

Baker, M.R., Kivva, K.K., Pisareva, M.N., Watson, J.T., and Selivanova, J., Shifts in the physical environment in the Pacific Arctic and implications for ecological timing and conditions, *Deep Sea Res., Part II*, 2020, vol. 177, 104802. doi 10.1016/j.dsr2.2020.104802

Bond, N.A., Cronin, M.F., Freeland, H., and Mantua, N., Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific, *Geophys. Res. Lett.*, 2015, vol. 42, no. 9, pp. 3414–3420. doi 10.1002/2015GL063306

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Pachauri, R.K. and Reisinger, A., eds, Geneva, Switzerland: IPCC, 2007.

Ishii, M., Shouji, A., Sugimoto, S., and Matsumoto, T., Objective Analyses of Sea-Surface Temperature and Marine Meteorological Variables for the 20th Century using ICOADS and the Kobe Collection, *Int. J. Climatol.*, 2005, no. 25, pp. 865–879.

Jung H.K., Rahman SM M., Kang C.-K., Park, S.-Y., Lee, S.H., Park, H.J., Kim, H.-W., and Lee, C.I., The influence of climate regime shifts on the marine environment and ecosystems in the East Asian Marginal Seas and their mechanisms, *Deep-Sea Res., Part II*, 2017, vol. 143, pp. 110–120. doi 10.1016/j.dsr2.2017.06.010

Mantua, N.J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M., and Francis, R.C., A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, vol. 78, no. 6, pp. 1069–1079. doi 10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2

Miyasaka, T., Nakamura, H., Taguchi, B., and Nonaka, M., Multidecadal modulations of the low-frequency climate variability in the wintertime North Pacific since 1950, *Geophys. Res. Lett.*, 2014, vol. 41, no. 8, pp. 2948–2955. doi 10.1002/2014GL059696

Nakanowatari, T., Ohshima, K.I., and Wakatsuchi, M., Warming and oxygen decrease of intermediate water in the northwestern North Pacific, originating from the Sea of Okhotsk, 1955–2004, *Geophys. Res. Lett.*, 2007, vol. 34, no. 4, L04602. doi 10.1029/2006GL028243

Newman, M., Alexander, M.A., Ault, T.R., Cobb, K.M., Deser, C., Di Lorenzo, E., Mantua, N.J., Miller, A.J., Minobe, S., Nakamura, H., Schneider, N., Vimont, D.J., Phillips, A.S., Scott, J.D., and Smith, C.A., The Pacific decadal oscillation, revisited, *J. Climate*, 2016, vol. 29, pp. 4399–4427. doi 10.1175/jcli-d-15-0508.1

Overland, J.E. and Wang, M., Impact of the winter polar vortex on greater North America, *Int. J. Climatol.*, 2019, vol. 39, no. 15, pp. 5815–5821. doi 10.1002/joc.6174

Peterson, W., Bond, N., and Robert, M., The Blob is gone but has morphed into a strongly positive PDO/SST pattern, *PICES Press*, 2016, vol. 24, no. 2, pp. 46–47.

Rodionov, S.N., A sequential algorithm for testing climate regime shifts, *Geophys. Res. Lett.*, 2004, vol. 31, no. 9, L09204, doi 10.1029/2004GL019448

Rodionov, S.N., The use of prewhitening in climate regime shift detection, *Geophys. Res. Lett.*, 2006, vol. 33, no. 12, L12707, doi 10.1029/2006GL025904

Rodionov, S.N., Bond, N.A., and Overland, J.E., The Aleutian Low, storm tracks, and winter climate variability in the Bering Sea, *Deep-Sea Res., Part*, 2007, vol. 54, no. 23–26, pp. 2560–2577. doi 10.1016/j.dsr2.2007.08.002

Stabeno, P.J., Danielson, S.L., Kachel, D.G., Kachel, N.B., and Mordy, C.W., Currents and transport on the Eastern Bering Sea shelf: An integration of over 20 years of data, *Deep-Sea Res., Part II*, 2016, vol. 134, pp. 13–29. doi 10.1016/j.dsr2.2016.05.010

Ueno, K., Inter-annual variability of surface cyclone tracks, atmospheric circulation patterns, and precipitation patterns, in winter, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 1993, vol. 71, no. 6, pp. 655–671. doi 10.2151/jmsj1965.71.6_655

Yeh, S.-W., Kang, Y.-J., Noh, Y., and Miller, A.J., The North Pacific Climate Transitions of the Winter of 1976/77 and 1988/89, *J. Climate*, 2011, vol. 24, no. 4, pp. 1170–1183. doi 10.1175/2010JCLI3325.1

Поступила в редакцию 24.11.2021 г.

После доработки 4.02.2022 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

*The article was submitted 24.11.2021; approved after reviewing 4.02.2022;
accepted for publication 25.02.2022*

АКВАКУЛЬТУРА
AQUACULTURE

Научная статья

УДК 639.3.07

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-208-224

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ МОЛОДИ
ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ НА РЫБОВОДНЫХ ЗАВОДАХ
САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
СТАРТОВЫХ КОРМОВ НПК «АКВАТЕХ»О.В. Зеленников¹, М.С. Мякишев^{2*}¹ Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7/9;² Сахалинский филиал Главрыбвода,
693006, г. Южно-Сахалинск, ул. Емельянова, 43-Б

Аннотация. Анализировали эффективность кормления молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha*, кеты *O. keta*, симы *O. masou* и кижуча *O. kisutch* на 12 рыбоводных заводах Сахалинского филиала Главрыбвода с различными термическими условиями в течение шести рыбоводных циклов при использовании стартовых кормов компаний «Aller Aqua» (Дания) и «Акватех» (Россия, Новосибирская область). Кормление молоди всех видов до нормативной навески во все годы наблюдений оказалось эффективным при использовании кормов, произведенных обоими производителями, о чем свидетельствовали кормовые коэффициенты, в большинстве случаев изменявшиеся в диапазоне от 0,6 до 0,8. Вместе с тем на всех заводах в среднем более низкие кормовые коэффициенты были получены при использовании корма российского производства. Можно предположить, что более высокий результат был обеспечен тем, что корм от новосибирской компании при одинаковой рецептуре был обеспечен двумя разными вариантами флотации — медленно тонущий и плавающий. Плавающий корм оказался более подходящим при выращивании молоди горбуши на всех заводах. Для кеты же оба варианта корма оказались приемлемыми, и опытным путем на каждом предприятии был выбран более эффективный корм в сочетании производственных факторов, специфичных для каждого завода.

Ключевые слова: Сахалинская область, рыбоводные заводы, тихоокеанские лососи, стартовые корма, воспроизводство.

Для цитирования: Зеленников О.В., Мякишев М.С. Об эффективности выращивания молоди тихоокеанских лососей на рыбоводных заводах Сахалинской области с применением стартовых кормов НПК «Акватех» // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 208–224. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-208-224.

* Зеленников Олег Владимирович, доктор биологических наук, доцент, oleg_zelennikov@rambler.ru; Мякишев Максим Сергеевич, начальник отдела, lab_vbr@mail.ru.

Original article

On efficiency of rearing juvenile pacific salmon at fish farms in the Sakhalin region with using of starter feeds produced by NPK Aquatech

Oleg V. Zelennikov*, Maxim S. Myakishev**

* St. Petersburg State University, 7/9, University Embankment, Sankt-Petersburg, 199034, Russia

** Sakhalin branch of Glavrybvod, 43B, Emelyanov Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693006, Russia

* D.Biol., assistant professor, oleg_zelennikov@rambler.ru

** head of department, lab_vbr@mail.ru

Abstract. Effectiveness of the salmon juveniles feeding was examined during six cycles of fish breeding for pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*, chum salmon *O. keta*, cherry salmon *O. masou*, and coho salmon *O. kisutch* at 12 fish hatcheries belonged to the Sakhalin branch of FBSI Glavrybvod with using of different starter feeds produced by Aller Aqua (Denmark) and Aquatech (Russia). All hatcheries worked in the coldwater regime of rearing. Both feeds were rather effective for all species that was evidenced by low feeding coefficients, usually 0.6–0.8. Anyway, average value of the feeding coefficient was lower for the starter feed Aquatech at all factories. Beyond a high quality of this feed, its availability in two variants of flotation was important, as the slowly sinking and floating forms. The floating food was found to be more suitable for the growing juvenile pink salmon at all farms. On the other hand, both starter feeds were suitable for chum salmon, their priority for this species depended on fish farm and obviously was determined by combination of many factors, such as temperature conditions, configuration of canals and ponds, their hydrodynamics, feed dispensers, etc.

Keywords: Sakhalin, fish farm, pacific salmon, starter feed, artificial reproduction.

For citation: Zelennikov O.V., Myakishev M.S. To the question of the efficiency young pacific salmon at fish farms of the Sakhalin region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 208–224. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-208-224.

Введение

В условиях современного развития аквакультуры важным фактором является наличие на рынке качественных кормов отечественного производства для выращивания молоди лососевых рыб. Во-первых, присутствие таких кормов, несомненно, повысит конкуренцию среди производителей. Во-вторых, повысится надежность обеспечения кормом рыбоводных предприятий, что в контексте продовольственной безопасности России стало весьма актуальным в последние годы.

Хорошо известно, что производство качественных кормов для лососевых рыб является сравнительно низкорентабельным. Этот процесс предусматривает не только подбор большого количества качественных компонентов, но и требует высокой культуры производства, обеспечивающей безусловное следование разработанной рецептуре. С учетом этих обстоятельств фактически до настоящего времени рыбоводные предприятия используют для выращивания молоди разных видов, а также лососевых рыб всех возрастных групп корма исключительно импортного производства, что является одним из факторов, замедляющих развитие аквакультуры в России [Лукин и др., 2016]. Работы по созданию отечественного производства кормов для молоди, в том числе и тихоокеанских лососей, не прекращались и велись в плане совершенствования как основных компонентов [Марковцев и др., 2016], так и биологически активных добавок [Валова, 2014]. В завершённом виде многочисленные фундаментальные и опытные работы реализовались в продукции научно-производственной компании «Акватех», которая является в настоящее время ведущим производителем в России, не только осуществляющей производство стартовых кормов для молоди лососевых рыб, но и использующей для этого компоненты также преимущественно российского производства. В 2017, 2018 и 2019 гг. компания стала победителем аукциона по поставке кормов для

федеральных рыбоводных предприятий Сахалинского филиала Главрыбвода. Таким образом, к настоящему времени завершились уже три полных цикла выращивания молоди с использованием стартовых кормов этой компании.

Цель работы — сравнить количественные показатели выращивания молоди всех видов тихоокеанских лососей в период кормления на заводах с различными температурными условиями.

Материалы и методы

В настоящее время специалисты Сахалинского филиала Главрыбвода выращивают молодь тихоокеанских лососей на 12 рыбоводных заводах (рис. 1), построенных в современном виде в период с 1994 по 2013 г. Еще 4 предприятия находятся в аренде у частных рыбопромышленных компаний. Инкубация икры на рыбоводных заводах осуществляется в боксах или аппаратах Аткинса, а содержание зародышей после вылупления и кормление молоди — в бетонных каналах. На некоторых предприятиях кормление части или всей молоди проводят в прудах и в пластиковых ваннах, что будет освещено далее.

В рыбоводных циклах 2015–2016, 2016–2017 и 2017–2018 гг. молодь рыб кормили стартовыми кормами производства компании «Aller Aqua» (Дания), а в рыбоводных циклах 2018–2019, 2019–2020 и 2020–2021 гг. — стартовыми кормами научно-производственной компании «Акватех» (Россия). Исключение составил Пугачевский ЛРЗ, возвращенный в Федеральное управление в течение последнего года по завершении срока его аренды, на котором корм новосибирского производства применяли только в ходе последнего рыбоводного цикла.

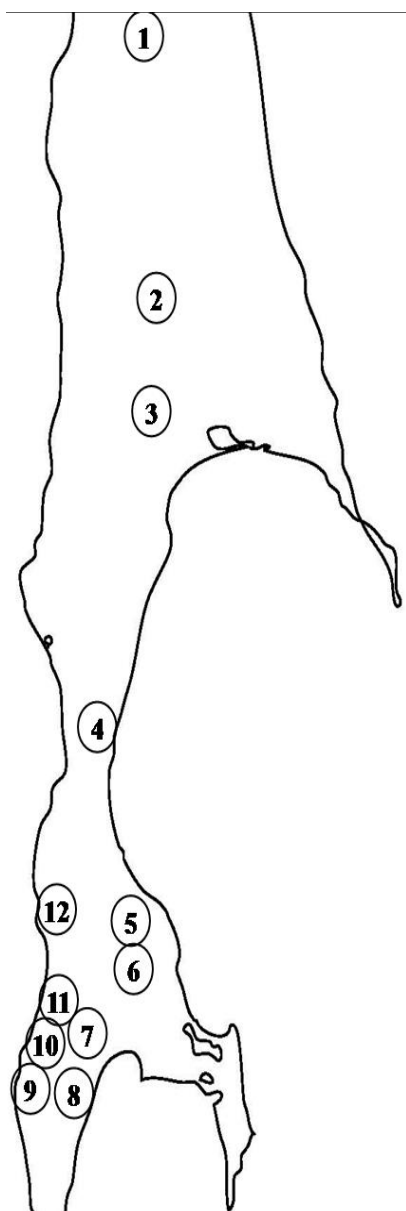
Всего на заводах использовали два вида стартовых кормов производства НПК «Акватех»:

— ЭСКТЛ 60/11 (Экструдированный стартовый корм для личинок и молоди тихоокеанских лососей), в маркировке которого цифры 60 и 11 указывают на содержание соответственно протеина и жира;

— ЭСКТЛи 62/10, в котором буква «и» указывает на наличие иммуностимулятора. В состав иммуностимулятора введены культуры бактерий *Bacillus subtilis* и *Bacillus licheniformis*, ферменты протеаза, ксиланаза, В-глюканаза, целлюлаза и маннанолигосахариды из клеточных стенок дрожжей. Иммуностимулятор был разработан и выпускается научно-производственной компанией «Сибфа» (Россия, Новосибирская область).

Рис. 1. Схема расположения рыбоводных заводов Сахалинского филиала Главрыбвода на карте Сахалина: 1 — Адо-Тымовский; 2 — Побединский; 3 — Буюкловский; 4 — Пугачевский; 5 — Соколовский; 6 — Березняковский; 7 — Анивский; 8 — Таранайский; 9 — Ясноморский; 10 — Сокольниковский; 11 — Калининский; 12 — Урожайный

Fig. 1. Scheme of location for the fish farms belonged to the Sakhalin branch of FBSI Glavrybvod: 1 — Ado-Tymovsky; 2 — Pobedinsky; 3 — Buyuklovsky; 4 — Pugachevsky; 5 — Sokolovsky; 6 — Bereznyakovsky; 7 — Anivsky; 8 — Taranaisky; 9 — Yasnomorsky; 10 — Sokolnikovsky; 11 — Kalininsky; 12 — Urozhainy



Оба вида корма при производстве были обеспечены разными флотирующими свойствами. Один из них можно охарактеризовать как медленно тонущий (скорость погружения 10–15 см/мин). Один килограмм этого корма фракции 1,0–1,5 мм занимает объем 1,65 л. Второй корм является плавающим, его объем при массе в один килограмм — 2,76 л.

На всех заводах раскармливание молоди проводили, используя корм с иммуностимулятором. Оба вида корма согласно их характеристике имели кормовой коэффициент не более 0,8.

