

ISSN 1606-9919

ИЗВЕСТИЯ ТИНРО

2021

Научный журнал
IZVESTIYA TINRO

Том 201, вып. 4

Год основания 1928



Федеральное агентство по рыболовству
(Росрыболовство)

ИЗВЕСТИЯ ТИНРО

2021

Научный журнал

Том 201, вып. 4

IZVESTIYA TINRO

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

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

Импакт-фактор РИНЦ: 0,567

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 Каназава, Япония
А.М. Орлов, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории Института океанологии им. П.П. Шишова 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. Рикашевски, д-р геогр. наук, эколог Национальное управление океанических и атмосферных исследований, Национальная служба морского рыболовства, США
Г. Руггерон, д-р биол. наук, научный сотрудник «Natural Resources Consultants Inc.», Канада
Т.Н. Слуцкая, д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник, ТИНРО; профессор, Дальрыбвтуз
Н.К. Христофорова, д-р биол. наук, проф., зав. кафедрой ДВФУ
В.П. Шунтов, д-р биол. наук, проф., главный научный сотрудник, ТИНРО
Н.С. Самойлова, начальник отдела издательство, ТИНРО – *ответственный секретарь*

Ссылки на статьи просим оформлять так: ... // Изв. ТИНРО. – 2021. – Т. 201, вып. 4. – С.

ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ

УДК [599.5+597](268.45)

**Р.Н. Клепиковский, В.А. Ившин, А.Г. Трофимов***Полярный филиал ВНИРО (ПИНРО им. Н.М. Книповича),
183038, г. Мурманск, ул. Академика Книповича, 6**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
МАССОВЫХ ВИДОВ КИТООБРАЗНЫХ И РЫБ
В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ**

Представлены результаты сравнительного анализа данных распределения малого полосатика, горбача, финвала, беломорского дельфина, морской свиньи и некоторых видов рыб в Баренцевом море, собранных в совместных российско-норвежских экосистемных съемках в августе-октябре 2005–2014 гг. Для проведения расчетов акватория Баренцева моря покрывалась равномерной сеткой с пространственными шагами 50 x 50 км, где за выбранный период внутри каждой ячейки определялось количество исследуемых морских млекопитающих и наиболее массовых видов рыб. Китообразные имели видовые особенности распределения и разную степень перекрытия с ареалами рыб: наибольшую у малого полосатика и беломорского дельфина, а наименьшую у морской свиньи. По результатам статистического анализа, для усатых китов приоритетными потенциальными объектами питания в период исследований были мойва и сайка, а для зубатых китов, в частности беломорского дельфина, — треска, пикша, путассу, окуни.

Ключевые слова: малый полосатик, горбач, финвал, беломорский дельфин, морская свинья, Баренцево море, распределение, мойва, сайка, треска.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-755-764.

Klepikovskiy R.N., Ivshin V.A., Trofimov A.G. Comparative analysis on distribution of common cetacean and fish species in the Barents Sea // *Izv. TINRO.* — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 755–764.

Comparative analysis of cetacean and fish species distribution in the Barents Sea is conducted on the data of joint Russian-Norwegian ecosystem surveys in August-October of 2005–2014. The number of observed minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*), humpback whale (*Megaptera novaeangliae*), fin whale (*Balaenoptera physalus*), white-beaked dolphin (*Lagenorhynchus albirostris*), and harbor porpoise (*Phocoena phocoena*), as well as the acoustic-measured distribution density of fishes, as capelin (*Mallotus villosus*), polar cod (*Boreogadus saida*), herring (*Clupea* sp.), cod (*Gadus morhua*), haddock (*Melanogrammus aeglefinus*), saithe (*Pollachius virens*), blue whiting (*Micromesistius poutassoumes*), redfish (*Sebastes* sp.), norway

* Клепиковский Роман Николаевич, старший специалист, e-mail: rom@pinro.ru; Ившин Виктор Анатольевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, e-mail: ivshin@pinro.ru; Трофимов Александр Георгиевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: trofimov@pinro.ru.

Klepikovskiy Roman N., senior specialist, Polar branch of VNIRO (PINRO), 6, Akademik Knipovich Street, Murmansk, 183038, Russia, e-mail: rom@pinro.ru; Ivshin Viktor A., Ph.D., senior researcher, Polar branch of VNIRO (PINRO), 6, Akademik Knipovich Street, Murmansk, 183038, Russia, e-mail: ivshin@pinro.ru; Trofimov Alexander G., Ph.D., leading researcher, Polar branch of VNIRO (PINRO), 6, Akademik Knipovich Street, Murmansk, 183038, Russia, e-mail: trofimov@pinro.ru.

pout (*Trisopterus esmarkii*), and fish fingerlings are summarized by the squares 50 x 50 km and maps of their distribution are drawn. A degree of overlapping between distributions of cetacean and fish species is estimated for each pair of species, as ratio of number of the squares where the species were presented together to total number of the squares where the species were found. Associations between cetaceans and their potential prey are determined by the methods of principal components and correlation analysis applied to the log-transformed data. Distribution of the widely distributed cetaceans, as minke whale and white-beaked dolphin, overlapped largely (up to 42 %) with many of studied fish species, therefore their possible predation on these species was significant. On the contrary, locally distributed cetaceans, such as harbor porpoise, had possibly lesser impact on fish because of low overlapping with their distribution (< 11 %). By the results of correlation analysis, capelin and polar cod were the priority potential prey for baleen whales ($p < 0.01$ and $p = 0.02$, respectively), whereas cod, haddock, blue whiting, and redfish – for toothed whales ($p = 0.02, 0.01, 0.02$, and < 0.01 , respectively), in particular for white-beaked dolphin.

Key words: minke whale, humpback whale, fin whale, white-beaked dolphin, harbor porpoise, Barents Sea, distribution, capelin, polar cod, herring, cod.

Введение

Морские млекопитающие являются консументами второго порядка, и считается, что они оказывают существенное влияние на структуру и функционирование сообществ, в которых обитают [Bowen, 1997; Wassmann et al., 2006; Kovacs et al., 2009]. В летний период северные акватории становятся благоприятными местами нагула усатых китов, годовой цикл которых включает миграции из мест размножения в высокие широты и обратно [Haug et al., 2011].

В последние годы отмечается расширение ареалов некоторых видов китообразных и более продолжительное их пребывание на акватории Баренцева моря, обусловленное происходящими климатическими изменениями в сторону потепления. Устойчивый теплый период в Баренцевом море наблюдается с 2000 г. [Трофимов и др., 2018].

Баренцево море является районом активного рыбного промысла. В настоящее время запасы многих видов рыб эксплуатируются здесь достаточно интенсивно, и для эффективного управления промыслом нужен многовидовой подход, учитывающий в том числе и влияние морских млекопитающих. С конца 1980-х гг. российскими и норвежскими учеными стали разрабатываться многовидовые модели при управлении промыслом в Баренцевом море. На практике при реализации многовидового подхода к управлению эксплуатацией биоресурсов пищевые потребности морских млекопитающих должны быть составной частью рыбохозяйственных прогнозов и одним из элементов при обосновании стратегии промысла [Филин, 2002].

В современных условиях определение объектов питания для большинства видов китообразных напрямую невозможно, не считая редких случаев сбора материала от попавших в орудия лова или выброшенных на берег животных. Исключением может быть только малый полосатик, промысел которого в настоящее время в Баренцевом море в своих водах ведет Норвегия. В то же время благодаря проведению комплексных экосистемных съемок, когда исследуется все морское сообщество, можно установить основные потенциальные объекты питания для китов и дельфинов путем определения взаимосвязи их распределения с распространением других гидробионтов, в первую очередь рыб. Таким образом, сравнительный анализ распределения массовых видов китообразных и рыб в Баренцевом море представляется достаточно актуальным. Подобные исследования ранее проводились норвежскими коллегами, но только для западных районов Баренцева моря [Skern-Mauritzen et al., 2011; Fall, Skern-Mauritzen, 2014].

Цель данной работы — определить потенциальные кормовые объекты основных видов китообразных в Баренцевом море и смежных водах, а именно: малого полосатика *Balaenoptera acutorostrata*, горбача *Megaptera novaeangliae*, финвала *Balaenoptera physalus*, беломорского дельфина *Lagenorhynchus albirostris* и морской свиньи *Phocoena phocoena* — путем сравнительного анализа их встречаемости с распределением не-

которых видов рыб: мойвы *Mallotus villosus*, сайки *Boreogadus saida*, сельди *Clupea* sp., трески *Gadus morhua*, пикши *Melanogrammus aeglefinus*, сайды *Pollachius virens*, 0-группы рыб (молодь рыб в возрасте до 1 года), путассу *Micromesistius poutassou*, окуней *Sebastes* sp. и тресочки Эсмарка *Trisopterus esmarkii*.

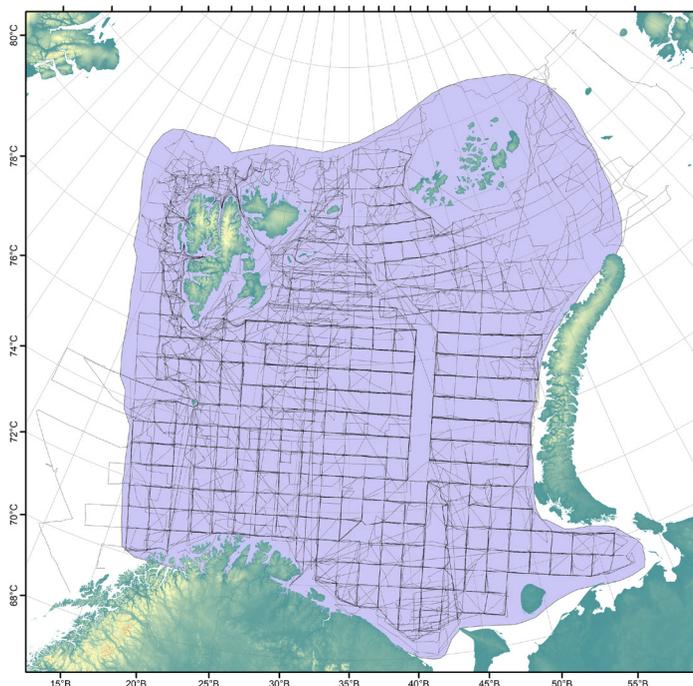
Материалы и методы

Материалом для работы послужили данные о распределении китообразных и рыб, собранные в совместных российско-норвежских экосистемных съемках Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» (ПИНРО им. Н.М. Книповича, г. Мурманск, Россия) и Института морских исследований (IMR, г. Берген, Норвегия) в августе-октябре 2005–2014 гг., результаты которых отражены в соответствующих отчетах*.

Благодаря объединенным усилиям российских и норвежских судов в ходе этих съемок исследованиями охватывались практически все Баренцево море и часть прилегающих вод (рис. 1).

Рис. 1. Район исследований и маршруты судов во время российско-норвежских экосистемных съемок Баренцева моря в августе-октябре 2005–2014 гг.

Fig. 1. Study area and tracks of research vessels during Russian-Norwegian ecosystem surveys in the Barents Sea in August-October of 2005–2014



* Anon. Survey report from the Joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea August-October 2005. Vol. 1: IMR/PINRO Joint Report Series. 2005. № 3/2005. 99 p.; Anon. Survey report from the Joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea August-October 2006. Vol. 1: IMR/PINRO Joint Report Series. 2006. № 2/2006. 97 p.; Anon. Survey report from the Joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea August-October 2007. Vol. 1: IMR/PINRO Joint Report Series. 2007. № 4/2007. 97 p.; Anon. Survey report from the Joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea August-October 2008. Vol. 1: IMR/PINRO Joint Report Series. 2009. № 1/2009. 103 p.; Anon. Survey report from the Joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea August-October 2009: IMR/PINRO Joint Report Series. 2010a. № 2/2010. 118 p.; Anon. Survey report from the Joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea August-September 2010: IMR/PINRO Joint Report Series. 2010b. № 4/2010. 108 p.; Anon. Survey report from the Joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea August-October 2011: IMR/PINRO Joint Report Series. 2011. № 3/2011. 118 p.; Eriksen E. (ed.) Survey report from the Joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea August-October 2012: IMR/PINRO Joint Report Series. 2012. № 2/2012. 139 p.; Eriksen E. (ed.) Survey report from the Joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea and adjacent waters, August-October 2015: IMR/PINRO Joint Report Series. 2015. № 1/2015. 153 p.; Prokhorova T. (ed.) Survey report from the Joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea and adjacent waters, August-October 2013: IMR/PINRO Joint Report Series. 2013. № 4/2013. 131 p.

Рассматриваемые экосистемные съемки являются тралово-акустическими (ТАС). В ходе их проведения оценка особенностей распределения гидробионтов проводится акустическими методами с идентификацией уловов на основе контрольных тралений.

Во время ТАС российские и норвежские научные суда следуют по запланированным галсам, расстояние между которыми не превышает 35 мор. миль, а в местах наиболее плотных скоплений рыб составляет 10–15 мор. миль. Сбор акустических данных осуществляется при помощи эхолота ЕК-60 на частоте 38 кГц, информация сохраняется по 5-мильным отрезкам в файлы формата *.raw. Обработка эхограмм выполняется программным обеспечением (ПО) LSSS 1.9.0, где их идентификация и разделение акустических значений (S_A — площадь отраженной поверхности, м²/мор. миля²) по видам гидробионтов выполняется для всей толщи воды, за исключением 30-сантиметрового слоя над грунтом*.

В период съемки выполняются постоянные наблюдения за морскими млекопитающими по принятым методикам [Buckland, Turnock, 1992; Buckland et al., 2001; Изучение экосистем..., 2004]. Основные визуальные учеты проводятся во время переходов судна на скорости около 8–10 уз. между запланированными точками станций или тралений и выполняются либо с мостика, либо с пеленгаторной палубы одним или двумя наблюдателями одновременно. Контролируемый сектор обзора до 180°. Наблюдения осуществляются невооруженным глазом, а для уточнения видовой принадлежности отмечаемых животных используется бинокль. Все встреченные морские млекопитающие определяются до вида, а в случае невозможности видового определения записываются как «неустановленный» (н.у.), например, кит н.у., дельфин н.у., тюлень н.у.

С помощью ПО ArcMap 10.2 акватория Баренцева моря и прилегающих вод была разделена на сетку 50 x 50 км, где в каждой ячейке формировались временные ряды суммы акустических значений (S_A) мойвы, сайки, сельди, трески, пикши, сайды, 0-группы рыб, путассу, окуней, тресочки Эсмарка и количества отмеченных малых полосатиков, горбачей, финвалов, беломордых дельфинов и морских свиной за период 2005–2014 гг. Для приведения данных к квазинормальному закону распределения было выполнено их логарифмирование (lg). По сформированным рядам проводились корреляционный и компонентный анализы [Елисеева, Юзбашев, 2004; Коросов, Горбач, 2017].

Также с использованием сгруппированных по ячейкам (50 x 50 км) сетки данных определялась степень перекрытия ареалов китообразных и рыб. Эта величина, выраженная в процентах, рассчитывалась как отношение площади перекрытия ареалов морских млекопитающих и рыб к площади их общего распространения в Баренцевом море, при этом не учитывались количественные особенности их распределения в различных районах.

В работе использовались программы StatGraphics Centurion XIX, MS Excel 2019, CorelDRAW X3.

Результаты и их обсуждение

Малый полосатик, горбач, финвал, беломордый дельфин и морская свинья — одни из главных потребителей рыбных запасов в Баренцевом море среди китообразных. Это достаточно многочисленные виды, основной пресс на запасы рыб от которых на изучаемой акватории наблюдается в летне-осенний период.

Малый полосатик является вторым по значимости после гренландского тюленя *Pagophilus groenlandicus* потребителем гидробионтов в экосистеме Баренцева моря. В Северной Атлантике малый полосатик кормится преимущественно рыбой — в пище-

* Методическое пособие по проведению инструментальных съемок запасов промысловых гидробионтов в районах исследований ПИНРО. Мурманск: ПИНРО, 2006. 99 с.; Manual for conducting the joint «Autumn Ecosystem-survey» in the Barents Sea: Work. Doc. Revised by team økotokt. Version 6.0-08.2011. Bergen: IMR, 2011. 44 p.

вой рацион входят песчанка *Ammodytes* sp., семга *Salmo salar*, мойва, сайка, скумбрия *Scomber scombrus*, треска, мерланг *Merlangius merlangus*, килька *Clupeonella* sp., зубатки *Anarhichas* sp., сайда, пикша, сельдь, а также эвфаузииды Euphausiacea и копеподы Copepoda [Stewart, Leatherwood, 1985]. По разным оценкам численность малого полосатика, заходящего в Баренцево море на откорм, составляет 40–62 тыс. особей [Skaug et al., 2004; Haug et al., 2011]. При этом в период с 1995 по 2015 г. летняя численность малых полосатиков была довольно стабильной, но в последние годы значительно увеличилась, до 73 тыс. особей [Øien, Klepikovskiy, 2020].

Горбач населяет Мировой океан от тропиков до арктических и антарктических вод, являясь крупным китом, при этом совершает регулярные кормовые миграции в высокие широты [Larsen et al., 1996]. Видовой состав пищи горбачей гораздо разнообразнее, чем у других видов полосатиков. Основные объекты питания — рыбы и макропланктон [Атлас..., 1980]. Среди рыб отмечали сельдь, мойву, скумбрию, песчанку [Hain et al., 1982]. В норвежских и прилегающих водах, в том числе в Баренцевом море, летом обитает около 1450 горбачих китов [Øien, 2009]. При этом в последние годы наблюдается увеличение численности пребывающих в Баренцевом море горбачих до 4000 экз. [Øien, Klepikovskiy, 2020].

Финвал по размерам уступает лишь синему киту. Распространен в большинстве морей и океанов. В Северной Атлантике финвал встречается почти повсеместно, в том числе и в Баренцевом море [Атлас..., 1980]. Его пищевой рацион отличается большим разнообразием, в него входят криль, копеподы и пелагические рыбы: мойва, молодь сельди, скумбрия, путассу, иногда небольшие кальмары Teuthida [Aguilar, 2009]. Численность финвалов в норвежских и прилегающих водах составляет около 6400 экз., в том числе заходящих в Баренцево море 1800 экз. [Øien, 2009].

Беломордый дельфин обитает в северной части Атлантического океана, где занимает довольно большой ареал. В Баренцевом море является самым многочисленным представителем зубатых китов [Haug et al., 2011]. Беломордый дельфин находится на акватории Баренцева моря круглый год. Питается стайными рыбами (сельдь, треска, пикша, путассу и мойва), а также кальмарами и ракообразными Crustacea [Kinze, 2002]. Размер популяции беломордого дельфина в Баренцевом море может составлять 60–70 тыс. особей [Øien, 1993].

Морская свинья, как и беломордый дельфин, обитает в северной части Атлантического океана. В Баренцевом море встречается преимущественно в его южной части. По характеру питания бентоихтиофаг, кормится преимущественно рыбой (сельдь, мойва), кальмарами и придонными беспозвоночными [Bjørge, Tolley, 2009]. Численность морской свиньи в Баренцевом море и прилегающих акваториях определена в 11 тыс. особей [Bjørge, Øien, 1995].

В ходе проведенных исследований на основе данных, просуммированных за период 2005–2014 гг. и сгруппированных в ячейках сетки с пространственными шагами 50 x 50 км, были построены карты распределения малого полосатика, горбача, финвала, беломордого дельфина и морской свиньи. Также построены карты распределения основных видов рыб, определяемых акустическими методами: мойвы, сайки, сельди, трески, пикши, сайды, 0-группы рыб, путассу, окуней и тресочки Эсмарка (рис. 2).

Полученные карты показали широкое распределение малого полосатика и беломордого дельфина практически на всей акватории Баренцева моря, что свидетельствует о пересечении их области обитания с ареалами всех использованных для анализа рыб. Финвал и горбач регистрировались преимущественно в западных районах, концентрируясь на участках, примыкающих к архипелагу Шпицберген. Морская свинья встречалась только на юге Баренцева моря и в меньшей степени могла пересекаться с ареалами упомянутых выше рыб.

На рис. 3 показана степень перекрытия ареалов китообразных и рыб, рассмотренных в проведенном исследовании.

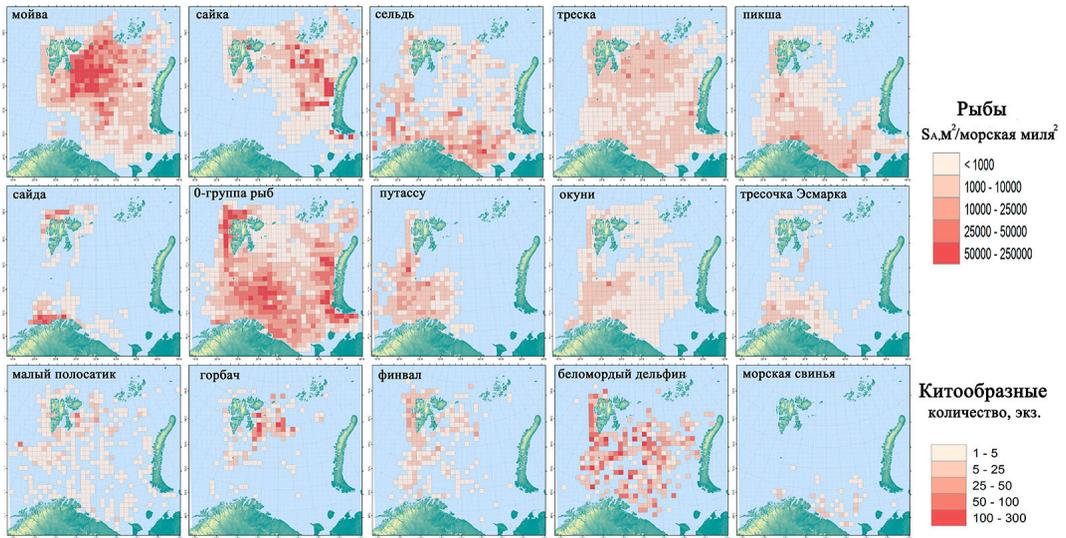


Рис. 2. Распределение рыб и китообразных в Баренцевом море по данным российско-норвежских экосистемных съемок 2005–2014 гг.

Fig. 2. Distribution of fish and cetacean species in the Barents Sea according to data of Russian-Norwegian ecosystem surveys in 2005–2014

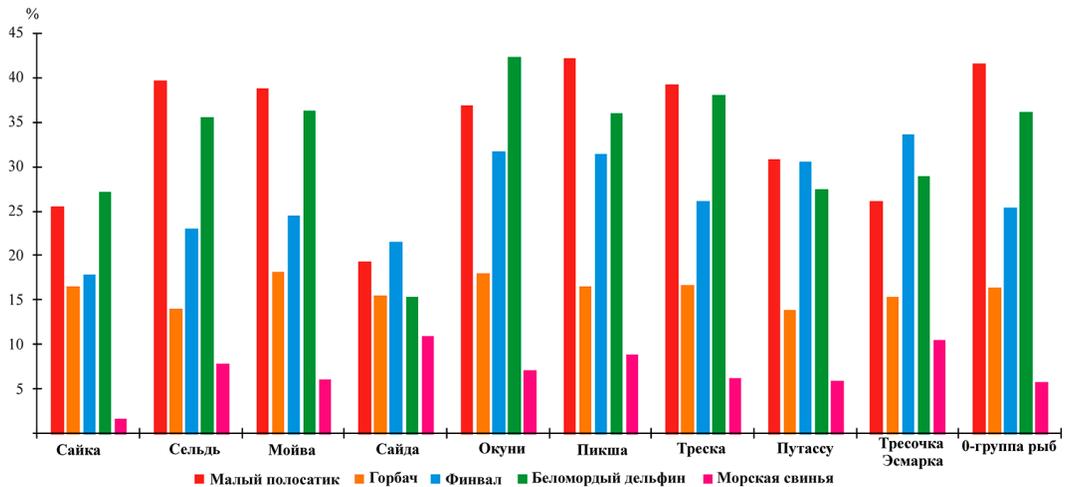


Рис. 3. Степень перекрытия (%) ареалов китообразных с ареалами рыб в Баренцевом море по данным российско-норвежских экосистемных съемок 2005–2014 гг.

Fig. 3. Overlapping (%) of cetacean and fish species distribution in the Barents Sea according to data of Russian-Norwegian ecosystem surveys in 2005–2014

Малый полосатик благодаря своему широкому распространению имел большое перекрытие с ареалами многих рыб, преимущественно пикши (42 %), 0-группы рыб (42 %), сельди (40 %), мойвы (39 %), трески (39 %) и окуней (37 %). Горбач, встречающийся более локально по сравнению с малым полосатиком, обладал меньшим (в среднем на 18 %) перекрытием, и его распределение в основном совпадало с ареалами мойвы (18 %), окуней (18 %), сайки (17 %), трески (17 %) и пикши (17 %). У финвала этот показатель был высоких значений с тресочкой Эсмарка (34 %), пикшей (32 %), окунями (32 %), путассу (31 %), треской (26 %) и 0-группой рыб (26 %). Беломордый дельфин, как и малый полосатик, широко распределялся на акватории исследований, его ареал в большей степени перекрывался с окунями (42 %), треской (38 %), сельдью (36 %), мойвой (36 %), пикшей (36 %) и 0-группой рыб (36 %). Морская свинья в связи

с наименьшим распространением по сравнению с другими видами рассматриваемых китообразных имела невысокую степень площадного перекрытия с ареалами рыб (в среднем всего 7 %), преимущественно это были сайда (11 %), тресочка Эсмарка (11 %), пикша (9 %) и сельдь (8 %).

В границах полученного ареала каждого вида рассматриваемых китообразных были проведены компонентный и корреляционный анализы количества животных с S_A рыб (рис. 4, см. таблицу).

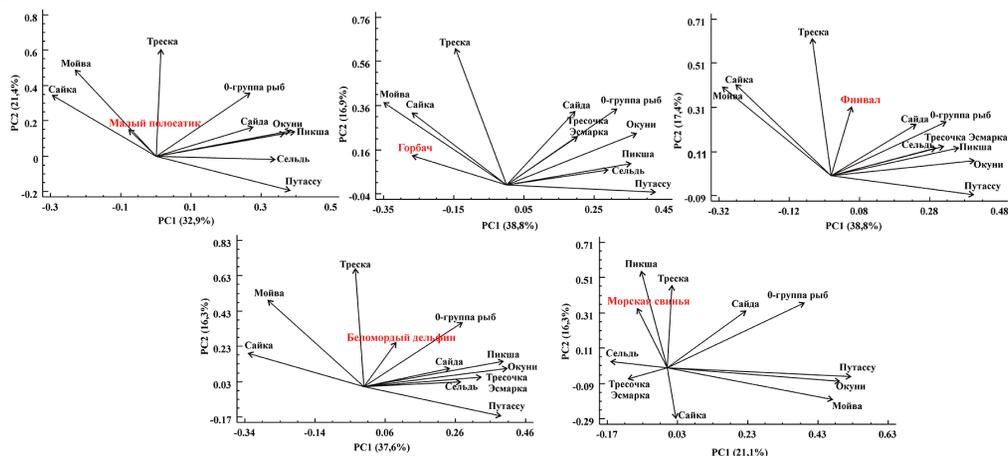


Рис. 4. Результаты компонентного анализа логарифмированных данных численности китообразных и S_A рыб, полученных в Баренцевом море в экосистемных съемках 2005–2014 гг.

Fig. 4. Results of the principal components analysis of log-transformed data on cetacean and fish species abundance in the Barents Sea during ecosystem surveys in 2005–2014

Результаты корреляционного анализа логарифмированных данных численности китообразных и S_A рыб, полученных в Баренцевом море в экосистемных съемках 2005–2014 гг.
Results of the correlation analysis of log-transformed data on cetacean and fish species abundance in the Barents Sea during ecosystem surveys in 2005–2014

Рыба		Малый полосатик (314)	Горбач (121)	Финвал (187)	Беломордый дельфин (263)	Морская свинья (42)
Сайка	1	0,2102	0,2038	0,2071	-0,0683	-0,1429
	2	0,0002	0,0249	0,0045	0,2700	0,3667
Сельдь	1	-0,0255	-0,3093	0,0351	0,0455	-0,1469
	2	0,6531	0,0006	0,6339	0,4627	0,3533
Мойва	1	0,2316	0,4440	0,0301	0,0678	-0,2414
	2	0,0000	0,0000	0,6831	0,2734	0,1235
Сайда	1	0,0422	-0,1399	0,2067	0,0781	0,2864
	2	0,4564	0,1258	0,0045	0,2069	0,0659
Окунь	1	-0,0469	-0,4414	0,0851	0,1596	-0,0215
	2	0,4075	0,0000	0,2468	0,0095	0,8925
Пикша	1	-0,1382	-0,2776	0,0971	0,1532	0,0646
	2	0,0142	0,0020	0,1863	0,0128	0,6843
Треска	1	0,1196	0,2933	0,1479	0,1494	0,1175
	2	0,0342	0,0011	0,0434	0,0153	0,4588
Путассу	1	0,0061	-0,3481	0,1404	0,1426	-0,1285
	2	0,9149	0,0001	0,0552	0,0207	0,4173
Тресочка Эсмарка	1	0,0158	0,0771	0,1685	0,0934	-0,0664
	2	0,7810	0,4005	0,0212	0,1307	0,6763
0-группа рыб	1	-0,1018	-0,3704	0,0614	0,1447	-0,0230
	2	0,0717	0,0000	0,4036	0,0189	0,8850

Примечание. 1 — коэффициент корреляции Пирсона, 2 — уровень значимости (p-value), в скобках указана длина ряда.