Результаты и их обсуждение

Перед тем как проанализировать данные по кормлению молоди на рыбоводных заводах, отметим, что Сахалинская область является одним из трех (наряду с Японией и штатом Аляска) регионов Северной Пацифики, в котором осуществляется промышленное пастбищное воспроизводство молоди тихоокеанских лососей [Запорожец, Запорожец, 2011; Ueda, 2015]. В каждом из этих регионов рыбоводная продукция, за незначительным исключением, представлена молодь горбуши и кеты. При этом наблюдается общая тенденция уменьшения воспроизводства молоди горбуши, которая в каждом из регионов северо-тихоокеанского бассейна имеет обширные природные нерестилища [Heard, 1991], и увеличения воспроизводства молоди кеты, для которой площадь доступных нерестилищ является как раз лимитирующим фактором, но которая в силу стабильного хоминга является наиболее рентабельным объектом воспроизводства [Хованский, 2006]. Согласно общей тенденции молодь горбуши в течение шести последних лет выращивали только на 4, тогда как молодь кеты — на 11 из 12 рыбоводных заводах.

Воспроизводство молоди горбуши

Анивский ЛРЗ является одним из самых холодноводных предприятий, на котором температура воды в течение четырех месяцев составляет около 0,2 °С, но в то же время одним из наиболее продуктивных заводов именно для воспроизводства молоди горбуши. В отчетные годы на нем выращивали в среднем около 20 млн мальков. Как кормить, так и выпускать молодь на этом заводе начинают в более раннем календарном возрасте, чем на других предприятиях, и при наименьшей сумме набранного тепла, в последние годы при соответственно 622,4 и при 826,1 градусо-дня (табл. 1). Выпуск молоди в среднем производили в конце мая — первой декаде июня, в зависимости от температуры воздуха и воды в конкретном году. Выпуск совпадает с завершением ската природной молоди. Недопустимость задержки мальков на заводе связана с тем, что в р. Быстрой — базовом водотоке завода — из-за природного дефицита грунтовых вод наблюдается быстрый прогрев воды по мере повышения температуры воздуха, что создает угрозу гибели рыб. Кормовой коэффициент в разные годы существенно варьировал — от 0,49 до 1,23.

Пугачевский ЛРЗ — еще одно предприятие, на котором выращивают около 20 млн мальков, также является холодноводным. Однако и кормить рыб, и выпускать их начинают в более поздние сроки и при большей сумме набранных градусо-дней — соответственно 707,7 и 903,4.

Следующие два завода — *Таранайский* и *Урожайный ЛРЗ* — обеспечены грунтовой водой и являются более тепловодными, чем два предыдущих предприятия. Это позволяет, помимо горбуши (не каждый год), в значительном объеме выращивать на них и молодь кеты. И хотя кормление молоди горбуши на этих заводах начинают в начале-середине мая, а выпуск производят в конце мая — начале июня, т.е. в обычные для этого вида сроки, все-таки сопровождаются эти процессы большей суммой накопленного молодь тепла. Так, на Таранайском ЛРЗ в последние три рыбоводных цикла кормление молоди начинали в среднем при сумме 803,0, а выпуск — при

Таблица 1

Характеристика молоди тихоокеанских лососей, выращенной на федеральных заводах Сахалинской области

Table 1

Characteristics of the pacific salmon juveniles reared at federal fish farms in the Sakhalin region

Год	Начало кормления				Выпуск молоди				Выпуск молоди, млн шт.	Потра- чено корма, кг	КК
	Дата	Возраст		Масса рыб, мг	Дата	Возраст		Масса рыб, мг			
		Сут	Граду- со-дни			Сут	Граду- со-дни				
Воспроизводство молоди горбуши											
Анивский ЛРЗ											
2015–2016	15.05	242,0	687,2	243,9	02.06	260,3	840,1	285,5	9,9518	510	1,23
2016–2017	14.05	238,7	542,3	211,4	06.06	262,0	755,9	284,7	20,6274	1209	0,80
2017–2018	15.05	234,7	574,0	222,5	09.06	261,0	799,4	295,9	21,0200	1362	0,88
Среднее	15.05	238,5	601,2	225,9	06.06	261,1	798,5	288,7	17,1997	1027	0,95
2018–2019	10.05	235,0	595,5	212,5	06.06	262,7	850,3	288,9	26,4292	988	0,49
2019–2020	12.05	239,7	573,6	219,2	30.05	259,7	717,3	281,2	30,8824	945	0,49
2020–2021	02.05	237,0	698,1	227,8	31.05	266,5	910,7	301,0	14,8806	897	0,82
Среднее	08.05	237,2	622,4	219,8	02.06	263,0	826,1	290,4	24,0641	943	0,56
Пугачевский ЛРЗ											
2015–2016	23.05	252,0	664,4	229,6	13.06	273,0	818,1	297,3	18,5141	1100	0,88
2016–2017	26.05	249,0	698,9	218,7	21.06	274,3	927,8	287,7	21,6473	1398	0,94
2017–2018	22.05	250,3	703,5	231,7	16.06	275,3	900,9	288,8	20,2087	1300	1,13
2018–2019	20.05	249,3	754,2	206,0	11.06	271,3	961,4	293,9	20,1328	1600	0,90
2019–2020	25.05	257,0	733,7	212,4	12.06	277,0	905,0	309,0	20,1000	1600	0,82
Среднее	23.05	251,5	710,9	219,7	15.06	274,2	902,6	295,3	20,1206	1400	0,93
2020–2021	18.05	248,3	707,7	212,3	14.06	273,7	903,4	283,30	20,3065	1360	0,94
Таранайский ЛРЗ											
2015–2016	19.05	251,0	769,8	246,3	31.05	263,0	882,5	287,1	4,3631	150	0,84
2016–2017	15.05	227,0	682,3	235,1	06.06	250,0	792,7	283,2	15,4956	567	0,76
2017–2018	19.05	243,0	727,7	239,1	06.06	261,7	885,8	330,7	5,5816	418	0,82
Среднее	18.05	243,3	748,7	240,2	04.06	258,2	853,7	300,3	8,4801	378	0,81
2018–2019	13.05	243,0	824,8	217,4	04.06	274,5	1025,9	310,3	9,2015	697	0,82
2019–2020	14.05	252,0	794,4	206,0	29.05	267,0	903,1	282,0	1,2784	83	0,85
2020–2021	29.04	230,5	789,9	216,3	23.05	255,1	947,3	281,1	10,4393	402	0,59
Среднее	09.05	241,8	803,0	213,2	29.05	265,5	958,8	291,1	6,9731	394	0,73
Урожайный ЛРЗ											
2015–2016	28.04	242,5	729,4	255,4	31.05	272,5	954,8	313,8	0,3470	37	1,83
2016–2017	07.05	244,0	657,7	219,9	08.06	276,7	913,1	346,3	5,0702	507	0,79
Среднее	02.05	243,3	693,6	237,7	04.06	274,6	934,0	330,1	2,7086	272	1,09
2018–2019	01.05	251,0	820,7	245,1	30.05	281,0	1049,5	317,6	5,9260	395	0,92
2020–2021	02.05	250,3	860,0	249,0	04.06	282,3	1054,1	326,3	3,3980	239	0,91
Среднее	01.05	250,7	840,4	247,1	02.06	281,7	1051,8	322,0	4,6620	317	0,91
Воспроизводство молоди кеты											
Анивский ЛРЗ											
2015–2016	18.05	244,7	711,2	328,9	21.06	279,7	1034,3	878,8	1,6678	508	0,55
2016–2017	16.05	241,3	588,8	344,2	18.06	274,3	908,3	870,0	0,7090	191	0,51
2017–2018	23.05	238,5	555,5	301,9	29.06	278,5	920,3	908,6	0,0837	38	0,75
Среднее	19.05	241,5	618,5	325,0	23.06	277,5	954,3	885,8	0,8202	245	0,60
2018–2019	11.05	236,0	598,9	305,1	14.06	270,0	920,5	820,5	0,6309	152	0,47
2019–2020	02.05	243,0	620,0	318,4	12.06	280,3	921,8	867,5	0,7176	176	0,45
2020–2021	24.04	228,0	670,1	320,2	06.06	271,3	967,2	812,7	1,0008	163	0,33
Среднее	02.05	235,7	629,7	314,6	11.06	273,9	936,5	833,6	0,7831	163	0,42

Год	Начало кормления				Выпуск молоди				Выпуск молоди, млн шт.	Потра- чено корма, кг	КК
	Дата	Возраст		Масса рыб, мг	Дата	Возраст		Масса рыб, мг			
		Сут	Граду- со-дни			Сут	Граду- со-дни				
Урожайный ЛРЗ											
2015–2016	13.05	244,3	748,8	355,2	03.07	296,7	1448,5	1080,3	13,5153	6829	0,70
2016–2017	18.05	241,0	746,2	328,7	29.06	282,7	1130,8	980,0	7,3855	4337	0,90
2017–2018	08.05	241,7	717,2	368,1	24.06	288,7	1099,0	1119,8	9,4085	5780	0,82
Среднее	13.05	242,3	737,4	350,7	29.06	289,4	1226,1	1060,0	10,1031	5648	0,81
2018–2019	06.05	232,0	758,5	292,0	28.06	284,7	1284,2	855,7	7,9412	3237	0,72
2019–2020	04.05	237,7	758,7	318,4	10.06	274,3	1028,2	837,3	8,5898	2796	0,63
2020–2021	23.04	220,7	800,7	304,7	07.06	265,3	1079,5	811,9	5,9113	2205	0,74
Среднее	01.05	230,1	772,6	305,0	15.06	274,8	1130,6	835,0	7,4808	2746	0,70
Ясногорский ЛРЗ											
2015–2016	04.05	229,0	790,5	349,5	13.06	268,3	1072,1	738,0	11,485	3110	0,88
2016–2017	14.05	236,0	761,3	370,0	18.06	269,7	1055,3	760,5	8,1342	2810	0,83
2017–2018	14.05	234,0	751,5	386,2	17.06	268,7	999,7	772,4	7,9037	2530	0,75
Среднее	11.05	233,0	767,8	368,6	16.06	268,9	1042,4	757,0	9,1743	2817	0,82
2018–2019	22.04	220,0	808,7	307,4	12.06	271,0	1187,0	716,4	8,9346	2900	0,79
2019–2020	29.04	233,3	866,2	342,3	18.06	280,7	1223,0	848,0	9,6700	2940	0,60
2020–2021	11.05	206,5	832,2	300,3	12.06	267,5	1226,8	756,2	8,9276	2900	0,71
Среднее	01.05	219,9	835,7	316,7	14.06	273,1	1212,3	773,5	9,1774	2913	0,70
Калининский ЛРЗ											
2015–2016	25.04	222,7	805,0	353,4	04.06	222,7	805,0	353,4	37,2160	12760	0,87
2016–2017	23.04	218,7	786,4	351,2	30.05	218,7	786,4	351,2	28,6900	11460	0,73
2017–2018	22.04	226,3	845,4	350,1	08.06	226,3	845,4	350,1	33,2150	13680	0,75
Среднее	23.04	222,6	812,3	351,6	04.05	222,6	812,3	351,6	33,0500	12633	0,78
2018–2019	20.04	214,7	796,7	308,5	08.06	214,7	796,7	308,5	30,6740	11095	0,79
2019–2020	16.04	216,0	791,4	346,7	27.05	216,0	791,4	346,7	36,2939	10520	0,78
2020–2021	11.04	212,7	781,6	293,3	26.05	212,7	781,6	293,3	22,7100	8540	0,70
Среднее	16.04	214,5	789,9	316,2	30.05	214,5	789,9	316,2	29,9000	10052	0,76
Соколовский ЛРЗ											
2015–2016	30.04	215,7	799,4	334,0	04.07	280,0	1196,9	849,8	18,990	6880	0,70
2016–2017	05.05	213,0	800,2	336,7	28.06	264,7	1127,7	872,8	7,6745	3000	0,78
Среднее	02.05	214,4	799,8	335,4	01.07	272,4	1162,3	861,3	13,3323	4940	0,74
2018–2019	27.04	210,0	804,4	283,7	25.06	268,5	1145,5	810,2	5,0610	1900	0,71
2019–2020	25.04	219,3	819,2	327,1	18.06	273,0	1078,9	858,5	10,1200	3580	0,64
Среднее	26.04	214,6	811,8	305,4	21.06	270,7	1112,2	834,3	7,5905	2740	0,68
Сокольниковский ЛРЗ											
2015–2016	23.04	219,0	878,9	344,4	06.06	263,7	1143,8	819,0	16,8540	6430	0,80
2016–2017	23.04	218,7	786,4	351,2	30.05	254,0	1040,4	897,3	28,6900	11460	0,73
2017–2018	26.04	220,7	829,6	351,7	07.06	263,0	1069,4	838,5	15,0180	5712	0,78
Среднее	24.04	219,5	831,6	349,1	04.06	260,2	1084,5	851,6	20,1873	7867	0,77
2018–2019	08.04	202,3	826,6	302,0	04.06	259,3	1092,6	830,7	13,2600	5500	0,78
2019–2020	22.04	214,3	810,1	343,3	05.06	258,7	1056,0	836,6	12,4422	4460	0,73
2020–2021	12.04	207,0	815,0	311,0	05.06	259,7	1095,9	863,5	16,1670	6320	0,71
Среднее	14.04	207,9	817,2	318,8	05.06	259,2	1081,5	843,6	13,9564	5427	0,74
Буюкловский ЛРЗ											
2015–2016	28.05	247,7	829,8	328,5	10.07	290,0	1109,1	811,4	24,490	8580	0,73
2016–2017	22.05	236,0	832,3	314,5	27.06	271,7	1086,2	818,5	21,8293	8120	0,74
2017–2018	14.05	226,3	886,2	297,4	24.06	266,7	1211,9	914,6	12,8828	5680	0,71
Среднее	21.05	236,7	849,4	313,5	30.06	276,1	1135,7	848,2	19,7340	7460	0,73