Компонентный и корреляционный анализы показали достаточно тесную положительную связь сайки с малым полосатиком, горбачом и финвалом ($p = 0,0002; 0,0249; 0,0045$), в то время как мойва коррелировала только с малым полосатиком и горбачом ($p = 0,0000$ для обоих видов). Из прочих рыб, тесно связанных со всеми тремя видами усатых китов *Mysticeti*, наблюдалась только треска ($p = 0,0011-0,0434$), которая, по нашему мнению, не была для них основным кормовым объектом. Треска коррелировала с китами из-за того, что встречалась там же, где скапливались мойва и сайка, являющиеся для нее, как и для морских млекопитающих, важными объектами питания. В отличие от малого полосатика и горбача, у финвала положительная корреляция отмечалась также с сайдой ($p = 0,0045$) и тресочкой Эсмарка ($p = 0,0212$). Из рассматриваемых зубатых китов *Odontoceti* положительная тесная связь с окунями ($p = 0,0095$), пикшей ($p = 0,0128$), треской ($p = 0,0153$) и путассу ($p = 0,0207$) была только у беломордого дельфина. С 0-группой рыб данный вид также коррелировал ($p = 0,0189$), но из-за своих биологических особенностей (предпочитает более крупных гидробионтов), скорее всего, не питался ею. Для морской свиньи значимых корреляций выявлено не было.

Заключение

В целом, как показали проведенные исследования, изучаемые китообразные имели видовые особенности распределения и разную степень перекрытия с ареалами рыб в Баренцевом море. Чем более распространенным был вид на акватории исследований (малый полосатик, беломордый дельфин), тем больше была степень перекрытия его ареала с ареалами исследуемых рыб, и, соответственно, возможное влияние (пресс хищничества) на них тоже было более значительным. И наоборот, чем более локальным был вид (морская свинья), тем меньше была степень перекрытия его ареала с ареалами рассматриваемых рыб, а соответственно, меньше было и влияние. Более детальный статистический анализ связи исследуемых китообразных с рыбами в пределах полученных ареалов с учетом количественных данных показал, что у усатых китов приоритетными потенциальными объектами питания в августе-октябре были мойва и сайка, а у зубатых китов, в частности у беломордого дельфина, — треска, пикша, путассу, окуни.

Список литературы

- Атлас морских млекопитающих СССР / под ред. д-ра биол. наук В.А. Земского. — М. : Пищ. пром-сть, 1980. — 183 с.
- Елисева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики : учеб. / под ред. И.И. Елисеевой. — 5-е изд., перераб. и доп. — М. : Финансы и статистика, 2004. — 656 с.
- Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. Вып. 1. Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях Европейского Севера и Северной Атлантики. 2-е изд., испр. и доп. / отв. ред. М.С. Шевелев. — М. : ВНИРО, 2004. — 300 с.
- Коросов А.В., Горбач В.В. Компьютерная обработка биологических данных : учеб. пособие. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2017. — 97 с.
- Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Ившин В.А. Изменения климата в Баренцевом море на протяжении последнего полувека // Тр. ВНИРО. — 2018. — Т. 173. — С. 79–91.
- Филин А.А. Подход к управлению эксплуатацией рыбных ресурсов Баренцева моря с учетом пищевых потребностей морских млекопитающих // Морские млекопитающие Голарктики : тез. докл. 2-й Междунар. конф. — М., 2002. — С. 267–268.
- Aguilar A. Fin Whale: *Balaenoptera physalus* // Encyclopedia of Marine Mammals. — 2 ed. — 2009. — P. 433–437. DOI: 10.1016/B978-0-12-373553-9.00102-4.
- Björge A.J., Tolley K.A. Harbou Porpoise: *Phocoena phocoena* // Encyclopedia of Marine Mammals. — 2 ed. — 2009. — P. 530–533. DOI: 10.1016/B978-0-12-373553-9.00125-5.
- Björge A.J., Øien N. Distribution and abundance of harbour porpoise, *Phocoena phocoena*, in Norwegian waters // Report of the International Whaling Commission. — 1995. — Spec. Iss. 16. — P. 89–98.

- Bowen W.D.** Role of marine mammals in aquatic ecosystems // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* — 1997. — Vol. 158. — P. 267–274.
- Buckland S.T., Anderson D.R., Burnham K.P. et al.** Introduction to Distance Sampling. — N.Y. : Oxford Univ. Press, 2001. — 432 p.
- Buckland S.T., Turnock B.J.** A robust line transect method // *Biometrics.* — 1992. — Vol. 48(3). — P. 901–909.
- Fall J., Skern-Mauritzen M.** White-beaked dolphin distribution and association with prey in the Barents Sea // *Mar. Biol. Res.* — 2014. — Vol. 10, Iss. 10. — P. 957–971. DOI: 10.1080/17451000.2013.872796.
- Hain J.H.W., Carter G.R., Kraus S.D. et al.** Feeding behaviour of the humpback whale, *Megaptera novaeangliae*, in the western North Atlantic // *Fish. Bull.* — 1982. — Vol. 80, № 2. — P. 259–268.
- Haug T., Bjørge A., Øien N. et al.** Marine mammals of the Barents Sea // *The Barents Sea: ecosystem, resources, management: Half a century of Russian-Norwegian cooperation.* — Trondheim : Tapir Academic Press, 2011. — P. 395–430.
- Kinze C.C.** White-beaked dolphin *Lagenorhynchus albirostris* // *Encyclopedia of Marine Mammals.* — San Diego : Academic Press, 2002. — P. 94–99.
- Kovacs K., Haug T., Lydersen C.** Marine Mammals of the Barents Sea // *Ecosystem Barents Sea.* — Trondheim : Tapir Academic Press, 2009. — P. 453–496.
- Larsen A.H., Sigurjonsson J., Øien N. et al.** Populations genetic analysis of nuclear and mitochondrial loci in skin biopsies collected from central and northeastern North Atlantic humpback whales (*Megaptera novaeangliae*): population identity and migratory destinations // *Proc. Biol. Sci.* — 1996. — Vol. 263. — P. 1611–1618. DOI: 10.1098/rspb.1996.0236.
- Øien N.** A note on *Lagenorhynchus* species in Norwegian waters : ICES Study Group on Seals and Small Cetaceans in European Seas. — 1993. — 9 p.
- Øien N.** Distribution and abundance of large whales in Norwegian and adjacent waters based on ship surveys 1995–2001 // *NAMMCO Sci. Publ.* — 2009. — Vol. 7. — P. 31–47. DOI: 10.7557/3.2704.
- Øien N., Klepikovskiy R.N.** Marine mammals // Working Group on the Integrated Assessments of the Barents Sea (WGIBAR). ICES Scientific Reports. — 2020. — Vol. 2, Iss. 30. — P. 117–120.
- Skaug H.J., Øien N.I., Schweder T., Bøthun G.** Abundance of minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*) in the Northeastern Atlantic // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* — 2004. — Vol. 61, № 6. — P. 870–886. DOI: 10.1139/f04-020.
- Skern-Mauritzen M., Johannesen E., Bjørge A., Øien N.I.** Baleen whale distributions and prey associations in the Barents Sea // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* — 2011. — Vol. 426. — P. 289–301. DOI: 10.3354/meps09027.
- Stewart B.S., Leatherwood S.** Minke whale *Balaenoptera acutorostrata* Lacepede, 1804 // *Handbook of Marine Mammals.* — San Diego : Academic Press, 1985. — Vol. 3. — P. 91–136.
- Wassmann P., Reigstad M., Haug T. et al.** Food webs and carbon flux in the Barents Sea // *Progr. Oceanogr.* — 2006. — Vol. 71, Iss. 2–4. — P. 232–287. DOI: 10.1016/j.pcean.2006.10.003.

References

- Atlas morskikh mlekopitayushchikh SSSR* (Atlas of Marine Mammals of the USSR), Zemsky, V.A., ed., Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1980.
- Eliseeva, I.I. and Yuzbashev, M.M.,** General theory of statistics, Eliseeva, I.I., ed., 5th ed., rev. and add., Moscow: Finansy i statistika, 2004.
- A study of ecosystems in fishery water areas, collection and processing of data on aquatic biological resources, and techniques and technology for their harvesting and processing, in *Instruktsii i metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke biologicheskoi informatsii v moryakh Evropeiskogo Severa i Severnoi Atlantiki* (Instructions and Methodical Recommendations for the Collection and Processing of Biological Information in the Seas of the European North and North Atlantic), Shevelev, M.S., ed., Moscow: VNIRO, 2004, 2nd ed., no. 1.**
- Korosov, A.V. and Gorbach, V.V.,** *Komp'yuternaya obrabotka biologicheskikh dannykh* (Computer processing of biological data), Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2017.
- Trofimov, A.G., Karsakov, A.L., and Ivshin, V.A.,** Climate changes in the Barents Sea over the last half century, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 173, pp. 79–91.
- Filin, A.A.,** An approach to the management of the exploitation of fish resources in the Barents Sea taking into account the nutritional needs of marine mammals, in *Tezisy dokl. 2 mezhdunar. konf. "Morskiye mlekopitayushchiye Golarktiki"* (Proc. 2nd Int. Conf. "Marine Mammals of the Holarctic"), Moscow, 2002, pp. 267–268.

- Aguilar, A.**, Fin Whale: *Balaenoptera physalus*, *Encyclopedia of Marine Mammals*, 2 ed., 2009, pp. 433–437. doi 10.1016/B978-0-12-373553-9.00102-4
- Bjørge, A.J. and Tolley, K.A.**, Harbou Porpoise: *Phocoena phocoena*, *Encyclopedia of Marine Mammals*, 2 ed., 2009, pp. 530–533. doi 10.1016/B978-0-12-373553-9.00125-5
- Bjørge, A.J. and Øien, N.**, Distribution and abundance of harbour porpoise, *Phocoena phocoena*, in Norwegian waters, *Report of the International Whaling Commission*, 1995, spec. no. 16, pp. 89–98.
- Bowen, W.D.**, Role of marine mammals in aquatic ecosystems, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1997, vol. 158, pp. 267–274.
- Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., Borchers, D.L., and Thomas, L.**, *Introduction to Distance Sampling*, N.Y.: Oxford Univ. Press, 2001.
- Buckland, S.T. and Turnock, B.J.**, A robust line transect method, *Biometrics*, 1992, vol. 48(3), pp. 901–909.
- Fall, J. and Skern-Mauritzen, M.**, White-beaked dolphin distribution and association with prey in the Barents Sea, *Mar. Biol. Res.*, 2014, vol. 10, no. 10, pp. 957–971. doi 10.1080/17451000.2013.872796
- Hain, J.H.W., Carter, G.R., Kraus, S.D., Mayo, C.A., and Winn, H.E.**, Feeding behaviour of the humpback whale, *Megaptera novaeangliae*, in the western North Atlantic, *Fish. Bull.*, 1982, vol. 80, no. 2, pp. 259–268.
- Haug, T., Bjørge, A., Øien, N., Ziryayov, S.V., Golikov, A.P.**, Marine mammals of the Barents Sea, *The Barents Sea: ecosystem, resources, management: Half a century of Russian-Norwegian cooperation*, Trondheim: Tapir Academic Press, 2011, pp. 395–430.
- Kinze, C.C.**, White-beaked dolphin *Lagenorhynchus albirostris*, *Encyclopedia of Marine Mammals*, San Diego: Academic Press, 2002, pp. 94–99.
- Kovacs, K., Haug, T., and Lydersen, C.**, Marine Mammals of the Barents Sea, *Ecosystem Barents Sea*, Trondheim: Tapir Academic Press, 2009, pp. 453–496.
- Larsen, A.H., Sigurjonsson, J., Øien, N., Vikingsson, G., and Palsboll, P.J.**, Populations genetic analysis of nuclear and mitochondrial loci in skin biopsies collected from central and north-eastern North Atlantic humpback whales (*Megaptera novaeangliae*): population identity and migratory destinations, *Proc. Biol. Sci.*, 1996, vol. 263, pp. 1611–1618. doi 10.1098/rspb.1996.0236
- Øien, N.**, A note on *Lagenorhynchus* species in Norwegian waters, *ICES Study Group on Seals and Small Cetaceans in European Seas*, 1993.
- Øien, N.**, Distribution and abundance of large whales in Norwegian and adjacent waters based on ship surveys 1995–2001, *NAMMCO Sci. Publ.*, 2009, vol. 7, pp. 31–47. doi 10.7557/3.2704
- Øien, N. and Klepikovskiy, R.N.**, Marine mammals, *Working Group on the Integrated Assessments of the Barents Sea (WGIBAR)*. *ICES Scientific Reports*, 2020, vol. 2, no. 30, pp. 117–120.
- Skaug, H.J., Øien, N.I., Schweder, T., and Bøthun, G.**, Abundance of minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*) in the Northeastern Atlantic, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2004, vol. 61, no. 6, pp. 870–886. doi 10.1139/f04-020
- Skern-Mauritzen, M., Johannesen, E., Bjørge, A., and Øien, N.I.**, Baleen whale distributions and prey associations in the Barents Sea, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2011, vol. 426, pp. P. 289–301. doi 10.3354/meps09027
- Stewart, B.S. and Leatherwood, S.**, Minke whale *Balaenoptera acutorostrata* Lacepede, 1804, *Handbook of Marine Mammals*, San Diego: Academic Press, 1985, vol. 3, pp. 91–136.
- Wassmann, P., Reigstad, M., Haug, T., Rudels, B., Carroll, M.L., Hop, H., Gabrielsen, G.W., Falk-Petersen, S., Denisenko, S.G., Arashkevich, E., Slagstad, D., and Pavlova, O.**, Food webs and carbon flux in the Barents Sea, *Progr. Oceanogr.*, 2006, vol. 71, no. 2–4, pp. 232–287. doi 10.1016/j.pocean.2006.10.003

Поступила в редакцию 21.07.2021 г.

После доработки 29.09.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

УДК 597–153(268.56)



Н.А. Кузнецова, К.М. Горбатенко*
Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

ПИТАНИЕ САЙКИ, МИНТАЯ И ДРУГИХ ПЕЛАГИЧЕСКИХ РЫБ И ИХ ПИЩЕВАЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ В ЧУКОТСКОМ МОРЕ В АВГУСТЕ–СЕНТЯБРЕ 2019 Г.

В летний период 2019 г. состав пищи и накормленность рыб различались по районам и отражали региональные особенности кормовой базы. Основными пищевыми компонентами были копеподы и эвфаузииды, причем соотношение этих пищевых компонентов менялось, но оставалось постоянным их преобладание. В западной части Чукотского моря основными потребителями пищевых ресурсов были сайка и минтай 40–70 см (за сутки 12,24 т/км²), соответственно 3,85 и 8,38 т/км². У сайки основной рацион из зоопланктона (3,0 т/км²) составляли копеподы (1,27 т/км²), причем не только крупные, но и виды мелкой и средней фракций. У крупного минтая 40–70 см половину кормовых компонентов составляли рыбы (4,05 т/км²), зоопланктон (3,01 т/км²), в основном эвфаузииды (2,6 т/км²). Общий запас сетного зоопланктона (55,2 т/км²) в 7 раз превышал количество выедаемого зоопланктона, и в качестве резервной пищи оставались мало используемые кишечноротовые, сагитты и прочие виды планктона, а также придонные виды и мелкий нектон. Отмечена высокая интенсивность питания как сайки, так и минтая, СПР составляли 7,4–9,4 и 3,4–4,7 % от массы тела. Можно говорить о достаточной обеспеченности пищей в 2019 г. В восточной части моря, где на севере доминировали сайка и песчанка, а на юге — минтай и песчанка, 80 % суммарного рациона сеголеток минтая, песчанки и сайки слагали копеподы (50,5 %), эвфаузииды (12,0 %) и ойкоплевры (17,0 %). В южном районе соотношение планктон–рацион было почти в 2 раза выше, чем в северном. Сеголетки минтая и песчанки питались весьма интенсивно, отмечены высокие ИНЖ — 114,8 и 262,0 ‰. Интенсивность питания в северном районе была ниже, ИНЖ у сайки — 87 ‰, у песчанки — 47 ‰, что свидетельствует о более низкой обеспеченности пищей в северном районе и достаточной — в южном.

Ключевые слова: Чукотское море, питание, рацион, минтай, сайка, песчанка, сеголетки, интенсивность питания, потребление.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-765-783.

Kuznetsova N.A., Gorbatenko K.M. Feeding of arctic cod, walleye pollock, and other pelagic fish and their food supply in the Chukchi Sea in August–September, 2019 // *Izv. TINRO*. — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 765–783.

Data on feeding of fish are presented collected in the western Chukchi Sea aboard RV «Professor Levanidov» and in the eastern Chukchi Sea aboard RV «Ocean Starr» in August–

* Кузнецова Наталья Алексеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: natalya.kuznetsova@tinro-center.ru; Горбатенко Константин Михайлович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, e-mail: konstantin.gorbatenko@tinro-center.ru.

Kuznetsova Natalia A., Ph.D., leading researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: natalya.kuznetsova@tinro-center.ru; Gorbatenko Konstantin M., D.Biol., principal researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: konstantin.gorbatenko@tinro-center.ru.

September, 2019. The feeding was different by areas of the sea and reflected regional features of food base. Copepods and euphausiids were the main components of the diet, though their ratio varied. In the western Chukchi Sea, arctic cod and walleye pollock (40–70 cm) were the main consumers of food resources and consumed on average 3.85 and 8.38 t/km² per day, respectively. The diet of walleye pollock included fish (4.05 t/km² · day) and zooplankton (3.01 t/km² · day, mostly euphausiids — 2.60 t/km² · day). Arctic cod consumed predominantly zooplankton (3.00 t/km² · day, mostly copepods — 1.27 t/km² · day, but also small- and medium-sized species). The total stock of net zooplankton (55.2 t/km²) exceeded in 7 times daily consumption of zooplankton. Coelenterates, arrowworms, other plankton species, benthic species, and small-sized nekton were consumed by fish poorly. Daily food ration of arctic cod and walleye pollock was estimated as 7.4–9.4 % and 3.4–4.7 % of their body weight, respectively, so the food supply of these species in the western Chukchi Sea was quite sufficient in 2019. In the eastern Chukchi Sea, the diet of juveniles of walleye pollock, sand lance and arctic cod included mainly copepods (50.5 %), euphausiids (12.0 %) and oikopleura (17.0 %). Ratio of zooplankton stock to daily consumption was twice higher in the southern part of the eastern Chukchi Sea than in its northern part. The consumption was also higher in the southern area where the index of stomach fullness reached 114.8 ‰ for pollock juveniles and 262.0 ‰ for sand lance juveniles, whereas it was 87 ‰ for juvenile arctic cod and 47 ‰ for juvenile sand lance in the northern area.

Key words: Chukchi Sea, feeding, diet, walleye pollock, arctic cod, sand lance, juvenile, feeding intensity, consumption.

Введение

Климато-океанологические изменения в Арктике, такие как потепление и отступление льда далее на север, увеличили интерес к изучению арктического сектора России, и в частности Чукотского моря. С изменениями климатологических показателей часто связана смена режима в пелагической среде. Долгосрочные изменения в биомассе планктона также явно отражаются на более высоких трофических уровнях. У большого количества видов рыб Берингова моря область их распространения также сместилась на север за последние два десятилетия [Wassmann et al., 2015 по: Ershova et al., 2015]. В юго-западном районе Чукотского моря в период рыбохозяйственных исследований, которые проводились ТИНРО в 2003, 2007–2008 и 2010 гг., основу ихтиомассы Чукотского моря традиционно составляла сайка *Boreogadus saida*, минтай *Gadus chalcogrammus* встречался единично, как, например, в 2008 г. (0,07 тыс. т). В 2018 г. отмечено появление минтая не только в юго-западной части Чукотского моря, где его запасы увеличились в несколько раз, до 37,27 тыс. т, но и в северо-западной — 0,18 тыс. т.

В августе 2019 г. на НИС «Профессор Леванидов» в водах Чукотского моря на западном шельфе были проведены океанографическая, планктонная и траловая съемки. Последняя показала значительное увеличение биомассы минтая по сравнению с предыдущим годом. Основу уловов составляли два вида пелагических рыб: минтай и сайка. В результате были собраны новые материалы по питанию массовых представителей пелагических видов рыб не только в юго-западной, но и в северо-западных частях моря.

В восточной части Чукотского моря в 2017–2019 гг. в августе-сентябре проводились исследования по программе Комплексного исследования экосистем Арктики (The Arctic Integrated Ecosystem Survey, Arctic IES) на НИС «Ocean Starr». Трофологические исследования входили в эту программу, были собраны материалы по питанию рыб по методике, принятой в ТИНРО.

Цель настоящего исследования — оценка влияния появления большого количества минтая в Чукотском море на качественный и количественный состав рационов сайки, минтая, а также других пелагических рыб и оценка степени обеспеченности их пищей.

Материалы и методы

Настоящая статья основана на материалах, полученных в августе-сентябре 2019 г. в экспедициях в западной части Чукотского моря на НИС «Профессор Леванидов» и

в восточной части моря на НИС «Ocean Starr». Привлечены также материалы по питанию пелагических видов рыб в западной части Чукотского моря, собранные в сентябре 2018 г. на НИС «ТИНРО» (табл. 1), когда была обследована акватория на двух полигонах: южном в координатах 67°29'4"–69°36'9" с.ш. 169°58'4"–172°54'3" з.д. на глубинах 43–52 м площадью 15,63 тыс. км² и северном в координатах 73°38'5"–74°49'1" с.ш. 171°23'0"–178°25'6" з.д. на глубинах 140–270 м площадью 20,07 тыс. км².

Количество собранного и обработанного материала по питанию пелагических рыб

Table 1

Amount of collected and processed material on feeding of pelagic fish

Вид	Восточный шельф 2019 г.		Западный шельф 2019 г.		Западный шельф 2018 г.	
	Проб	Желудков	Проб	Желудков	Проб	Желудков
<i>Boreogadus saida</i>	25	1121	41	234	118	808
<i>Gagus chalcogrammus</i>	21	516	18	133	22	67
<i>Ammodytes hexapterus</i>	21	639	2	5	–	–
<i>Mallotus villosus</i>	4	40	2	8	28	159
<i>Clupea pallasii</i>	6	55	5	14	1	1
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	2	5	–	–	–	–
<i>Oncorhynchus keta</i>	2	3	–	–	–	–
<i>Oncorhynchus gorbusha</i>	5	26	–	–	–	–
<i>Oncorhynchus kisutch</i>	1	1	–	–	–	–

В западной части в российских водах Чукотского моря траловая съемка была проведена с 11 по 19 августа и с 23 по 28 августа 2019 г. на акватории, ограниченной координатами 67°30'–74°45' с.ш. 180° в.д.–170° з.д. (район 1, или западный) (рис. 1). Траловая съемка осуществлялась с использованием донного трала, основу уловов составляли два вида пелагических рыб — сайка *B. saida* и минтай *G. chalcogrammus*. По биомассе в уловах преобладал минтай, а по численности — сайка. Достаточно часто в уловах встречалась мойва *Mallotus villosus*, в меньшей степени — молодь песчанки *Ammodytes hexapterus* [Орлов и др., 2019].

В восточной части моря в районе американского шельфа с 27 августа по 11 сентября (район 2, или северо-восточный) и с 17 по 26 сентября 2019 г. (район 3, или юго-восточный) на НИС «Ocean Starr» (США) также были выполнены сборы данных по питанию сеголеток сайки, минтая, лососей и других рыб. Граница северо-восточного района (2) проходила по 72°30' с.ш., южного (3) — от 69°30' с.ш. Пробы на питание сайки и минтая, мойвы и песчанки были взяты из среднеглубинных уловов (Marinovich Trawl), а лососей — из поверхностных тралений (Nordic Trawl). Сбор и обработка материалов по питанию рыб проводилась по методике, принятой в ТИНРО [Волков, 2008], одним из авторов Н.А. Кузнецовой, которая была приглашена для участия в морских экспедициях в 2017 и 2019 гг. в Чукотском море на НИС «Ocean Starr».

Схема станций и положение районов, по которым осреднялись полученные материалы, показаны на рис. 1. Проба на питание рыб обычно включала 10–50 желудков рыб одного вида. Обработка желудочно-кишечных трактов проводилась без предварительной фиксации. Содержимое желудков взвешивали, определяли массу каждого пищевого компонента, степень его переваренности по 5 стадиям, затем его значимость (доля по массе, %; общие и частные индексы наполнения желудков (ИНЖ), ‰) [Волков, 2008]. Для расчетов суточных пищевых рационов (СПР) применяли методику Б.Н. Элькиной, усовершенствованную Ю.Г. Юровицким [1962]. Значения СПР в летний период для расчета рационов минтая длиной 5–10 и 10–25 см из западной части Чукотского моря и для сеголеток рыб из восточной части были взяты из монографии В.И. Чучукало [2006].

Пищевую обеспеченность минтая и сайки оценивали по соотношению «биомасса кормового зоопланктона и рациона его потребителей» [Шунтов, 2016]. Запасы наиболее

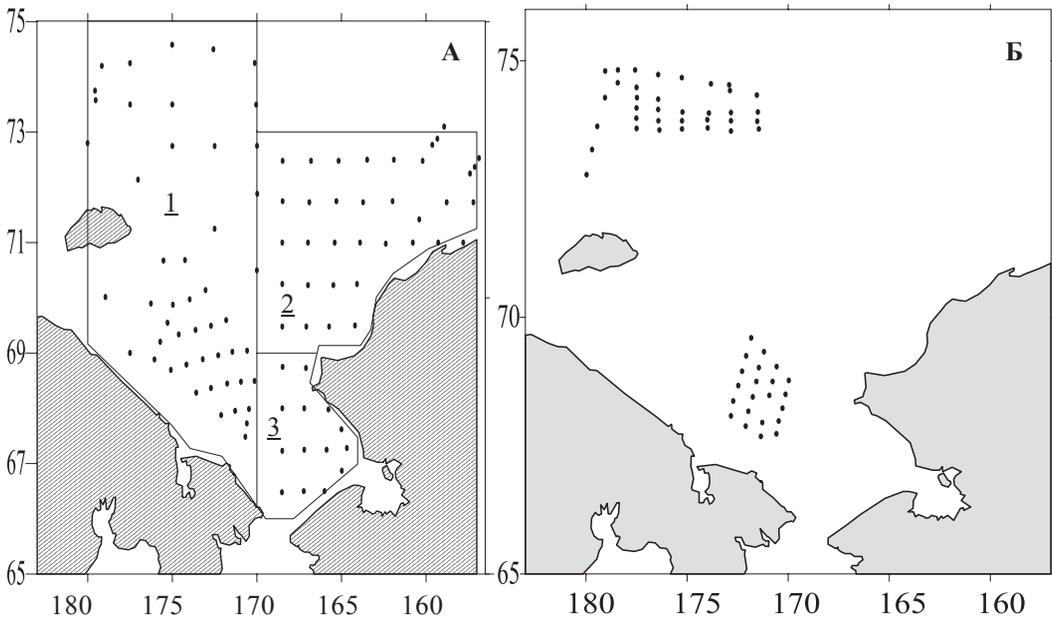


Рис. 1. Район работ и схема тралений: А — в августе-сентябре 2019 г. (цифры — номера районов: 1 — западный (российский шельф), 2 — северо-восточный, 3 — юго-восточный (американский шельф); Б — в сентябре 2018 г.

Fig. 1. Scheme of surveyed area: А — trawl stations in August-September 2019 (1 — western area on shelf of Russia, 2 — northeastern area, 3 — southeastern area on the US shelf); Б — trawl stations in September 2018

массовых видов пелагических рыб с учетом коэффициента уловистости в западной части Чукотского моря в 2019 г. даны по данным А.Б. Савина*, в связи с тем что в разные годы в период съемки были обследованы разные площади, нами использовались значения плотности (т/км²). Состав и биомасса зоопланктона были определены авторами статьи на основе обработки материалов планктонных съемок, выполненных одновременно с траловыми.

Результаты и их обсуждение

Минтай и сайка встречались практически на всей обследованной акватории, отсутствуя только в самой северной ее части. Наиболее плотные скопления взрослых особей и молоди минтая отмечались в уловах юго-восточнее о. Врангеля в зоне действия теплых водных масс тихоокеанского происхождения, проникающих в Чукотское море через Берингов пролив. Максимальные уловы сайки отмечались к югу от о. Врангеля в северо-западной части в зоне влияния водных масс Восточно-Сибирского моря.

На рис. 2 показаны групповой состав пищи и ИНЖ доминирующих и постоянно встречающихся видов рыб, а в табл. 2–6 — видовой состав пищи рыб в августе-сентябре 2019 г.

Рацион сеголеток и годовиков минтая (5–25 см) и сайки (5–25 см) в западной части моря составлял зоопланктон — 97–78 %, доминировали копеподы и эвфаузииды — 58–48 % (рис. 2, табл. 2, 3). У минтая третьими по значимости были ойкоплевры, у сайки — гиперииды. У сайки длиной более 15 см количество рыб в пище составило около 4 %, в том числе и собственная молодь. Интенсивность питания сеголеток длиной 5–10 см и сайки длиной 10–15 и 15–20 см была высокой, ИНЖ

* Савин А.Б. Современное состояние промысловых рыбных ресурсов морей восточного сектора Арктики : отчет о НИР / ТИНРО. № 28357. Владивосток, 2019. 51 с.