Продолжение табл. 1
Table 1 continued

Год	Начало кормления				Выпуск молоди				Выпуск молоди, млн шт.	Потра- чено корма, кг	КК
	Дата	Возраст		Масса рыб, мг	Дата	Возраст		Масса рыб, мг			
		Сут	Граду- со-дни			Сут	Граду- со-дни				
2018–2019	17.05	230,0	854,7	278,9	08.07	281,3	1172,1	852,3	24,2169	8790	0,63
2019–2020	13.05	231,7	885,8	320,9	22.06	272,0	1115,5	805,7	21,3930	7980	0,77
2020–2021	17.05	238,7	880,9	296,9	26.06	278,7	1166,0	824,7	16,3400	6040	0,70
Среднее	16.05	233,5	873,8	298,9	29.06	277,3	1151,2	827,6	20,6500	7603	0,70
Таранайский ЛРЗ											
2015–2016	20.04	212,7	846,7	357,3	18.06	271,0	1222,0	807,6	16186,4	6190	0,85
2016–2017	25.04	220,0	862,0	386,2	12.06	262,7	1162,5	830,1	8563,0	3970	1,04
2017–2018	29.04	220,7	858,0	346,8	11.06	259,0	1104,7	837,2	6,4707	2772	0,87
Среднее	25.04	217,8	855,6	363,4	14.06	264,2	1163,1	825,0	10,4067	4310	0,91
2018–2019	19.04	200,7	845,8	300,1	06.06	250,0	1169,8	824,7	4,5117	1965	0,83
2019–2020	26.04	218,3	868,3	322,3	09.06	262,7	1133,2	815,1	14,6083	5337	0,74
2020–2021	08.04	201,0	844,4	305,1	26.05	244,3	1098,9	808,5	11,8225	4258	0,72
Среднее	18.04	206,7	852,8	309,2	03.06	252,3	1134,0	816,1	10,3142	3853	0,77
Березняковский ЛРЗ											
2015–2016	19.04	206,3	838,6	343,0	30.06	281,7	1318,1	1031,2	18,9520	9560	0,73
2016–2017	13.04	202,3	859,3	332,3	19.06	263,0	1265,2	1087,3	8,3371	4320	0,69
2017–2018	29.04	193,0	828,6	311,0	05.07	261,0	1238,7	1052,3	8,4610	4739	0,76
Среднее	21.04	200,5	842,2	328,8	28.06	268,6	1274,0	1056,9	11,9167	6206	0,73
2018–2019	22.04	199,3	830,6	288,2	03.07	270,7	1295,6	1050,0	7,3050	4047	0,73
2019–2020	21.04	220,3	850,4	322,9	19.06	279,3	1202,0	1052,6	11,4960	5560	0,66
2020–2021	17.04	211,3	852,3	317,2	16.06	273,0	1196,8	1132,4	8,8820	4760	0,66
Среднее	20.04	210,3	844,4	309,4	23.06	274,3	1231,5	1078,3	9,2277	4789	0,68
Побединский ЛРЗ											
2015–2016	27.04	225,0	904,2	327,6	01.07	289,0	1232,4	820,4	11,8560	4250	0,73
2016–2017	09.05	227,0	849,5	313,9	30.06	276,3	1120,4	854,9	10,9780	4560	0,77
2017–2018	05.05	211,0	875,0	313,6	25.06	268,0	1190,3	875,3	8,4360	3218	0,68
Среднее	04.05	221,0	876,2	318,4	29.06	277,8	1181,0	850,2	10,4233	4009	0,73
2018–2019	29.04	213,0	886,6	285,6	30.06	254,0	1216,6	833,5	13,2424	5440	0,75
2019–2020	21.04	205,7	832,8	305,6	22.06	270,3	1141,9	848,4	11,2350	3140	0,51
2020–2021	22.04	212,7	878,6	304,6	19.06	270,7	1169,8	855,6	9,4656	3540	0,68
Среднее	24.04	210,5	866,0	298,6	24.06	265,0	1176,1	845,8	11,3143	4040	0,65
Адо-Тымовский ЛРЗ											
2015–2016	02.05	219,3	971,0	342,0	30.06	278,0	1253,2	836,5	33,9478	11047	0,66
2016–2017	18.04	206,3	989,0	315,2	20.06	270,0	1292,5	862,5	19,1790	7527	0,72
2017–2018	05.04	189,3	1022,1	297,2	15.06	259,7	1343,6	968,9	4,4012	2404	0,81
Среднее	18.04	205,0	994,0	318,1	22.06	269,2	1296,4	889,3	19,1760	6993	0,73
2018–2019	31.03	192,7	995,7	264,7	24.06	278,0	1399,9	845,4	23,8445	8632	0,57
2019–2020	28.03	191,7	982,7	309,1	06.06	262,3	1270,2	833,4	20,2640	7600	0,71
2020–2021	13.04	199,7	948,0	300,6	19.06	270,0	1253,8	867,7	10,2164	4020	0,69
Среднее	03.04	195,7	975,7	291,5	16.06	270,1	1308,0	848,8	18,1083	6751	0,66
Воспроизводство молоди симы											
Анивский ЛРЗ											
2016–2017	03.05	253,0	666,3	303,4	13.07	324,0	1311,3	1590,6	0,2990	360	0,93
2018–2019	24.04	240,5	717,6	310,4	28.06	304,0	1250,0	1632,3	0,1087	80	0,56
2019–2020	22.04	239,0	689,5	301,4	03.07	311,0	1254,1	1611,0	0,1064	80	0,57
Среднее	23.04	239,7	703,5	305,9	30.06	307,5	1252,5	1621,6	0,1075	80	0,57

Окончание табл. 1
Table 1 finished

Год	Начало кормления				Выпуск молоди				Выпуск молоди, млн шт.	Потра- чено корма, кг	КК
	Дата	Возраст		Масса рыб, мг	Дата	Возраст		Масса рыб, мг			
		Сут	Градус- со-дни			Сут	Градус- со-дни				
Урожайный ЛРЗ											
2015–2016	28.04	243,0	731,2	290,5	05.07	306,0	1336,9	1643,3	0,1645	135	0,61
2016–2017	26.04	245,0	662,2	296,9	10.07	320,0	1309,9	1917,8	0,1898	244	0,80
Среднее	27.04	244,0	696,7	293,7	07.07	313,0	1323,4	1780,6	0,1772	190	0,71
2018–2019	29.04	251,0	824,3	321,1	16.07	325,0	1567,1	1664,5	0,1940	180	0,69
2019–2020	01.05	246,0	779,9	345,3	08.07	285,0	1392,8	1635,0	0,1290	124	0,74
2020–2021	20.04	234,0	729,5	300,0	08.07	313,0	1324,5	1858,0	0,0982	96	0,63
Среднее	27.04	243,7	777,9	322,1	11.07	307,7	1428,1	1719,2	0,1404	133	0,69
Воспроизводство молоди кижуча											
Буюкловский ЛРЗ											
2015–2016	26.03	175,0	779,6	258,2	11.07	282,0	1293,0	1727,3	0,8440	1180	0,95
2016–2017	09.04	183,0	736,2	221,6	06.07	269,7	1270,3	1620,1	0,5100	710	0,99
2017–2018	26.03	168,0	800,1	252,3	24.06	258,0	1299,2	1670,1	0,6848	730	0,76
Среднее	31.03	175,3	772,0	244,0	04.06	269,9	1287,5	1672,5	0,6796	873	0,90
2018–2019	02.04	176,7	801,8	220,5	06.07	271,0	1280,5	1758,0	0,6420	850	0,87
2019–2020	27.03	172,0	769,0	251,1	21.06	259,0	1187,4	1598,7	0,4688	442	0,70
2020–2021	23.03	171,0	784,3	252,2	25.06	266,3	1243,0	1535,5	0,5884	540	0,71
Среднее	28.03	173,2	785,0	241,3	27.06	265,4	1237,0	1630,7	0,5664	611	0,76
Адо-Гымовский ЛРЗ											
2015–2016	06.04	182,0	781,3	229,7	11.07	278,0	1250,4	1503,0	0,7798	567	0,58
2016–2017	01.04	167,0	764,5	208,6	20.07	277,0	1283,6	1544,4	0,2426	263	0,82
2017–2018	20.03	157,0	799,3	235,0	06.07	264,0	1306,6	1513,0	0,0800	66	0,65
Среднее	30.03	168,7	781,7	224,4	12.07	273,0	1280,2	1520,1	0,3675	299	0,69
2018–2019	15.03	156,0	779,2	215,9	10.07	273,0	1426,5	1710,0	0,5468	468	0,58
2020–2021	20.03	165,0	816,0	258,2	16.07	283,0	1308,7	1617,0	0,1474	140	0,70
Среднее	17.03	160,5	797,6	237,0	13.07	278,0	1367,6	1663,5	0,3470	304	0,64

Примечание. КК — кормовой коэффициент.

сумме 958,9 градусо-дней. На Урожайном ЛРЗ эти значения были еще выше, соответственно 840,4 и 1051,8 градусо-дней (табл. 1). Отметим также, что эти два завода наглядно показывают, что сравнение кормовых коэффициентов, полученных на разных предприятиях, даже при сходных условиях воспроизводства молоди может быть мало информативным. Так, кормовой коэффициент при кормлении молоди горбуши на Таранайском ЛРЗ в среднем составлял 0,81 и 0,73 и был ниже, чем на Урожайном ЛРЗ — 1,09 и 0,91, — при использовании корма как датского, так и российского производства (табл. 1).

Воспроизводство молоди кеты

Анивский ЛРЗ, будучи наиболее холодноводным при воспроизводстве молоди горбуши, является и наиболее холодноводным из тех заводов, на которых, пусть и в незначительном объеме, выращивают молодь кеты. Именно на этом предприятии молодь набирает сумму тепла меньше, чем на любом другом заводе, к периоду кормления в начале мая — 618,5–629,7 градусо-дней и к моменту выпуска — 954,3–936,5 градусо-дней (табл. 1). Однако, в отличие от горбуши, которую воспроизводят в большом количестве, численность молоди кеты составляет всего 0,5–1,5 млн экз. Такую относительно небольшую партию молоди можно содержать на заводе, не боясь сезонного повышения температуры воды, кормить рыб до необходимой массы (в среднем более 800 мг) и выпустить в период ската мальков с природных нерестилищ в середине-конце июня.

Урожайный ЛРЗ также является холодноводным при воспроизводстве молоди кеты. Но поскольку производительность этого завода сравнительно невелика, то наличный объем грунтовой воды позволяет не опускать температуру воды в зимние месяцы ниже 0,5 °С. В результате сумма градусо-дней, которую молодь кеты набрала до начала кормления (772,6), была заметно выше, чем на Анивском ЛРЗ, хоть и ниже, чем на всех остальных предприятиях.

Наконец, *Ясноморский ЛРЗ* является самым холодноводным из предприятий, предназначенных для воспроизводства только молоди кеты. В зимние месяцы температура воды здесь также опускается до 0,3–0,5 °С, однако в период кормления в мае-июне повышается до 12,0–14,0 °С. Этому способствуют два обстоятельства. Во-первых, сезонное повышение температуры воды происходит сравнительно быстро при отсутствии грунтовых вод. Во-вторых, Ясноморский ЛРЗ является единственным из всех, на котором молодь кормят не в бетонных каналах, а в проточном пруду под открытым небом (рис. 2), в котором вода прогревается быстрее. За счет наличия пруда, в отличие от других холодноводных заводов, здесь есть возможность начинать кормление молоди в конце апреля. При этом на Ясноморском ЛРЗ начало кормления личинок более, чем на любом другом предприятии, зависит от температуры воздуха и воды в конкретном году. Именно поэтому начало периода кормления в разные годы в среднем изменялось от 22 апреля до 14 мая. Кормовой коэффициент при выращивании молоди кеты на всех наиболее холодноводных заводах в разные годы был разным, но в среднем эффективность кормления в течение последних трех рыбоводных циклов в сумме оказалась выше, чем в течение трех предшествующих (табл. 1).

Следующие три завода — *Калининский*, *Соколовский* и *Сокольниковский* — можно назвать обычными для воспроизводства молоди кеты. Температура воды на них практически не опускается ниже 1 °С. Перед кормлением молодь на этих предприятиях набирает около или чуть более 800 градусо-дней, и при этом температурный режим позволяет начать кормление раньше, чем на холодных заводах — в середине-конце апреля.

Буюкловский ЛРЗ также можно отнести к группе заводов с обычным термическим режимом с той лишь разницей, что расположен он на притоке крупнейшей на Сахалине реки — Поронай — и находится по руслу двух рек от устьевой зоны дальше, чем остальные предприятия, — около 130 км. В соответствии с динамикой нерестовой миграции производителей и ската природной молоди кормить рыб на этом заводе начинают при значительной сумме накопленного тепла — 829,5–886,2 градусо-дня — в середине-конце мая, а выпускают в конце июня — начале июля (табл. 1).

Все заводы с обычным температурным режимом предназначены для воспроизводства кеты и имеют производственную мощность от 20 млн мальков в год. То, что с Соколовского ЛРЗ выпускали 5–10 млн мальков, объясняется недостаточным числом производителей, пропускаемых к забоечному пункту завода, расположенному по руслу двух рек на расстоянии 50 км от устьевой зоны. Именно дефицитом производителей объясняется то, что в сезоне 2017–2018 гг. Соколовский завод не работал. Кормовой коэффициент на заводах с обычным температурным режимом из года в год различался и варьировал в диапазоне от 0,63 до 0,87. При этом на всех четырех предприятиях кормовой коэффициент при использовании корма российского производства в среднем был несколько ниже, чем при использовании датского корма (табл. 1).

Из оставшихся предприятий особое место занимает *Таранайский ЛРЗ*, один из немногих заводов в Сахалинской области, находящихся в федеральной и частной собственности, на котором в относительно равной пропорции выращивают молодь горбуши и кеты. Выращивая молодь горбуши при холодноводном режиме, рыбоводы имеют возможность весь объем грунтовой воды подать для выращивания молоди кеты. В результате формируется температурный режим, который позволяет отнести Таранайский ЛРЗ для воспроизводства кеты в разряд тепловодных. Также сравнительно тепловодными являются *Побединский* и *Березняковский ЛРЗ*. Кормление молоди на всех трех предприятиях начинается в апреле при сумме набранного тепла более 850 градусо-дней (табл. 1).

А



Б



В



Рис. 2. Общий вид бетонных каналов, рыбоводного пруда и прямоточных ванн для выращивания молоди тихоокеанских лососей на рыбоводных заводах Сахалинского филиала Главрыбвода

Fig. 2. General view of concrete canals, fish pond and flow baths for rearing juvenile pacific salmon at fish farms of the Sakhalin branch of FBSI Glavrybvod

Наконец, самым тепловодным в отчетные годы оказался *Адо-Тымовский ЛРЗ*. Кормление молоди на этом предприятии, в зависимости от температурных условий конкретного года, начинали в разное время, но в среднем раньше, чем на всех остальных заводах — в первой половине апреля и даже в конце марта при сумме набранного тепла более 950 градусо-дней. Интересно отметить, что *Адо-Тымовский ЛРЗ* — единственный из всех, на котором температура воды в период от закладки до начала кормления, т.е. в сентябре-марте, — в среднем 4,98 °С — была выше, чем температура в период кормления в апреле-июне, — 4,46 °С, поскольку большой объем грунтовых вод замедлял ее естественный сезонный прогрев. В результате и сам период кормления в последних трех циклах (74,4 сут) был наиболее продолжительным. Кормовой коэффициент на всех четырех тепловодных кетовых заводах в разные годы изменялся в диапазоне от 0,51 до 0,81 и так же, как и на всех остальных предприятиях, в среднем при использовании корма российского производства был ниже, чем при использовании датского корма (табл. 1).

Помимо горбуши и кеты, двух главных объектов пастбищного воспроизводства, в Сахалинской области в небольшом объеме воспроизводили молодь симы на *Анивском* и *Урожайном* и кижуча на *Буюкловском* и *Адо-Тымовском ЛРЗ*.

Молодь симы выращивали при температурном режиме, близком к тому, при котором воспроизводят молодь горбуши. Кормить личинок начинали в конце апреля, выращивали до конца июня — начала июля и выпускали при массе 1590,6–1917,8 мг (табл. 1). Следует отметить, что молодь симы выращивают не в бетонных каналах или прудах, а в прямоточных пластиковых бассейнах (рис. 2) и всегда при меньшей плотности посадки, чем молодь горбуши и кеты. Поэтому сравнение кормовых коэффициентов при выращивании молоди разных видов даже на одном предприятии может оказаться некорректным.

Молодь кижуча выращивали при температурном режиме, близком к тому, при котором воспроизводят молодь кеты и также в прямоточных пластиковых ваннах. Кормить личинок начинали в конце марта — начале апреля, выращивали до конца июня — начала июля и выпускали при массе 1503,0–1758,0 мг (табл. 1). Таким образом, молодь кижуча в среднем кормили на 34 сут дольше, чем молодь симы, а выпускали молодь обоих видов в сходные сроки и при сходной массе тела. Это объясняется тем, что температура при кормлении молоди симы была сравнительно высокой — в среднем 8,7 °С на *Анивском* и 9,6 °С на *Урожайном ЛРЗ*, тогда как при кормлении молоди кижуча она была существенно ниже — 5,2 °С на *Буюкловском* и 4,8 °С на *Адо-Тымовском ЛРЗ*.

Как и в случае с остальными видами, при кормлении молоди симы и кижуча кормовые коэффициенты при применении российского корма в среднем оказались ниже на всех предприятиях, чем при использовании датского корма (табл. 1).

Также стоит отметить следующий факт: компания «Aller Aqua» поставляла на все предприятия корм, обеспеченный одним вариантом плавучести, вероятно, наиболее сбалансированным, по мнению разработчика. НПК «Акватех», как уже было указано ранее, поставляла медленно тонущие и плавающие корма. Рыбоводы, опробовав оба варианта корма, выбрали тот, который наиболее подходил для использования на конкретных предприятиях. Так, для выращивания горбуши на всех заводах лучшие показатели были получены при использовании плавающего корма. А результаты выращивания кеты оказались различными. На *Ясноморском*, *Соколовском*, *Буюкловском*, *Березняковском* и *Адо-Тымовском ЛРЗ* лучшие результаты были получены при использовании плавающих кормов (табл. 2). Можно отметить, что среди этих заводов есть относительно холодноводные, с обычным температурным режимом и тепловодные предприятия. Напротив, на *Калининском*, *Сокольниковском* и *Побединском ЛРЗ* предпочли медленно тонущий корм. Здесь также есть предприятия с различными термическими условиями. Интерес представляют более холодноводный для выращивания кеты *Урожайный ЛРЗ* и сравнительно тепловодный *Таранайском ЛРЗ* — там молодь горбуши выращивали с применением плавающих кормов, а молодь кеты — с применением медленно тонущих кормов.

Таблица 2

Использование медленно тонущего и плавающего кормов производства НПК «Аquatech» на рыбоводных заводах Сахалинского филиала Главрыбвода, %

Table 2

The use of slowly sinking and floating feed produced by NPK «Aquatech» at fish farms of the Sakhalin branch of «Glavrybvod»

Рыбоводный завод	2019–2020			2020–2021		
	Масса корма, кг	Медленно тонущий	Плавающий	Масса корма, кг	Медленно тонущий	Плавающий
Анивский	1200	28,3	71,7	1060	—	100
Урожайный	3160	79,1	20,9	2540	47,2	52,8
Ясноморский	2120	—	100	2020	—	100
Калининский	9400	100	—	8740	97,4	2,6
Соколовский	3580	—	100	3080	—	100
Сокольниковский	4460	100	—	4100	96,6	3,4
Буюкловский	8040	—	100	6580	—	100
Таранайский	3580	—	100	3020	40,4	59,6
Побединский	3140	87,3	12,7	2760	87,0	13,0
Березняковский	5560	—	100	4760	—	100
Адо-Тымовский	3700	—	100	3980	—	100

ших. В результате доля использования тех и других кормов на этих заводах оказалась примерно сходной (табл. 2).

При анализе полученных данных возникает ощущение, что масса молоди фактически не зависит от температурных условий. Например, на самом холодноводном Анивском ЛРЗ молодь кеты за полный период выращивания в среднем за три последних рыбоводных цикла набирала 936,9 градусо-дней и к моменту выпуска 11 июня имела массу 833,6 мг. На самом тепловодном — Адо-Тымовском ЛРЗ — молодь набирала более значительную сумму тепла — 1308,0 градусо-дней, но к моменту выпуска 16 июня имела практически такую же массу — в среднем 848,8 мг. Вместе с тем, анализируя данные в этом ключе, необходимо разделить горбушу и кету. Горбушу действительно воспроизводят на наиболее холодноводных рыбоводных заводах или при возможности регулировать температуру воды при наиболее холодноводных режимах. В результате условия для воспроизводства молоди оказываются в значительной мере сходными, а молодь, выращенная в таких условиях, оказывается более стандартизованной. В этом мы убедились, исследуя молодь горбуши на всех 22 федеральных и частных рыбоводных заводах, на которых ее выращивали в Сахалинской области [Зеленников, Юрчак, 2019; Зеленников и др., 2020]. Единственное исключение составила молодь на самом тепловодном для горбуши Рейдовом ЛРЗ и небольшие партии молоди, которые в режиме экспериментов до крупной навески выращивали на тепловодных кетовых заводах. Здесь, впрочем, следует отметить, что и молодь от естественного нереста в разных частях ареала является весьма сходной, независимо от длины рек [Зеленников, 2021].

Ситуация с воспроизводством кеты оказывается качественно другой. Все заводы по термическим условиям, в зависимости от объема и режима использования грунтовых вод, можно разделить на три группы — сравнительно холодноводные, обычные и тепловодные. На холодноводных заводах температура воды в зимние месяцы опускается до 0,3 °C, в результате чего к началу кормления мальки набирают наименьшую сумму тепла. Но зато в период кормления температура воды, естественный прогрев которой не замедляется грунтовыми водами, оказывается наиболее высокой. В результате этого мальки растут опережающим темпом. Например, в среднем температура воды в период кормления на Ясноморском, Урожайном и Анивском ЛРЗ составила соответственно 7,47; 7,99 и 8,03 °C. Этим обстоятельством и объясняется то, что молодь на разных заводах набирает разную сумму тепла, но имеет при выпуске сходную массу тела.

На условно обычных заводах температура в зимние месяцы не опускается ниже 1,0–1,5 °С, но и в период кормления составляет 5,0–6,0 °С. Наконец, на более тепловодных заводах температура воды в зимние месяцы составляет 3 °С и выше. При этом есть заводы, на которых температура воды мало изменяется в течение всего цикла выращивания. Среди рассмотренных нами предприятий такими являются, например, Побединский и Адо-Тымовский ЛРЗ. Такими же являются и самые тепловодные заводы Сахалинской области, находящиеся в частной собственности либо в аренде у частных рыбопромысловых организаций — Охотский, Янкито, Бухта Оля [Зеленников и др., 2021]. Однако молодь, выпущенная с разных предприятий со сходной массой тела, все-таки является весьма разнокачественной и различается, например, состоянием икринок [Коломыцев и др., 2018].

Интересным в контексте разных термических условий представляется сравнение воспроизводства симы и кижуча. Молодь симы воспроизводят на сравнительно холодноводных предприятиях, в первую очередь специализированных для выращивания горбуши. Однако, поскольку именно на этих заводах температура воды в период кормления оказывается выше, молодь симы растет опережающим темпом и за более короткий период кормления набирает такую же массу тела, как и молодь кижуча на кетовых заводах.

Возвращаясь к сравнению молоди основных видов, отметим, что рыбоводы ориентируются на достижение массы горбуши в среднем более 280 мг и массы кеты — более 800 мг, не стремясь существенно превысить эти величины [Марковцев и др., 2015]. Несмотря на то что становление системы осморегуляции у молоди обоих видов завершается уже при обитании в прибрежье [Пат. SU 1567141 A1; Краюшкина и др., 1995], и горбуша [Зеленников и др., 2021], и кета [Марковцев и др., 2008] с такой массой не гибнет при одномоментном или плавном переводе в морскую воду. Природная молодь кеты скатывается, имея разную массу тела, при этом небольшая масса не является свидетельством возможной низкой выживаемости мальков, а всего лишь отражает особенности нерестилищ, на которых они росли [Марченко и др., 2017].

Анализируя эффективность кормления рыб, мы можем видеть крайне различные и иногда необъяснимые с позиции обмена веществ кормовые коэффициенты — 0,5 и ниже. Однако такие коэффициенты действительно получаются на практике при сочетании двух факторов. Первый фактор — это специфика отбора проб. На крупных заводах, где выращивают от 10–15 млн мальков и более, для контроля темпа их роста из партий близкого возраста формируют, так называемые «группы кормления». Их численность может составлять 5 млн мальков и более. Для биологического анализа, который проводят через каждые десять дней, отбирают пробы молоди из разных мест нескольких каналов, в которых находятся особи пусть и близкого, но все же разного возраста. Таким образом, результат взвешивания зависит от случайного попадания в выборку особей того или иного размера.

Второй фактор, тесно связанный с первым, — это объем выборки для анализа. Рыбоводы измеряют и взвешивают 100 особей, взятых случайным образом. Однако это всего лишь привычная величина; репрезентативность выборки такого объема не является установленной.

Вместе с тем, и это следует отметить особо, возможное искажение результатов при взвешивании не мешает процессу эффективного кормления. На практике суточный рацион определяется лишь ориентировочно, а рыбоводы произвольно уменьшают или увеличивают его, ориентируясь на интенсивность питания рыб в текущий момент. Однако даже незначительная ошибка в определении средней массы рыб, умноженная на несколько миллионов мальков группы кормления, может привести к значительному искажению величины кормового коэффициента. С учетом этого обстоятельства малопродуктивно сравнение эффективности кормления на разных заводах, по крайней мере при попарном сравнении. Очевидно, что субъективная составляющая при проведении биологических анализов оказывается специфичной на каждом заводе.

Заключение

По совокупности полученных фактов и высказанных соображений мы можем сделать следующее заключение. Воспроизводство молоди горбуши на рыбоводных заводах Сахалинского филиала Главрыбвода осуществляется в сравнительно сходных условиях. В первую очередь это определяется использованием холодноводного режима при выращивании молоди, а также тем обстоятельством, что рыб этого вида в течение последних 6 лет воспроизводили только на 4 из 12 заводов. Предприятия, занимающиеся выращиванием молоди кеты, являются более многочисленными и оказываются более разнообразными, главным образом в связи с масштабом и режимом применения грунтовых вод. Условно все заводы можно разделить на холодноводные, с обычным термическим режимом и тепловодные. На первых из них температура воды в зимние месяцы оказывается наиболее низкой, а в период кормления — в мае-июне — наиболее высокой, а температура воды на тепловодных заводах в течение всего рыбоводного цикла изменяется менее выражено. Поскольку относительно быстрое увеличение массы рыб происходит в период кормления, возникает ситуация, когда молодь на разных заводах за полный рыбоводный цикл набирает весьма различную сумму тепла, но перед выпуском в среднем имеет сходную массу тела.

Анализируя результаты кормления рыб, мы можем видеть, что оба корма, и датского, и российского производства, оказались эффективными при выращивании молоди всех видов. Об этом свидетельствуют низкие кормовые коэффициенты, которые в абсолютном большинстве случаев составляют 0,6–0,8. Вместе с тем на всех заводах в среднем более низкие кормовые коэффициенты оказались при использовании корма российского производства. С одной стороны, это свидетельствует о высоком качестве корма, производимого НПК «Акватех». Но с другой — можно предположить, что более высокий результат связан с тем, что корма новосибирской компании были использованы в двух вариантах флотации. Условно их можно обозначить как медленно-тонущий и плавающий. Плавающий корм оказался более подходящим при выращивании молоди горбуши на всех предприятиях. Для кеты же опытным путем на каждом заводе был выбран более эффективный корм, очевидно, под воздействием сочетания многих производственных факторов, таких как температурный режим, конфигурация каналов и прудов, гидродинамика, масштаб и режим применения кормораздаточных аппаратов и другие.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарят руководителей и рыбоводов заводов за предоставленные статистические данные и помощь в организации проведения биологических анализов.

The authors thank the managers and fish farmers for providing statistical data and assistance in biological analyses.

Финансирование работы (FUNDING)

Данная работа не имела дополнительного спонсорского финансирования.

This study did not have any additional sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Биологические анализы на рыбоводных заводах проводят в соответствии с правилами Европейской Конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях; для усыпления рыб перед анализами применяли гвоздичное масло.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Biological analyses at fish farms were made in accordance with the rules of European convention for protection of vertebrate animals used for experiments or for other scientific purposes; clove oil was used to euthanize fish before analyses.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Оба автора совместно и отдельно проводили биологические анализы практически на всех предприятиях, обобщали и систематизировали данные биологических анализов, представленных в отчетах по рыбоводству. О.В. Зеленников написал статью.

Both authors jointly and separately made biological analyses at almost all fish farms and generalized and systematized these data and the data of biological analyses presented in reports of fish farms; text of the article is written by O.V. Zelennikov.

Список литературы

Валова В.П. Пробиотики как один из путей повышения жизнестойкости молоди кеты, выпускаемой лососевыми рыбоводными заводами // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование : мат-лы 5-й Всерос. науч.-практ. конф. — Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2014. — С. 140–144.

Запорожец Г.В., Запорожец О.М. Лососеводство в зарубежных странах Северотихоокеанского региона // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2011. — Вып. 22. — С. 28–48.

Зеленников О.В. Влияние процессов раннего оогенеза на развитие воспроизводительной системы у рыб : автореф. дис. д-ра биол. наук. — М., 2021. — 43 с.

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.

Зеленников О.В., Шнайдер Т.А., Стекольников М.Ю. Гематологический анализ заводской и природной молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *Oncorhynchus keta* в Сахалинской области // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 3. — С. 702–711. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-702-711.

Зеленников О.В., Юрчак М.И. Гаметогенез тихоокеанских лососей. 1. Состояние гонад у молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* при ее естественном и заводском воспроизводстве в Сахалинской области // Вопр. ихтиол. — 2019. — Т. 59, № 6. — С. 741–744. DOI: 10.1134/S0042875219060195.

Коломыцев В.С., Лапшина А.Е., Зеленников О.В. Состояние яичников у молоди кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792) осенней и летней рас при выращивании на рыбоводных заводах Сахалинской области // Биол. моря. — 2018. — Т. 44, № 1. — С. 36–40.

Краюшкина Л.С., Степанов Ю.И., Семенова О.Г., Панов А.А. Функциональное состояние осморегуляторной системы молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в речной (предмиграционный) и морской (прибрежный) периоды жизни // Вопр. ихтиол. — 1995. — Т. 35, № 3. — С. 388–393.

Лукин А.А., Богданова В.А., Костюничев В.В. Перспективы развития российской аквакультуры // Рыбная сфера. — 2016. — № 1(15). — С. 34–36.

Марковцев В.Г., Валова В.П., Баштовой А.Н. и др. Испытание новых рецептур кормов для молоди кеты // Бюл. № 11 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — С. 144–149.

Марковцев В.Г., Маруняк Д.В., Мороз Е.А., Суюндуков А.Д. Определение оптимальной массы выпускаемой молоди кеты с лососевых заводов Приморья // Бюл. № 10 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2015. — С. 136–139.

Марковцев В.Г., Талдин Л.Л., Соломина О.С. Оценка готовности заводской молоди приморской кеты к переходу в морскую воду // Бюл. № 3 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — С. 210–213.

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.

Пат. SU 1567141 A1. Способ воспроизводства кеты / Ю.Н. Городилов, Л.С. Краюшкина, Ю.И. Степанов. Заявл. 23.10.1987; Опубл. 30.05.1990.

Хованский И.Е. Эколого-физиологические и биотехнологические факторы эффективности лососеводства (на примере искусственного разведения тихоокеанских лососей на северном побережье Охотского моря) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Хабаровск, 2006. — 47 с.

Heard W.R. Life history of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) // Pacific Salmon Life Histories / eds C. Groot and L. Margolis. — Vancouver : UBC press, 1991. — P. 119–230.

Ueda H. The current propagation systems and physiological studies of Japanese chum salmon // Fish. Sci. — 2015. — Vol. 81, № 2. — P. 219–228. DOI: 10.1007/s12562-014-0847-2.

References

Valova V.P., Probiotics as one of the ways of the emergence of the youthful vitality of chum salmon produced by salmon hatcheries, in *Tezisy dokl. 5 Vseross. Nauchno-Pract. Conf. "Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie"* (Proc. 5th All-Russ. Sci. Pract. Conf. "Natural Resources, Their Current State, Conservation, and Commercial and Technical Use"), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatskii Gos. Tekh. Univ., 2014, pp. 140–144.

Zaporozhets, G.V. and Zaporozhets, O.M., Salmon hatcheries in the foreign countries of North Pacific region, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2011, vol. 22, pp. 28–48.

Zelennikov, O.V., Influence of early oogenesis processes on the development of inflammation of the system in fish, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Moscow, 2021.

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

Zelennikov, O.V., Schneider, T.A. and Stekolshchikova, M.Yu., Hematological analysis of hatchery-reared and wild juveniles of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* and chum salmon *Oncorhynchus keta* in Sakhalin Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 3, pp. 702–711, doi 10.26428/1606-9919-2021-201-702-711

Zelennikov, O.V. and Yurchak, M.I., Gametogenesis of pacific salmon: 1. The state of gonads of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* under the conditions of its natural and hatchery reproduction in Sakhalin oblast, *J. Ichthyol.*, 2019, vol. 59, no. 6, pp. 966–969. doi 10.1134/S003294521906016X

Kolomytsev, V.S., Lapshina, A.E., and Zelennikov, O.V., The condition of ovaries in hatchery-reared juvenile summer- and fall-run chum salmon, *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792), in Sakhalin Oblast, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 1, pp. 36–41. doi 10.1134/S1063074018010066

Krayushkina, L.S., Stepanov, Yu.I., Semenova, O.G., and Panov, A.A., Functional state of the osmoregulatory system in the juvenile pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha*, in the riverine (pre-migrational) and in the marine (mar-shore) period of life, *Vopr. Ichthyol.*, 1995, vol. 35, no. 3, pp. 388–393.