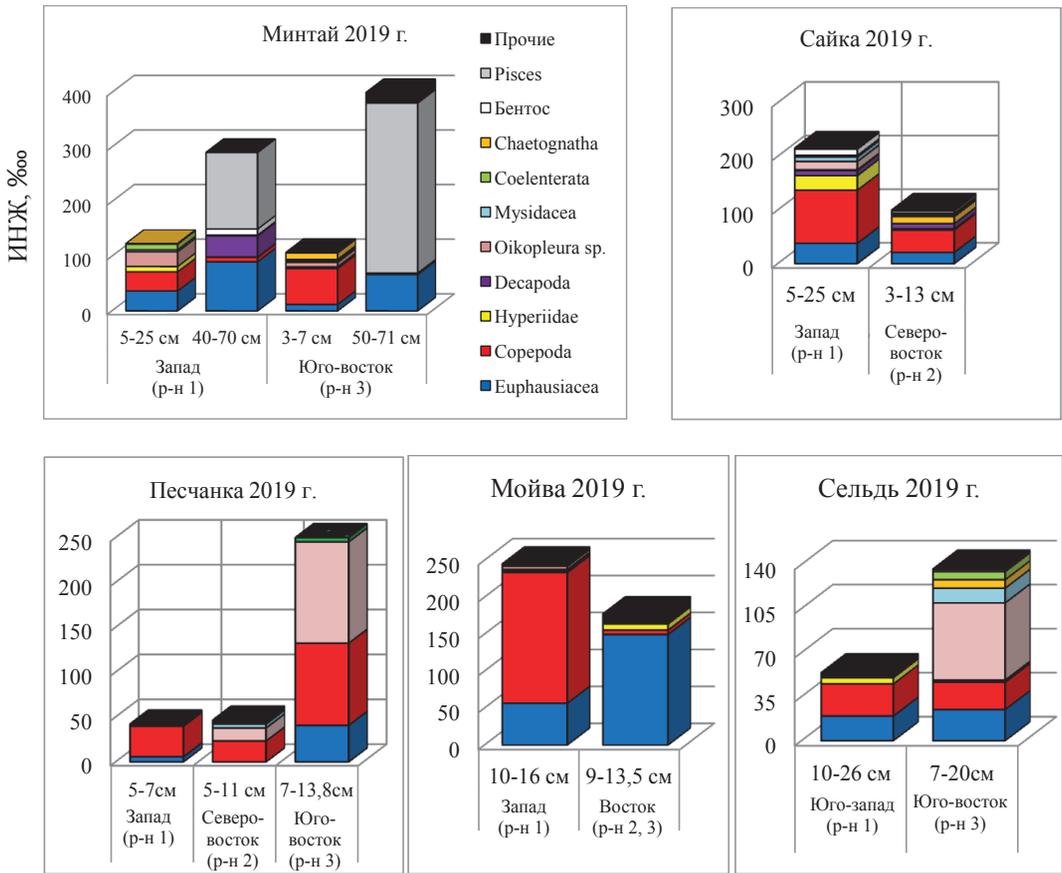


Рис. 2. Состав пищи и наполнение желудков доминирующих и часто встречающихся видов рыб в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г.

Fig. 2. Diet composition (% by weight) and average index of stomach fullness (‰) for dominant and common fish species in the Chukchi Sea in August-September 2019

составил 186–236 ‰, а у крупных особей — 71 ‰. Суточный пищевой рацион изменялся от 9,4 % у сеголеток (5–10 см) до 2,5 % у крупной сайки (20–25 см). Рацион крупного минтая 40–70 см составляли рыбы (48 %, причем сайка 31 %) и эвфаузииды (31 %). У всех размерных групп половозрелого минтая интенсивность питания была высокой — 235–332 ‰. СПР у минтая размером 50–60 и 60–70 см составлял соответственно 3,4 и 4,7 %.

В восточной части моря в южном районе крупный минтай питался весьма интенсивно, ИНЖ был равен 410 ‰. Основу рациона составляли рыбы — 78 % (в основном ликоды — 66 % — и собственная молодь — 10 %) и эвфаузииды — 16 %. Сеголетки минтая (средняя длина 6,1 см) отмечены только в юго-восточном районе, в рационе преобладали копеподы (61 %) и эвфаузииды (11 %), ИНЖ составил 115 ‰. В восточной части моря в 2019 г. сеголетки сайки (средний размер 4,9 см) встречались только в северном районе, в 2017 г. — по всему восточному шельфу (рис. 3). Основу рациона составляли копеподы и эвфаузииды, интенсивность питания была средней, ИНЖ в 2019 г. составляли 87 ‰ и в 2017 г. — 68–99 ‰ (см. рис. 2, 3). В 2019 г. у незначительного количества сеголеток сайки (7–13 см) доминировали гиперииды и личинки рыб, в основном песчанки. В 2017 г. в северо-восточном районе из копепоид в пище преобладал *Calanus glacialis*, доля остальных 11 видов копепоид была по 1–2 % от массы пищи. В юго-восточном районе наряду с *Calanus*

Состав пищи сайки в западной и северо-восточной части Чукотского моря
в августе-сентябре 2019 г.

Diet composition of arctic cod in the western and northeastern Chukchi Sea
in August-September 2019

Компонент пищи	Западная часть моря (район 1)				Северо-восточная часть моря (район 2)	
	Размерная группа, см					
	5–10	10–15	15–20	20–25	3–7	7–13
<i>Calanus glacialis</i>	15,2	15,2	5,3	16,2	27,7	4,3
<i>Neocalanus plumchrus+flemengeri</i>	17,2	20,5	3,2	6,1	0,9	0
<i>Metridia longa</i>	12,1	0,7	5,2	0,1	0	0
<i>Calanus hyperboreus</i>	4,1	5,1	0,7	0,2	0,9	1,0
<i>Pseudocalanus</i> ssp.	0,5	0	0	0	11,1	0
Прочие копеподы (5–14 видов)	2,0	4,4	3,3	1,1	2,1	0,8
<i>Thysanoessa raschii</i>	19,0	7,7	11,7	10,1	4,2	0
<i>Thysanoessa inermis</i>	3,5	2,9	7,5	0,5	12,8	34,6
Прочие 2 вида juv.	0,2	0	0	1,8	3,7	0
<i>Themisto abyssorum</i>	0,4	0,4	0,8	0	0	0
<i>Themisto libellula</i>	8,3	14,8	23,0	22,7	0,9	6,8
<i>Themisto pacifica</i>	0	0	0	0	0,6	13,1
Zoea, Megalopa Brachyura	3,4	1,1	1,4	0	2,6	0
Zoea Pagurus	0	0,1	0	0	5,9	0
Caridea (larv.)	0	3,6	8,2	8,2	1,6	0,4
Mysidacea	3,4	3,7	6,8	5,0	3,3	0
<i>Oikopleura vanhoeffeni</i> , <i>Oik.</i> sp.	7,4	7,3	4,5	0,3	1,1	2,8
Coelenterata	1,2	1,7	2,5	0,8	0,3	0
Chaetognatha	0	1,3	1,9	1,0	13,3	0
Прочие	0	1,0	0,1	0,8	1,7	0
Бентос (Crustacea)	2,1	9,0	9,2	5,3	1,5	0
<i>Boreogadus saida</i>	0	0,3	4,9	10,5	0	0
Teleostei sp.	0	0	0	9,3	0	0
<i>Ammodytes hexapterus</i> (larv.)	0	0	0	0	4,2	36,2
СПР, %	9,4	7,4	9,1	2,5	0	0
Ср. ИНЖ, ‰	235,9	186,1	228,9	70,7	87,0	153,6
Ср. масса, г	5,0	17,0	35,80	88,70	0,96	6,70
Ср. длина, мм	86,0	122,0	170,0	223,0	4,83	9,60
Кол-во проб	5	14	16	6	1098	23
Кол-во желудков	22	100	93	19	22	3

Примечание. Здесь и далее в скобках — номер района.

glacialis/marshallae доминировали мелкие копеподы р. *Pseudocalanus*, *Centropages abdominalis*, третьими по значимости в пище на севере были личинки декапод, на юге — ойкоплевры. Сайка в значительном количестве потребляла мелкий зоопланктон, который преобладал по биомассе и численности в юго-восточном районе (243,5 мг/м³) [Кузнецова, 2018а, б].

Как в 2019 г., так и в 2017 г. основу рационов песчанки, мойвы и сельди составляли копеподы и эвфаузииды, сеголетки песчанки активно питались, в рационе доминировали копеподы. У молоди мойвы длиной 5–10 см чаще доминировали копеподы, а в питании взрослой мойвы длиной 10–15 см — эвфаузииды. В рационах песчанки и сельди кроме копепод и эвфаузиид в юго-восточной части доминировали и ойкоплевры (рис. 2, 3, табл. 2–6).

Таблица 3

Состав пищи минтая в западной части Чукотского моря в августе 2019 г.

Table 3

Diet composition of walleye pollock in the western Chukchi Sea in August 2019

Компонент пищи	Размерная группа, см				
	5–10	10–25	40–50	50–60	60–70
<i>Calanus glacialis</i>	18,8	13,7	25,7	0,30	0,1
<i>Calanus finmarchicus</i>	5,5	3,5	0,2	–	–
<i>Calanus hyperboreus</i>	2,0	4,1	0,2	–	–
Прочие (4 вида)	3,7	5,9	3,9	0,10	–
<i>Thysanoessa inermis</i>	10,1	5,7	21,0	12,90	7,0
<i>Thysanoessa raschii</i>	28,8	16,8	25,0	30,90	10,9
<i>Themisto libellula</i>	17,2	0,7	0,5	0,20	0,1
Mysidacea	6,7	–	0,5	0,10	–
Caridea	–	–	5,0	13,40	11,9
<i>Chionocetes opilio</i> (larv.)	–	–	10,0	0,10	0,9
<i>Oikopleura vanhoeffeni</i>	2,8	36,7	2,0	0,02	–
<i>Sagitta elegans</i>	0,6	0,9	1,0	0,10	–
Coelenterata	3,9	12,1	2,0	–	–
Бентические виды	–	–	–	5,80	2,8
<i>Boreogadus saida</i>	–	–	3,0	5,0	58,2
<i>Theragra chalcogramma</i>	–	–	–	2,5	1,3
<i>Leptoclinus maculatus</i>	–	–	–	7,8	1,3
Прочие рыбы	–	–	2,0	20,8	5,5
СПР, %	–	–	–	3,4	4,7
Ср. ИНЖ, ‰	207	59	309	235	332
Ср. масса, г	4	53	745	1326	1895
Ср. длина, мм	93	174	487	569	670
Кол-во желудков	10	13	10	45	55
Кол-во проб	2	3	1	5	7

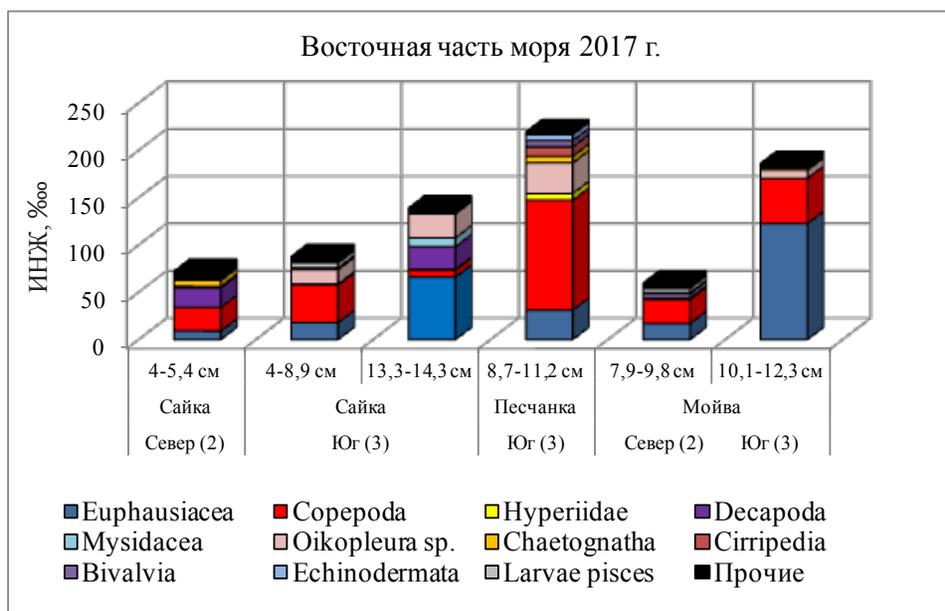


Рис. 3. Состав пищи и наполнение желудков сеголеток сайки, песчанки и мойвы в восточной части (районы 2, 3) Чукотского моря в августе-сентябре 2017 г.

Fig. 3. Diet composition (% by weight) and average index of stomach fullness (‰) for juveniles of arctic cod, sand lance, and capelin in the eastern Chukchi Sea in August-September 2017

Состав пищи минтая, мойвы и сельди в восточной части Чукотского моря в сентябре 2019 г.

Table 4

Diet composition of walleye pollock, capelin and herring in the eastern Chukchi Sea in September 2019

Компонент пищи	Минтай		Мойва		Сельдь	
	Юг (3)		Север (2)	Юг (3)	Юг (3)	
	3–7 см	50–71 см	9,0–13,5 см	9,0–12,4 см	7–13 см	13–20 см
<i>Calanus glacialis/marshallae</i>	12,5	–	–	0,4	2,3	4,3
<i>Pseudocalanus</i> spp.	25,7	–	–	0,7	5,3	0,7
<i>Eucalanus bungii</i>	5,2	–	–	5,7	0,5	0,8
<i>Epilabidocera amphitrites</i>	9,7	–	–	–	9,1	2,9
<i>Centropages abdominalis</i>	2,3	–	–	–	2,5	0,7
<i>Tortanus discaudatus</i>	3,7	–	–	–	3,3	–
Прочие копеподы (2–6 видов)	2,3	–	–	–	0,1	0,8
<i>Thysanoessa inermis</i>	2,4	8,0	20,0	65,0	–	9,7
<i>Thysanoessa raschii</i>	4,2	8,2	17,5	18,6	7,5	11,8
<i>Thysanoessa</i> juv.	4,4	–	47,5	–	–	12,8
<i>Themisto pacifica</i>	0,8	–	–	9,3	–	2,1
<i>Sagitta elegans</i>	10,8	–	–	0,4	5,0	5,7
Mysidacea	2,5	–	–	–	0,7	2,1
<i>Oikopleura</i> sp.	7,8	–	–	–	61,8	33,1
<i>Limacina helicina</i>	2,6	–	–	–	1,1	10,0
Decapoda juv.	2,0	0,7	–	–	0,7	–
Прочие	1,1	4,8	15,0	–	–	–
<i>Gagus chalcogrammus</i>	–	9,6	–	–	–	–
<i>Lycodes</i> sp.	–	65,8	–	–	–	–
Прочие рыбы, juv.	–	2,9	–	–	–	2,8
Ср. ИНЖ, ‰	107,3	410,4	207,9	146,8	146,6	101,0
Ср. масса, г	2,4	2004,0	11,6	7,6	12,5	36,1
Ср. длина, см	6,2	62,0	12,1	10,9	11,3	15,0
Кол-во желудков	504	11	20	20	30	25
Кол-во проб	17	3	2	2	3	3

Кроме того, в 2019 г. в юго-восточном районе в уловах поверхностного трала были отмечены сеголетки горбуши, кеты, кижуча и чавычи. У сеголеток кеты желудки были большей частью пустыми, отмечена переваренная пища, или кишечнополостные, или ойкоплевры. Сеголетки горбуши питались весьма интенсивно, ИНЖ составил 116 ‰. Доминировали в рационе эвфаузииды, крылоногие моллюски, ойкоплевры, а также личинки песчанки. Молодь кижуча активно потребляла рыб, в основном мойву, а чавыча — песчанку, также у нее единично были отмечены мегалопа крабов. ИНЖ составил у кижуча 399 ‰, у чавычи 119 ‰. Ранее значительное количество лососей было отмечено в 2007 г., который оказался самым теплым для восточного региона Арктики на фоне происходящего с начала 2000-х гг. потепления. Основу рациона сеголеток лососей составляли доминирующие в крупном планктоне эвфаузииды (*Thysanoessa raschii*) [Волков, Murphy, 2007]. Здесь, как и в южной части Берингова пролива, преобладающей водной массой была берингоморская, с высокой биомассой зоопланктона. Обилие крупного планктона обеспечивали виды, характерные для берингоморской водной массы: крупные копеподы (*Eucalanus bungii*, *C. glacialis/marshallae*) и эвфаузииды (*Th. raschii*) [Волков, Murphy, 2007; Moss et al., 2009; Eisner et al., 2013; Gann et al., 2013; Слабинский, Фигуркин, 2014].

В юго-западной части Чукотского моря в период рыбохозяйственных исследований, которые проводились ТИНРО в 2003, 2007–2008 и 2010 гг., основу ихтиомассы

Таблица 5
Состав пищи мойвы и сельди в западной части Чукотского моря в августе 2019 г.

Table 5
Diet composition of capelin and herring in the western Chukchi Sea in August 2019

Компонент пищи	Мойва		Сельдь		
	10–15 см	15–20 см	10–15 см	15–20 см	25–30 см
<i>Calanus glacialis</i>	22,5	3,0	24,5	6,0	6,9
<i>Neocalanus plumchrus+flemengeri</i>	34,0	7,1	20,0	14,0	20,1
<i>Eucalanus bungii</i>	5,0	5,7	4,1	8,9	5,8
<i>Metridia longa</i>	14,7	0,1	7,1	0,2	0,8
<i>Metridia pacifica</i>	10,0	0,1	2,9	0,8	0,9
<i>Pseudocalanus minutus</i>	1,7	1,3	8,6	0,1	0,4
<i>Thysanoessa inermis</i>	2,2	35,2	12,9	20,0	21,6
<i>Thysanoessa raschii</i>	5,9	40,1	14,3	10,0	25,0
<i>Themisto libellula</i>	0,3	2,7	2,9	10,0	14,3
<i>Sagitta elegans</i>	1,2	–	2,9	–	0,4
Mysidacea	0,3	0,7	–	–	0,8
<i>Chionocetes opilio</i> (larv.)	–	4,0	–	30,0	–
<i>Oikopleura</i> sp.	2,2	–	–	–	–
<i>Beroe cucumis</i>	–	–	–	–	3,0
Ср. ИНЖ, ‰	210,4	365,9	87,0	65,6	21,8
Ср. масса, г	8,00	20,50	16,10	32,00	193,50
Ср. длина, мм	115	160	124	15,1	251
Кол-во проб	3	2	2	1	2
Кол-во желудков	7	2	6	1	7

Таблица 6
Состав пищи песчанки в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г.

Table 6
Diet composition of sand lance in the Chukchi Sea in August-September 2019

Западная часть моря (1)		Северо-восточная часть моря (2)		Юго-восточная часть моря (3)		
Компонент пищи	5–7 см	Компонент пищи	5–11 см	Компонент пищи	7–13 см	10–15 см
<i>Calanus glacialis</i>	65,5	<i>Calanus glacialis</i>	18,1	<i>Calanus glacialis/marshallae</i>	1,2	7,4
<i>Pseudocalanus</i> spp.	3,5	<i>Pseudocalanus</i> spp.	21,2	<i>Pseudocalanus</i> spp.	33,8	15,1
<i>N.plumchrus+flemengeri</i>	5,8	<i>Oithona similis</i>	6,2	<i>Epilabidocera amphitrites</i>	4,2	1,6
Прочие копеподы (3)	5,7	Прочие копеподы (13)	4,6	Прочие копеподы (5)	5,7	4,9
<i>Oikopleura vanh.</i>	0,5	<i>Oikopleura</i> sp.	31,2	<i>Oikopleura</i> sp.	50,2	39,5
Euphausiacea	13,6			<i>Thysanoessa raschii</i>		27,9
<i>Chionocetes opilio</i> (juv.)	1,5	Bivalvia	9,3	<i>Limacina helicina</i>	2,7	1,7
Прочие	3,9	Прочие	9,3	Прочие	2,3	1,9
Ср. ИНЖ, ‰	42,3	Ср. ИНЖ, ‰	46,5	Ср. ИНЖ, ‰	131,1	349,6
Ср. масса рыб, г	1,3	Ср. масса, г	1,1	Ср. масса, г	4,40	7,58
Ср. длина, мм	6,8	Ср. длина, см	7,0	Ср. длина, см	10,7	12,9
Кол-во желудков	5	Кол-во желудков	14	Кол-во желудков	30	40
Кол-во проб	2	Кол-во проб	569	Кол-во проб	3	4

традиционно составляла сайка. Согласно полученным материалам рацион сайки в основном составляли группы зоопланктона крупной фракции — копеподы и эвфаузииды [Чучукало, 2006; Кузнецова, Слабинский, 2007; Ефимкин, 2013] (рис. 4).

Так, в 2003, 2007–2008 и 2010 гг. эвфаузииды и копеподы составляли основной рацион сайки. В 2003 г. акватория района работ занята прибрежными водами Восточно-

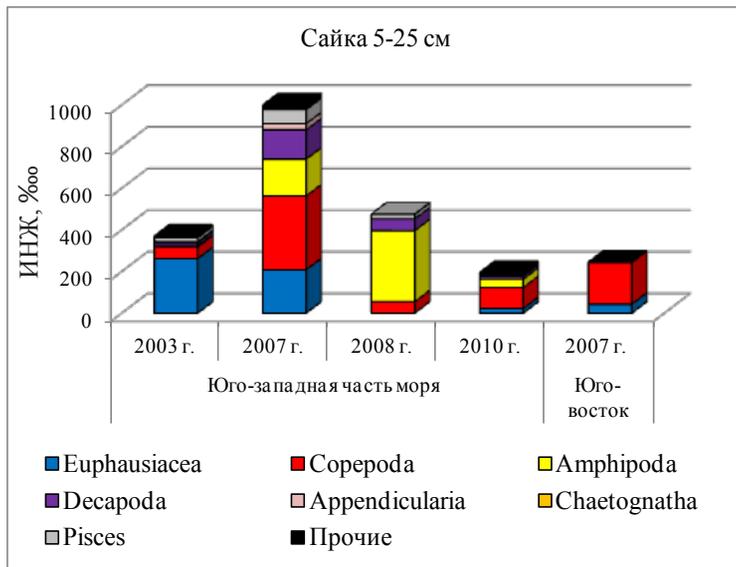


Рис. 4. Состав пищи и наполнение желудков сайки в юго-западном и юго-восточном районах Чукотского моря в августе-сентябре 2003, 2007–2008 и 2010 гг.

Fig. 4. Diet composition (% by weight) and average index of stomach fullness (‰) for arctic cod in the southwestern and southeastern Chukchi Sea in August-September of 2003, 2007–2008 and 2010

Сибирского моря, в рационах сайки доминировали копепопы *C. glacialis* и *Pseudocalanus* spp. и эвфаузииды *Thysanoessa inermis* или *Th. raschii*. В 2007–2008 и 2010 гг. наряду с *C. glacialis* преобладающими в пище сайки были виды берингоморского комплекса: копепопы *Neocalanus flemingeri*/*N. plumchrus*, *N. cristatus*, *Metridia pacifica*, а также эвфаузииды.

В 2007 г., который был самым теплым из этих лет, интенсивность питания сайки была очень высокой, особенно у сеголеток (8,2–9,2 см), ИНЖ достигали 1316 ‰ [Кузнецова, Слабинский, 2007]. Здесь предпочитаемыми кормовыми объектами были копепопы (*N. cristatus*), эвфаузииды (*Th. inermis*), гиперииды (*Themisto libellula*) и молодь креветок и крабов.

В юго-восточной части Чукотского моря в районе с координатами 70–66° с.ш. (это район южного полигона в сентябре 2019 г.) сайки было мало, наибольшие скопления ее наблюдались ближе к центральной части Чукотского моря, в аляскинской прибрежной водной массе, которая характеризовалась среднеразмерным и мелким зоопланктоном, преобладали копепопы (*C. abdominalis*, *Oithona similis*, *Pseudocalanus* sp.) [Eisner et al., 2013]. Эти же виды составляли основу рациона сайки 7,3–7,7 см; *C. abdominalis* (97–70 %), копепопы р. *Pseudocalanus* и молодь эвфаузиид *Th. raschii* до 10,0 см, ИНЖ составили 194–262 ‰ [Волков, Murphy, 2007].

Согласно исследованиям, проведенным в 2018 г., плотность всех рыб увеличилась почти в 4 раза по сравнению с 2010 г. и достигла 1,99 т/км². Основной причиной этого являлась возросшая биомасса минтая, который в предыдущих съемках фиксировался лишь в единичных экземплярах. Отмечено, что запасы сайки находились на стабильном уровне и составили 0,57 т/км² в 2018 г., 0,44 т/км² в 2010 г. [Борилко, 2018]*. Ихтиомасса северного участка на 97 % определялась одним видом — сайкой, на южном участке доминирующим видом был минтай.

Сравнивая результаты, полученные в августе-сентябре 2019 г. (см. рис. 2), с предыдущим годом (рис. 5), видим, что в оба года рацион сайки составляли копепо-

* Борилко О.Ю. О результатах экспедиции в Чукотское море НИС «ТИНРО» 31 августа — 10 сентября 2018 г. : рейс. отчет / ТИНРО. № 28249. Владивосток, 2018. 140 с.

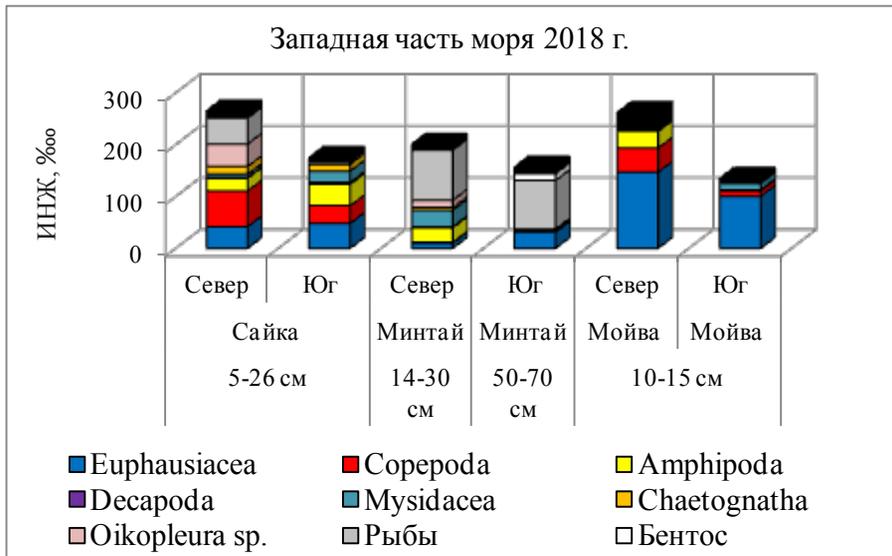


Рис. 5. Состав пищи и наполнение желудков сайки, минтая и мойвы в западном районе Чукотского моря в сентябре 2018 г.

Fig. 5. Diet composition (% by weight) and average index of stomach fullness (‰) for arctic cod, walleye pollock and capelin in the western Chukchi Sea in September 2018

ды, эвфаузииды и гиперииды (51–71 %). В северную часть западного района в 2018 г. поступали сравнительно теплые атлантические воды, вероятно, поэтому в питании сайки доминировали копеподы *N. flemingeri*/*N. plumchrus*, *M. pacifica* и *N. cristatus*, у сеголеток — *Pseudocalanus* spp., а *C. glacialis* встречался, но в небольших количествах. Гиперииды *Themisto pacifica* повсеместно были отмечены в пище рыб, *T. libellula* — на севере западного района. Молодь рыб, в том числе и собственная, занимала около 19 % массы пищи в северном районе. В питании годовиков (14–30 см) на севере района 1 и крупного минтая (50–70 см) на юге района 1 доминировали рыбы (51–60 %), кроме того, мизиды и гиперииды у годовиков и сипункулиды (13 %) у крупных рыб. Значение эвфаузиид в рационах минтая несколько меньше (5–20 %), а количество копепод — не более 2 %. Интенсивность питания рыб была высокой, средние ИНЖ у сайки составляли 265,3–175,0‰, у минтая — 189,7–156,7‰, у мойвы — 226,8–134,8‰. В питании мойвы доминировали эвфаузииды (рис. 5).