Lukin, A.A., Bogdanova, V.A., and Kostyunichev, V.V., Prospects for the development of Russian aquaculture, *Rybnaya sfera*, 2016, no. 1, pp. 34–36.

Markovtsev, V.G., Valova, V.P., Bashtovoy, A.N., Timchishina, G.N., Yakush, E.V., Yarchkin, A.P. and Marchenko, V.A., Testing new feed formulations for juvenile chum salmon, in *Byull. 'N 11 izucheniya Tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. no. 11 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016, pp. 144–149.

Markovtsev, V.G., Marunyak, D.V., Moroz, E.A. and Tsyundukov, A.D., Determination of the natural weight of chum salmon released from salmon farms in Primorye, in *Byull. 'N 10 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. no. 10 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2015, pp. 136–139.

Markovtsev, V.G., Taldin, I.L. and Solomina, O.S., Evaluation of the readiness of hatchery fry of the coastal chum salmon for the transition to sea water, in *Byull. N 3 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovoi programmy izucheniya tikhookeanskikh lososei"* (Bull. no. 3 Implementation "Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008, pp. 210–213.

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 rybkhozyaystvennogo obrazovaniya na Kamchatke "Prirodnyye resursy, ikh sovremennoye sostoyaniye, okhrana, promyslovoe 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.

Gorodilov, Yu.N., Krayushkina, L.S., and Stepanov, Yu.I., Patent SU 1567141 A1, Method of reproduction of chum salmon, *Izobret., Polezn. Modeli*, 1990.

Khovanskiy, I.E., Ecological, physiological and biotechnological factors of the efficiency of salmon breeding (on the example of artificial breeding of Pacific salmon on the northern coast of the Sea of Okhotsk), *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Khabarovsk, 2006.

Heard, W.R., Life history of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*), *Pacific Salmon Life Histories*, Groot, C. and Margolis, L., eds., Vancouver: UBC Press, 1991, pp. 119–230.

Ueda, H., The current propagation systems and physiological studies of Japanese chum salmon, *Fish. Sci.*, 2015, vol. 81, no. 2, pp. 219–228. doi 10.1007/s12562-014-0847-2.

Поступила в редакцию 22.11.2021 г.

После доработки 10.01.2022 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

*The article was submitted 22.11.2021; approved after reviewing 10.01.2022;
accepted for publication 25.02.2022*

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ГИДРОБИОНТОВ
TECHNOLOGY OF HYDROBIONTS PROCESSING**

Научная статья

УДК 663.8:577.152

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-225-233

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУКОКСАНТИНА
В КАЧЕСТВЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОГО КОМПОНЕНТА
ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И НАПИТКОВ****Е.Е. Федотова, В.П. Корчагин, Д.Д. Вингорова***Дальневосточный федеральный университет,
690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8

Показана перспективность использования каротиноида бурой водоросли *Sargassum pallidum* фукоксантина для обогащения продуктов питания и напитков. Для проведения исследований использовали замороженные образцы водоросли *S. pallidum*, собранной в прибрежной зоне зал. Петра Великого в октябре 2020 г. Для извлечения низкомолекулярных веществ (фукоксантина) использовали метод спиртовой экстракции, а для определения количества фукоксантина в полученном спиртовом экстракте — спектрофотометрический метод. Установили, что при экстракции замороженных водорослей можно получать достаточно стабильный количественный выход фукоксантина на протяжении 6 мес. хранения в условиях заморозки. Полученные экстракты использовали для разработки рецептуры обогащенных напитков на базе черного чая с добавлением сокового концентрата. В результате проведенных исследований была разработана рецептура обогащенного напитка с использованием спиртового экстракта фукоксантина из бурой водоросли *S. pallidum*. Новизна исследования заключается в том, что была экспериментально показана возможность использования спиртовых экстрактов буровой водоросли *S. pallidum* в качестве источника биологически активного вещества фукоксантина для изготовления продуктов питания.

Ключевые слова: бурые водоросли, *Sargassum pallidum*, фукоксантин, экстракция, функциональные добавки.

Для цитирования: Федотова Е.Е., Корчагин В.П., Вингорова Д.Д. Перспективы использования фукоксантина в качестве биологически активного компонента для обогащения продуктов питания и напитков // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 225–233. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-225-233.

Original article

**Prospects for using fucoxanthin as a functional component
of food products and beverages****Ekaterina E. Fedotova, Vladimir P. Korchagin, Daria D. Vingorodova**

*, **, *** Far-Eastern Federal University, 8, Sukhanov Street, Vladivostok, 690950, Russia

* postgraduate student, katfedotova94@gmail.com

** Ph.D., assistant professor, vladkorch@hotmail.com

*** student, vingorodova_dd@dvfu.ru

* Федотова Екатерина Евгеньевна, аспирант, katfedotova94@gmail.com; Корчагин Владимир Павлович, кандидат биологических наук, доцент, vladkorch@hotmail.com; Вингорова Дарья Дмитриевна, студент, e-mail: vingorodova_dd@dvfu.ru.

© Федотова Е.Е., Корчагин В.П., Вингорова Д.Д., 2022

Abstract. Brown algae can be used as raw materials for pharmacological and functional extracts, in particular carotenoids of brown alga *Sargassum pallidum* are a source for biologically active substances, as a carotenoid fucoxanthin with a wide spectrum of properties useful both for daily preventive consumption and therapeutic diets. Prospects for using *S. pallidum* as a raw material for extracting the carotenoid fucoxanthin and its further using as a biologically active component in the food industry are considered. The algae were collected in the coastal zone of Peter the Great Bay (Novik Bay of Russky Island) in October 2020, then frozen. Before freezing, the algae were washed and excess moisture was removed. Small pieces of the alga tissue were cut, put into closed packages, and processed for 24 hours by ethyl alcohol with 80 % concentration in a dark place in refrigerator under temperature +7 °C. The obtained alcohol extract was used as a functional additive for beverages, as iced black tea and juice concentrates. These beverages were examined for organoleptic properties (by the group of 10 experts) and economic value. The apple and red grape juice concentrates with the fucoxanthin extract have the best organoleptic properties. As the final result, technology of functional drinks with alcohol extract of fucoxanthin from brown alga *S. pallidum* is developed.

Keywords: brown algae, *Sargassum pallidum*, fucoxanthin, extraction, functional additive.

For citation: Fedotova E.E., Korchagin V.P., Vingorodova D.D. Prospects for using fucoxanthin as a functional component of food products and beverages, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 225–233. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-225-233.

Введение

Морские бурые водоросли по праву считаются одним из самых ценных ресурсов среди гидробионтов. Их можно рассматривать не только как пищевой продукт, но и как средство для получения фармакологических и функциональных экстрактов. Бурые морские водоросли являются одним из наиболее перспективных и обширных сырьевых ресурсов для получения биологически активных веществ [Воскобойников, Белишева, 2013].

Дальневосточные моря обладают богатым и разнообразным видовым составом бурых водорослей, образующих целые пояса вдоль всего побережья. В Приморском крае чаще всего встречаются водоросли семейства ламинариевых, фукусовых и саргассовых.

Биологическая ценность водорослей обусловлена высоким содержанием в них полисахаридов, полиненасыщенных жирных кислот, минеральных элементов, йода, а также других минеральных и органических соединений. Наибольшую долю органических соединений бурых водорослей занимают полисахариды, большая часть которых является неусвояемыми. Неусвояемые полисахариды проявляют свойства сорбентов в отношении выведения из организма токсичных продуктов метаболизма, а также поступающих в организм извне солей тяжелых металлов и радионуклидов [Аминина и др., 2007].

К преимуществам морских бурых водорослей можно отнести их низкую токсичность. Также они являются источником биологически активных веществ, не встречающихся в наземных растениях, и обладают сбалансированным макро- и микроэлементным составом. В бурых водорослях в разном количестве присутствуют полисахариды, жирные кислоты, витамины С, D, E, P, K, группы B, фолиевая кислота, микроэлементы (Ca, K, Mg, Fe и др.), а также пигменты (хлорофиллы, каротиноиды) [Потишук и др., 2007].

Один из таких пигментов — каротиноид фукоксантин. Биологически активные свойства фукоксантина давно привлекают к нему внимание ученого сообщества. Множество исследований, проведенных учеными из разных стран [Peng et al., 2011; Takaichi, 2011; D’Orazio et al., 2012; Narayani et al., 2016], показали, что фукоксантин обладает широким спектром полезных действий. Это делает его чрезвычайно привлекательным биологически активным нутриентом, подходящим не только для повседневного профилактического потребления, но и для включения в лечебные диеты.

Научно доказана противоопухолевая способность фукоксантина, а также его возможность подавлять рост раковых клеток [Kim et al., 2010]. Фукоксантин является основой для ряда лекарственных препаратов для лечения рака прямой кишки, печени и меланомы [Maeda et al., 2005].

Множественные исследования на крысах, получавших рацион с высоким содержанием жиров, показали, что прием фукоксантина способствовал снижению общего уровня холестерина и триглицеридов [Maeda et al., 2005]. Фукоксантин может быть рассмотрен как перспективная пищевая добавка для подавления ожирения [Maeda et al., 2005; Gammone et al., 2015].

При изучении влияния препарата «Ксантиген», содержащего фукоксантин бурых водорослей, на массу тела женщин, содержание жира, липидов печени и биохимию крови показано, что употребление ксантигена-600/2,4 мг (300 мг масла зерен граната + 300 мг экстракта бурой водоросли, содержащих 2,4 мг фукоксантина) в течение 16 нед приводило к статистически значимому снижению массы тела, окружности талии и содержания жира в печени [Abidov et al., 2010].

В Приморском крае среди бурых водорослей самой распространенной и наиболее изученной является *Saccharina (Laminaria) japonica*, которая широко используется в пищевой промышленности и медицине. В пищу и как сырье для получения лечебно-профилактических препаратов и биодобавок применяют также бурую водоросль *Sargassum pallidum*, содержащую полисахариды, обладающие иммуностимулирующей и противоопухолевой активностью [Атлас..., 2008]. Этот вид не так широко известен, хотя находится в широком доступе и по биологической ценности не уступает *S. (L.) japonica* [Аминина, 2012].

Несмотря на все вышеперечисленные полезные свойства, на данный момент фукоксантин не зарегистрирован в качестве функционального ингредиента и не имеет утвержденной нормативной документации. В национальном стандарте ГОСТ Р 55577–2013 фукоксантин также не упоминается. Таким образом, одной из задач наших исследований является привлечение внимания к более глубоким исследованиям фукоксантина для последующего его внедрения в нормативную документацию.

В настоящей работе рассматривается перспектива использования бурой водоросли *S. pallidum* в качестве сырья для выделения каротиноида фукоксантина и дальнейшего использования последнего как биологически активного компонента в пищевой промышленности.

Материалы и методы

Для проведения исследований использовали бурую водоросль *S. pallidum*, собранную в прибрежной зоне зал. Петра Великого (бухта Новик, о. Русский) в октябре 2020 г.

Из водорослей получали замороженные образцы. Перед заморозкой водоросли промывали от лишних примесей, удаляли излишнюю влагу. Затем нарезали мелкие куски квадратного сечения и укладывали в герметичную упаковку. Срок хранения замороженных образцов составлял не более 6 мес. при температуре -18°C .

Для получения низкомолекулярных веществ из полученных образцов использовали метод спиртовой экстракции. Экстракция образцов проходила в темном месте в холодильнике ($+7^{\circ}\text{C}$) в течение 24 ч. Данные условия экстракции были определены авторами экспериментальным путем и описаны ранее [Федотова и др., 2020].

Экстрагентом служил этиловый спирт концентрацией 80 %. Экстракт готовили следующим образом: в колбу с герметичной крышкой клали навеску замороженного образца, заливали экстрагентом, перемешивали, закрывали колбу и убирали в темное место на хранение в соответствии с условиями экстракции. Полученный экстракт фильтровали или центрифугировали при 4000 g 5 мин. Для определения количества фукоксантина в полученном растворе использовали спектрофотометрический метод (Shimadzu UV Spectrophotometer UV-1800). Отфильтрованный раствор помещали в

кюветы и измеряли в спектрофотометре относительно эталонного раствора (этилового спирта 80 %). Рассматривали спектр поглощения в интервале длин волн 350–800 нм. Расчет осуществлялся по формуле, приведенной в литературе [Narayani et al., 2016]:

$$\text{фукоксантин мг/г} = A_{470} - 1,239 (A_{631} + A_{581} - 0,3 \cdot A_{664}) - 0,0275 \cdot A_{664}/141,$$

где A — оптическая плотность указанной длины.

После определения количества фукоксантина в спиртовом экстракте его использовали в качестве функциональной добавки при разработке рецептуры напитков. Базой для разрабатываемого напитка послужили охлажденный черный чай и концентраты натурального сока. Органолептическим методом подбирались вкусы, которые лучше сочетаются с полученным экстрактом. Главной задачей при разработке напитка стало сокрытие специфического вкуса и запаха бурой водоросли *S. pallidum*. Для этого за основу напитка были выбраны черный чай и соковые концентраты с яркими фруктовыми и ягодными вкусами. Для разработки были закуплены концентраты апельсинового, клубничного, клюквенного, яблочного вкусов, а также вкуса белого и красного винограда.

Лучшие органолептические и экономические показатели были у яблочного и виноградного концентратов. Соковые экстракты добавляли в готовый охлажденный черный чай. Количество вносимого концентрата рассчитывалось с учетом разбавления водой согласно инструкции, данной производителем (1,0 : 5,0 для яблочного и 1,0 : 3,5 для виноградного), и регулировалось до достижения приятных органолептических свойств. Тестовый образец напитка составлял 240 мл.

Согласно литературным данным [Abidov et al., 2010] суточная норма фукоксантина составляет 2,4 мг/сут. Больше количество фукоксантина не принесет дополнительную пользу для организма. Для определения количества экстракта, добавляемого на порцию напитка, нами был проведен расчет количества добавляемого экстракта, необходимого, чтобы соблюсти установленную суточную норму.

Для разработки технологии напитка были использованы экстракты, полученные из замороженных образцов бурой водоросли *S. pallidum*, содержащие не менее 6 мг/г фукоксантина. Учитывая суточную норму фукоксантина, обозначенную ранее, было решено вносить в одну порцию напитка 0,5 г экстракта, содержащего не менее 3,0 мг фукоксантина. Доля спирта в готовом напитке массой 240 г составляла 0,17 %, что позволяет считать напиток безалкогольным в соответствии с ГОСТ 28188–2014. Внесение фукоксантина сверх суточной нормы объясняется низкой устойчивостью вещества к кислороду воздуха и свету, допускающего возможную потерю фукоксантина в процессе производства, хранения и реализации.

Полученные напитки для определения их органолептических свойств были отданы на дегустацию тестовой группе из 10 чел. Полученные в ходе дегустации данные были сведены в виде таблиц.

Результаты и их обсуждение

В данной работе в качестве источника фукоксантина использовали замороженные образцы бурой водоросли *S. pallidum*. При разработке напитка использовали экстракты, полученные из замороженных образцов, сроком хранения не более 30 сут. Далее для экспериментальных измерений готовили экстракты в течение 6 мес. с момента сбора материала.

Количественный выход фукоксантина в период разработки напитка и далее на протяжении 5 мес. колебался в незначительной степени. Выход составлял от 6,05 до 6,30 мг фукоксантина на 1 г экстракта. Согласно литературным данным [Abidov et al., 2010] необходимая суточная норма фукоксантина может быть восполнена 0,5 мг полученного экстракта, с учетом возможной потери фукоксантина в процессе производства или хранения, так как каротиноид нестабилен в присутствии кислорода и солнечного света.

Опираясь на полученные данные, можно сделать вывод о том, что образцы водоросли, хранение которых происходит при -18°C , могут быть использованы для разработки обогащенных напитков в течение 6 мес. с момента заморозки.

После получения экстракта со стабильным выходом фукоксантина необходимо было выбрать базу, на основе которой будет разработана технология рецептуры функционального напитка. В качестве основы был выбран охлажденный черный чай, который частично маскировал неприятный вкус и запах добавляемого экстракта, но не скрывал в полной мере. Для улучшения потребительских свойств готового напитка было решено внести в рецептуру соковые концентраты в качестве вкусоароматического компонента по соображениям их натурального происхождения, природного состава сахаров, низкой аллергенности. Соковые концентраты обладают ярким вкусом и приятным ароматом, помогающим скрыть специфический привкус и запах бурой водоросли *S. pallidum*.

Для проведения органолептического анализа и выбора конечных вкусов были закуплены несколько видов сокового концентрата. При первичном анализе экономической составляющей наиболее выгодными для приготовления напитков оказались яблочный, клубничный и клюквенный концентраты. Однако клубничный концентрат обладает очень сладким вкусом, кроме того, клубника является одним из сильных аллергенов и может не подойти для употребления определенному кругу потребителей. Клюквенный концентрат, в свою очередь, обладает характерным кислым вкусом, что также может не подойти определенному кругу потребителей по органолептике и вкусовым ощущениям.

Апельсиновый концентрат оказался самым дорогостоящим и невыгодным в экономическом плане. Концентраты белого и красного винограда, несмотря на высокую стоимость, обладают приятным вкусом и ароматом. Однако соковый концентрат белого винограда имеет более сладкий, немного приторный вкус и проигрывает по органолептическим показателям соковому концентрату из красного винограда. Яблочный концентрат оказался самым предпочтительным из всех, так как показал оптимальные результаты по всем показателям.

Однако для чистоты эксперимента были разработаны напитки со всеми 6 вкусами сокового концентрата. Для определения потребительских предпочтений была проведена дегустация с привлечением 10 человек. Для оценки использовали шкалу от 1 до 10. В табл. 1 представлены средние арифметические значения и итоговая оценка каждого из напитков.

Таблица 1
Сравнительный анализ соковых концентратов
Table 1
Comparative analysis of juice concentrates

Наименование вкуса	Органолептические показатели, средний балл			Итоговая оценка, балл
	Аромат	Вкус	Цвет	
Апельсин	8,9	8,2	9,8	26,9
Белый виноград	9,0	8,6	10,0	27,6
Красный виноград	9,4	9,9	10,0	29,3
Клубника	9,2	8,4	10,0	27,6
Клюква	8,4	8,0	9,7	26,1
Яблоко	9,0	9,8	10,0	28,8

По результатам дегустационного анализа было установлено, что наиболее предпочтительными для потребителя образцами явились напитки с добавлением яблочного сокового концентрата и концентрата сока красного винограда. Однако различия в конечной оценке напитков незначительны, что указывает на возможность выпуска большого ассортимента вкусов будущего напитка, которые одинаково положительно будут восприняты потребителями. Результаты дегустационного анализа оказались близки к выводам, сделанным в ходе начального сравнительного анализа соковых концентратов.

Окончательная рецептура была разработана для напитка с лидирующим вкусом — черный чай с соком красного винограда и экстрактом бурых водорослей.

Для проведения органолептической оценки готового функционального напитка было решено провести сравнение с образцом аналогичной продукции. В качестве образца сравнения был взят холодный черный чай «Fuze tea» со вкусом лесных ягод и гибискуса, так как он имеет схожие характеристики с функциональным напитком. Сравнительный анализ характеристик напитков приведен в табл. 2. Органолептические показатели холодного чая оценивали в соответствии с нормативными документами ГОСТ 6687.5–86 и ГОСТ Р 56543–2015.

Сравнительный органолептический анализ разработанного холодного чая и купленного образца

Table 2

Comparative organoleptic analysis of the developed iced tea and the purchased sample

Признак	Разработанный холодный чай со вкусом винограда и фукоксантином	Холодный черный чай «Fuze tea» со вкусом лесных ягод и гибискуса
Состав	Вода питьевая, черный чай, сок красного винограда концентрированный, экстракт бурых водорослей как источник фукоксантина	Очищенная вода, сахар, регуляторы кислотности (лимонная кислота, цитрат натрия, яблочная кислота), ягодные соки (черничный, малиновый, земляничный) 0,3 %, натуральные ароматизаторы, экстракт черного чая 1,1 г/л, экстракт гибискуса
Внешний вид	Жидкость однородного цвета, темная, слегка мутная, без включений и осадка	Жидкость однородного цвета, темная, достаточно прозрачная, без включений и осадка
Вкус и запах	Выраженный вкус и запах винограда, терпкость чая сильнее, чем у второго образца. Вкус кисло-сладкий, немного горчит от чая, терпкий в меру	Выраженный вкус и запах лесных ягод, присутствует терпкий вкус чая. Вкус выражено кисло-сладкий, терпкий в меру
Цвет	Темно-бордовый, немного мутный	Темно-бордовый, однородный
Пищевая ценность на 100 г продукта	Белки — 0 г, жиры — 0, углеводы — 5,4 г	Белки — 0 г, жиры — 0, углеводы — 7,8 г
Энергетическая ценность на 100 г продукта	21,7 ккал/90,6 кДж	33 ккал/138 кДж

Наименования физико-химических показателей качества холодного чая и методы их определения установили в соответствии с ГОСТ Р 56543–2015 и ГОСТ 34548–2019. Результаты исследования физико-химических показателей разработанного холодного чая представлены в табл. 3.

Результаты исследования физико-химических показателей функционального холодного чая

Physical and chemical properties of the functional iced tea

Наименование показателя	Нормативная величина показателя	Результат исследования
Кислотность, см ³ 1 моль/1000 см ³ раствора NaOH, пошедшего на титрование 100 см ³ напитка	Не более 8,0	2,10
Массовая доля сухого экстракта чая (сухих веществ), %	Не менее 0,1	0,76
Массовая доля спирта в разовой порции, %	Не более 0,5	0,17
Содержание фукоксантина в разовой порции, % от уровня рекомендуемого суточного потребления	Не менее 15,0	125,0

Заключение

Таким образом, была исследована перспектива использования фукоксантина из бурой водоросли *S. pallidum* в качестве биологически активного ингредиента в пищевых продуктах. Разработанная рецептура холодного чая с добавлением сокового концентрата красного винограда и экстракта бурых водорослей в качестве источника фукоксантина отвечает органолептическим и физико-химическим требованиям к готовому продукту данной категории. Для использования разработки в промышленном масштабе необходимо разработать режим пастеризации или консервации напитка для создания экономически реализуемого срока хранения продукта. Готовый продукт рекомендуется выпускать в алюминиевой таре или в таре из темного стекла для обеспечения защиты фукоксантина в напитке от воздействия кислорода и солнечных лучей.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность педагогическому составу Департамента пищевых наук и технологий, Школы биомедицины Дальневосточного федерального университета за консультации и помощь, оказанную в ходе исследования.

Authors would like to thank the staff of Department of Food Science and Technology, School of Biomedicine of Far Eastern Federal University for their advices and assistance.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study has no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с животными в качестве объектов.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

This article does not concern to animal studies.

Authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Е.Е. Федотова — проведение анализа литературы, написание исходного текста, итоговые выводы; В.П. Корчагин — концепция исследования, сбор сырья для проведения исследования, итоговые выводы; Д.Д. Вингородова — анализ физико-химических показателей чая, сбор сырья для проведения исследования, доработка текста, итоговые выводы.

E.E. Fedotova — analysis of scientific literature, organoleptic examination, writing the original text, conclusions; V.P. Korchagin — concept of the study, collection of raw materials, conclusions; D.D. Vingorodova — collection of raw materials, laboratory analysis of physical and chemical properties, text revision, conclusions.

Список литературы

Аминина Н.М. Биологическая ценность морских водорослей дальневосточного побережья // РЫБПРОМ: Технологии и оборудования для переработки водных биоресурсов. — М. : ИП Вареха Е.Ю., 2012. — № 3. — С. 32–35.

Аминина Н.М., Вишневская Т.И., Гурулева О.Н., Ковековдова Л.Т. Состав и возможности использования бурых водорослей дальневосточных морей // Вестн. ДВО РАН. — 2007. — № 6(136). — С. 123–130.

Атлас массовых видов водорослей и морских трав российского побережья Дальнего Востока / В.Д. Дзизюров, В.Н. Кулепанов, Т.В. Шапошникова и др. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — 327 с.

Воскобойников Г.М., Белишева Н.К. Водоросли и здоровье северян. Препринт. — Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2013. — 32 с.

Потишук Л.Н., Каленик Т.К., Елисеева Т.И., Сафина И.Н. Технология использования экстрактов бурых водорослей в производстве водок особых // Изв. вузов. Пищ. технология. — 2007. — № 4(299). — С. 73–75.

Федотова Е.Е., Корчагин В.П., Вингорова Д.Д. Использование бурых водорослей *Sargassum pallidum* в качестве сырья для выделения фукоксантина // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 3. — С. 1008–1015. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-1008-1015.

Abidov M., Ramazanov Z., Seifulla R., Grachev S. The effects of Xanthigen in the weight management of obese premenopausal women with non-alcoholic fatty liver disease and normal liver fat // *Diabet. Obes. Metab.* — 2010. — Vol. 12(1). — P. 72–81. DOI: 10.1111/j.1463-1326.2009.01132.x.

D’Orazio N., Gemello E., Gammone M.A. et al. Fucoxanthin: a treasure from the sea // *Mar. Drugs.* — 2012. — Vol. 10(3). — P. 604–616. DOI: 10.3390/md10030604.

Gammone M.A., Riccioni G., D’Orazio N. Carotenoids: potential allies of cardiovascular health // *Food & Nutr. Res.* — 2015. — Vol. 59. — P. 1–11. DOI: 10.3402/fnr.v59.26762.

Kim K.N., Heo S.J., Kang S.M. et al. Fucoxanthin induces apoptosis in human leukemia HL-60 cells through a ROS-mediated Bcl-xL pathway // *Toxicol. in Vitro.* — 2010. — Vol. 24. — P. 1648–1654. DOI: 10.1016/j.tiv.2010.05.023.

Maeda H., Hosokawa M., Sashima T. et al. Fucoxanthin from edible seaweed, *Undaria pinnatifida*, shows antiobesity effect through UCP1 expression in white adipose tissues // *Biochemical and Biophysical Research Communications.* — 2005. — Vol. 332. — P. 392–397.

Narayani S., Saravanan S., Bharathiraja S., Mahendran S. Extraction, partially purification and study on antioxidant property of fucoxanthin from *Sargassum cinereum* J. Agardh // *Pharm. Res.* — 2016. — Vol. 8(3). — P. 610–616.

Peng J., Yuan J.P., Wu C.F., Wang J.H. Fucoxanthin, a marine carotenoid present in brown seaweeds and diatoms: metabolism and bioactivities relevant to human health // *Mar. Drugs.* — 2011. — Vol. 9(10). — P. 1806–1828. DOI: 10.3390/md9101806.

Takaichi S. Carotenoids in algae: Distributions, biosyntheses and functions // *Mar. Drugs.* — 2011. — Vol. 9(6). — P. 1101–1118. DOI: 10.3390/md9061101.

References

Aminina, N.M., Biological value of seaweed of the Far East coast, *RYBPROM: Tekhnologii i oborudovaniya dlya pererabotki vodnykh bioresursov* (RYBPROM: Technologies and equipment for the processing of aquatic biological resources), Moscow: IP Varekha E.Yu., 2012, no. 3, pp. 32–35.

Aminina, N.M., Vishnevskaya T.I., Guruleva O.N., and Kovekovdova L.T. Biological value and parameters of safety of brown seaweeds in the Far-Eastern seas, *Vestn. Dal’nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2007, no. 6(136), pp. 123–130.

Dzizyurov, V.D., Kulepanov, V.N., Shaposhnikova, T.V., Sukhoveeva, M.V., Gusarova, I.S., and Ivanova, N.V., *Atlas massovykh vidov vodorosley i morskikh trav rossiyskogo poberezh’ya Dal’nego Vostoka* (Atlas of mass species of algae and sea grasses of the Russian coast of the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008.

Voskoboinikov, G.M. and Belisheva, N.K., *Vodorosli i zdorov’ye severyan. Preprint* (Algae and the health of northerners. Preprint), Murmansk: Murm. Mar. Biol. Inst., Kol’sk. Nauchn. Tsentr., Ross. Akad. Nauk, 2013.

Potishuk, L.N., Kalenik, T.K., Eliseeva, T.I., and Safina, I.N., Technology of using extracts of brown algae in the production of special vodkas, *Izv. vuzov. Pishch. tekhnologiya*, 2007, no. 4(299), pp. 73–75.

Fedotova, E.E., Korchagin, V.P., and Vingorodova, D.D., Using of brown algae *Sargassum pallidum* as raw materials for extraction of fucoxanthin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 4, pp. 1008–1015. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-1008-1015

Abidov, M., Ramazanov, Z., Seifulla, R., and Grachev, S., The effects of Xanthigen in the weight management of obese premenopausal women with non-alcoholic fatty liver disease and normal liver fat, *Diabet. Obes. Metab.*, 2010, vol. 12, no. 1, pp. 72–81. doi 10.1111/j.1463-1326.2009.01132.x

D’Orazio, N., Gemello, E., Gammone, M.A., de Girolamo, M., Ficoneri, C., and Riccioni, G., Fucoxanthin: a treasure from the sea, *Mar. Drugs*, 2012, vol. 10, no. 3, pp. 604–616. doi 10.3390/md10030604

Gammone, M.A., Riccioni, G., and D’Orazio, N., Carotenoids: potential allies of cardiovascular health, *Food & Nutr. Res.*, 2015, vol. 59, pp. 1–11. doi 10.3402/fnr.v59.26762

Kim, K.N., Heo, S.J., Kang, S.M., Ahn, G., and Jeon, Y.J., Fucoxanthin induces apoptosis in human leukemia HL-60 cells through a ROS-mediated Bcl-xL pathway, *Toxicol. in Vitro*, 2010, vol. 24, pp. 1648–1654. doi 10.1016/j.tiv.2010.05.023

Maeda, H., Hosokawa, M., Sashima, T., Funayama, K., and Miyashita, K., Fucoxanthin from edible seaweed, *Undaria pinnatifida*, shows antiobesity effect through UCP1 expression in white adipose tissues, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2005, vol. 332, pp. 392–397.

Narayani, S., Saravanan, S., Bharathiraja, S., and Mahendran, S., Extraction, partially purification and study on antioxidant property of fucoxanthin from *Sargassum cinereum* J. Agardh, *Pharm. Res.*, 2016, vol. 8, no. 3, pp. 610–616.

Peng, J., Yuan, J.P., Wu, C.F., and Wang, J.H., Fucoxanthin, a marine carotenoid present in brown seaweeds and diatoms: metabolism and bioactivities relevant to human health, *Mar. Drugs*, 2011, vol. 9, no. 10, pp. 1806–1828. doi 10.3390/md9101806

Takaichi, S., Carotenoids in algae: Distributions, biosyntheses and functions, *Mar. Drugs*, 2011, vol. 9, no. 6, pp. 1101–1118. doi 10.3390/md9061101

Поступила в редакцию 8.12.2021 г.