Таким образом, состав пищи и накормленность рыб в разных районах и в разные годы отражают региональные особенности кормовой базы вследствие различий по площади распространения и по объему тех или иных водных масс в период проведения исследований, а также гидрологических условий. Тем не менее основными пищевыми компонентами были копеподы и эвфаузииды, причем соотношение этих компонентов менялось, но оставалось постоянным их преобладание. На севере Чукотского моря (р-ны 1, 2) доминировали виды арктического и арктическо-бореального комплекса: повсеместно *C. glacialis*, в северо-западном районе в зоне поступления вод Восточно-Сибирского моря — *Calanus finmarchicus*, *C. hyperboreus*, последний также в пище сеголеток сайки в северо-восточном районе. Кроме того, в питании сеголеток сайки, минтая и песчанки значительным было содержание мелких копепод р. *Pseudocalanus*. Из эвфаузиид доминировали повсеместно *Th. inermis* или *Th. raschii*. Из гипериид в западной части моря встречались в питании *T. pacifica*, *T. libellula*, а *Themisto abyssorum* — только на севере района 1. В южной части Чукотского моря наряду с *C. glacialis* или *C. glacialis/marshallae* доминировали берингоморские виды: *N. plumchrus/flemingeri*, *N. cristatus*, *M. pacifica* и *E. bungii*, в восточной части моря — также виды, характерные для аляскинской прибрежной водной массы: *Epilabidocera amphitrites*, *C. abdominalis*,

Tortanus discaudatus. В рационах заметным было количество донных и придонных видов и мелкого нектона

В 2019 г. в западной части моря среди пелагических рыб по биомассе доминировали минтай (2,24 т/км²) и сайка (0,49 т/км²)*. В связи с тем что в разные годы были обследованы разные площади, нами использовались значения плотности (т/км²). Влияние минтая и сайки на биоту исследованной акватории в августе 2019 г., представленное в виде расчета потребления ими кормовых объектов, показывает, что за сутки они потребляли 12,24 т кормовых объектов, среди которых преобладали планктонные компоненты (6 т/км², почти 50 % суммарного рациона), причем на эвфаузиид приходилось 26 %, копепод — 12, гипериид — 6, кроме того, на придонные и бентосные виды — 17 (креветки — 10 %) и рыб — 34 % (сеголетки сайки — 22 %) (табл. 7).

Таблица 7

Суточное потребление пищи минтаем и сайкой в западной части Чукотского моря летом 2019 г.

Table 7

Daily food consumption by walleye pollock and arctic cod in the western Chukchi Sea in summer 2019

Компонент пищи	Минтай		Сайка	Минтай		Сайка	Всего	
	5–25 см	40–70 см	5–25 см	5–25 см	40–70 см	5–25 см	т/км ²	%
	%			т/км ²				
Copepoda	28,4	2,9	33,0	0,0030	0,246	1,27	1,52	12,4
Euphausiacea	29,6	31,1	15,3	0,0030	2,605	0,59	3,20	26,1
Hyperiididae	7,9	0,2	18,6	0,0010	0,015	0,72	0,73	6,0
Oikopleura sp.	22,0	–	5,6	0,0020	–	0,22	0,22	1,8
Ch. opilio (megalopa)	–	1,4	1,3	–	0,117	0,05	0,17	1,4
Chaetognatha	0,8	0,1	1,4	0,0001	0,008	0,05	0,06	0,5
Coelenterata	8,6	0,2	1,9	0,0013	0,015	0,07	0,09	0,7
Pteropoda	–	–	0,3	–	–	0,01	0,01	0,1
Прочие	–	–	0,3	–	–	0,02	0,02	0,1
Всего планктон	97,3	35,9	77,7	0,0100	3,010	3,00	6,02	49,1
Caridea	–	11,9	5,5	–	1,00	0,21	1,21	9,9
Mysidacea	2,9	0,1	5,0	0,0003	0,01	0,19	0,20	1,6
Gammaridea	–	0,5	8,0	–	0,04	0,31	0,35	2,8
Cumacea	–	–	0,1	–	–	0,01	0,01	0,04
Bivalvia	–	0,5	–	–	0,05	–	0,05	0,4
Gastropoda	–	0,3	–	–	0,03	–	0,03	0,2
<i>Echiurus echiurus</i>	–	1,1	–	–	0,09	–	0,09	0,7
Polychaeta (дон.)	–	1,4	–	–	0,12	–	0,12	1,1
Всего донные и придонные виды	2,9	15,8	18,6	0	1,3	0,7	2,0	16,7
Pisces, в том числе	–	48,3	3,7	–	4,05	0,14	4,2	34,2
сайка	–	31,5	1,5	–	2,64	0,06	2,7	22
Выедание, т/ км ²	100	100	100	0,01	8,38	3,85	12,24	100
Биомасса рыб, т/км ²	–	–	–	0,0014	2,2400	0,4900	–	–
Средний СПР, %	–	–	–	6,20	3,70	7,86	–	–

Среди сайки (5–25 см) и сеголеток и годовиков минтая (5–25 см) основным потребителем была сайка — 3,0 т/км², минтай 5–25 см — всего 0,008 т/км². Более половины рациона сайки за сутки составляли копеподы — 1,27 т/км², гиперииды — 0,72, эвфаузииды — 0,59 и ойкоплевры — 0,22, донные и придонные виды — 0,70 и собственные

* Савин А.Б. Современное состояние промысловых рыбных ресурсов морей восточного сектора Арктики : отчет о НИР / ТИНРО. № 28357. Владивосток, 2019. 51 с.

сеголетки — 0,06 т/км² (табл. 7). Минтай 5–25 см не оказывал отрицательного влияния на доминирующую по биомассе сайку 5–25 см, так как биомасса этой группы минтая невелика. Интенсивность питания сайки была высокой, 186–236 ‰, кроме самой крупной сайки 20–25 см — 71 ‰, которая в значительной мере восполняла свой рацион за счет собственных сеголеток. Накормленность сеголеток минтая была высокой, ИНЖ составлял 207 ‰. Но годовики минтая 10–25 см питались весьма слабо — ИНЖ составил 59 ‰, в их рационах увеличилась доля ойкоплевр, что привело к снижению их пищевого сходства с сайкой. Более половины кормовых организмов потреблял крупный минтай длиной 40–70 см — 8,38 т/км², на долю зоопланктона приходилось 3,01 т/км² (в основном эвфаузиид — 2,60 т/км²), рыб — 4,04 т/км² и донных и придонных видов — 1,30 т/км² (табл. 7).

Одним из показателей, применяемых для сравнительного анализа обеспеченности пищей планктоноядного нектона, является соотношение биомасс макропланктона и рациона его потребителей [Шунтов, 2016] (табл. 8).

Таблица 8
Соотношение биомассы кормового зоопланктона и его потребления рыбами в западной части Чукотского моря летом 2019 г.

Table 8
Ratio of forage zooplankton biomass and its daily consumption by fish (t/km²) in the western Chukchi Sea in summer 2019

Группа и вид зоопланктона	Запас планктона, т/км ²	Потребление, т/км ² за сутки		Соотношение запаса/потребления за сутки
		Минтай	Сайка	
Copepoda	15,70	0,250	1,270	10,4
Euphausiacea	5,60	2,610	0,590	1,8
Hyperiididae	1,0	0,020	0,720	1,4
<i>Oikopleura</i> sp.	0,20	0,002	0,220	1,1
<i>Ch. opilio</i> (megalopa)	0,20	0,120	0,050	0,9
Chaetognatha	24,20	0,010	0,050	395,0
Coelenterata	4,49	0,021	0,070	5720,0
Pteropoda	0,20	–	0,010	20,3
Прочие	1,40	–	0,020	559,0
Decapoda	0,40	1,0	0,210	0,3
Mysidacea	1,70	0,010	0,190	8,3
Gammaridea	0,10	0,040	0,310	0,4
Cumacea	0,01	–	0,005	2,0
Всего зоопланктон (крупная фракция)	55,20	4,080	3,710	7,0
Bivalvia	–	0,050	–	–
Gastropoda	–	0,030	–	–
<i>Echiurus echiurus</i>	–	0,090	–	–
Polychaeta (дон.)	–	0,110	–	–
Всего донные виды	–	0,280	–	–
Pisces , в том числе	–	4,040	0,140	–
сайка	–	2,640	0,060	–
Выедание за сутки, т/км ²	–	8,380	3,850	–

Сайкой и минтаем за сутки потреблялось 3,20 т/км² эвфаузиид, причем только минтаем 2,60 т/км², копепод — 1,52 т/км² (сайкой 1,27 т/км²) и гипериид — 0,74 т/км² (сайкой 0,72 т/км²). Потребление рыбами амфипод и эвфаузиид достигало почти 100 %. Обеспечение эвфаузидами едва ли выглядит благополучным, биомасса эвфаузиид составляла по данным планктонологических исследований 5,6 т/км². Однако не следует считать ситуацию с обеспечением пищей критической, поскольку минтай весьма пластичен в выборе кормовых объектов и способен легко переходить с одних на дру-

гие. Мелкоразмерный минтай (< 25 см) интенсивно потреблял копепод и ойкоплевр. А крупноразмерный, в свою очередь, находясь в придонном слое, питался гипериидами (*T. libellula*) и гаммаридами, а также креветками, эхиуридами, полихетами донными, моллюсками *Bivalvia* и *Gastropoda* и рыбами. У сайки основной рацион составляли копеподы, причем не только крупные, но и виды мелкой и средней фракций, на копепод приходилось почти 90 % биомассы, их запасы составляли 6,0 и 3,9 т/км². В отдельные сезоны нередко случаи утилизации значительной части биомассы некоторых видов и групп кормовых организмов [Дулепова, 2013]. Состав пищи сайки и минтая менялся по мере увеличения размеров рыб, при этом доля зоопланктона уменьшалась, что приводило к снижению пищевого сходства. Половину кормовых компонентов крупного минтая составляли рыбы (4,05 т/км²), причем на долю молоди сайки приходилось 65 %, собственной молоди — около 4 %. Высокие индексы наполнения желудков у сайки (186–229‰) и минтая (235–339‰) и СПР (7,4–9,4 и 3,4–4,7 %) свидетельствуют об их активном питании. В шельфовой зоне, где пища доступна для придонного минтая постоянно, он может питаться круглые сутки, там наблюдается до 4 пиков пищевой активности. Вследствие этого мы можем говорить о достаточной обеспеченности пищей в данный период. Кроме того, возможно, оцененная биомасса зоопланктона несколько занижена вследствие неоднородного распределения эвфаузиид и гипериид и недолова их сетью. На обеспеченность пищей влияет также концентрация во времени и пространстве скоплений рыб вследствие их миграционной активности. В летний период 2019 г. основные концентрации крупного минтая наблюдались в юго-западной части моря, где отмечалась и высокая плотность эвфаузиид.

По материалам трофологических исследований в 2003, 2007–2008 и 2010 гг. (по данным А.Я. Ефимкина [2013]), в годы высокой численности сайки в Чукотском море в 2003 г. (680 тыс. т на площади 46,74 тыс. км²) она выедала до 29 тыс. т пищевых объектов в день, т.е. 0,62 т/км². Кроме зоопланктона она потребляла рыб, креветок и гаммарид. Общий запас зоопланктона (1750 тыс. т) в 2,5 раза превышал общую биомассу сайки.

В Чукотском море в летне-осенний период в 2003, 2007 и 2008 гг. общая биомасса зоопланктона держалась приблизительно на одном уровне, соответственно 797; 661; 877 мг/м³, а в 2010 г. она увеличилась примерно в 3 раза, до 2348 мг/м³ [Слабинский, Фигуркин, 2014]. Общий запас зоопланктона в 2010 г. составлял 11100 тыс. т, что в 242,9 раза больше общего запаса сайки (45,7 тыс. т на площади 93,8 тыс. км²). В годы низкой численности у сайки практически существовал выбор в потреблении различных видов кормов [Ефимкин, 2013]. Как отмечено выше, в летний период 2019 г. основными потребителями зоопланктона были сайка и минтай 40–70 см, суточное потребление зоопланктона соответственно 3,85 и 8,38 т/км², что значительно выше, чем в 2003 г. — 0,62 т/км² для сайки (минтая не было). В 2019 г. общий запас зоопланктона в 7 раз превышал количество выедаемого зоопланктона (табл. 8), и в качестве резервной пищи оставались мало используемые кишечноротовые, сагитты и прочие виды планктона, донные и придонные виды, мелкий нектон. Высокая интенсивность питания как сайки, так и минтая свидетельствует о достаточной обеспеченности пищей в 2019 г.

В восточной части Чукотского моря в 2019 г. объемы суточного потребления кормовых организмов сеголетками сайки, минтая, песчанки и других рыб были рассчитаны на основе данных по рационам и по «сырым» уловам (предварительной численности и массы (кг)) [www.nprb.org/arctic-program/preminary-result] (табл. 9). Величины СПР по Берингову морю были взяты из монографии В.И. Чучукало [2006].

Объемы потребления составили за сутки 311 кг. Основными потребителями пищевых ресурсов были минтай, песчанка и сайка, имевшие наиболее высокую биомассу. Почти 80 % суммарного рациона сеголеток рыб слагали главным образом копеподы (50,5 %), эвфаузииды (12,0 %) и ойкоплевры (17,0 %), доля других видов зоопланктона и придонных видов и личинок рыб была в пределах 0,3–7,0 % (табл. 10). Попытка оценить трофические отношения, складывающиеся между потребителями в районах

Таблица 9

Средняя масса рыб на траление, общая биомасса рыб и СПР массовых рыб на шельфе в восточной части Чукотского моря

Table 9

Mean catch per unit effort, total stock, and daily food ration for mass fish species on the eastern Chukchi Sea shelf

Вид	Средняя длина, см	Среднеглуб. трал		Донный трал		Поверх. трал		Всего, кг	СПР*, %	Суточный рацион, кг
		Ср. улов, кг	Всего, кг	Ср. улов, кг	Всего, кг	Ср. улов, кг	Всего, кг			
Сайка	4,9	59,65	1372,0	2,043	53,12	–	–	1425,1	4,2	59,900
Минтай	6,2	55,30	940,1	0,615	5,54	0,076	0,684	946,3	13,5	127,800
Песчанка	7,6	38,20	841,1	–	–	0,217	1,953	843,0	13,1	110,400
Мойва	9,8	16,80	67,2	–	–	–	–	67,2	4,8	3,230
Сельдь	13,0	85,0	340,0	–	–	0,588	0,588	340,6	2,8	9,540
Горбуша	17,4	–	–	–	–	1,442	8,652	8,7	4,0	0,346
Кета	16,6	–	–	–	–	0,124	0,744	0,7	4,5	0,033
Чавыча	20,3	–	–	–	–	0,508	3,048	3,0	1,9	0,058
Кижуч	28,8	–	–	–	–	0,306	1,836	1,8	4,0	0,073

* В.И. Чучукало [2006].

Таблица 10

Потребление кормовых организмов сеголетками рыб на шельфе в восточной части Чукотского моря за сутки

Table 10

Daily consumption of prey by juvenile fish on the eastern Chukchi Sea shelf, kg

Компонент пищи	Сайка (2)	Песчанка		Минтай (3)	Сельдь (3)	Мойва (2, 3)	Всего	Доля, %
		Север (2)	Юг (3)					
Copepoda	25,07	42,70	9,05	78,32	1,64	0,11	156,88	50,48
Euphausiacea	12,56	–	4,03	15,63	1,88	2,95	37,05	11,92
Hyperiididae	1,12	–	0,08	1,36	0,09	0,15	2,80	0,90
Larvae Decapoda	5,90	–	–	1,31	0,04	–	7,25	2,33
Mysidacea	1,92	–	–	3,34	0,13	–	5,39	1,73
<i>Sagitta elegans</i>	7,82	–	0,12	13,46	0,51	0,01	21,91	7,05
<i>Oikopleura</i> sp.	0,66	26,59	11,15	9,87	4,65	–	52,93	17,03
<i>Limacina helicina</i>	–	–	0,54	3,09	0,49	–	4,11	1,32
Bivalvia	–	7,94	0,21	1,39	–	–	9,54	3,07
Бентос (Crustacea)	0,90	–	0,08	–	–	–	0,98	0,32
Прочие	0,98	7,92	0,04	–	–	0,01	8,96	2,88
Pisces juv.	2,90	–	–	–	0,12	–	3,02	0,97
Всего	59,85	85,14	25,30	127,75	9,54	3,23	310,81	100

совместного обитания и при питании одними и теми же кормовыми организмами, между сеголетками сайки и песчанки в северо-восточной части Чукотского моря и между сеголетками минтая и песчанки в юго-восточной представлена в табл. 11.

Высокий индекс пищевого сходства в паре сайка–песчанка и в паре минтай–песчанка (60 и 54 %) наблюдался в отношении двух видов копепоид, *C. glacialis* и *Pseudocalanus* spp. (26 и 25 %). Высокая степень сходства может свидетельствовать как об обилии кормовых организмов, так и о некоторой напряженности пищевых отношений. В результате произошло разделение пищевых спектров, на северо-востоке в паре сайка–песчанка сайка предпочитала копепоид и эвфаузиид, песчанка — копепоид и ойкоплевр, а на юго-востоке в паре минтай–песчанка: минтай — копепоид, а песчанка — копепоид и ойкоплевр. Но в северо-восточной части моря соотношение

Пищевые отношения между доминирующими видами в районах совместного обитания
в восточной части шельфа Чукотского моря

Food relations between dominant species in common habitats on the eastern Chukchi Sea shelf

Вид	Суточный рацион		Доля коп., %	Доля эфф., %	Доля ойкопл., %	ИПС, %	Запас коп.+эфф+ойкопл., т/км ²	Соотношение запас/рацион
	Т/сут	Т/км ²						
<i>Северо-восточная часть моря</i>								
Сайка	0,0599	0,0095	42,6	20,7	1,1	60	12,1	528
Песчанка	0,0851	0,0134	50,1	2,4	31,2	–	–	–
<i>Юго-восточная часть моря</i>								
Минтай	0,128	0,0134	61,4	11,1	7,8	54	20,7	1285
Песчанка	0,025	0,0027	35,8	15,9	44,1	–	–	–

планктон–рацион было ниже, чем на юго-востоке, т.е. кормовых организмов было почти в 2 раза меньше. Накормленность рыб была средней у сайки (ИНЖ — 87,0‰), а у песчанки — низкой (ИНЖ — 46,5‰). В юго-восточной части моря соотношение планктон–рацион почти в 2 раза выше, это значит, что биомасса кормовых организмов покрывала пищевые потребности рыб. У доминирующих здесь по биомассе сеголеток минтая и песчанки наблюдалась высокая накормленность рыб, о чем свидетельствуют высокие ИНЖ как у сеголеток минтая (114,8‰), так и у песчанки (262,0‰). Это свидетельствует о достаточной обеспеченности пищей в южном районе и более низкой в северном (табл. 11).

Заключение

В летний период 2019 г. в Чукотском море основными пищевыми компонентами были копеподы и эвфаузииды, соотношение их изменялось, но оставалось постоянным их преобладание. Из копепод в пище повсеместно доминировали *C. glacialis*, в юго-восточном районе близкий вид *C. glacialis/marshallae*, у сеголеток — копеподы р. *Pseudocalanus*. Кроме того, в рационе были представлены в северной части западного района *C. finmarchicus*, *C. hyperboreus*, *Metridia longa*, в южной части моря — *N. plumchrus+flemengeri*, *N. cristatus*, *M. pacifica*, *E. bungii*, в юго-восточном районе также *E. amphitrites*, *C. abdominalis*. Из эвфаузиид доминировали *Th. inermis* и *Th. raschii*.

В западной части Чукотского моря основными потребителями пищевых ресурсов были сайка и минтай 40–70 см, за сутки 12,24 т/км², соответственно 3,85 и 8,38 т/км². У крупного минтая 40–70 см половину кормовых компонентов составляли рыбы (4,05 т/км²), на долю зоопланктона приходилось 3,01 т/км² (эвфаузиид — 2,60 т/км²). Запасы эвфаузиид составляли 5,6 т/км². У сайки количество эвфаузиид в пище было 0,59 т/км², ее основной рацион планктонных компонентов (3,0 т/км²) составляли копеподы (1,27 т/км²), причем не только крупные, но и виды мелкой и средней фракций, их запасы были оценены в 6,0 и 3,90 т/км². Общий запас зоопланктона (55,2 т/км²) в 7 раз превышал количество выедаемого зоопланктона, и в качестве резервной пищи оставались мало используемые кишечноротовые, сагитты и прочие виды планктона, а также донные и придонные виды и мелкий нектон. Высокая интенсивность питания, как сайки, так и минтая, СПР составляли 7,4–9,4 и 3,4–4,7 % массы тела, указывает на благоприятную кормовую базу, и мы можем говорить о достаточной обеспеченности пищей в 2019 г.

В восточной части моря почти 80 % суммарного рациона сеголеток минтая, сайки и песчанки слагали главным образом копеподы (50,5 %), эвфаузииды и ойкоплевры. В юго-восточном районе соотношение планктон–рацион было почти в 2 раза выше, чем в северо-восточном районе. Высокая интенсивность питания сеголеток минтая и песчанки (ИНЖ — 114,8 и 262,0‰) в юго-восточном районе, средняя и ниже у сай-

ки и песчанки в северо-восточном районе (ИНЖ — 87,0 и 46,5 ‰) свидетельствует о достаточной обеспеченности пищей в юго-восточном районе и более низкой — в северо-восточном.

Благодарности

Авторы глубоко признательны сотруднику ВНИРО И.В. Григорову и сотруднику Полярного отделения ВНИРО (ПИНРО) А.Н. Бензику, Л.М. Гостренко (ТИНРО), американским исследователям E.V. Farley и K. Cieciel, а также членам экипажей НИС «Профессор Леванидов», «ТИНРО» и «Ocean Start», помогавшим и принимавшим участие в сборе проб по питанию рыб.

Финансирование работы

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.

Соблюдение этических стандартов

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

Список литературы

- Волков А.Ф.** Методика сбора и обработки планктона и проб по питанию nekтона (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.
- Дулепова Е.П.** Использование кормовой базы nekтоном в периоды его высокой численности в Охотском море // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 173. — С. 146–163.
- Ефимкин А.Я.** Питание сайки *Boreogadus saida* в Беринговом и Чукотском морях // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 173. — С. 184–192.
- Кузнецова Н.А.** Новые данные о питании молоди рыб в восточной части Чукотского моря // Изв. ТИНРО. — 2018а. — Т. 194. — С. 139–152.
- Кузнецова Н.А.** Особенности состояния планктонного сообщества в Чукотском море в августе-сентябре 2017 г. // Изв. ТИНРО. — 2018б. — Т. 194. — С. 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. 282–291.
- Орлов А.М., Бензик А.Н., Ведищева Е.В. и др.** Рыбохозяйственные исследования в Чукотском море на НИС «Профессор Леванидов» в августе 2019 г.: некоторые предварительные результаты // Тр. ВНИРО. — 2019. — Т. 178. — С. 206–220.
- 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.
- Чучукало В.И.** Питание и пищевые отношения nekтона и nekтобентоса в дальневосточных морях : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — 484 с.
- Шунтов В.П.** Биология дальневосточных морей России : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — Т. 2. — 604 с.
- Юровицкий Ю.Г.** О питании синца (*Abramis balberus*) Рыбинского водохранилища // Вопр. ихтиол. — 1962. — Т. 2, вып. 2. — С. 350–360.
- Eisner L.B., Hillgruber N., Martinson E., Maselko J.** Pelagic fish and zooplankton species assemblages in relation to water mass characteristics in the northern Bering and southeast Chukchi seas // Polar Biol. — 2013. — Vol. 36, Iss. 1. — P. 87–113. DOI: 10.1007/s00300-012-1241-0.

Ershova E.A., Hopcroft R.R., Kosobokova K.N. et al. Long-term changes in summer zooplankton communities of the western Chukchi Sea, 1945–2012 // *Oceanography*. — 2015. — Vol. 28, № 3. — P. 100–115. DOI: 10.5670/oceanog.2015.60.

Gann J.C., Eisner L.B., Danielson S. How do oceanographic characteristics in the northern Bering Sea relate to juvenile salmon biomass? // *NPAFC. Tech. Rep.* № 9. — 2013. — P. 83–89.

Moss J.H., Murphy J.M., Farley E.V. et al. Juvenile pink and chum salmon distribution, diet, and growth in the northern Bering and Chukchi Seas // *N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull.* — 2009. — № 5. — P. 191–196.

References

Volkov, A.F., Technique of collecting and processing the samples of plankton and the samples on nekton feeding (step-by-step instructions), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 154, pp. 405–416.

Volkov, A.F. and Murphy, J.M., Plankton and diet of fish in the Chukchi Sea and the northern Bering Sea, *Byull. no. 2 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovoï programmy izucheniya tikhookeanskikh lososei"* (Bull. No. 2 Implementation "Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2007, pp. 70–80.

Dulepova, E.P., Utilization of forage resources by nekton in periods of its high abundance in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 173, pp. 146–163.

Efimkin, A.Ya., Feeding of arctic cod *Boreogadus saida* in the Bering and Chukchi Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 173, pp. 184–192.

Kuznetsova, N.A., New data on the diet of juvenile fish in the eastern Chukchi Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 194, pp. 139–152. doi 10.26428/1606-9919-2018-194-139-152

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 basseinovoï programmy izucheniya tikhookeanskikh lososei"* (Bull. No. 2 Implementation "Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2007, pp. 282–291.

Orlov, A.M., Benzik, A.N., Vedishcheva, E.V., Gafitsky, S.V., Gorbatenko, K.M., Goryanina, S.V., Zubarevich, V.L., Kodryan, K.V., Nosov, M.A., Orlova, S.Yu., Pedchenko, A.P., Rybakov, M.O., Sokolov, A.M., Somov, A.A., Subbotin, S.N., Tapygin, M.Yu., Firsov, Yu.L., Khleborodov, A.S., and Chikilev, V.G., Fisheries research in the Chukchi Sea at the RV «Professor Levanidov» in August 2019: some preliminary results, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 178, pp. 206–220.

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

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.

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

Yurovitsky, Yu.G., About nutrition of blue bream (*Abramis balberus*) of Rybinsk reservoir, *Vopr. Ikhtiol.*, 1962, vol. 2, no. 2, pp. 350–360.

Eisner L.B., Hillgruber N., Martinson E., Maselko J. Pelagic fish and zooplankton species assemblages in relation to water mass characteristics in the northern Bering and southeast Chukchi seas // *Polar Biol.* — 2013. — Vol. 36, Iss. 1. — P. 87–113. DOI: 10.1007/s00300-012-1241-0.

Ershova, E.A., Hopcroft, R.R., Kosobokova, K.N., 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.

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.

Savin, A.B., *Sovremennoye sostoyaniye promyslovykh rybnykh resursov morey vostochnogo sektora Arktiki* (The current state of commercial fish resources in the seas of the eastern sector of the Arctic), Available from TINRO, 2019, Vladivostok, no. 28357.

Borilko, O.Yu., *Reysovyuy otchet "O rezul'tatakh ekspeditsii v Chukotskoye more NIS «TINRO» 31 avgusta — 10 sentyabrya 2018 g."* (Cruise report "On the results of the expedition to the Chukchi Sea of the R/V TINRO August 31 — September 10, 2018"), Available from TINRO, 2018, Vladivostok, no. 28249.

Boyko, M.I., Bezrukov, R.G., Voloshanskiy, N.O., Lukyanov, V.S., Gorbachev, V.V., and Danilov, A.V., *Reysovyuy otchet "Rezul'taty donnykh tralovykh issledovaniy v Okhotskom more na NIS "Dmitriy Peskov" v period s 19.06 po 05.10.2019 g."* (Cruise report "Results of bottom trawl studies in the Sea of Okhotsk onboard the R/V Dmitry Peskov in the period from 19.06 to 05.10.2019"), Available from KhabarovskNIRO, Khabarovsk, 2019, no. 1910.

Поступила в редакцию 21.09.2021 г.

После доработки 18.11.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

УДК 574.5(268.56)

**К.М. Горбатенко¹, И.В. Мельников¹, А.Н. Бензик², В.Е. Метревели^{1*}**¹ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;² Полярный филиал ВНИРО (ПИНРО им. Н.М. Книповича),
183038, г. Мурманск, ул. Книповича, 6**ДОННО-ПЕЛАГИЧЕСКИЕ СВЯЗИ ГИДРОБИОНТОВ
В РАЗЛИЧНЫХ ВОДНЫХ МАССАХ ЧУКОТСКОГО МОРЯ
ПО ДАННЫМ $\delta^{15}\text{N}$ И $\delta^{13}\text{C}$**

Для сравнения трофических характеристик пелагических и донных сообществ у зоопланктона и зообентоса в Чукотском море был исследован изотопный состав углерода и азота ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) в двух различных водных массах. Основная акватория южной части моря (южнее 71°с.ш.) находилась под влиянием берингово-морских водных масс с относительно высокими значениями $\delta^{13}\text{C}$ и низкими $\delta^{15}\text{N}$. В северных районах преобладали холодные арктические воды, в которых отмечено значительное уменьшение величин $\delta^{13}\text{C}$ и увеличение значений $\delta^{15}\text{N}$ на 1–3 ‰. Выявленные устойчивые различия в изотопном составе углерода между зоопланктоном и бентосными беспозвоночными в южной части Чукотского моря показали, что донные организмы базируются в основном на донной пищевой цепи и влияние органического вещества из пелагиали незначительно. В северной части Чукотского моря источником органического вещества в донном сообществе в большей степени является продукция из пелагиали, среди которой преобладает взвешенное органическое вещество от продукции ледовых водорослей. Изотопные исследования и данные по питанию рыб показали, что в южной части моря около 90 % исследованных видов донных рыб замыкаются на донную пищевую сеть. В северном районе все образцы донных рыб характеризовались минимальным насыщением $\delta^{13}\text{C}$, сопоставимым с таковым пелагических рыб, что указывает на основную роль пелагических объектов (60–80 %) в питании исследованных видов донного нектона. Значения $\delta^{15}\text{N}$ исследованных гидробионтов в южной и северной частях моря изменяются в широком диапазоне и занимают три трофических уровня. Очевидно, что значения $\delta^{15}\text{N}$ отражают элемент хищничества и, следовательно, значимость в пищевом рационе консументов первого, второго или третьего порядков.

Ключевые слова: Арктика, Чукотское море, зоопланктон, бентос, нектон, трофодинамические связи, пелагиаль.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-784-809.

* Горбатенко Константин Михайлович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, e-mail: konstantin.gorbatenko@tinro-center.ru; Мельников Игорь Владимирович, кандидат биологических наук, заместитель руководителя филиала, e-mail: igor.melnikov@tinro-center.ru; Бензик Александр Николаевич, главный специалист, e-mail: alex_b@pinro.ru; Метревели Вадим Евгеньевич, специалист, e-mail: metreveli.vadim@mail.ru.

Gorbatenko Konstantin M., D.Biol., principal researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: konstantin.gorbatenko@tinro-center.ru; Melnikov Igor V., Ph.D., deputy head, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: igor.melnikov@tinro-center.ru; Benzik Alexander N., chief specialist, Polar branch of VNIRO (PINRO), 6, Akademik Knipovich Str., Murmansk, 183038, Russia, e-mail: alex_b@pinro.ru; Metreveli Vadim E., specialist, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: metreveli.vadim@mail.ru.

Gorbatenko K.M., Melnikov I.V., Benzik A.N., Metreveli V.E. Benthic-pelagic relations of aquatic organisms in various water masses of the Chukchi Sea by the data of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ // *Izv. TINRO*. — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 784–809.

To compare trophic characteristics for pelagic and benthic communities of zooplankton and zoobenthos in the Chukchi Sea, isotopic composition of carbon and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) was measured in two different water masses: i) the Bering Sea water with relatively high $\delta^{13}\text{C}$ and low $\delta^{15}\text{N}$ values that occupied the southern part of the sea (south of 71°N), and ii) the cold Arctic water prevailed in its northern part where $\delta^{13}\text{C}$ value was considerably lower and $\delta^{15}\text{N}$ value was higher in 1–3 %. Stable difference in the isotopic composition of carbon is found between zooplankton and benthic invertebrates in the southern Chukchi Sea that means that benthic organisms base mainly on the benthic trophic chain and role of organic matter from the upper layer is not significant. About 90 % of the studied species of benthic fish are locked into the benthic trophic web there. In the northern Chukchi Sea, the benthic community consumes mainly the suspended organic matter produced in the water column, with prevalence of ice algae. All samples of benthic fish collected in this area have minimum content of heavy carbon $\delta^{13}\text{C}$ with the values comparable to pelagic fish that indicates the main role of pelagic objects (60–80 %) in their feeding. The $\delta^{15}\text{N}$ value reflects predatory habits of the animals. These values vary over a wide range both in the southern and northern areas that corresponds to the diet of the first, second or third order consumers.

Key words: Arctic, Chukchi Sea, zooplankton, nekton, benthos, trophodynamic link, pelagic layer.

Введение

Чукотское море расположено между центральной частью Арктического бассейна и Беринговым морем и является окраинным морем Северного Ледовитого океана. Несмотря на имеющуюся информацию о составе и структуре донных и пелагических сообществ, а также питании гидробионтов [Бродский и др., 1983; Фауна..., 2008; Эко-системы..., 2009; Фигуркин, Слабинский, 2012; Слабинский, Фигуркин, 2014; Barton et al., 2017; Кузнецова, 2018; Орлов и др., 2020], трофические связи между пелагическими и донными сообществами в экосистемах данного региона все еще изучены недостаточно. А без конкретных представлений о трофических связях и роли в них массовых видов гидробионтов невозможно принципиально продвинуться в изучении динамики численности промысловых объектов.

Пелагическая и донная подсистемы представляют собой взаимосвязанные части экосистемы. Планктонные и бентосные организмы, оставаясь в границах своих биотопов, участвуют в энергетическом обмене между пелагиалью и бенталью через детритную цепь (отмирающий планктон) или потребляя взвешенное органическое вещество (ВОВ) (бентосные сестонофаги). Поскольку nektonные виды являются активными мигрантами, в их пищевой рацион могут входить как пелагические, так и донные объекты, постоянно происходит активный энергетический обмен между пелагическим и донным сообществами. Помимо анализа содержимого желудков, можно существенно уточнить трофический статус консументов по разнице в скорости, с которой природные тяжелые изотопы ^{13}C и ^{15}N депонируются в тканях [Minagawa, Wada, 1984]. Согласно предыдущим исследованиям [Hobson, Welch, 1992; Post, 2002; Jackson et al., 2011] анализ изотопного состава углерода и азота гидробионтов является одним из успешных подходов при изучении структуры и функционирования пелагических и донных сообществ в арктических морях. Данные изотопного анализа позволяют определить не только источник органического вещества и трофическую структуру, но и оценить межвидовые и внутривидовые различия трофического статуса. Использование изотопного подхода для изучения трофодинамики пелагических и донных сообществ российского сектора Чукотского моря представляется весьма перспективным в свете исследований, проведенных в восточном секторе моря в последние годы [Iken et al., 2010; McTigue, Dunton, 2014, 2017; Barton et al., 2017; и др.].

Работы последних двух десятилетий свидетельствуют о неоднозначном влиянии потепления в арктическом бассейне на его обитателей [Melnikov et al., 2002; Belkin,

2009]. Гидрологической особенностью последних лет было отсутствие льда в Чукотском море в летние месяцы, что дало возможность в 2009 и 2020 гг. исследовать северные районы моря.

В статье представлены результаты определения трофического статуса доминирующих видов в пелагических и донных сообществах в южной (берингоморские южные массы) и северной (арктические водные массы) частях (районах) Чукотского моря. Основная цель — выявить донно-пелагические связи гидробионтов в южной и северной частях Чукотского моря и определить роль различных видов в пищевой сети исследуемых биотопов (пелагиаль–дно).

Материалы и методы

В задачу исследования входило масс-спектрометрическое определение природных соотношений стабильных изотопов азота $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ (выражаемое как $\delta^{15}\text{N}$) и углерода $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (выражаемое как $\delta^{13}\text{C}$) в образцах мягких тканей отдельных видов гидробионтов, которые были собраны в экспедициях ВНИРО в Чукотском море в 2018 (с 31.08 по 10.09) и 2019 (с 11.08 по 03.09) гг. (рис. 1).

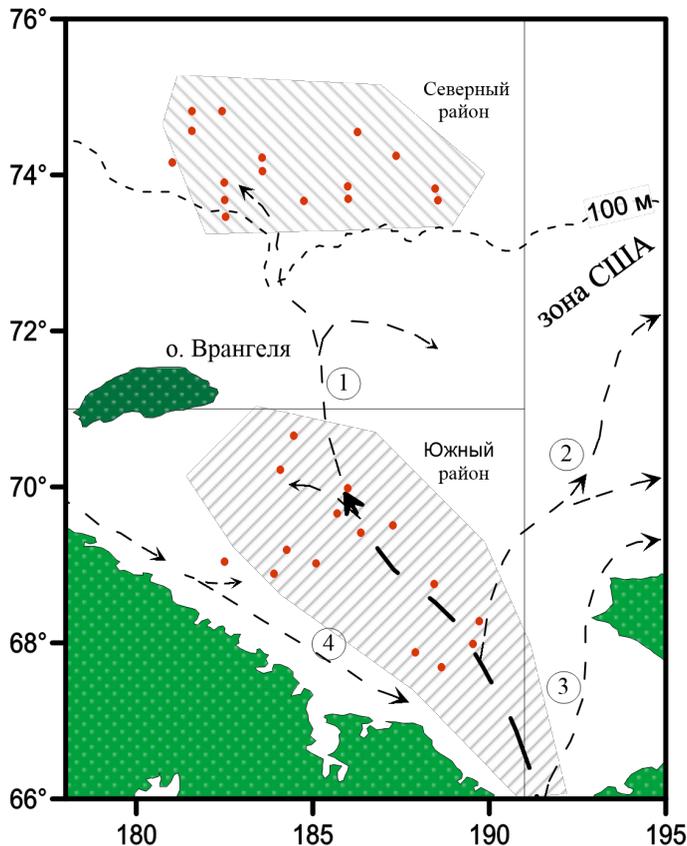


Рис. 1. Станции отбора проб на стабильные изотопы гидробионтов (зоопланктон, зообентос, пелагический и донный нектон) в 2018 и 2019 гг. и основные течения в Чукотском море: 1 — течение желоба Геральда; 2 — течение желоба Центрального; 3 — прибрежное Аляскинское течение; 4 — прибрежное Сибирское течение

Fig. 1. Scheme of zooplankton, zoobenthos, pelagic and benthic nekton sampling for stable isotopes composition in 2018 and 2019. The main currents in the Chukchi Sea are shown: 1 — Herald trough flow; 2 — Central trench flow; 3 — Alaska Current; 4 — Siberian Current

В табл. 1 представлены результаты исследования состава стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и азота ($\delta^{15}\text{N}$) в органическом веществе 107 образцов отдельных видов гидробионтов.

Таблица 1

Количество проб на стабильные изотопы разных образцов гидробионтов в Чукотском море в 2018 и 2019 гг.

Table 1

Number of the zooplankton, zoobenthos, pelagic and bottom nekton samples for stable isotopes composition in the Chukchi Sea in 2018 and 2019

Гидробионты	Северный район	Южный район	Σ
Зоопланктон	9	8	17
Зообентос	30	18	48
Пелагический нектон	18	1	19
Донный нектон	14	9	23
Всего	71	36	107

Данные об изотопном составе образцов были получены в лаборатории стабильных изотопов Дальневосточного геологического института ДВО РАН (г. Владивосток) методом прецизионной изотопной масс-спектрометрии с использованием аналитической системы, состоящей из элементного анализатора органического вещества Flash 2000, соединенного интерфейсом ConFlo-IV с прецизионным изотопным масс-спектрометром MAT-253 (Термоквест, Германия). Относительное содержание изотопов ^{13}C и ^{15}N в образцах определяли в общепринятой форме как величины отклонений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ в промилле от соответствующего международного стандарта изотопного состава:

$$\delta^x (\text{‰}) = [(R_{\text{образца}} - R_{\text{стандарта}}) / R_{\text{стандарта}}] \cdot 1000,$$

где δ^x — величины $\delta^{13}\text{C}$ или $\delta^{15}\text{N}$, а R — соответственно отношения $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ или $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$.

Результаты масс-спектрометрических измерений были калиброваны с помощью международных изотопных стандартов (Международное агентство по атомной энергии, Вена). Воспроизводимость результатов измерений соотношений стабильных изотопов для данной серии образцов составляла $\pm 0,10 \text{‰}$ для величин $\delta^{15}\text{N}$ и $\pm 0,08 \text{‰}$ для величин $\delta^{13}\text{C}$.

Реальный трофический уровень консумента, занимаемый тем или иным видом в пищевых сетях водных экосистем, определяли по изотопному составу азота [Post, 2002]:

$$\text{TУк} = \lambda + (\delta^{15}\text{Nк} - \delta^{15}\text{Nб})/\Delta,$$

где ТУк — трофический уровень консумента; $\delta^{15}\text{Nк}$ — изотопный состав азота консумента; $\delta^{15}\text{Nб}$ — изотопный состав азота организмов, принимаемых за основание данной пищевой цепи (первичных продуцентов или первичных консументов); Δ — величина изменения изотопного состава на одном трофическом уровне (обычно принимается значение $3,4 \text{‰}$ [Minagawa, Wada, 1984]); λ — значение трофического уровня организмов, принимаемых за основание пищевой цепи (для первичных продуцентов или консументов). Ввиду отсутствия прямых измерений изотопного состава продуцентов за основание данной пищевой цепи Чукотского моря приняты двустворчатые моллюски-фильтраторы *Serripes groenlandicus* $\delta^{15}\text{N}$ — $8,4 \text{‰}$, поскольку среди исследованных видов консументов они имели наименьшие значения $\delta^{15}\text{N}$ и с наибольшей вероятностью могут считаться консументами первого порядка.

Результаты и их обсуждение

При анализе основных трофических связей в Чукотском море были объединены данные по стабильным изотопам, а также по пищевым характеристикам у доминирующих видов зоопланктона, зообентоса, донного и пелагического нектона [Фигуркин, Слабинский, 2012; Слабинский, Фигуркин, 2014; Кузнецова, 2018; Орлов и др., 2020]. Результаты предыдущих исследований показали, что большая часть нектона имеет смешанное питание: рацион состоит из зоопланктона и нектона (личинки и взрослых особей), причем в течение жизненного цикла возрастные группы многих видов имеют различный трофический статус.

Данные изотопного состава у 69 массовых видов гидробионтов, составляющих основу пелагических и донных сообществ, представленные в табл. 2, показали значительные пространственные вариации $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ у консументов в южной и северной частях Чукотского моря. Это диктует необходимость рассмотреть донно-пелагические связи отдельно для вод северной и южной акваторий.

Таблица 2
Пределные значения стабильных изотопов углерода и азота гидробионтов
Чукотского моря

Table 2
Limiting values of stable isotopes of carbon and nitrogen in aquatic organisms
from the Chukchi Sea

Район	Объект	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		Кол-во видов
		Min	Max	Min	Max	
Южный	Зоопланктон	-20,8	-18,1	9,7	13,3	8
	Зообентос	-19,6	-15,1	8,4	15,9	22
	Пелагический нектон	-19,8	-18,1	13,1	18,5	5
	Донный нектон	-18,1	-17,3	14,7	17,8	7
Северный	Зоопланктон	-21,9	-20,5	10,3	13,8	4
	Зообентос	-20,8	-15,9	15,1	19,3	17
	Пелагический нектон	-20,2	-19,9	14,0	19,1	2
	Донный нектон	-20,6	-17,5	16,5	18,4	4

Следует отметить, что ввиду отсутствия прямых измерений изотопного состава продуцентов определения значений $\delta^{15}\text{N}$ у консументов, которые следует принимать за основание пищевой цепи Чукотского моря, вызвали некоторые затруднения. Самые низкие значения $\delta^{15}\text{N}$ в пелагиали были отмечены в южном районе у личинок эвфаузиид (9,7 ‰) и в северном — у копепод *Calanus glacialis* (10,3 ‰). Однако в предыдущих исследованиях в Беринговом и Охотском морях у этих планктеров значения $\delta^{15}\text{N}$ были на 1–2 ‰ выше, чем у тонкого фильтрата копеподы *Eucalanus bungii*, которого мы принимали за основание пищевой цепи [Горбатенко, 2018]. Причем значения $\delta^{15}\text{N}$ *E. bungii* были сопоставимы со значениями $\delta^{15}\text{N}$ у двухстворчатых моллюсков, которых мы принимали за основание пищевой цепи для донного сообщества. В Чукотском море минимальные значения $\delta^{15}\text{N}$ наблюдаются у двухстворчатых моллюсков-фильтраторов *S. groenlandicus*. Принимая значение $\delta^{15}\text{N}$ двухстворчатых моллюсков-фильтраторов *S. groenlandicus*, равное 8,4 ‰, за изотопную характеристику консументов первого порядка в экосистеме Чукотского моря, с некоторыми допущениями можно оценить по величинам $\delta^{15}\text{N}$ [Post, 2002] трофический статус исследованных гидробионтов.

Гидрологические исследования показали, что центральная и южная части Чукотского моря находятся под влиянием относительно теплых, богатых биогенами берингоморских вод, юго-западная прибрежная — под влиянием холодной и бедной биогенами водной массы, приносимой из Восточно-Сибирского моря сибирским прибрежным течением, а в северной части располагаются трансформированные холодные арктические воды [Grebmeier, 1993; Grebmeier et al., 1988; Hill, Cota, 2005; Фигуркин, Слабинский, 2012]. Поэтому одной из особенностей Чукотского моря является существенная гетерогенность пищевых сетей, относящихся к акваториям с доминированием разных водных масс, что выражается в различном изотопном составе азота основы пищевых сетей [Iken et al., 2010; Одинцов, Кияшко, 2018]. Таким образом, корректные оценки трофического статуса гидробионтов Чукотского моря по изотопному составу азота могут быть получены только с учетом пространственного распределения собранных образцов и их привязки к районам с определенными водными массами.

Донно-пелагические связи в южной части Чукотского моря
(внутренний шельф — глубина менее 70 м)

Зоопланктон. Основу биомассы зоопланктона Чукотского моря формируют 10 доминирующих видов, включающих копепод, сагитт, эвфаузиид, гипериид и кишечнополостных [Волков, Mughy, 2007; Кузнецова, Слабинский, 2007; Фигуркин, Слабинский, 2012]. Эти виды имеют разнообразные типы питания — от фильтраторов до плотоядных хватателей [Гейнрих, 1963; Раймонт, 1988а, б] — и, соответственно, имеют различные трофические статусы.

Изотопный состав углерода и азота был исследован у пяти доминирующих групп зоопланктона (табл. 3). Диапазоны значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ для исследованных таксономических групп зоопланктона в южном районе составляют соответственно от $-20,4$ до $-18,1$ ‰ и от $9,7$ до $13,3$ ‰ (табл. 3).

Таблица 3

Эколого-трофологическая характеристика и изотопный состав (‰) зоопланктона южной части Чукотского моря

Table 3

Ecological and trophological characteristics of zooplankton in the southern Chukchi Sea and its isotopic composition, ‰

Объект	Тп	$\delta^{13}\text{C}$	$\pm\text{SE}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\pm\text{SE}$	ТУк	n
Копеподы		-18,2		11,3		2,8	1
<i>Calanus glacialis</i>	Ф ¹	-18,2		11,3		2,8	1
Эвфаузииды		-20,4	0,40	12,7	0,9	3,3	2
<i>Thysanoessa inermis</i>	Ф ²	-20,0		12,7		3,3	1
<i>Thysanoessa raschii</i> *	Ф ²	-20,8		12,7		3,3	1
<i>Euphausiidae</i> larvae	Ф ²	-20,5	0,05	9,7	0,7	2,4	2
Гиперииды		-19,1		12,2		3,1	1
<i>Themisto libellula</i>	ХВ ³	-19,1		12,2		3,1	1
Щетинкочелюстные		-18,1		13,3		3,4	1
<i>Sagitta elegans</i>	Х ⁴	-18,1		13,3		3,4	1
Медузы		-18,7	0,50	11,6	0,6	3,0	2
<i>Aurelia aurita</i>	Х ⁵	-19,2		11,0		2,8	1
<i>Cyanea capillata</i>	Х ⁵	-18,3		12,3		3,1	1

Примечания. ¹ Арашкевич, 1969; ² Пономарева, 1955; ³ Гутельмахер и др., 1988; ⁴ Косихина, 1982; ⁵ Горбатенко и др., 2005. Здесь и далее: Тп — тип питания; Ф — фитофаги; Х — хищники; ХВ — хвататели плотоядные; ТУк — реальный трофический уровень, рассчитанный по Посту [Post, 2002]; n — количество проб.

* Виды, находящиеся под воздействием сибирского течения.

Как и в предыдущих исследованиях [Горбатенко, 2018], у зоопланктона в южной части Чукотского моря наблюдалось закономерное увеличение значений азота от фильтраторов к хищным хетогнатам (табл. 3). Изотопный состав углерода показал, что минимальные значения углерода имела эвфаузиида *Thysanoessa raschii*, выловленная в прибрежной зоне западной части моря, находящейся под влиянием холодных распресненных вод сибирского течения. Как показали предыдущие исследования, образцы из этих вод по изотопному составу углерода на $2,0$ – $2,5$ ‰ легче, чем из южных и центральных районов, которые находились под влиянием берингоморских вод [Одинцов, Кияшко, 2018].

Бентосные беспозвоночные. Организмы зообентоса в южной части моря были представлены 30 образцами (см. табл. 1). В данном районе изотопный состав определен у 13 групп донных беспозвоночных (табл. 4). Диапазоны значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ для исследованных видов зообентоса в южном районе составляют соответственно от $-19,6$ до $-14,2$ ‰ и от $8,4$ до $15,9$ ‰.

Эколого-трофологическая характеристика и изотопный состав (‰) зообентоса южной части Чукотского моря

Ecological and trophological characteristics of zoobenthos in the southern Chukchi Sea and its isotopic composition, ‰

Объект	Эк	Тп	$\delta^{13}\text{C}$	$\pm\text{SE}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\pm\text{SE}$	Тук	n
Actiniaria			-18,3		15,9		4,2	1
<i>Stomphia coccinea</i> *	Д	П ²	-18,3		15,9		4,2	1
Gastropoda	Д		-15,1	0,6	15,7	1,5	4,1	2
<i>Neptunea heros</i>	Д	П ²	-15,1	0,6	15,7	1,5	4,1	2
Bivalvia			-17,5	0,2	9,6	0,7	2,4	6
<i>Musculus niger</i>		НС	-17,3	0,2	10,5	0,1	2,6	2
<i>Nuculana pernula</i>	Д	ПС	-17,6		11,0		2,8	1
<i>Serripes groenlandicus</i>	Д	ФС ¹²	-17,1	0,1	8,4	0,8	2,0	2
<i>Serripes notabilis</i>		ФС ¹²	-18,0		8,5		2,0	1
Echinoidermata								
Asteroidea			-16,7	0,3	12,5	0,4	3,2	3
<i>Leptasterias polaris</i>	Д	П ¹	-16,7	0,3	12,5	0,4	3,2	3
Holothuroidea			-18,8		12,6		3,2	1
<i>Myriotrochus rinkii</i>	Д	БД	-18,8		12,6		3,2	1
Ophiuroidea			-18,4	0,6	13,4	0,01	3,5	2
<i>Gorgonocephalus eucnemis</i> *	Д	СД ¹¹	-19,0		13,4		3,5	1
<i>Ophiura sarsi</i>	Д	СД ¹¹	-17,9		13,4		3,5	1
Alcyonacea			-19,3		15,1		4,0	1
<i>Gersemia rubiformis</i> *	Д	ФС	-19,3		15,1		4,0	1
Bryozoa			-19,3		11,6		3,0	1
<i>Eucratea loricata</i> *	Д	ФС	-19,3		11,6		3,0	1
Nemertea			-18,2		15,9		4,2	1
<i>Nemertea</i> gen. sp.*	Д	Х	-18,2		15,9		4,2	1
Echiura			-19,6		13,3		3,4	1
<i>Echiurus echiurus</i> *	Д	СС	-19,6		13,3		3,4	1
Polychaeta			-17,2	0,6	14,9	0,1	3,9	3
<i>Eunidiidae</i> g. sp.	Д	ФФ	-16,5		14,9		3,9	1
<i>Maldanidae</i> g. sp.	Д	БД	-18,3		15,0		3,9	1
<i>Polynoidae</i> g. sp.	Д	П ^{6,8}	-16,9		14,8		3,9	1
Decapoda								
Brachiura	Д	П ^{3,5}	-16,7	0,1	14,2	1,0	3,7	3
<i>Chionoecetes opilio</i>	Д	П ^{8,10}	-16,5	0,3	15,2	0,4	4,0	2
<i>Hyas coarctatus</i>	Д	П ^{2,7}	-16,8		13,2		3,4	1
Ova <i>Chionoecetes opilio</i>			-18,7		12,5		3,2	1
Caridea	ПД	П ^{4,7}	-16,7	0,7	14,4	0,1	3,8	4
<i>Argis lar</i>	Д	П ^{6,7}	-16,0	0,1	14,4	1,1	3,8	2
<i>Pandalus goniurus</i>	ПД	П ^{9,10}	-17,4	0,2	14,5	0,5	3,8	2

Примечания. ¹ Атлас..., 2010а; ² Атлас..., 2010б; ³ Голиков, 1980; ⁴ Голиков, Кусакин, 1978; ⁵ Догель, 1981; ⁶ Надточий и др., 2001; ⁷ Слизкин, 2010; ⁸ Соколова, 1958; ⁹ Чучукало и др., 2003; ¹⁰ Boutillier and Nguyen, 1999; ¹¹ Турпаева, 1953; ¹² Скарлато, 1981; здесь и далее: Эк — эколого-трофологическая характеристика вида; Д — донные; П — пелагический; ПД — придонный; Тп — тип питания; П — плотоядные; НС — неподвижные сестонофаги; ПС — подвижные сестонофаги; ФС — фильтраторы-сестонофаги; БД — безвыборочные детритофаги; СД — собирающие детритофаги; Х — хищники; СС — собирающие сестонофаги; ФФ — фильтраторы-фитофаги.

* Виды, находящиеся под воздействием сибирского течения.

Размах вариаций значений $\delta^{13}\text{C}$ в южной части моря составляет 5,4 ‰, что в первую очередь связано с влиянием в западной части района сибирского течения. Как и в

зоопланктоне, в области распространения сибирского течения отмечается значительное снижение углерода $\delta^{13}\text{C}$ в тканях зообентоса (табл. 4).

Таким образом, в южном районе в зоне влияния берингоморских водных масс без учета зообентоса, выловленного в зоне влияния сибирского течения, изотопный состав углерода исследованных проб зообентоса имеет относительно высокие значения и изменяется от значений $\delta^{13}\text{C}$ $-18,8$ ‰ у голотурии-детритофага до $-15,1$ ‰ у гастроподы-падальщика (табл. 4). Все образцы зообентоса, собранные в зоне влияния сибирского течения, имеют пониженные значения $\delta^{13}\text{C}$ (от $-18,2$ до $-19,6$ ‰). Низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ в зообентосе (сопоставимые с зоопланктоном) в западной части моря, с одной стороны, указывают на зависимость бентоса от продукции из пелагиали, с другой — на увеличение доли терригенного органического вещества, что характерно для западных районов Арктики, источником органического вещества донных осадков является на 50 – 70 ‰ продукция фитопланктона пелагиали [Morris et al., 2015].

Изотопный состав азота исследованных проб показал диапазон значения $\delta^{15}\text{N}$ от $8,4$ ‰ у двустворчатых моллюсков *S. groenlandicus* до $15,9$ ‰ у хищных актиний (табл. 4). Значения $\delta^{15}\text{N}$ в южной части моря в различных водных массах менее выражены (табл. 4). Хотя при сопоставлении отдельных групп зообентоса более низкие значения $\delta^{15}\text{N}$ (на 1 – 3 ‰) наблюдаются в южной части моря (берингоморские водные массы), что связано с различной кормовой базой — в районе сибирского течения преобладают всеядные ракообразные — с более высоким трофическим статусом [Одинцов, Кияшко, 2018]. В южном районе в донном сообществе и, соответственно, в питании преобладают типичные детритофаги (двустворчатые моллюски и сидячие полихеты) [Сиренко, Гагаев, 2007].

Размах вариаций значений $\delta^{15}\text{N}$ в южной части моря составляет $7,5$ ‰, т.е. более двух трофических уровней, тем самым подтверждая разнообразие состава рационов у донных беспозвоночных.

Рыбы. Среди представителей nekтона Чукотского моря в южном районе были исследованы четыре доминирующих вида из пелагического сообщества и восемь видов из донного (табл. 5).

Изотопный состав углерода на шельфе Чукотского моря в южном районе у исследованных пелагических рыб изменяется от значений $\delta^{13}\text{C}$ $-19,8$ до $-18,1$ ‰, у донных — от $-18,1$ до $-17,3$ ‰ (табл. 5), т.е. по изотопному составу углерода выделяются две обособленные группы, связанные с различной кормовой базой.

Значения $\delta^{15}\text{N}$ в южном районе у пелагических рыб изменяются в широких пределах — от $13,1$ до $18,5$ ‰ (см. табл. 2), демонстрируя в первую очередь внутривидовую изменчивость, связанную с типом питания. Самые низкие значения $\delta^{15}\text{N}$ были отмечены у сеголеток минтая (менее 10 см), а высокие — у взрослых особей сайки (более 20 см). Различия по $\delta^{15}\text{N}$ у разноразмерных особей сайки и минтая составляли $5,2$ и $4,3$ ‰, что соответствует двум трофическим уровням. Очевидно, что значения $\delta^{15}\text{N}$ отражают степень хищничества и, следовательно, значимость в пищевом рационе хищников — консументов первого, второго и даже третьего порядков. У разноразмерной сайки и минтая с увеличением размера рыб спектр их пищевого рациона расширяется, при этом в питании увеличивается доля nekтона и бентоса (рис. 2). Таким образом, при дальнейшем анализе трофических связей в пелагическом сообществе следует учитывать размеры исследуемых особей с целью выявления различий в трофических связях у доминирующих видов nekтона в Чукотском море.

Изотопный состав азота у типично донных рыб имеет менее выраженные различия и размах вариаций значений $\delta^{15}\text{N}$ в южной части моря составляет всего $3,2$ ‰, т.е. около 1-го трофического уровня (табл. 5).