После доработки 11.01.2022 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

*The article was submitted 8.12.2021; approved after reviewing 11.01.2022;
accepted for publication 25.02.2022*

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ
METHODS OF INVESTIGATIONS**

Научная статья

УДК 597.556.35–13(265.53)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-234-241

**К ВОПРОСУ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИКРИНОК ЖЕЛТОБРЮХОЙ КАМБАЛЫ
PLEURONECTES QUADRITUBERCULATUS (PLEURONECTIDAE)
ИЗ ИХТИОПЛАНКТОННЫХ СБОРОВ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ
ОХОТСКОГО МОРЯ****Р.Р. Юсупов, Рус.Р. Юсупов***Институт биологических проблем Севера ДВО РАН,
685000, г. Магадан, ул. Портовая, 18

Аннотация. Исследовали видовой состав уловов ихтиопланктонной съемки, проведенной 4 июня 2021 г. на периферии Тауйской губы северной части Охотского моря. Установлено, что в общей численности уловов икринок 3 видов рыб доля желтобрюхой камбалы составила 1,3 %. Выявлена особенность пигментации эмбрионов желтобрюхой камбалы, позволяющая в комплексе с другими признаками надежно отличать икринки этой камбалы от икры других видов рыб.

Ключевые слова: желтобрюхая камбала, *Pleuronectes quadrituberculatus*, икра, пигментация, северная часть Охотского моря.

Для цитирования: Юсупов Р.Р., Юсупов Рус.Р. К вопросу идентификации икринок желтобрюхой камбалы *Pleuronectes quadrituberculatus* (Pleuronectidae) из ихтиопланктонных сборов в северной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 234–241. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-234-241.

Original article

On the problem of identification for eggs of alaska place *Pleuronectes quadrituberculatus* (Pleuronectidae) from ichthyoplankton collections in the northern Okhotsk Sea**Ravil R. Yusupov*, Ruslan R. Yusupov*****, ** Institute of Biological Problems of the North FEB RAS, 18, Portovaya Str.,
Magadan, 685000, Russia

* Ph.D., senior researcher, ryusupov_mag@mail.ru

** junior researcher, rusyusupov@ibpn.ru

Abstract. Species composition in catches of the ichthyoplankton survey conducted on June 4, 2021 in the periphery of the Tauiskaya Guba Bay (northern Okhotsk Sea) is considered. Eggs of 3 fish species were collected, the portion of alaska place was 1.3 %. Specific pigmentation of the alaska place embryos was defined that allowed to identify reliably the eggs of this species, in combination with other signs.

Keywords: alaska place, *Pleuronectes quadrituberculatus*, fish egg, pigmentation, northern Okhotsk Sea.

* Юсупов Равиль Рашитович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ryusupov_mag@mail.ru, ORCID 0000-0002-3831-5695; Юсупов Руслан Равильевич, младший научный сотрудник, rusyusupov@ibpn.ru, ORCID 0000-0002-2851-0024.

© Юсупов Р.Р., Юсупов Рус.Р., 2022

For citation: Yusupov R.R., Yusupov Rus.R. On the problem of identification for eggs of alaska place *Pleuronectes quadrituberculatus* (Pleuronectidae) from ichthyoplankton collections in the northern Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 234–241. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-234-241.

Введение

В вопросе изучения пространственного распределения и оценки количественных показателей скоплений рыб в качестве одного из методов прямого учета широко применяются ихтиопланктонные съемки, позволяющие по количеству развивающихся икринок определить численность продуцировавших их производителей [Качина, Сергеева, 1978; Дехник, 1986; Булатов, 1988; Балыкин и др., 2002; Балыкин, Варкентин, 2006].

В связи с этим крайне важна надежность видовой идентификации икринок разных видов рыб, в особенности тех, икринки которых имеют морфологические и метрические сходные показатели.

Очевидно, что при высокой численности икринок одного вида ошибочно отнесенные к нему отдельные икринки другого вида не будут иметь существенного значения при расчете общей численности отложенной икры. Напротив, для сравнительно мало-численной желтобрюхой камбалы *Pleuronectes quadrituberculatus* случайно отнесенные к ней икринки минтая *Theragra chalcogramma* (численно доминирующие в весеннем ихтиопланктоне) могут исказить реальную картину пространственного распределения икры (нерестовый ареал) икратно увеличить ошибку при расчетах численности нерестового стада этой камбалы.

Наши исследования эмбриогенеза желтобрюхой камбалы [Юсупов, Юсупов, в печати] показали, что используемый в ихтиопланктонных исследованиях набор диагностических признаков икринок этой камбалы [Перцева-Остроумова, 1961] может оказаться недостаточным.

Цель настоящей работы заключалась в выяснении возможности использования дополнительных морфологических признаков для надежного диагностирования икры желтобрюхой камбалы в уловах весеннего ихтиопланктона.

Материалы и методы

Сбор материала происходил 4 июня 2021 г. на 5 станциях у северо-западного побережья о. Завьялова с помощью планктонной сети Джеди на разных горизонтах от поверхности до глубины 60 м (рис. 1). Лов проводили с борта маломерного судна.



Рис. 1. Карта-схема района проведения работ. Заштрихованной областью отмечен участок ихтиопланктонной съемки

Fig. 1. Scheme of the study area. The area of ichthyoplankton survey is shaded

Параметры икринок измеряли в делениях мерной сетки окуляра-микрометра микроскопа с последующим пересчетом в миллиметры. Было измерено 209 икринок желтобрюхой камбалы, взятых из остаточной плодовитости отнерестившейся самки и оплодотворенных семенной жидкостью самца вида; измерения провели на этапе формирования плазмодиска. Выборки из 167 икринок северной палтусовидной камбалы (2019 г.) и 291 икринки минтая (2021 г.) от естественного нереста собраны из ихтиопланктонных уловов в районе исследований. Микрофотографии икринок в прижизненном состоянии выполнены с помощью цифровой фотокамеры «Rekam Presto 40M» через микроскоп МБС-10.

Результаты и их обсуждение

Первые исследования ихтиопланктона в северо-восточной части Охотского моря были проведены Т.С. Рассом и М.В. Желтенковой [1948] в июне 1938–1939 гг. у западных берегов Камчатки от мыса Хариузов до мыса Лопатка. Собранные личинки и икринки оказались принадлежащими не менее чем 12 видам рыб из 7 семейств. Следует отметить, что определение икринок проведено авторами по аналогии с близкородственными видами Атлантического океана. По всей видимости, учтенные в этом районе пелагические икринки минтая *T. chalcogramma* ошибочно были отнесены к треске *Gadus macrocephalus*. Эта ошибка окончательно установлена после проведения опытов по искусственному оплодотворению икры минтая [Горбунова, 1951, 1954].

Литературные сведения [Мухачева, Звягина, 1960; Буслов и др., 2010; Буслов, Сергеева, 2013; Юсупов, 2015] показывают, что, в отличие от пелагических икринок атлантической трески *Gadus morhua*, икринки тихоокеанской трески *G. macrocephalus* демерсальные и развиваются на дне. Первыми обратили на этот факт внимание японские исследователи Камийя и Инаба [цит. по: Расс, Желтенкова, 1948], впоследствии он подтвержден И.А. Полутковым и В.Н. Трипольской [1954].

По результатам широкомасштабной съемки в 1952 г., охватившей акваторию от Пенжинского залива до Олюторского, было выяснено, что в составе ихтиопланктона икра минтая по абсолютной численности в уловах занимает первое место (94,3 %); второе — принадлежит икре желтобрюхой камбалы *P. quadrituberculatus* (4,6 %), третье — икре палтусовидной камбалы (1,1 %) [Полутов, Трипольская, 1954]. По всей видимости, речь идет о многочисленной в водах Камчатки узкозубой палтусовидной камбале *Hippoglossoides elassodon*.

В северной части Охотского моря аналогичные исследования были проведены в середине 1950-х гг. прошлого века [Микулич, 1959]. Было установлено, что весенний (май — начало июня) ихтиопланктон прибрежных и открытых вод северной части Охотского моря слагали развивающиеся икринки минтая, палтусовидной, желтобрюхой и звездчатой *Platichthys stellatus* камбал. Как и на других акваториях Охотского моря, в его северной части в количественном отношении доминировал минтай.

Без учета звездчатой камбалы, икра которой отсутствовала в наших сборах, видовой состав уловов икринок рыб и численное соотношение разных видов были сходными. Основу уловов составляли икринки минтая (72,3 %) и северной палтусовидной камбалы *Hippoglossoides robustus* (26,5 %), которые встречались на всех горизонтах облова от приповерхностного слоя до глубины 60 м. Икринки желтобрюхой камбалы были самыми малочисленными и отмечены только на горизонтах глубже 50 м. Из общего улова 952 икр. рыб количество таковых составило 12 шт., или 1,3 %.

На рис. 2 хорошо видно, что в общем распределении икры по размерным классам модальная группа икринок желтобрюхой камбалы хорошо дистанцирована от таковых минтая и северной палтусовидной камбалы. Достоверно высокие различия проявились и по средним значениям диаметра икринок, составившим у минтая $1,51 \pm 0,01$ мм, у желтобрюхой камбалы $1,75 \pm 0,01$ и у северной палтусовидной камбалы $2,32 \pm 0,01$ мм. В сравниваемых по критерию Стьюдента парах «желтобрюхая камбала — минтай» и

«желтобрюхая — северная палтусовидная камбала» коэффициенты различий t_{ϕ} составили соответственно 32,8 и 49,7; их достоверность подтвердилась на самом высоком уровне значимости $P = 0,001$ при необходимом $t_{st} = 3,29$.

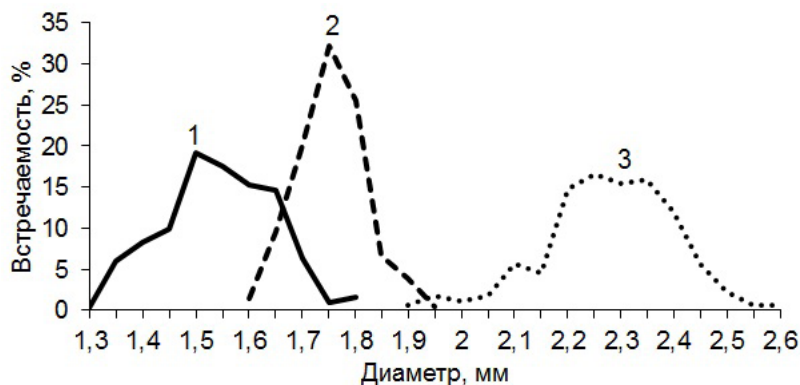


Рис. 2. Размерный ряд икринок рыб в составе весеннего ихтиопланктона северной части Охотского моря: 1 — минтай; 2 — желтобрюхая камбала; 3 — северная палтусовидная камбала

Fig. 2. Size composition of fish eggs in spring ichthyoplankton in the northern Okhotsk Sea: 1 — walleye pollock; 2 — alaska place; 3 — bering flounder

Тем не менее привлекает внимание тот факт, что в крайних значениях полигонов распределения по размеру икринок желтобрюхой камбалы и сравниваемых с ней таких минтая и северной палтусовидной камбалы наблюдается пересечение. В размерных классах 1,30–1,80 мм часть икринок желтобрюхой камбалы сходна по этому признаку с икринками минтая, а в диапазоне 1,90–1,95 мм — северной палтусовидной камбалы. Поэтому при видовой идентификации ряда икринок обоих видов присутствует элемент неопределенности. Ранее на размерное сходство крупных икринок минтая и мелких желтобрюхой камбалы обращала внимание Т.А. Перцева-Остроумова [1961].

В связи с этим наряду с метрическими характеристиками необходим анализ морфологических признаков икринок и эмбрионов.

Первое описание морфологии икринок желтобрюхой камбалы выполнено Т.А. Перцевой-Остроумовой [1955, 1961], оно в той или иной мере заимствовано другими исследователями при составлении атласов-определителей [Matarese et al., 1989; Григорьев, 2007; Соколовский, Соколовская, 2008]. Выявленные этим автором диагностические признаки икринок и эмбрионов желтобрюхой камбалы используются при проведении ихтиопланктонных съемок до настоящего времени [Овчеренко, Саушкина, 2021].

Если при определении видовой принадлежности икринок желтобрюхой и палтусовидной камбал вопросов не возникает (по содержанию желтка первые характеризуются мезо- или олигоплазматическим типом, вторые относятся к полиплазматическому типу), то в сравниваемой паре «желтобрюхая камбала — минтай» икринки обоих видов имеют сходный тип строения. Кроме того, вследствие сходства сроков нереста обоих видов подавляющее число икринок минтая и все икринки желтобрюхой камбалы на момент отлова 4 июня 2021 г. находились в начале стадии отчленения хвостового отдела от желтка и характеризовались морфологическим сходством общей конституции тела эмбрионов (рис. 3, А, Б). Наблюдение икринок в проходящем свете показало, что у эмбрионов минтая и желтобрюхой камбалы на этой стадии развития тело пигментировано черными меланофорами, характер распределения которых по поверхности тела однотипный. У обоих видов меланофоры наиболее густо располагаются вдоль дорзальной и вентральной сторон задней половины тела.

Из литературы [Горбунова, 1954; Буслов, Сергеева, 2013] известно, что в процессе пигментации на теле эмбрионов минтая развиваются только черные меланофоры. Аналогичный характер эмбрионов минтая мы наблюдали в 2020 г. в ходе эксперимента



Рис. 3. Икринки минтая (А) и желтобрюхой камбалы (Б, В) из ихтиопланктонных сборов в северной части Охотского моря: А, Б — вид икринок в проходящем свете; В — икринка в падающем свете на темном фоне

Fig. 3. Eggs of walleye pollock (А) and alaska place (Б, В) from ichthyoplankton collections in the northern Okhotsk Sea in passing light (А, Б) and in incident light on a dark background (В)

по эмбриональному развитию этого вида. В то же время проведенное нами наблюдение икринок желтобрюхой камбалы в падающем свете на темном фоне позволило выявить ранее не описанный в литературе характер пигментации. При таком способе освещения икринки было обнаружено, что наряду с черными меланофорами на поверхности тела эмбрионов в большом количестве развиваются желтые пигментные клетки, почти незаметные при микроскопировании в проходящем свете (рис. 3, В). Так же как и меланофоры, они наиболее густо располагаются в задней половине туловища, включая еще несегментированный хвостовой отдел. Головной отдел пигментирован более крупными клетками до зачатков грудных плавников. На поверхности еще не начавших окрашиваться в темный цвет глазных бокалов также развивается по несколько крупных желтых пигментных клеток. Необходимо отметить, что окраска эмбрионов такими пигментными клетками сохраняется в течение всего эмбриогенеза, а также имеется у предличинок и ранних личинок.

Использование выявленной в ходе наблюдений пигментации эмбрионов желтобрюхой камбалы желтыми пигментными клетками в качестве диагностического признака позволило нам к первоначально отобраным из общего улова 9 икринкам дополнительно обнаружить еще 3 икринки камбалы этого вида.

Закключение

Исследования морфологии икринок желтобрюхой камбалы показали, что наряду с хорошо известными из литературы видовыми отличительными признаками икринок этой камбалы существует и такой признак, как пигментация эмбрионов желтыми пигментными клетками, сохраняющимися также у предличинок и личинок. Это позволяет в комплексе с другими диагностическими признаками надежно идентифицировать икринки желтобрюхой камбалы из общей массы уловов икры разных видов рыб при проведении весенних ихтиопланктонных съемок в северной части Охотского моря.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарят рецензентов за высказанные ценные замечания и рекомендации при подготовке рукописи к публикации.

Authors thank the reviewers for their valuable comments and recommendations.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study has no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

Библиографические ссылки на все использованные в обзоре данные других авторов оформлены в соответствии с ГОСТом.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

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

Bibliographic references to all results of other authors used in the review are formatted in accordance with the Russian state standards.

Authors declare no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Авторы приняли равное участие в организации исследований, их непосредственном проведении и анализе полученных результатов. Р.Р. Юсупов написал текст статьи.

Both authors took equal participation in laboratory work and data analysis, R.R. Yusupov wrote the text of article.