Полученные значения изотопного состава углерода и азота у донных и пелагических гидробионтов (планктон, бентос, nekтон, nekтобентос) в южной части Чукотского моря варьируют в широких пределах. Зоопланктон в южной части Чукотского моря, находящийся под влиянием берингоморских водных масс, значительно отличается

Средние значения стабильных изотопов углерода и азота гидробионтов
в южной части Чукотского моря, ‰Mean values of stable isotopes of carbon and nitrogen in aquatic organisms
from the southern Chukchi Sea, ‰

Объект	Эк	Тп	$\delta^{13}\text{C}$	$\pm\text{SE}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\pm\text{SE}$	ТУк	n
Пелагический нектон								
Gadidae								
<i>Boreogadus saida</i> , < 10 см	Эл	ПФ ^{1,2}	-18,1		13,3		3,4	1
<i>Boreogadus saida</i> , 10–15 см		ПФ ^{1,2}	-18,5	0,1	15,8	0,3	4,2	4
<i>Boreogadus saida</i> , 15–20 см		ЭФ ^{1,2}	-18,4	0,2	16,6	0,5	4,4	5
<i>Boreogadus saida</i> , > 20 см		Х-ЭФ ^{1,2}	-18,2		18,5		5,0	1
<i>Theragra chalcogramma</i> , < 10 см	Эл	ПФ ^{1,2}	-18,1		13,1		3,4	1
<i>Theragra chalcogramma</i> , 10–15 см		ПФ ^{1,2}	-18,7	0,4	15,2	0,1	4,0	2
<i>Theragra chalcogramma</i> , 50–60 см		ЭФ ^{1,2}	-18,4	0,1	16,3	1,1	4,3	2
<i>Theragra chalcogramma</i> , > 60 см		Х-ЭФ ^{1,2}	-18,3		17,4		4,6	1
Clupeidae								
<i>Clupea pallasii</i> , < 15 см	Н	ПФ ^{2,4}	-19,5		15,3		4,0	1
<i>Clupea pallasii</i> , > 15 см	Н	ПФ ^{2,4}	-19,6	0,03	15,6	0,1	4,1	2
Osmeridae								
<i>Mallotus villosus</i> , 15–16 см	Н	ПФ ^{2,4}	-19,8	0,04	15,9	0,3	4,2	2
Донный нектон								
Cottidae								
<i>Gymnocanthus tricuspis</i> , 15 см	Эл	ПФ, Крв ^{1,2}	-18,1		16,8		4,5	1
<i>Myoxocephalus jaok</i> , 20 см	Эл	Х-КрвКб ^{1,2,3}	-17,6		17,0		4,5	1
<i>Myoxocephalus verrucosus</i> , 16 см	Эл	Х-КрвКб ^{1,2,3}	-17,5		17,4		4,7	1
Pleuronectidae								
<i>Hippoglossoides robustus</i> , > 20 см	Эл	ЭФ ²	-17,6	0,3	15,8	0,3	4,2	2
Stichaeidae								
<i>Anisarchus medius</i> , 13 см	МБ	ПФ, Б ²	-17,6		17,8		4,8	1
<i>Lumpenus sagitta</i> , 21 см	МБ	ПФ, Б ²	-17,4		14,7		3,8	1
<i>Leptoclinus maculatus</i> , 12–16 см	МБ	ПФ, Б ²	-17,3	0,2	16,9	0,5	4,5	2
<i>Lumpenus fabricii</i> , 12 см	МБ	ПФ, Б ²	-17,5		16,8		4,5	1

Примечание. ¹Кузнецова, 2005; ²Чучукало, 2006; ³Чучукало, Напазаков, 2002; ⁴Горбатенко и др., 2004; Эк — экологическая характеристика вида; МБ — мезобентальный; Н — неритический; Эл — элиторальный; Тп — тип питания; ПФ — планктофаги; Х — хищники; Б — бентофаги; ЭФ — эврифаги; Крв — креветкоед; КрвКб — креветко-крабод; n — количество проб.

от бентосных беспозвоночных изотопным составом углерода (табл. 2). Такая картина разделения бентоса и зоопланктона по изотопам углерода характерна для арктических морей [Hobson et al., 2002] и является следствием различных изотопных характеристик потребляемой ими первичной продукции. Согласно Францу [France, 1995] средние значения содержания $\delta^{13}\text{C}$ в морском фитопланктоне и в бентосных водорослях составляют соответственно -22 и более -17 ‰.

На основании устойчивых различий в изотопном составе углерода между зоопланктоном, бентосом, пелагическим и донным нектоном в Чукотском море можно провести границу, которая соответствует среднему содержанию $\delta^{13}\text{C}$ -18,0 ‰ (рис. 3). Уменьшение $\delta^{13}\text{C}$ (ниже значений -18 ‰) у сестонофагов: эхиуры *Echiurus echiurus*; мягких кораллов *Gersemia rubiformis* и мшанки *Eucratea loricata*; офиуры-детритофага *Gorgonosephalus* и хищника *Nemertea*, — возможно, связано с увеличением в пищевых цепях доли терригенного органического вещества в районах сибирского течения, поступающего из Восточно-Сибирского моря.

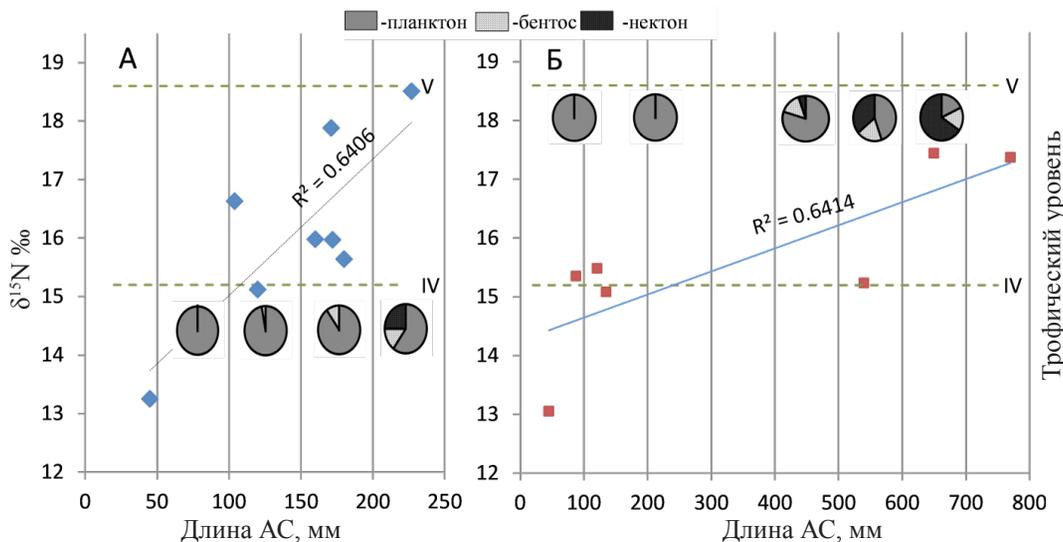


Рис. 2. Изменение трофического статуса разноразмерной сайки (А) и минтая (Б) в сопоставлении со спектром питания в южной части шельфа Чукотского моря

Fig. 2. Trophic status of arctic cod (A) and walleye pollock (B) in the southern Chukchi Sea, by body size, in comparison with their food spectra

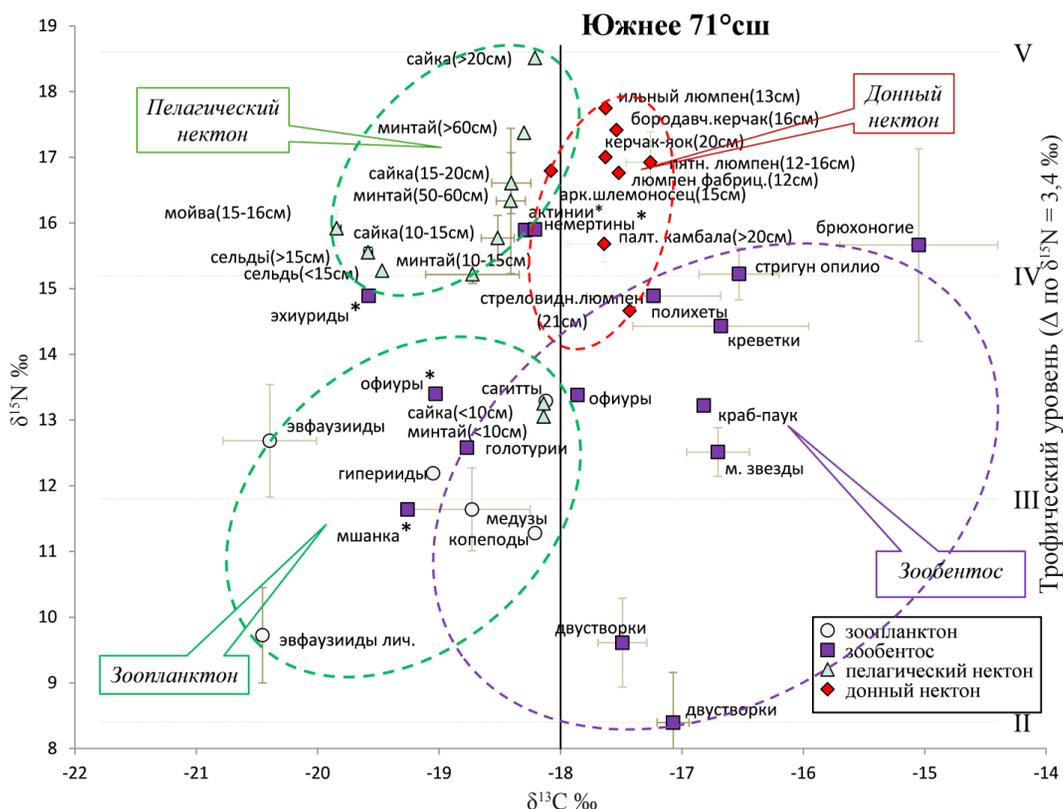


Рис. 3. Трофический статус гидробионтов в трофической сети шельфовой зоны южной части Чукотского моря: II, III, IV, V — трофические уровни; сплошная линия — условная граница разделения на пелагическое и донное сообщества; звездочкой помечены виды, находящиеся под воздействием Сибирского течения

Fig. 3. Trophic status of aquatic organisms in the food web on the shelf of the southern Chukchi Sea: II, III, IV, V — trophic levels; asterisk marks the species related with the Siberian Current; solid line divides pelagic and benthic communities

В Охотском и Беринговом морях граница, разделяющая пелагические и донные гидробионты, соответствует значению $\delta^{13}\text{C}$ $-17,5\%$ [Горбатенко и др., 2008; Горбатенко, 2018]. Смещение условной границы между донным и пелагическим сообществами (в Чукотском море до $-18,0\%$) связано с более низким обогащением $\delta^{13}\text{C}$ у гидробионтов в арктическом бассейне.

Общая схема пищевых связей в пелагических и донных сообществах в летний период в южной части шельфовой зоны Чукотского моря представлена на рис. 3.

Зоопланктон резко отличался от бентосных беспозвоночных по изотопному составу углерода: значения $\delta^{13}\text{C}$ у зоопланктона всегда ниже $-18,0\%$, а у зообентоса, за редким исключением, выше $-18,0$ (см. табл. 3, 4, рис. 3). Такая картина разделения зообентоса и зоопланктона по изотопам углерода характерна для арктических морей [Hobson et al., 2002]. Средние значения $\delta^{13}\text{C}$ для морского фитопланктона составляют -22% , а у бентосных водорослей более -17% [France, 1995]. Более высокое обогащение $\delta^{13}\text{C}$ донных пищевых цепей может являться результатом переработки фитодетрита планктонного происхождения в донных осадках [Lovvorn et al., 2005]. Хотя эти литературные данные по продуцентам идеально вписываются в нашу схему пищевых связей, роль первичных бентосных продуцентов в сообществах шельфа зоны остается невыясненной [Tatara, 1981; Cahoon, Cooke, 1992; Takai et al., 2002]. Тем не менее выявленные устойчивые различия в изотопном составе углерода между зоопланктоном и бентосными беспозвоночными исследуемого района дают возможность оценить по величинам $\delta^{13}\text{C}$ пищевую связь отдельных видов рыб и головоногих моллюсков с пелагическими и донными сообществами (рис. 3).

У всех рыб южной части моря отмечен относительно широкий диапазон вариаций изотопного состава углерода: $\delta^{13}\text{C}$ от $-19,8$ (мойва) до $-17,3\%$ (пятнистый люппен). Содержание изотопа углерода ^{13}C в консументах верхних уровней трофической сети экосистемы в значительной степени связано с составом углерода источников органического вещества, лежащего в основании отдельных пищевых цепей. Величины $\delta^{13}\text{C}$ в тканях каждого из проанализированных видов в основном зависели от доли в рационе пелагических или донных животных. Чем выше была доля донных гидробионтов в рационе, определенном по анализу содержимого желудков, тем выше были значения $\delta^{13}\text{C}$ тела рыб. По значениям $\delta^{13}\text{C}$ четко выделяются две группы рыб: в первую группу входят организмы, у которых основу питания составляют пелагические виды и вследствие этого значения $\delta^{13}\text{C}$ были ниже $-18,0\%$ (рис. 3, табл. 5). Во вторую группу входят рыбы, потребляющие в основном донных животных, и у которых значения $\delta^{13}\text{C}$ выше $-18,0\%$. В первую группу входили все пелагические виды, а из донных — только арктический шлемоносец. Следует отметить, что, хотя крупная сайка (более 20 см) и минтай (более 60 см) ведут придонный образ жизни, основу пищи составляют пелагические объекты — в рационе преобладает собственная молодь, а у сайки также зоопланктон (рис. 2). Вторая группа была представлена типичными донными рыбами — двумя видами керчаков, четырьмя видами стихеевых и палтусовидной камбалой (табл. 5).

Значения $\delta^{15}\text{N}$ исследованных гидробионтов в пелагическом и донном сообществах изменялись в диапазоне от 8,4 (у двустворчатого моллюска *S. groenlandicus*) до 18,5 ‰ (у крупной сайки) и занимали, таким образом, три трофических уровня (рис. 3). Очевидно, что значения $\delta^{15}\text{N}$ отражают элемент хищничества и, следовательно, значимость в пищевом рационе консументов первого, второго или третьего порядков.

Изотопный состав азота варьирует не только между различными видами гидробионтов, но и может меняться также внутри одного вида с возрастом (увеличением размеров тела), что связано с изменением спектра питания. Это наглядно было продемонстрировано на примере сайки и минтая (см. рис. 2). У данных видов прослеживается довольно четкая зависимость между значениями $\delta^{15}\text{N}$ от доли планктона, бентоса и nekтона в пище. Крупные минтай и сайка занимают самые высокие трофические уровни — соответственно 4,6 и 5,0.

Однако у крупной сайки, которая по изотопному составу азота находится на вершине пищевой пирамиды Чукотского моря, согласно данным по питанию в рационе наряду с nekтоном преобладает планктон (рис. 2). Но следует помнить, что анализ содержимого желудков отражает то, что животное съело совсем недавно, и не всегда отражает более долговременное потребление пищи, в отличие от стабильных изотопов углерода и азота, которые несут интегрированную информацию о пище, усвоенной за длительный промежуток времени, что подразумевает более точное определение трофического статуса [Pinnegar, Polunin, 2000; Takai et al., 2007; Pasquaud et al., 2010; и мн. др.]. Таким образом, по изотопному составу основу пищи крупной сайки составляют в основном консументы второго и третьего порядков, а роль зоопланктона в питании за длительный промежуток времени минимальна. Выше четвертого трофического уровня находились также все донные рыбы, за исключением стреловидного люмпена *Lumpenus sagitta*. Анализ содержимого желудков подтвердил, что у всех перечисленных рыб объектами питания были гидробионты, составляющие основу 2–3-го трофического уровня [Кузнецова, Слабинский, 2007; Орлов и др., 2020].

Третий трофический уровень был более разнообразным и включал основное количество исследованных рыб, а также планктонных и бентосных хищников (рис. 3). Основу питания этой группы животных составляли гидробионты, образующие второй трофический уровень пищевых цепей, т.е. нехищный планктон и бентос.

Второй трофический уровень занимают нехищные формы планктона и бентоса, у них наиболее низкие значения азота среди животных, кормовая база которых основана главным образом на ресурсах первичной продукции (TL_c 2,0). По мере увеличения всеядности TL_c увеличивается, и гидробионты занимают промежуточное положение между вторым и третьим трофическими уровнями, являясь консументами первого и, в меньшей степени, второго порядков (рис. 3).

На основании двух взаимодополняющих трофологических методов — визуального анализа содержимого желудков и определения изотопного состава азота и углерода гидробионтов — нами показаны тесные трофические связи между пелагическими и донными сообществами, доказывающие высокую степень их взаимозависимости (рис. 4). Заметим, что тесные связи между планктоном и бентосом, особенно в высоких широтах, отмечались и ранее [Petersen, Curtis, 1980].

Таким образом, изотопные исследования в южной мелководной части Чукотского моря дают возможность сделать следующие выводы.

1. Зоопланктон значительно отличается от бентосных беспозвоночных изотопным составом углерода, граница, разделяющая пелагические и донные трофические сети, соответствует среднему содержанию $\delta^{13}C$ $-18,0$ ‰.

2. Выявленные устойчивые различия в изотопном составе углерода между зоопланктоном и бентосными беспозвоночными исследуемого района позволяют оценивать по величине $\delta^{13}C$ принадлежность отдельных видов рыб к пелагической или донной пищевым цепям. Содержание изотопа углерода $\delta^{13}C$ в тканях гидробионтов в основном зависит от доли в рационе пелагических или донных объектов. Изотопные исследования показали, что около 90 % исследованных видов зообентоса и нектобентоса в шельфовой зоне замыкаются на донную пищевую сеть.

3. Значения $\delta^{15}N$ исследованных гидробионтов в пелагическом и донном сообществах изменялись в диапазоне от 8,4 (у двустворчатого моллюска *S. groenlandicus*) до 18,5 ‰ (у крупной сайки) и занимают, таким образом, три трофических уровня. Очевидно, что значения $\delta^{15}N$ отражают элемент хищничества и, следовательно, значимость в пищевом рационе консументов первого, второго или третьего порядков.

4. Трофические связи в шельфовой зоне демонстрируют высокую степень взаимозависимости донного и пелагического сообществ, поскольку большинство видов пелагического и донного nekтона в той или иной степени являются потребителями как донной, так и пелагической пищи.

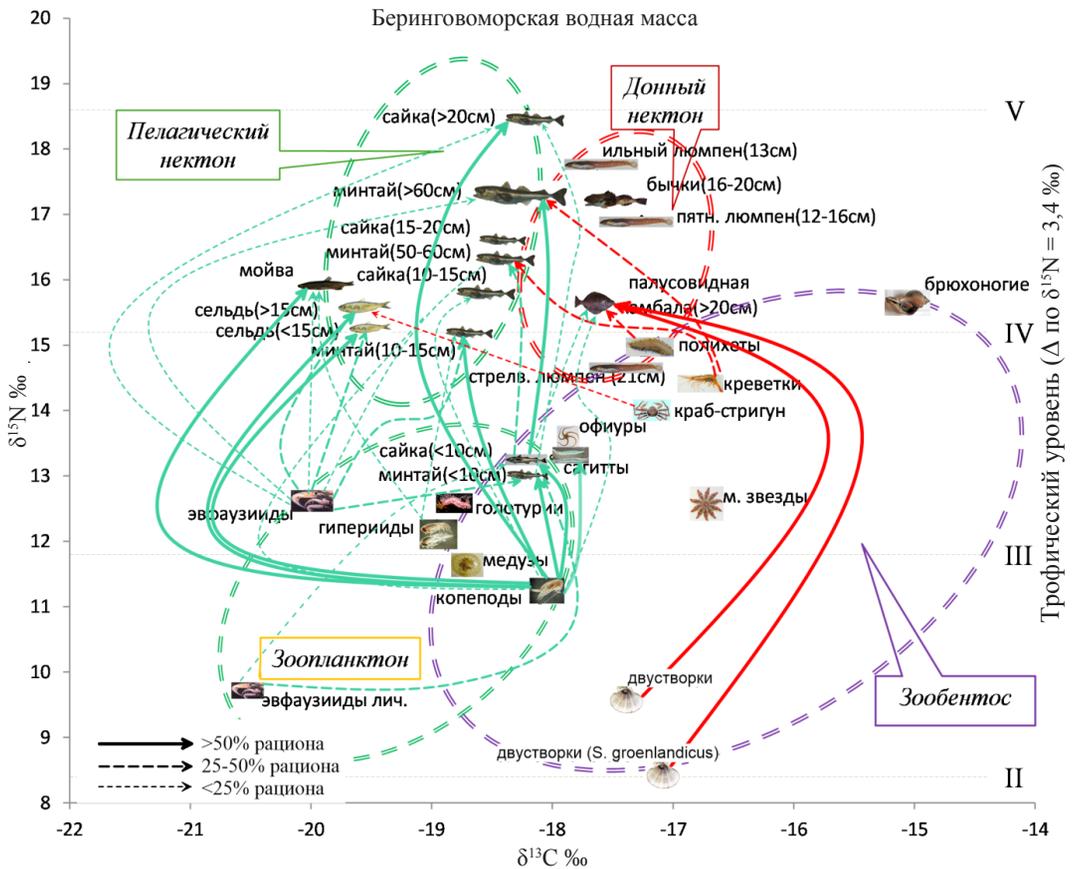


Рис. 4. Схема трофических связей в донно-пелагическом сообществе в шельфовой зоне южной части Чукотского моря. Условные обозначения как на рис. 3

Fig. 4. Scheme of trophic relationships in the benthic-pelagic community on the shelf of the southern Chukchi Sea. Legend as for Fig. 3

Донно-пелагические связи в северной части Чукотского моря (внешний шельф — глубина более 100 м)

Северный район находился под влиянием арктических водных масс, для него в период исследования характерна низкая температура воды, что связано с минимальным влиянием на данный район трансформированных тихоокеанских (берингоморских) вод [Орлов и др., 2020].

Зоопланктон. Изотопный состав углерода и азота был исследован у 3 доминирующих групп зоопланктона, имеющих различные типы питания (табл. 6). Диапазоны значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ для исследованных видов зоопланктона в северном районе составляют соответственно от $-20,5$ до $-21,9\text{‰}$ и от $10,3$ до $13,8\text{‰}$.

В северном районе минимальные значения наблюдались у копепод-фильтраторов, которые, являясь консументами первого порядка, находились на втором трофическом уровне. На третьем трофическом уровне располагались сагитты — *Sagitta elegans* и два вида эвфаузиид — *Thysanoessa inermis* и *Meganycitphanes norvegica* (табл. 6). Увеличение значений $\delta^{15}\text{N}$ у данных видов эвфаузиид связано с тем, что в их пищевой рацион входят копеподы (в основном мелкие), а у крупных форм *M. norvegica* в питании преобладают не только планктонные ракообразные, но и сагитты [Пономарева, 1954; Ломакина, 1978]. Поэтому крупные (более 40 мм) *M. norvegica* среди зоопланктона находятся на вершине пищевой цепи зоопланктонного сообщества.

Таблица 6

Эколого-трофологическая характеристика и изотопный состав (‰) зоопланктона северной части Чукотского моря

Table 6

Ecological and trophological characteristics of zooplankton in the northern Chukchi Sea and its isotopic composition, ‰

Объект	Тип	$\delta^{13}\text{C}$	$\pm\text{SE}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\pm\text{SE}$	ТУк	n
Копеподы		-21,1	0,7	10,3	0,6	2,6	2
<i>Calanus glacialis</i>	Ф ¹	-21,1	0,7	10,3	0,6	2,6	2
Эвфаузииды		-20,6	0,1	13,3	0,4	3,5	2
<i>Meganycitiphanes norvegica</i>	Ф-Х ²	-20,8		13,8		3,6	1
<i>Thysanoessa inermis</i>	Ф-Х ²	-20,5		12,9		3,3	1
Щетинкочелюстные		-21,9	0,2	12,5	0,1	3,2	4
<i>Sagitta elegans</i>	Х ³	-21,9	0,2	12,5	0,1	3,2	4

Примечание. ¹Арашкевич, 1969; ²Пономарева, 1955; ³Косихина, 1982. Обозначения как в табл. 3.

Малый размах вариаций изотопных показателей углерода $\delta^{13}\text{C}$ — всего 1,4 ‰ (от -20,5 до -21,9 ‰) — в северном районе указывает на доминирование одной (арктической) водной массы.

Бентосные беспозвоночные. Соотношения стабильных изотопов $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$ у 18 исследованных образцов из семи групп бентосных беспозвоночных в северном районе имеют относительно высокие показатели тяжелого азота и низкие углерода и варьируют от 15,2 до 19,3 и от -20,8 до -15,9 ‰ (табл. 7), что указывает на разнообразие состава рационов.

Изотопный состав азота исследованных видов показал высокие значения $\delta^{15}\text{N}$, а расчетный трофический уровень изменялся от 4,0 до 5,2, тем самым подтверждая, что все исследованные виды были плотоядными хищниками и являлись в основном консументами трех порядков. Это, видимо, связано с низкими биомассами в зообентосе консументов первого порядка — типичных детритофагов двустворчатых моллюсков [Орлов и др., 2020]. Размах вариаций значений $\delta^{15}\text{N}$ у зообентоса в северной части южной части моря составляет всего 4,1 ‰, что связано с отсутствием в пробах консументов первого порядка, в основном двустворчатых моллюсков и сидячих полихет, которые создавали максимальные концентрации только в южном районе [Сиренко, Гагаев, 2007].

Нектон. Среди представителей нектона Чукотского моря в северном районе были исследованы два доминирующих вида из пелагического сообщества и пять видов из донного (табл. 8).

Изотопный состав углерода на шельфе Чукотского моря в северном районе у исследованных пелагических рыб изменяется от $\delta^{13}\text{C}$ -20,2 до -19,9 ‰, у донных рыб — от -20,6 до -18,7 ‰ (см. табл. 5), т.е. по изотопному составу углерода у рыб не выделяются обособленные группы, связанные с различной кормовой базой, как это наблюдалось в южной части Чукотского моря. Только у гигантского осьминога *Octopus dofleini* в северном районе отмечено максимальное насыщение тяжелым углеродом -17,7 ‰, что характерно для типично донных гидробионтов, которые базируются на донной пищевой цепи.

Значения $\delta^{15}\text{N}$ в северном районе у пелагических рыб изменяются в широких пределах — от 14,0 до 19,1 ‰ (см. табл. 2), демонстрируя в первую очередь внутривидовую изменчивость, связанную с типом разноразмерной сайки (рис. 5). Различия по $\delta^{15}\text{N}$ у разноразмерных особей сайки составляли 5,1 ‰, что соответствует двум трофическим уровням, отражая степень хищничества. У разноразмерной сайки с увеличением размера рыб спектр их пищевого рациона расширяется, при этом в питании увеличивается доля нектона и бентоса.

Изотопный состав азота у типично донных рыб имеет менее выраженные различия и размах вариаций значений и в южной части моря составляет всего 1,9 ‰ (16,5–18,4), все они, являясь хищниками по изотопному составу, находились на четвертом трофическом уровне, т.е. в основном являлись консументами третьего порядка (табл. 8).

Таблица 7

Эколого-трофологическая характеристика и изотопный состав (‰) макробентоса северной части Чукотского моря в летний период

Table 7

Ecological and trophological characteristics of macrobenthos in the northern Chukchi Sea in summer and its isotopic composition, ‰

Объект	Эк	Тп	$\delta^{13}\text{C}$	$\pm\text{SE}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\pm\text{SE}$	ТУк	n
Зообентос								
Actiniaria			-16,2		18,1		4,9	1
<i>Actiniaria</i> fam. gen. sp.	Д	П ¹	-16,2		18,1		4,9	1
Gastropoda			-16,0	0,1	19,2	0,1	5,2	2
<i>Buccinum angulosum</i>	Д	П ¹	-15,9		19,3		5,2	1
<i>Neptunea communis</i>	Д	П ⁹	-16,1		19,0		5,1	1
Echinoidermata								
Asteroidea			-16,9		15,3		4,0	1
<i>Pteraster obscurus</i>	Д	БД*	-16,9		15,3		4,0	1
Polychaeta			-17,3	0,4	16,9	0,3	4,5	3
<i>Onuphidae</i> g. sp.	Д	ПС ⁷	-17,9		16,8		4,5	1
<i>Polynoidae</i> g. sp.	Д	П ^{6,8}	-16,7		17,5		4,7	1
<i>Sabellidae</i> g. sp.			-17,3		16,5		4,4	1
Decapoda								
Brachiura			-18,0	0,6	16,5	0,01	4,4	2
<i>Chionoecetes opilio</i>	Д	П ⁵	-17,4		16,5		4,4	1
<i>Hyas coarctatus</i>	Д	П ²	-18,5		16,5		4,4	1
Ova <i>Hyas coarctatus</i>			-20,8		15,7		4,1	1
Caridea			-17,6	0,5	16,4	0,6	4,3	6
<i>Eualis gaymardii</i>	Д	П*	-18,5		15,1		4,0	1
<i>Pandalus borealis</i>	ПД	П ^{4,5}	-18,5	0,9	15,5	0,4	4,1	2
<i>Pandalus goniurus</i>	ПД	П ⁴	-18,3		15,5		4,1	1
<i>Sabinea septemcarinata</i>			-16,4		17,7		4,7	1
<i>Sclerocrangon ferox</i>	Д	П ³	-16,4		18,1		4,8	1
Anomura			-16,4		15,2		4,0	1
<i>Pagurus</i> sp.			-16,4		15,2		4,0	1

Примечания. ¹ Атлас..., 2010б; ² Голиков, Кусакин, 1978; ³ Надточий и др., 2001; ⁴ Чучукало и др., 2003; ⁵ Boutillier and Nguyen, 1999; ⁶ Fauchald and Jumars, 1979; ⁷ Howell et al., 2003; ⁸ Wolff, 1973; ⁹ Цихон-Луканина, 1987. Обозначения как в табл. 4.

* Тип видов был указан на основании трофической характеристики близкородственных видов.

Полученные значения изотопного состава углерода и азота у донных и пелагических гидробионтов (планктон, бентос, нектон, нектобентос) в северной части Чукотского моря варьируют в широких пределах.

Зоопланктон в северной части Чукотского моря, как и в южной, значительно отличается от бентосных беспозвоночных изотопным составом углерода (табл. 2). Как и для южного района, на основании устойчивых различий в изотопном составе углерода между зоопланктоном и зообентосом в северной части Чукотского моря можно провести условную границу, которая соответствует среднему содержанию $\delta^{13}\text{C}$ -18,0 ‰.

Общая схема пищевых связей в пелагических и донных сообществах в летний период в северной части шельфовой зоны Чукотского моря представлена на рис. 6.

Зоопланктон резко отличался от бентосных беспозвоночных по изотопному составу углерода: значения $\delta^{13}\text{C}$ у зоопланктона всегда ниже -18,0, а у зообентоса, за редким исключением, — выше -18,0 ‰ (рис. 6). Такая картина разделения зообентоса и зоопланктона по изотопам углерода характерна для арктических морей [Hobson et al., 2002].

Максимальные различия между зообентосом и зоопланктоном в северном районе (рис. 6) указывают на существенную роль органического вещества ледовых водорослей

Таблица 8

Средние значения стабильных изотопов углерода и азота гидробионтов в северной части Чукотского моря, ‰

Table 8

Mean values of stable isotopes of carbon and nitrogen in aquatic organisms from the northern Chukchi Sea, ‰

Объект	Эк	Тп	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	Тук	n
Пелагический нектон						
Gadidae						
<i>Boreogadus saida</i> , < 10 см	Эл	ПФ ^{1,2}	-20,2	14,0	3,6	1
<i>Boreogadus saida</i> , 10–15 см		ПФ ^{1,2}	-19,9	15,9	4,2	1
<i>Boreogadus saida</i> , 15–20 см		ЭФ ^{1,2}	-20,1	17,2	4,6	1
<i>Boreogadus saida</i> , > 20 см		Х–ЭФ ^{1,2}	-19,9	19,1	5,2	1
<i>Theragra chalcogramma</i> , 10–15 см	Эл	ПФ ^{1,2}	-20,0	15,5	4,1	1
Донный нектон						
Pleuronectidae						
<i>Hippoglossoides robustus</i> , >20 см	Эл	ЭФ ²	-19,7	18,4	4,9	1
<i>Reinhardtius hippoglossoides</i> , 19 см	МБ	ЭФ ²	-20,6	16,5	4,4	1
<i>Reinhardtius hippoglossoides</i> , 38 см	МБ	Х–Р, Кл ²	-20,6	18,1	4,8	1
Stichaeidae						
<i>Anisarchus medius</i> , 13 см	МБ	ПФ, Б ²	-18,7	18,1	4,9	1
Octopodidae						
<i>Octopus dofleini</i> , 6 см	ПД	М–Р ³	-18,2	16,5	4,4	1
<i>Octopus dofleini</i> , 16 см	ПД	М–Р ³	-17,5	17,6	4,7	1

Примечание. ¹ Кузнецова, 2005; ² Чучукало, 2006; ³ Голенкевич, 1998; Эк — экологическая характеристика вида; МБ — мезобентальный; ПД — придонный; Эл — элиторальный; Тп — тип питания; ПФ — планктонофаги; ЭФ — эврифаги; Х — хищники; Р — рыбоед; Кл — кальмароед; Б — бентофаг; М — моллюскоед; n — количество проб.

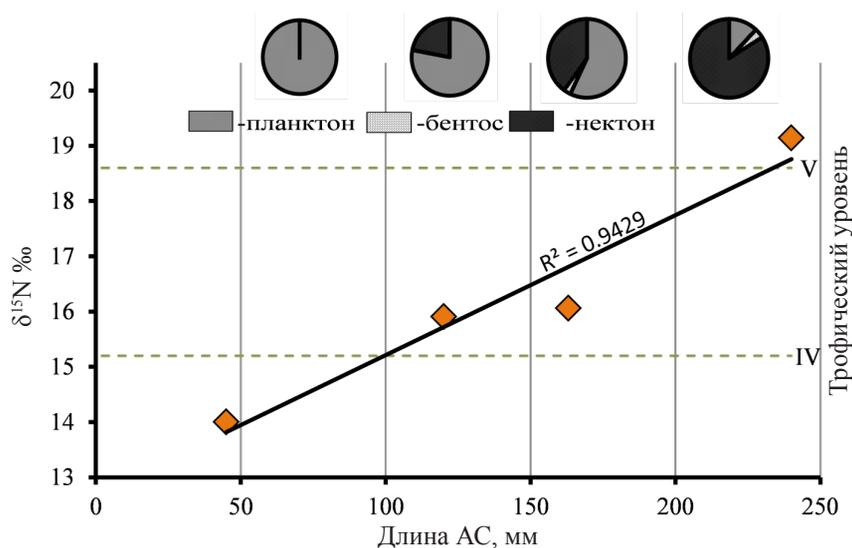


Рис. 5. Изменение трофического статуса разноразмерной сайки в сопоставлении со спектром питания в северной части Чукотского моря

Fig. 5. Trophic status of arctic cod in the northern Chukchi Sea, by body size, in comparison with its food spectrum

и/или микрофитобентоса в поддержании пищевых цепей бентосных организмов на исследуемой акватории, как это было показано для восточной части Чукотского моря [McTigue, Dunton, 2017].

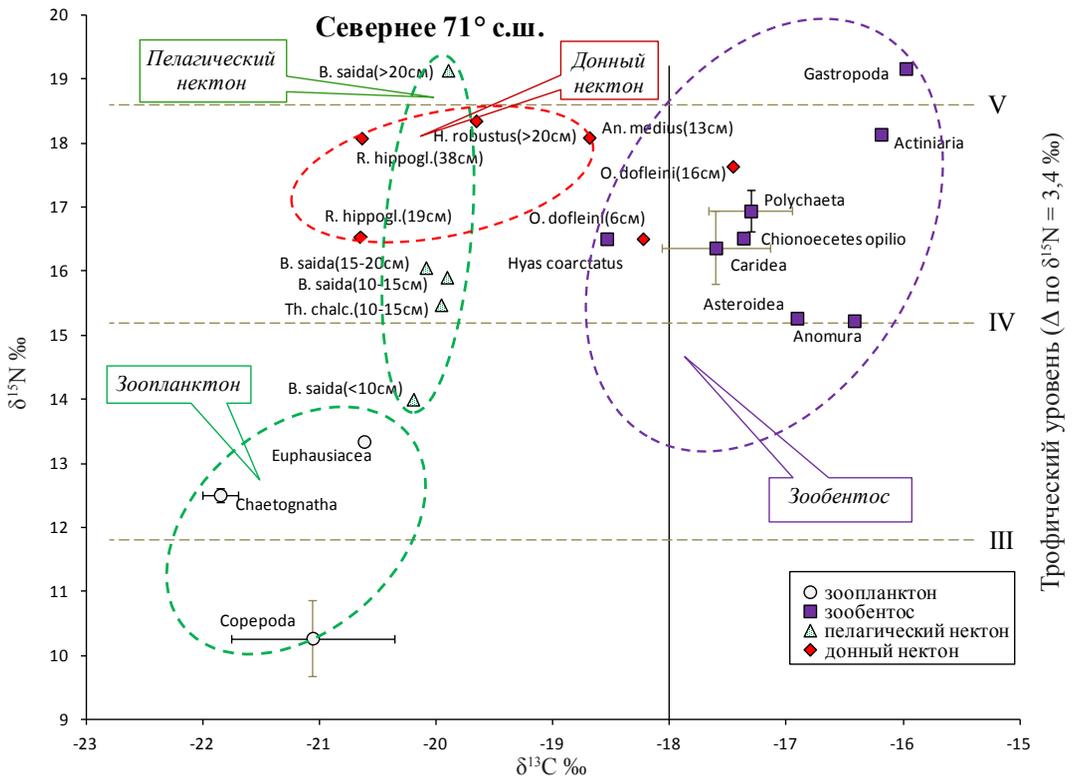


Рис. 6. Трофический статус гидробионтов в трофической сети северной части Чукотского моря: II, III, IV, V — трофические уровни; сплошная линия — условная граница разделения на пелагическое и донное сообщества

Fig. 6. Trophic status of aquatic organisms in the food web in the northern Chukchi Sea: II, III, IV, V — trophic levels; solid line divides pelagic and benthic communities

На первый взгляд, донные организмы по изотопным характеристикам базируются в основном на донной пищевой цепи, влияние органического вещества из пелагиали менее выражено. Однако большие глубины (более 100 м) в северной части моря для развития микрофитобентоса дают основания предполагать, что одним из основных источников органического вещества донных осадков является продукция ледовых водорослей, как это наблюдается в западных районах Арктики [Morris et al., 2015]. На данный момент мы не располагаем информацией о ледовых водорослях для Чукотского моря, тем не менее мы больше склоняемся к мысли, что основной источник органического вещества в донном сообществе северной части Чукотского моря — продукция из пелагиали, среди которой преобладает ВОВ от продукции ледовых водорослей.

Таким образом, роль первичных планктонных и бентосных продуцентов в северной части Чукотского моря в наших исследованиях до конца не выяснена, необходимы дополнительные исследования.

Тем не менее выявленные устойчивые различия в изотопном составе углерода между зоопланктоном и бентосными беспозвоночными исследуемого района дают возможность оценивать по величинам $\delta^{13}\text{C}$ пищевую связь отдельных видов рыб и головоногих моллюсков с пелагическими и донными сообществами (рис. 6).

У всех рыб северной части моря отмечен относительно узкий диапазон вариаций изотопного состава углерода: $\delta^{13}\text{C}$ от $-20,6$ до $-18,7$ ‰. Как указывалось выше, содержание изотопа углерода ^{13}C в консументах верхних уровней трофической сети экосистемы в значительной степени связано с составом углерода источников органического вещества, лежащего в основании отдельных пищевых цепей. По изотопному составу углерода у рыб не выделяются обособленные группы, связанные с различной

кормовой базой, как это наблюдалось в южной части Чукотского моря (рис. 6). Только у гигантского осьминога *Octopus dofleini* в северном районе отмечено максимальное насыщение тяжелым углеродом 17,7 ‰, что характерно для типично донных гидробионтов, которые базируются на донной пищевой цепи.

Значения $\delta^{15}\text{N}$ исследованных гидробионтов в пелагическом и донном сообществах изменялись в диапазоне от 10,3 ‰ (у копеподы *C. glacialis*) до 19,3 ‰ (у плотоядной гастроподы *Vuccinum angulosum*) и занимали, таким образом, три трофических уровня (рис. 6), отражая значимость в пищевом рационе консументов первого, второго или третьего порядков.

Изотопный состав азота варьирует не только между различными видами гидробионтов, но и может меняться внутри одного вида, что связано с изменением спектра питания в течение онтогенеза. Это наглядно было продемонстрировано в северном районе на примере сайки (см. рис. 5).

На основании двух взаимодополняющих трофологических методов — определения изотопного состава азота и углерода гидробионтов и визуального анализа содержимого желудков — нами показаны тесные трофические связи между пелагическими и донными сообществами, доказывающие высокую степень их взаимозависимости (рис. 7), что особенно характерно в высоких широтах [Petersen, Curtis, 1980].

В северном районе все образцы донных рыб характеризовались минимальным насыщением тяжелым углеродом ^{13}C , сопоставимым с таковым пелагических рыб. Это указывает на существенную роль пелагических объектов в питании донного нектона и подтверждается данными по питанию, которые показали, что у исследованных видов около 60–80 % пищевого рациона состоит из пелагических объектов [Горбатенко и др., 2008; Орлов и др., 2020] (рис. 7). Низкая доля донных объектов в питании донных рыб,

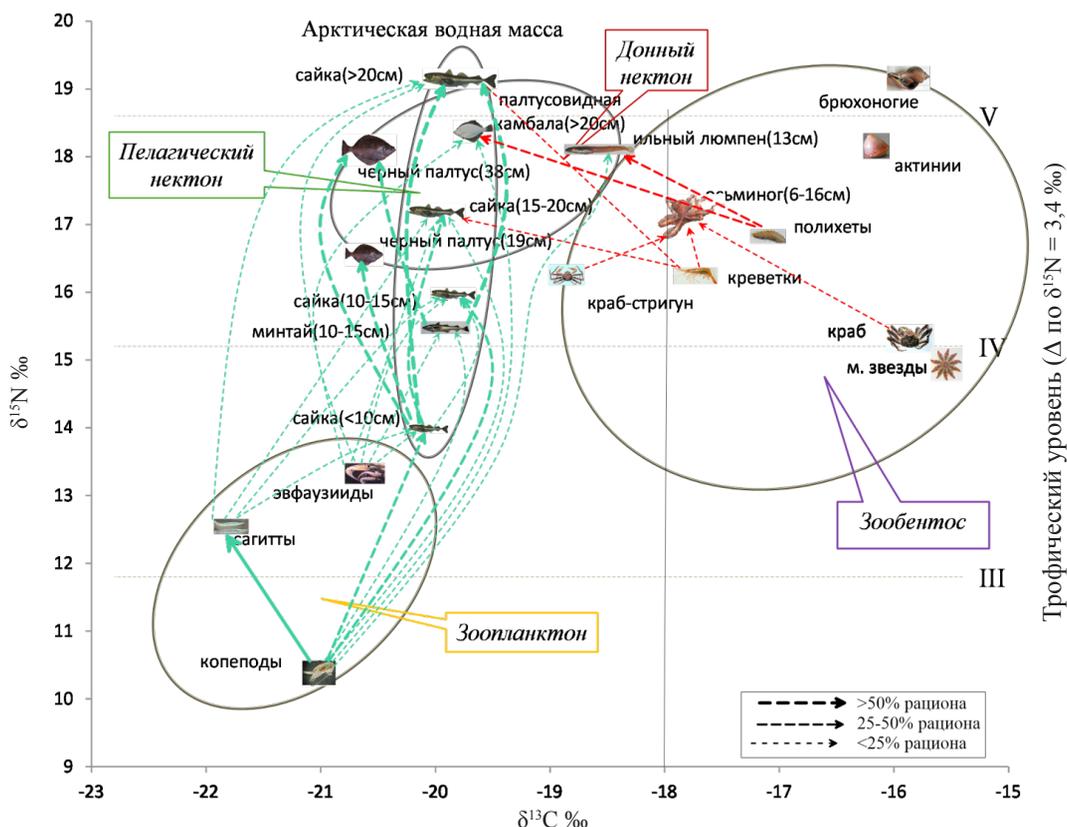


Рис. 7. Схема трофических связей в донно-пелагическом сообществе в шельфовой зоне северной части Чукотского моря. Условные обозначения как на рис. 3

Fig. 7. Scheme of trophic relationships in the benthic-pelagic community on the shelf of the northern Chukchi Sea. Legend as for Fig. 3

возможно, связана с недостатком кормового зообентоса. Ранее такая картина наблюдалась в глубоководной части Охотского моря, где более 70 % донных рыб базировалось на пелагических объектах [Горбатенко и др., 2015]. У осьминогов, в отличие от рыб, наблюдается высокое насыщение $\delta^{13}\text{C}$, т.е. основу их питания составляют донные животные.

Выводы

Таким образом, изотопные исследования в южной и северной частях Чукотского моря дают возможность сделать следующие выводы.

Зоопланктон значительно отличается от бентосных беспозвоночных изотопным составом углерода, условная граница, разделяющая пелагические и донные трофические сети, соответствует среднему содержанию $\delta^{13}\text{C}$ $-18,0$ ‰.

Выявленные устойчивые различия в изотопном составе углерода между зоопланктоном и бентосными беспозвоночными исследуемых районов позволяют оценивать по величине $\delta^{13}\text{C}$ принадлежность отдельных видов гидробионтов к пелагической или донной пищевым цепям. Исследования в южной части Чукотского моря показали, что донные организмы базируются в основном на донной пищевой цепи и влияние органического вещества из пелагиали незначительно. В северной части Чукотского моря роль первичных планктонных и бентосных продуцентов в наших исследованиях до конца не выяснена и необходимы дополнительные исследования. Тем не менее мы больше склоняемся к мысли, что основной источник органического вещества в донном сообществе — продукция из пелагиали, среди которой преобладает ВОВ от продукции ледовых водорослей.

Изотопные исследования показали, что в южной части моря около 90 % исследованных видов зообентоса и донных рыб замыкаются на донную пищевую сеть, что согласуется с результатами исследования на шельфе в северо-западной части Берингова моря [Горбатенко и др., 2008]. В северном районе все образцы донных рыб характеризовались минимальным насыщением тяжелым углеродом ^{13}C , сопоставимым с таковым пелагических рыб, что указывает на основную роль пелагических объектов (60–80 %) в питании исследованных видов донного нектона и подтверждается данными по питанию.

Значения $\delta^{15}\text{N}$ исследованных гидробионтов в южной и северной частях моря изменяются в широком диапазоне и занимают три трофических уровня. Очевидно, что значения $\delta^{15}\text{N}$ отражают элемент хищничества и, следовательно, значимость в пищевом рационе консументов первого, второго или третьего порядков.

Основные различия изотопного состава у пелагических и донных гидробионтов в южном (берингоморские водные массы) и северном (арктические водные массы) районах Чукотского моря заключаются в более высоких значениях $\delta^{13}\text{C}$ (около 2,0 ‰) и низких $\delta^{15}\text{N}$ (до 2,4 ‰) в южном районе, что напрямую связано со значениями взвешенного органического вещества ВОВ, которое в арктических морях обычно находится в пределах $-24,0$ и $-22,0$ ‰, а в берингоморских водных массах в среднем на 2,0 ‰ выше — 21,1 ‰ [Hobson, Welch, 1992; Iken et al., 2005].

Структура пищевой сети, представленная по данным $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$, дает полезную информацию о путях переноса органического вещества от первичных продуцентов к хищникам верхних трофических уровней. Наши результаты демонстрируют высокую степень донно-пелагических связей (даже опуская низшие звенья пищевой цепи — фитопланктон, бактерии, простейшие) через нектонные организмы, которые в той или иной степени зависят от донной и пелагической пищи.

Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность доктору биологических наук В.П. Шунтову за ценные критические замечания, а также ведущему специалисту Н.Е. Кравченко за предоставленные данные.

Финансирование работы

Работа проведена в рамках государственного задания № 076-00005-20-02 ФГБНУ «ВНИРО».

Соблюдение этических стандартов

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

Информация о вкладе авторов

К.В. Горбатенко — написание статьи, И.В. Мельников — анализ материала по рыбам, А.Н. Бензик — сбор и обработка материалов по бентосу и донному нектону, помощь в оформлении статьи, В.Е. Метревели — редактирование.

Список литературы

- Арашкевич Е.Г.** Характер питания копепод северо-западной части Тихого океана // *Океанол.* — 1969. — Т. 9, № 5. — С. 857–873.
- Атлас морских звезд дальневосточных морей России** / С.В. Явнов ; под ред. В.А. Ракова. — Владивосток : Русский Остров, 2010а. — 240 с.
- Атлас кишечнорастных дальневосточных морей России** / С.В. Явнов ; под ред. В.И. Чучукало. — Владивосток : Русский Остров, 2010б. — 168 с.
- Бродский К.А., Вышкварцева Н.В., Кос Е.С., Мархасева Е.Л.** Веслоногие ракообразные (Copepoda: Calanoida) морей СССР и сопредельных вод : моногр. — Л. : Наука, 1983. — Т. 1. — 358 с.
- Волков А.Ф., Murphy J.M.** Планктон и питание рыб в Чукотском море и северной части Берингова моря // Бюл. № 2 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2007. — С. 70–80.
- Гейнрих А.К.** О питании морских копепод boreальной и тропической областей Тихого океана // *Тр. ИОАН СССР.* — 1963. — Т. 71. — С. 60–71.
- Голенкевич А.В.** Видовой состав и биология донных осьминогов на шельфе северо-западной части Японского моря // *Изв. ТИНРО.* — 1998. — Т. 124. — С. 178–211.
- Голиков А.Н.** Моллюски Vissininae Мирового океана : моногр. — Л. : Наука, 1980. — 508 с. (Фауна СССР. Моллюски; Т. 5, вып. 2.)
- Голиков А.Н., Кусакин О.Г.** Раковинные брюхоногие моллюски литорали морей СССР : моногр. — Л. : Наука, 1978. — 292 с. (Определители по фауне СССР, изд. ЗИН АН СССР; т. 116.)
- Горбатенко К.М.** Трофодинамика гидробионтов в Охотском море : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2018. — 47 с.
- Горбатенко К.М., Заволокин А.В., Мерзляков А.Ю., Княшко С.И.** Трофический статус медуз (Cnidaria) Охотского моря и специфика их питания весной // *Изв. ТИНРО.* — 2005. — Т. 143. — С. 240–248.
- Горбатенко К.М., Княшко С.И., Лаженцев А.Е. и др.** Бенто-пелагические трофические связи в икhtiоценозе шельфовой зоны западной части Берингова моря по данным анализа содержимого желудков и стабильных изотопов углерода и азота // *Изв. ТИНРО.* — 2008. — Т. 153. — С. 283–294.
- Горбатенко К.М., Княшко С.И., Лаженцев А.Е. и др.** Донно-пелагические связи в глубоководной части Охотского моря по данным стабильных изотопов С и N // *Изв. ТИНРО.* — 2015. — Т. 183. — С. 200–216. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-183-200-216.
- Горбатенко К.М., Лаженцев А.Е., Лобода С.В.** Распределение, питание и некоторые физиологические показатели тихоокеанской сельди гижигинского и охотского стад в северной части Охотского моря в весенний период // *Биол. моря.* — 2004. — Т. 30, № 5. — С. 352–358.
- Гутельмахер В.Л., Садчиков А.П., Филиппова Т.Г.** Питание зоопланктона : Итоги науки и техники. Сер. общ. экол., биоценол., гидробиол. — М. : ВИНТИ, 1988. — Т. 6. — 156 с.
- Догель В.А.** Зоология беспозвоночных : учеб. — 7-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. шк., 1981. — 606 с.
- Косихина О.В.** Исследование питания Chaetognatha // *Экол. моря.* — 1982. — Т. 11. — С. 79–83.

- Кузнецова Н.А.** Особенности состояния планктонного сообщества в Чукотском море в августе-сентябре 2017 г. // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 194. — С. 153–166.
- Кузнецова Н.А.** Питание и пищевые отношения nekтона в эпипелагиали северной части Охотского моря : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2005. — 235 с.
- 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.
- Ломакина Н.Б.** Эуфаузииды Мирового океана (Euphausiacea) : моногр. — Л. : Наука, 1978. — 222 с.
- Надточий В.А., Чучукало В.И., Кобликов В.Н.** Питание краба-стригуна *Chionoecetes opilio* в Анадырском заливе Берингова моря в осенний период // Изв. ТИНРО. — 2001. — Т. 128. — С. 432–435.
- Одинцов В.С., Княшко С.И.** Вариации изотопного состава углерода и азота крабов *Chionoecetes opilio* (Fabricius, 1788) и *Hyas coarctatus* Leach, 1816 (Crustacea: Decapoda) на шельфе Чукотского моря // Биол. моря. — 2018. — Т. 44, № 1. — С. 51–57.
- Орлов А.М., Бензик А.Н., Ведищева Е.В. и др.** Предварительные результаты рыбохозяйственных исследований в море Лаптевых на НИС «Профессор Леванидов» в сентябре 2019 г. // Тр. ВНИРО. — 2020. — Т. 179. — С. 206–225. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-179-206-225.
- Пономарева Л.А.** Весовая характеристика эвфаузиид Японского моря // ДАН СССР. — 1954. — Т. 99, № 1. — С. 169–171.
- Пономарева Л.А.** Питание и распределение эвфаузиид Японского моря // Зоол. журн. — 1955. — Т. 34, № 1. — С. 85–97.
- Раймонт Д.** Планктон и продуктивность океана. Т. 2 : Зоопланктон : в 2-х частях. Ч. 1 : моногр. : пер. с англ. — М. : Агропромиздат, 1988а. — 544 с.
- Раймонт Д.** Планктон и продуктивность океана. Т. 2 : Зоопланктон : в 2-х частях. Ч. 2 : моногр. : пер. с англ. — М. : Агропромиздат, 1988б. — 356 с.
- Сиренко Б.И., Гагаев С.Ю.** Необычное обилие макробентоса и тихоокеанские вселенцы в Чукотском море // Биол. моря. — 2007. — Т. 33, № 6. — С. 399–407.
- Скарлато О.А.** Двустворчатые моллюски умеренных вод северо-западной части Тихого океана : моногр. — Л. : Наука, 1981. — 480 с. (Определители по фауне СССР, изд. ЗИН АН СССР, вып. 126.)
- 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.
- Слизкин А.Г.** Атлас-определитель крабов и креветок дальневосточных морей России. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2010. — 256 с.
- Соколова М.Н.** Питание глубоководных донных беспозвоночных детритофагов // Тр. ИОАН СССР. — 1958. — Т. 27. — С. 123–153.
- Турпаева Е.П.** Питание и пищевые группировки морских донных беспозвоночных // Тр. ИОАН СССР. — 1953. — Т. 7. — С. 259–299.
- Фауна и зоогеография бентоса Чукотского моря** / под ред. Б.И. Сиренко и С.В. Василенко. — СПб. : ЗИН РАН, 2008. — 231 с. (Исслед. фауны морей; Т. 61(69).)
- 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.
- Цихон-Луканина Е.А.** Трофология водных моллюсков : моногр. — М. : Наука, 1987. — 175 с.
- Чучукало В.И.** Питание и пищевые отношения nekтона и nekтобентоса в дальневосточных морях : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — 484 с.
- Чучукало В.И., Надточий В.А., Шебанова М.А.** Распределение и питание углохвостого чилима в Олюторском заливе в сентябре 2001 г. // Вопр. рыб-ва. — 2003. — Т. 4, № 1(13). — С. 64–73.
- Чучукало В.И., Напазаков В.В.** Питание и трофический статус массовых видов скатов (Rajidae) западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 422–428.
- Экосистемы и биоресурсы Чукотского моря и сопредельных акваторий** : моногр. / под ред. Б.И. Сиренко. — СПб. : ЗИН РАН, 2009. — 327 с. (Исслед. фауны морей; Т. 64(72).)
- Barton M.B., Moran J.R., Vollenweider J.J. et al.** Latitudinal dependence of body condition, growth rate, and stable isotopes of juvenile capelin (*Mallotus villosus*) in the Bering and Chukchi Seas // Polar Biol. — 2017. — Vol. 40, Iss. 7. — P. 1465–1466. DOI: 10.1007/s00300-016-2041-8.

Belkin I.M. Rapid warming of Large Marine Ecosystems // Prog. Oceanogr. — 2009. — Vol. 81, Iss. 1–4. — P. 207–213. DOI: 10.1016/j.pocean.2009.04.011.

Boutillier J.A. and Nguyen H. *Pandalus hypsinotus* Humpback shrimp: A review of the biology and a recommended assessment framework for a directed fishery : Canadian Stock Assessment Secretariat Research Document 99/067. — 1999. — 22 p.

Cahoon L.B., Cooke J.E. Benthic microalgal production in Onslow Bay, North Carolina, U.S.A. // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 1992. — Vol. 84. — P. 185–196.

Fauchald K. and Jumars P.A. The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds // Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. — 1979. — Vol. 17. — P. 193–284.

France R.L. Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implications // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 1995. — Vol. 124. — P. 307–312.

Grebmeier J.M. Studies of pelagic-benthic coupling extended onto the Soviet continental shelf in the northern Bering and Chukchi Seas // Cont. Shelf Res. — 1993. — Vol. 13. — P. 653–668.

Grebmeier J.M., McRoy C.P., Feder H.M. Pelagic-benthic coupling on the shelf of the northern Bering and Chukchi Seas. I. Food supply source and benthic biomass // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 1988. — Vol. 48. — P. 57–67.

Hill V., Cota G. Spatial patterns of primary production on the shelf, slope and basin of the Western Arctic in 2002 // Deep-Sea Res. II. — 2005. — Vol. 52, Iss. 24–26. — P. 3344–3354. DOI: 10.1016/j.dsr2.2005.10.001.

Hobson K.A., Fisk A., Karnovsky N. et al. A stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) model for the North Water food web: implications for evaluating trophodynamics and the flow of energy and contaminants // Deep-Sea Res. II. — 2002. — Vol. 49, Iss. 22–23. — P. 5131–5150. DOI: 10.1016/S0967-0645(02)00182-0.

Hobson K.A., Welch H.E. Determination of trophic relationship within a high Arctic marine food web using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 1992. — Vol. 84. — P. 9–18. DOI: 10.3354/meps084009.

Howell K.L., Pond D.W., Billett D.S.M. and Tyler P.A. Feeding ecology of deep-sea seastars (Echinodermata: Asteroidea): a fatty-acid biomarker approach // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 2003. — Vol. 255. — P. 193–206. DOI: 10.3354/meps255193.

Iken K., Bluhm B., Dunton K. Benthic food-web structure under differing water mass properties in the southern Chukchi Sea // Deep-Sea Res. II. — 2010. — Vol. 57, Iss. 1–2. — P. 71–85. DOI: 10.1016/j.dsr2.2009.08.007.

Iken K., Bluhm B.A., Gradinger R. Food web structure in the high Arctic Canada Basin: evidence from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis // Polar Biol. — 2005. — Vol. 28, № 3. — P. 238–249. DOI: 10.1007/s00300-004-0669-2.

Jackson A.L., Inger R., Parnell A.C., Bearhop S. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER — Stable Isotope Bayesian Ellipses in R // J. Animal Ecol. — 2011. — Vol. 80, Iss. 3. — P. 595–602. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2011.01806.x.