Список литературы

Балыкин П.А., Буслов А.В., Варкентин А.И. и др. Межгодовая динамика запасов минтая в восточной части Охотского моря и их современное состояние // *Вопр. рыб-ва.* — 2002. — Т. 3, № 4(12). — С. 667–674.

Балыкин П.А., Варкентин А.И. Интерпретация данных ихтиопланктонных съемок для оценки нерестового запаса минтая // *Тр. ВНИРО.* — 2006. — Т. 146. — С. 159–165.

Булатов О.А. Межгодовая изменчивость запасов восточноберинговоморского минтая // *Изменчивость состава ихтиофауны, урожайности поколений и методы прогнозирования запасов рыб в северной части Тихого океана.* — Владивосток : ТИНРО, 1988. — С. 4–16.

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.

Буслов А.В., Сергеева Н.П., Ильин О.И. Эмбриональное развитие трески *Gadus macrocephalus* Gadidae // *Изв. ТИНРО.* — 2010. — Т. 160. — С. 71–88.

Горбунова Н.Н. Икра минтая и ее развитие // *Изв. ТИНРО.* — 1951. — Т. 34. — С. 89–97.

Горбунова Н.Н. Размножение и развитие минтая // *Тр. ИОАН СССР.* — 1954. — Т. 11. — С. 132–195.

Григорьев С.С. Ранние стадии рыб северо-востока России (прибрежные морские воды и внутренние водоемы): атлас-определитель. — Владивосток : Дальнаука, 2007. — 331 с.

Дехник Т.В. Применение ихтиопланктонных методов для оценки биомассы нерестового стада рыб // *Тр. ИОАН СССР.* — 1986. — Т. 116. — С. 103–125.

Качина Т.Ф., Сергеева Н.П. Методика расчета нерестового запаса восточноохотского минтая // *Рыб. хоз-во.* — 1978. — № 12. — С. 13–14.

Микулич Л.В. Икринки и личинки рыб из северной части Охотского моря // *Изв. ТИНРО.* — 1959. — Т. 47. — С. 193–195.

Мухачева В.А., Звягина О.А. Развитие тихоокеанской трески *Gadus morhua macrocephalus* Tilesius // *Тр. ИОАН СССР.* — 1960. — Т. 31. — С. 145–165.

Овчеренко Р.Т., Саушкина Д.Я. Распределение икры и рыб четырехбугорчатой *Pleuronectes quadrituberculatus* и узкозубой палтусовидной *Hippoglossoides elassodon* камбал (Pleuronectidae) в тихоокеанских водах Камчатки // *Изв. ТИНРО.* — 2021. — Т. 201, вып. 2. — С. 400–415. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-400-415.

Перцева-Остроумова Т.А. Определительные таблицы пелагической икры рыб зал. Петра Великого // *Изв. ТИНРО.* — 1955. — Т. 43. — С. 43–68.

Перцева-Остроумова Т.А. Размножение и развитие дальневосточных камбал : моногр. — М. : АН СССР, 1961. — 484 с.

Полутов И.А., Трипольская В.Н. Пелагическая икра и личинки морских рыб у берегов Камчатки // *Изв. ТИНРО.* — 1954. — Т. 41. — С. 295–308.

Расс Т.С., Желтенкова М.В. Некоторые данные об ихтиопланктоне Западной Камчатки // Изв. ТИНРО. — 1948. — Т. 28. — С. 139–150.

Соколовский А.С., Соколовская Т.Г. Атлас икры, личинок и мальков рыб российских вод Японского моря. — Владивосток : Дальнаука, 2008. — 222 с.

Юсупов Р.Р. Эмбриональное и личиночное развитие тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* Тауйской губы (северная часть Охотского моря) // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 182. — С. 23–37. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-182-23-37.

Юсупов Р.Р., Юсупов Р.С. Некоторые данные о сроках нереста и эмбриональном развитии желтобрюхой камбалы северной части Охотского моря // Зоол. журн. (в печати).

Matarese A.C., Kendall A.W.Jr., Blood D.M., Vinter B.M. Laboratory guide to early life history stages of northeast Pacific fishes : NOAA Tech. Rep. NMFS 80. — Seattle, 1989. — 652 p.

References

Balykin, P.A., Buslov, A.V., Varkentin, A.I., Zolotov, O.G., and Sergeeva, N.P., Walleye pollock stock interannual dynamics and its modern status in the eastern Sea of Ockhotsk, *Vopr. Rybolov.*, 2002, vol. 3, no. 4(12), pp. 667–674.

Balykin, P.A. and Varkentin, A.I., Interpretation of ichthyoplankton survey data for the assessment of the spawning stock of Pollock, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 146, pp. 159–165.

Bulatov, O.A., Interannual variability of total stocks of pollock in the Bering sea, , in *Izmenchivost' sostava ikhtiofauny, urozhnosti pokolenii i metody prognozirovaniya zapasov ryb v severnoi chasti Tikhogo okeana* (Variations in the Composition of Ichthyofauna, Strength of Year-Classes, and the Methods to Predict Fish Stocks in the Northern Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO, 1988, pp. 4–16.

Buslov, A.V. and Sergeeva, N.P., Embryogenesis and early postembryonic development of codfishes of the far eastern seas, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2013, vol. 29, pp. 5–69.

Buslov, A.V., Sergeeva, N.P., and Ilyin, O.I., Embryonic development of pacific cod *Gadus macrocephalus* (Gadidae), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 160, pp. 71–88.

Gorbunova, N.N., Pollock roe and its development, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1951, vol. 34, pp. 89–97.

Gorbunova, N.N., Reproduction and development of pollock, *Tr. Inst. Okeanol. im. P. P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1954, vol. 11, pp. 132–195.

Grigoryev, S.S., *Rannie stadii ryb severo-vostoka Rossii (pribrezhnye morskoe vody i vnutrennie vodoemy): atlas-opredelitel'* (Early Stages of Fish in the Northeast of Russia (Coastal Sea Waters and Inland Waters): Atlas for Identification), Vladivostok: Dal'nauka, 2007.

Dekhnik, T.V., Application of ichthyoplankton methods for the fish spawning stock biomass assessment, *Tr. Inst. Okeanol. im. P. P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1986, vol. 116, pp. 103–125.

Kachina, T.F. and Sergeeva, N.P., A method of counting the spawning stocks of the Eastern Kamchatka Walleye Pollock, *Rybn. Khoz.*, 1978, vol. 12, pp. 13–14.

Mikulich, L.V., Eggs and larvae of fish from the northern part of the Sea of Okhotsk, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1959, vol. 47, pp. 193–195.

Mukhacheva, V.A. and Zvyagina, O.A., Development of the Pacific cod *Gadus morhua* macrocephalus Tilesius, *Tr. Inst. Okeanol. im. P. P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1960, vol. 31, pp. 145–165.

Ovcherenko, R.T. and Saushkina, D.Y., Distribution of eggs and adults of Alaska plaice *Pleuronectes quadrituberculatus* and flathead sole *Hippoglossoides elassodon* (Pleuronectidae) in the Pacific waters of Kamchatka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 2, pp. 400–415. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-400-415

Pertseva-Ostroumova, T.A., Key for the identification of pelagic eggs of fishes of the Bay of Peter the Great, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1955, vol. 43, pp. 43–68.

Pertseva-Ostroumova, T.A., *Razmnozhenie i razvitie dal'nevostochnykh kambal* (Reproduction and Development of Far Eastern Flounders), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1961.

Polutov, I.A. and Tripol'skaya, V.N., Pelagic eggs and larvae of marine fishes off the coast of Kamchatka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1954, vol. 41, pp. 295–308.

Russ, T.S. and Zheltenkova, M.V., Some data on the ichthyoplankton of Western Kamchatka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1948, vol. 28, pp. 139–150.

Sokolovsky, A.S. and Sokolovskaya, T.G., *Atlas ikry, lichinok i mal'kov ryb rossiiskikh vod Yaponskogo morya* (Atlas of Eggs, Larvae and Fries of Fishes of the Russian Waters of the Sea of Japan), Vladivostok: Dal'nauka, 2008.

Yusupov, R.R., Embryonic and larval development of pacific cod *Gadus macrocephalus* from the Tauyskaya Bay (northern Okhotsk Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 182, pp. 23–37. doi 10.26428/1606-9919-2015-182-23-37

Yusupov, R.R. and Yusupov, Rus.R., Some data on the timing of spawning and embryonic development of the Alaska plaice *Pleuronectes quadrituberculatus* (Pleuronectidae) of the northern part of the Sea of Okhotsk, *Zool. Zh.* (in press).

Matarese, A.C., Kendall, A.W., Jr., Blood, D.M., and Vinter, B.M., Laboratory guide to early life history stages of northeast Pacific fishes, *NOAA Tech. Rep., NMFS*, 1989, no. 80.

Поступила в редакцию 29.12.2021 г.

После доработки 10.01.2022 г.

Принята к публикации 25.02.2022 г.

*The article was submitted 29.12.2021; approved after reviewing 10.01.2022;
accepted for publication 25.02.2022*

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ	3
Найденко С.В., Сомов А.А., Кузнецова Н.А., Шебанова М.А. Многолетняя динамика кормовой базы и пищевой обеспеченности nekтона верхней эпипелагиали западной части Берингова моря. Сообщение 1. Состав и обилие зоопланктона и мелкоразмерного nekтона	3
Найденко С.В., Сомов А.А. Многолетняя динамика кормовой базы и пищевой обеспеченности nekтона верхней эпипелагиали западной части Берингова моря. Сообщение 2. Пищевая обеспеченность nekтона	34
Ившина Э.Р. Современное состояние запасов сахалино-хоккайдской сельди <i>Clupea pallasii</i> у побережья о. Сахалин и южных Курильских островов	61
Каев А.М. Особенности промысла и показатели воспроизводства горбуши <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> о. Итуруп (Курильские острова)	71
Кошелев В.Н., Диденко Д.С., Зыков Л.А., Шмигирилов А.П. Оценка браконьерского вылова калуги <i>Huso dauricus</i> и амурского осетра <i>Acipenser schrenckii</i> (Acipenseridae)	92
Барabanщиков Е.И., Шаповалов М.Е., Черных Н.А. О поимке обыкновенной малоротой корюшки <i>Hypomesus olidus</i> (Pallas, 1814) (Osmeridae) в бассейне оз. Ханка и обновлении списка видов круглоротых и рыб этого бассейна	105
Колпаков Е.В., Савельев П.А. Новый случай поимки редкого для залива Петра Великого Японского моря вида рыб — дракончика <i>Draculo mirabilis</i> (Callionymidae)	113
Горшунов М.Б. Первая находка нерки <i>Oncorhynchus nerka</i> (Walbaum) в реке Большая Речка о. Завьялова	118
УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ	122
Кузнецова Н.А., Горбатенко К.М., Фигуркин А.Л. Состав, структура и биомасса зоопланктона в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г.	122
Колпаков Е.В., Нужденко С.А., Соколенко Д.А. Распределение основных таксономических групп и доминирующих видов макробентоса морей восточной Арктики	146
Надточий В.А., Колпаков Н.В. Макрозообентос Олюторского залива (Берингово море) четверть века спустя: состав, распределение, сообщества	161
Баринова В.В., Бахарева А.А., Перунова М.Е. Результаты экспериментальных работ по подавлению роста микромицетов сем. Saprolegniaceae на яйцевых оболочках эмбрионов русского осетра и белуги в период инкубации	172
Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. Многолетние изменения термических условий на поверхности дальневосточных морей и СЗТО и их связь с крупномасштабными климатическими процессами	187
АКВАКУЛЬТУРА	208
Зеленников О.В., Мякишев М.С. Об эффективности выращивания молоди тихоокеанских лососей на рыбодоводных заводах Сахалинской области с применением стартовых кормов НПК «Акватех»	208
ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ГИДРОБИОНТОВ	225
Федотова Е.Е., Корчагин В.П., Вингорова Д.Д. Перспективы использования фукоксантина в качестве биологически активного компонента для обогащения продуктов питания и напитков	225
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	234
Юсупов Р.Р., Юсупов Рус.Р. К вопросу идентификации икринок желтобрюхой камбалы <i>Pleuronectes quadrituberculatus</i> (Pleuronectidae) из ихтиопланктонных сборов в северной части Охотского моря	234

CONTENTS

BIOLOGICAL RESOURCES	3
Naydenko S.V., Somov A.A., Kuznetsova N.A., Shebanova M.A. Long-term dynamics of forage base and food supply for nekton in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea. Part 1. Composition and abundance of zooplankton and small-sized nekton	3
Naydenko S.V., Somov A.A. Long-term dynamics of forage base and food supply for nekton in the upper epipelagic layer of the western Bering Sea. Part 2. Food supply for nekton	34
Ivshina E.R. Modern state for stocks of Sakhalin-Hokkaido herring <i>Clupea pallasii</i> at the coast of Sakhalin Island and southern Kuril Islands	61
Kaev A.M. Features of fishery and indices of reproduction for pink salmon <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> of Iturup Island (Kuril Islands)	71
Koshelev V.N., Didenko D.S., Zykov L.A., Shmigirilov A.P. Evaluation of a poaching catch for kaluga <i>Huso dauricus</i> and amur sturgeon <i>Acipenser schrenckii</i> (Acipenseridae)	92
Barabanshchikov E.I., Shapovalov M.E., Chernykh N.A. On finding of pond smelt <i>Hypomesus olidus</i> (Pallas, 1814) (Osmeridae) in the basin of Lake Khanka and updating the list of cyclostomes and fishes for this basin	105
Kolpakov E.V., Saveliev P.A. New finding of rare fish species for Peter the Great Bay in the Japan Sea — dragonet <i>Draculo mirabilis</i> (Callionymidae)	113
Gorshunov M.B. The first finding of sockeye salmon <i>Oncorhynchus nerka</i> (Walbaum) in the Bolshaya River on Zavyalov Island	118
ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES	122
Kuznetsova N.A., Gorbatenko K.M., Figurkin A.L. Species composition, structure and biomass of zooplankton in the Chukchi Sea in August-September 2019	122
Kolpakov E.V., Nuzhdenko S.A., Sokolenko D.A. Distribution of the main taxa and dominant species of macrobentos in the seas of the East Arctic	146
Nadtochy V.A., Kolpakov N.V. Macrozoobenthos of the Olyutorsky Bay (Bering Sea) a quarter of century later: composition, distribution, communities	161
Barinova V.V., Bahareva A.A., Perunova M.E. Results of experimental studies on suppressing the growth of micromycetes (fam. Saprolegniaceae) on egg membranes of embryos of russian sturgeon and beluga in the incubation period	172
Khen G.V., Ustinova E.I., Sorokin Yu.D. Long-term changes in thermal conditions on the surface of the Far-Eastern Seas and North-West Pacific and their relationship with large-scale climate processes	187
AQUACULTURE	208
Zelennikov O.V., Myakishev M.S. To the question of the efficiency young pacific salmon at fish farms of the Sakhalin region	208
TECHNOLOGY OF HYDROBIONTS PROCESSING	225
Fedotova E.E., Korchagin V.P., Vingorodova D.D. Prospects for using fucoxanthin as a functional component of food products and beverages	225
METHODS OF INVESTIGATIONS	234
Yusupov R.R., Yusupov Rus.R. On the problem of identification for eggs of alaska plaice <i>Pleuronectes quadrituberculatus</i> (Pleuronectidae) from ichthyoplankton collections in the northern Okhotsk Sea	234

Адрес учредителя: 107140, г. Москва, ул. Верхняя Красносельская, д. 17

Адрес издателя: 690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

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 25.02.2022 г. Формат 70х108/16.

Печ. л. 15,2. Уч.-изд. л. 14,1. Тираж 70 экз.

Заказ № 4. Цена 600 р.

Выход тома в свет 25.03.2022 г.

Отпечатано в издательстве ТИНРО
690091, Владивосток, ул. Западная, 10