Lovvorn J.R., Cooper L.W., Brooks M.L. et al. Organic matter pathways to zooplankton and benthos under pack ice in late winter and open water in later summer in the north-central Bering Sea // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 2005. — Vol. 291. — P. 135–150. DOI: 10.3354/meps291135.

McTigue N.D., Dunton K.H. Trophodynamics and organic matter assimilation pathways in the northeast Chukchi Sea, Alaska // Deep-Sea Res. II. — 2014. — Vol. 102. — P. 84–96. DOI: 10.1016/j.dsr2.2013.07.016.

McTigue N.D., Dunton K.H. Trophodynamics of the Hanna Shoal Ecosystem (Chukchi Sea, Alaska): Connecting multiple end-members to a rich food web // Deep-Sea Res. II. — 2017. — Vol. 144. — P. 175–189. DOI: 10.1016/j.dsr2.2017.08.010.

Melnikov I.A., Kolosova E.G., Welch H.E., Zhitina L.S. Sea ice biological communities and nutrient dynamics in the Canadian Basin of the Arctic Ocean // Deep-Sea Res. I. — 2002. — Vol. 49, Iss. 9. — P. 1623–1649. DOI: 10.1016/S0967-0637(02)00042-0.

Minagawa M., Wada E. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. // Geochim. Cosmochim. Acta. — 1984. — Vol. 48, Iss. 5. — P. 1135–1140. DOI: 10.1016/0016-7037(84)90204-7.

Morris D.J., O'Connell M.T., Macko S.A. Assessing the importance of terrestrial organic carbon in the Chukchi and Beaufort seas // Estuarine, Coastal and Shelf Science. — 2015. — Vol. 164. — P. 28–38. DOI: 10.1016/j.ecss.2015.06.011.

Pasquaud S., Pillet M., David V. et al. Determination of fish trophic levels in an estuarine system // Estuarine, Coastal and Shelf Science. — 2010. — Vol. 86, Iss. 2. — P. 237–246. DOI: 10.1016/j.ecss.2009.11.019.

- Petersen G.H., Curtis M.A.** Differences in energy flow through major components of subarctic, temperate and tropical marine shelf ecosystems // *Dana*. — 1980. — Vol. 1. — P. 53–64.
- Pinnegar J.K., Polunin N.V.C.** Contributions of stable-isotope data to elucidating food webs of Mediterranean rocky littoral fishes // *Oecologia*. — 2000. — Vol. 122, № 3. — P. 399–409. DOI: 10.1007/s004420050046.
- Post D.M.** Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions // *Ecology*. — 2002. — Vol. 83, Iss. 3. — P. 703–718. DOI: 10.2307/3071875.
- Takai N., Hirose N., Osawa T. et al.** Carbon source and trophic position of pelagic fish in coastal waters of south-eastern Izu Peninsula, Japan, identified by stable isotope analysis // *Fish. Sci.* — 2007. — Vol. 73, Iss. 3. — P. 593–608. DOI: 10.1111/j.1444-2906.2007.01372.x.
- Takai N., Mishima Y., Yorozu A., Hoshika A.** Carbon sources for demersal fish in the western Seto Inland Sea, Japan, examined by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analyses // *Limnol. Oceanogr.* — 2002. — Vol. 47, Iss. 3. — P. 730–741. DOI: 10.4319/LO.2002.47.3.0730.
- Tatara K.** Relation between the primary production and the commercial fishery production in the fishing ground utilization of the primary production by the boat fishery // *Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab.* — 1981. — Vol. 13. — P. 111–133 (in Japanese with English abstract).
- Wolff W.J.** The estuary as a habitat: an analysis of data on the soft-bottom macrofauna of estuarine area of the rivers Rhine, Meuse, and Scheldt : *Zool. Verh.* — 1973. — № 126. — 242 p.

References

- Arashkevich, E.G.,** The food and feeding of copepods in the northwestern pacific, *Oceanology*, 1969, vol. 9, no. 5, pp. 857–873.
- Yavnov, S.V.,** *Atlas morskikh zvezd dal'nevostochnyy morey Rossii* (Atlas of sea stars of the Far Eastern seas of Russia), Rakov, V.A., ed., Vladivostok: Russkiy Ostrov, 2010.
- Yavnov, S.V.,** *Atlas kishhechnopolostnykh dal'nevostochnyy morey Rossii* (Atlas of the coelenterates of the Far Eastern seas of Russia), Chuchukalo, V.I., ed., Vladivostok: Vladivostok: Russkiy Ostrov, 2010.
- Brodskiy, K.A., Vyshkvartseva, N.V., Kos Ye.S., and Markhaseva, Ye.L.,** *Veslonogiye rakoobraznyye (Copepoda: Calanoida) morey SSSR i sopredel'nykh vod* (Copepods (Copepoda: Calanoida) of the seas of the USSR and adjacent waters), Leningrad: Nauka, 1983, vol. 1.
- Volkov, A.F. and Murphy, J.M.,** Plankton and diet of fish in the Chukchi Sea and the northern Bering Sea, in *Byull. no. 2 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovoi programmy izucheniya tikhookeanskikh lososei"* (Bull. No. 2 Implementation "Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2007, pp. 70–80.
- Geynrikh, A.K.,** Nutrition of marine copepods in the boreal and tropical regions of the Pacific Ocean, *Tr. Inst. Okeanol. im. P.P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1963, vol. 71, pp. 60–71.
- Golenkevich, A.V.,** Species composition and biology of bottom octopuses on the shelf of the north-western Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 124, pp. 178–211.
- Golikov, A.N.,** Buccininae mollusks of the World Ocean, *Fauna SSSR. T. 5: Mollyuski* (Fauna of the USSR, vol. 5: Mollusks), Leningrad: Nauka, 1980, no. 2.
- Golikov, A.N. and Kusakin, O.G.,** *Opredeliteli po faune SSSR, izdavaemye zoologicheskim institutom akademii nauk SSSR. T. 116. Rakovinnyye bryukhonogiye mollyuski litorali morey SSSR* (Keys to Fauna Published by the Zoological Institute, USSR Academy of Sciences, vol. 116: Conch gastropods of the littoral of the seas of the USSR), Leningrad: Nauka, 1978.
- Gorbatenko, K.M.,** Trophodynamics of aquatic organisms in the Sea of Okhotsk, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2018.
- Gorbatenko, K.M., Zavolokin, A.V., Merzlyakov, A.Yu., and Kiyashko, S.I.,** Trophic status of medusas (Cnidaria) of the Okhotsk Sea and their feeding habits in spring, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 143, pp. 240–248.
- Gorbatenko, K.M., Kiyashko, S.I., Lazhentsev, A.E., Nadtochiy, V.A., and Savin, A.B.,** Trophic benthic-pelagic interactions of the fish community in the shelf zone of western Bering sea revealed by analysis of stomach contents and stable isotopes of carbon and nitrogen, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 153, pp. 283–294.
- Gorbatenko, K.M., Kiyashko, S.I., Lazhentsev, A.E., Emelin, P.O., and Grishan, R.P.,** Benthic-pelagic relations in the deep-water part of the Okhotsk sea by the data of stable isotopes C and N analysis, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 183, pp. 200–216. doi 10.26428/1606-9919-2015-183-200-216

Gorbatenko, K.M., Lazhentsev, A.E., and Loboda, S.V., Distribution, feeding, and some physiological parameters of the Pacific herring from the Gizhigin and Okhotsk populations in the north part of the Sea of Okhotsk in the spring season, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2004, vol. 30, no. 5, pp 298–305.

Gutel'makher, V.L., Sadchikov, A.P., and Filippova, T.G., Zooplankton Nutrition, *Itogi nauki i tekhniki. Ser.: obshchaya ekologiya, biotsenologiya, gidrobiologiya* (Results of Science and Technology. Ser.: general ecology, biocenology, hydrobiology), Moscow: Vseros. Inst. nauch. i tekhn. inf., 1988, vol. 6.

Dogel, V.A., *Uchebnik zoologii bespozvonochnykh* (Textbook of Invertebrate Zoology), Leningrad: Biomedgiz, 1934.

Kosikhina, O.V., Studies in Chaetognatha nutrition, *Ekol. Morya*, 1982, vol. 11, pp. 79–83.

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., *Pitaniye i pishchevye otnosheniya nektona v epipelagiali severnoi chasti Okhotskogo morya* (Diet and Feeding Interactions of Nekton in the Epipelagic Zone of the Northern Sea of Okhotsk), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2005.

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, in *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.

Lomakina, N.B., *Eufauziidy Mirovogo okeana (Euphausiacea)* (Euphausiids of the World Ocean (Euphausiacea), Leningrad: Nauka, 1983.

Nadtochiy, V.A., Chuchukalo, V.I., and Koblikov, V.N., On the feeding of snow crab (*Chionoecetes opilio*) in the Anadyr Bay in the Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2001, vol. 128, pp. 432–435.

Odintsov, V.S. and Kiyashko, S.I., Variations in the carbon and nitrogen isotope composition of the crabs *Chionoecetes opilio* (Fabricius, 1788) and *Hyas coarctatus* Leach, 1816 (Crustacea: Decapoda) from the Chukchi sea, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 1, pp. 68–74. doi 10.1134/S106307401801008X

Orlov, A.M., Benzik, A.N., Vedishcheva, E.V., Gorbatenko, K.M., Goryanina, S.V., Zubarevich, V.L., Kodryan, K.V., Nosov, M.A., Orlova, S.Yu., Pedchenko, A.P., Rybakov, M.O., and Sokolov, A.M., Preliminary results of fisheries research in the Laptev Sea at RV "Professor Levanidov" in September 2019, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 179, pp. 206–225. doi 10.36038/2307-3497-2020-179-206-225

Ponomareva, L.A., Weight characteristics of euphausiids in the Sea of Japan, *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1954, vol. 99, no. 1, pp. 169–171.

Ponomareva, L.A., Diet and distribution of euphausiids in the Sea of Japan, *Zool. Zh.*, 1955, vol. 34, no. 1, pp. 85–97.

Raymont, D.E.G., *Plankton and productivity in the oceans, vol. 1: Zooplankton*, Pergamon press, 1983.

Raymont, D.E.G., *Plankton and productivity in the oceans, vol. 2: Zooplankton*, Pergamon press, 1983.

Sirenko, B.I. and Gagaev, S.Y., Unusual abundance of macrobenthos and biological invasions in the Chukchi Sea, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2007, vol. 33, no. 6, pp. 355–364. doi 10.1134/S1063074007060016

Skarlato, O.A., *Dvustvorchatye mollyuski umerennykh vod severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana* (Bivalve Mollusks in Temperate Waters of the Northwestern Pacific Ocean), Leningrad: Nauka, 1981. [*Opredeliteli po faune SSSR* (Keys to the USSR fauna), *Zool. Inst. Akad. Nauk SSSR*, vol. 126]

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

Slizkin, A.G., *Atlas-opredelitel' krabov i krevetok dal'nevostochnykh morey Rossii* (Atlas-determinant of crabs and shrimps of the Far Eastern seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2010.

Sokolova, M.N., Nutrition of deep-sea benthic invertebrate detritivores, *Tr. Inst. Okeanol. im. P. P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1958, vol. 27, pp. 123–153.

Turpaeva, E.P., Nutrition and food groups of marine benthic invertebrates, *Tr. Inst. Okeanol. im. P. P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1953, vol. 7, pp. 259–299.

Issledovaniya Fauny Morei. T. 61(69): Fauna i zoogeografiya bentosa Chukotskogo morya (Explorations of the Fauna of the Seas, vol. 61(69): Fauna and Zoogeography of the Benthos of the Chukchi Sea), Sirenko, B.I. and Vasilenko, S.V., eds, St. Petersburg: Zool. Inst. Ross. Akad. Nauk, 2008.

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.

Tsikhon-Lukanina, E.A., *Trofologiya vodnykh mollyuskov* (Trophology of aquatic molluscs), Moscow: Nauka, 1987.

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., Nadtochiy, V.A., and Shebanova, M.A., Distribution and nutrition of the black-tailed chillim in the Olyutorsky Bay in September 2001, *Vopr. Rybolov.*, 2003, vol. 4, no. 1(13), pp. 64–73.

Chuchukalo, V.I. and Napazakov, V.V., Feeding and trophology status of some skate species (Rajidae) of the western Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 422–428.

Issledovaniya Fauny Morei. T. 64(72): Ekosistemy i bioresursy Chukotskogo morya i sopredel'nykh akvatoriy (Explorations of the Fauna of the Seas, vol. 64(72): Ecosystems and bioresources of the Chukchi Sea and adjacent waters), Sirenko, B.I., ed., St. Petersburg: Zool. Inst. Ross. Akad. Nauk, 2009.

Barton, M.B., Moran, J.R., Vollenweider, J.J., Heintz, R.A., and Boswell, K.M., Latitudinal dependence of body condition, growth rate, and stable isotopes of juvenile capelin (*Mallotus villosus*) in the Bering and Chukchi Seas, *Polar Biol.*, 2017, vol. 40, no. 7, pp. 1465–1466. doi 10.1007/s00300-016-2041-8

Belkin, I.M., Rapid warming of Large Marine Ecosystems, *Prog. Oceanogr.*, 2009, vol. 81, no. 1–4, pp. 207–213. doi 10.1016/j.pocean.2009.04.011

Boutillier, J.A. and Nguyen, H., *Pandalus hypsinotus* Humpback shrimp: A review of the biology and a recommended assessment framework for a directed fishery, *Canadian Stock Assessment Secretariat Research Document 99/067*, 1999.

Cahoon, L.B. and Cooke, J.E., Benthic microalgal production in Onslow Bay, North Carolina, U.S.A., *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1992, vol. 84, pp. 185–196.

Fauchald, K. and Jumars, P.A., The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds, *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 1979, vol. 17, pp. 193–284.

France, R.L., Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implications, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1995, vol. 124, pp. 307–312.

Grebmeier, J.M., McRoy, C.P., and Feder, H.M., Pelagic-benthic coupling on the shelf of the northern Bering and Chukchi Seas. I. Food supply source and benthic biomass, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1988, vol. 48, pp. 57–67.

Grebmeier, J.M., Studies of pelagic-benthic coupling extended onto the Soviet continental shelf in the northern Bering and Chukchi Seas, *Cont. Shelf Res.*, 1993, vol. 13, pp. 653–668.

Hill, V. and Cota, G., Spatial patterns of primary production on the shelf, slope and basin of the Western Arctic in 2002, *Deep-Sea Res. Part II*, 2005, vol. 52, no. 24–26. doi 10.1016/j.dsr2.2005.10.001

Hobson, K.A., Fisk, A., Karnovsky, N., Holst, M., Gagnon, J.-M., and Fortier M., A stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) model for the North Water food web: implications for evaluating trophodynamics and the flow of energy and contaminants, *Deep-Sea Res. Part II*, 2002, vol. 49, no. 22–23, pp. 5131–5150. doi 10.1016/S0967-0645(02)00182-0

Hobson, K.A. and Welch, H.E., Determination of trophic relationship within a high Arctic marine food web using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1992, vol. 84, pp. 9–18. doi 10.3354/meps084009

Howell, K.L., Pond, D.W., Billett, D.S.M., and Tyler, P.A., Feeding ecology of deep-sea seastars (Echinodermata: Asteroidea): a fatty-acid biomarker approach, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2003, vol. 255, pp. 193–206. doi 10.3354/meps255193

Iken, K., Bluhm, B., and Dunton, K., Benthic food-web structure under differing water mass properties in the southern Chukchi Sea, *Deep-Sea Res. Part II*, 2010, vol. 57, no. 1–2, pp. 71–85. doi 10.1016/j.dsr2.2009.08.007

Iken, K., Bluhm, B.A., and Gradinger, R., Food web structure in the high Arctic Canada Basin: evidence from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis, *Polar Biol.*, 2005, vol. 28, no 3, pp. 238–249. doi 10.1007/s00300-004-0669-2

Jackson, A.L., Inger, R., Parnell, A.C., and Bearhop, S., Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER — Stable Isotope Bayesian Ellipses in R, *J. Animal Ecol.*, 2011, vol. 80, no. 3, pp. 595–602. doi 10.1111/j.1365-2656.2011.01806.x

Lovvorn, J.R., Cooper, L.W., Brooks, M.L., De Ruyck, C.C., Bump, J.K., and Grebmeier, J.M., Organic matter pathways to zooplankton and benthos under pack ice in late winter and open water in later summer in the north-central Bering Sea, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2005, vol. 291, pp. 135–150. doi 10.3354/meps291135

McTigue, N.D. and Dunton, K.H., Trophodynamics and organic matter assimilation pathways in the northeast Chukchi Sea, Alaska, *Deep-Sea Res. Part II*, 2014, vol. 102, pp. 84–96. doi 10.1016/j.dsr2.2013.07.016

McTigue, N.D. and Dunton, K.H., Trophodynamics of the Hanna Shoal Ecosystem (Chukchi Sea, Alaska): Connecting multiple end-members to a rich food web, *Deep-Sea Res. Part II*, 2017, vol. 144, pp. 175–189. doi 10.1016/j.dsr2.2017.08.010

Melnikov, I.A., Kolosova, E.G., Welch, H.E., and Zhitina, L.S., Sea ice biological communities and nutrient dynamics in the Canadian Basin of the Arctic Ocean, *Deep-Sea Res. Part I*, 2002, vol. 49, no. 9, pp. 1623–1649. doi 10.1016/S0967-0637(02)00042-0

Minagawa, M. and Wada, E., Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1984, vol. 48, no. 5, pp. 1135–1140. doi 10.1016/0016-7037(84)90204-7

Morris, D.J., O'Connell, M.T., and Macko, S.A., Assessing the importance of terrestrial organic carbon in the Chukchi and Beaufort seas, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2015, vol. 164, pp. 28–38. doi 10.1016/j.ecss.2015.06.011

Pasquaud, S., Pillet, M., David, V., Sautour, B., and Elie, P., Determination of fish trophic levels in an estuarine system, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2010, vol. 86, no. 2, pp. 237–246. doi 10.1016/j.ecss.2009.11.019

Petersen, G.H. and Curtis, M.A., Differences in energy flow through major components of subarctic, temperature and tropical marine shelf ecosystems, *Dana*, 1980, vol. 1, pp. 53–64.

Pinnegar, J.K. and Polunin, N.V.C., Contributions of stable-isotope data to elucidating food webs of Mediterranean rocky littoral fishes, *Oecologia*, 2000, vol. 122, no. 3, pp. 399–409. doi 10.1007/s004420050046

Post, D.M., Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions, *Ecology*, 2002, vol. 83, no. 3, pp. 703–718. doi 10.2307/3071875

Takai, N., Hirose, N., Osawa, T., Hagiwara, K., Kojima, T., Okazaki, Yu., Kuwae, T., Taniuchi, T., and Yoshihara, K., Carbon source and trophic position of pelagic fish in coastal waters of south-eastern Izu Peninsula, Japan, identified by stable isotope analysis, *Fish. Sci.*, 2007, vol. 73, no. 3, pp. 593–608. doi 10.1111/j.1444-2906.2007.01372.x

Takai, N., Mishima, Y., Yorozu, A., and Hoshika, A., Carbon sources for demersal fish in the western Seto Inland Sea, Japan, examined by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analyses, *Limnol. Oceanogr.*, 2002, vol. 47, no. 3, pp. 730–741. doi 10.4319/lo.2002.47.3.0730

Tatara, K., Relation between the primary production and the commercial fishery production in the fishing ground utilization of the primary production by the boat fishery, *Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab.*, 1981, vol. 13, pp. 111–133 (in Japanese with English abstract).

Wolff, W.J., The estuary as a habitat: an analysis of data on the soft-bottom macrofauna of the Estuarine area of the rivers Rhine, Meuse, and Scheldt, *Zool. Verh.*, 1973, no. 126.

Поступила в редакцию 27.01.2021 г.

После доработки 21.09.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

УДК 597.555.5(268.56)



А.Б. Савин*

Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4**САЙКА (*BOREOGADUS SAIDA*, GADIDAE) ЧУКОТСКОГО МОРЯ
И ПРИЛЕГАЮЩИХ ВОД**

По материалам экспедиций ТИНРО за период с 1971 по 2020 г., промысловой статистики и литературным данным исследована биология сайки, ее распределения и миграции, а также динамика биомассы запасов в российском секторе Чукотского моря и прилегающих вод Берингова моря. На Дальнем Востоке сайка активно добывалась на рубеже 1960–1970-х гг. и в 1980-е гг., когда ее годовой вылов доходил до 24,5 тыс. т. Представленные данные по ее размерному составу показали, что с продвижением на юг из Чукотского в Берингово море средние размеры увеличиваются за счет уменьшения доли сеголеток в скоплениях. По той же причине средние размеры сайки в пелагиали меньше, чем в придонных скоплениях. Половозрелые самки начинают встречаться в размерной группе 11–12 см, а самцы — 8–9 см. Пища сайки представлена донными и планктонными рыбами, а также молодью. Нерест сайки в Чукотском море в летне-осенний период не наблюдался. В этот период года в Беринговом проливе и Беринговом море отмечены лишь отдельные особи в нерестовом состоянии. В августе в прибрежной (южной) части Чукотского моря происходит концентрация сайки, после чего в сентябре–ноябре она через Берингов пролив мигрирует в Берингово море. Доля чукотской сайки, вовлекаемая в миграции на юг в Берингово море осенью-зимой, зависит от формирующихся океанологических условий. В холодные годы при раннем наступлении сезонного оледенения на юг сквозь пролив уходит значительно большее ее количество, чем в теплые годы. Соответственно, обратная миграция на север из Берингова моря в относительно холодное лето и при позднем таянии льда происходит не у всей сайки, а лишь у части ее скоплений. В холодные годы значительная часть сайки весной нерестится в Беринговом море, а в теплые — большая ее часть, по-видимому, уходит в Чукотское море. Учетные запасы сайки в придонных горизонтах западной части Чукотского моря в период наблюдений с 1971 по 2020 г. изменялись в пределах от 3,5 до 396,5 тыс. т при среднем показателе 80,6 тыс. т. В пелагиали они варьировали от 4,0 до 329,2 тыс. т при среднем показателе 150,6 тыс. т.

Ключевые слова: сайка Чукотского моря и прилегающих вод, размерный состав, темп роста, состояние зрелости, распределение, миграции, промысел, запасы.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-810-832.

Savin A.B. Arctic cod (*Boreogadus saida*, Gadidae) in the Chukchi Sea and adjacent waters // Izv. TINRO. — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 810–832.

Biology, spatial distribution, migrations, and stock dynamics are considered for arctic cod in the Russian sector of the Chukchi Sea and adjacent waters of the northern Bering Sea on the data of trawl surveys conducted by Pacific Res. Inst. of Fisheries and Oceanography (TINRO)

* Савин Андрей Борисович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: andrey.savin@tinro-center.ru.

Savin Andrey B., Ph.D., leading researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: andrey.savin@tinro-center.ru.

in 1971–2020, fishery statistics and cited data. Active fishery of arctic cod occurred in late 1960s — early 1970s and in 1980s, when annual catch of this species reached 24,500 t. Mean size of arctic cod in trawl catches increased southward with decreasing of the underyearlings portion; the mean size was larger in catches of bottom trawl than in catches of midwater trawl because of the same reason. The females became adult from the size 11–12 cm, the males — from the size 8–9 cm. Diet of arctic cod included benthos and plankton, as well as juvenile fish. Spawning of arctic cod in the Chukchi Sea in summer-autumn was never observed, but some fish ready to spawn were found in the Bering Strait in this season. Arctic cod aggregated in the coastal zone of the southern Chukchi Sea in August, then partially migrated to the Bering Sea through the Bering Strait in September–November. The portion of the Chukchi Sea stock involved into this migration depended on fall oceanographic conditions — it was considerably larger in cold years with early freezing of the sea. Back migration from the Bering Sea to Chukchi Sea depended on spring environments — only a part of the fish of Chukchi Sea origin returned back in cold years with late ice melting and the rest spawned in the Bering Sea, whereas almost all the fish returned to the Chukchi Sea for spawning in warm years with early melting. The stock of arctic cod in the western Chukchi Sea varied in 1971–2020 between $3.5\text{--}396.5 \cdot 10^3$ t, on average $80.6 \cdot 10^3$ t in the bottom layer, and between $4.0\text{--}329.2 \cdot 10^3$ t, on average $150.6 \cdot 10^3$ t in the upper layer.

Key words: arctic cod, Chukchi Sea, size composition, growth rate, maturing, spatial distribution, migration, fishery, stock.

Введение

Сайка *Boreogadus saida* (Lepetchin, 1774) (Gadidae) является неритическим панарктическим видом, встречающимся на глубинах 0–731 м. Она отнесена к криопелагическим видам, проникающим в солоноватые воды. Ее ареал включает в себя Северный Ледовитый океан с прилегающими морями [Световидов, 1948; Шейко, Федоров, 2000; Парин и др., 2014; Mecklenburg et al., 2018; www.fishbase.us/summary/SpeciesSummary.php?id=319&lang=russian; и др.].

На Европейском Севере нашей страны — в Баренцевом море — сайка относится к промысловым видам, ее годовой вылов максимально достигал 331,6 тыс. т в 1971 г.* В 2010 г. ее общий запас в этом море составлял 1038,0 тыс. т, из которых нерестовая часть равнялась 891,6 тыс. т. Промысловый вылов в указанном году достиг 27,4 тыс. т [Сырьевая база..., 2012]. В восточном секторе Арктики ее запасы существенно меньше. В Чукотском море промысел сайки в настоящее время не ведется, а в официальной статистике указывается вылов исследовательских судов во время проведения траловых съемок.

Данные по промысловой биологии сайки в Чукотском море и прилегающих водах содержатся в отдельных, зачастую малотиражных, а поэтому редких и малодоступных изданиях. Результаты исследований, полученные после проведения траловых съемок в 1995–2020 гг., позволяют внести существенные дополнения в наши представления о биологии этого вида.

Целью настоящей работы является обзор биологии и экологии сайки по опубликованным и оригинальным материалам, полученным в проведенных в недавнее время экспедициях для оценки современного состояния ее ресурсов в российском секторе Чукотского моря.

Материалы и методы

В работе использованы материалы научных экспедиций ТИНРО, проведенных с 1971 по 2020 г., данные промысловой статистики Отраслевой системы мониторинга рыболовства (ежедневные судо-суточные донесения капитанов добывающих судов — ССД), а также статистика ФАО.

* Сайка (полярная тресочка) Баренцева моря. Путинный прогноз 2006. Мурманск: ПИНРО, 2006. 59 с.

Район исследований охватывал юго-западную часть Чукотского моря с прилегающей к нему акваторией Берингова моря в границах российских вод (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема района исследований: пунктиром обозначены границы Чукотского моря

Fig. 1. Scheme of surveyed area. Boundaries of the Chukchi Sea are shown by dotted line

Учетный лов выполнялся донными и пелагическими (разноглубинными) тралами с мелкой ячейкой при размере ячеи, равной 10 мм.

Плотность распределения сайки в районе траления рассчитывалась по каждому из уловов и выражалась в килограммах на квадратный километр:

$$P = \frac{m}{v \cdot t \cdot a \cdot k \cdot 0,001 \cdot 1,852},$$

где P — плотность распределения сайки в месте траления, кг/км² или экз./км²; m — фактический улов сайки одного траления, кг или экз.; v — скорость траления, уз.; t — продолжительность траления, ч, в десятичных значениях; a — горизонтальное раскрытие трала, м; k — коэффициент уловистости сайки, условно принятый равным для взрослых особей 0,3 и для ее молоди 0,1; 0,001 — коэффициент перевода значения из метров в километры; 1,852 — коэффициент перевода значения из морских миль в километры.

При расчетах использовались данные по всем неаварийным тралениям, в том числе и тем, в уловах которых сайка отсутствовала. Горизонтальное раскрытие трала зависит от длины верхней подборы, условно принимается равным для донного трала 60 % от нее и для разноглубинного трала — 50 %. Данные по запасам сайки за 2010, 2018 и 2019 гг. взяты из уже опубликованных работ А.М. Орлова с соавторами [2019, 2020].

Средняя плотность распределения рассчитывалась как частное от деления биомассы учетного запаса к площади всей исследованной акватории.

Соотношение полов указывается в форме отношения количества самок к количеству самцов. При этом количество самцов принималось за единицу.

Измерялась длина АС — длина по Смиуту, или биологическая длина — от начала рыла до конца средних лучей хвостового плавника.

Длину, при которой у сайки наступает половая зрелость, можно установить по размерному составу половозрелых особей: те, у которых началось сезонное созрева-

ние половых продуктов к ближайшему нересту (от II–III до IV–V стадии зрелости), нерестящиеся (V стадия зрелости) или находящиеся в посленерестовом состоянии (VI и VI–II стадии зрелости).

Минимальная промысловая длина сайки условно принята автором по средней длине впервые созревающих особей, равна 13,5 см по длине АС.

При представлении статистических материалов по полам — размерного состава самцов и самок — за 100 % принималось их общее количество.

Построена регрессия зависимости массы особи (W) сайки, выраженной в граммах, от ее длины АС (L) в сантиметрах вида:

$$W = a \cdot L^b,$$

где постоянные коэффициенты $a = 0,015490$, $b = 2,719550$. Всего для расчетов использовано 9397 пар для сравнения длина–масса. Коэффициент регрессии (r) оказался очень высоким и составил 0,9929.

Результаты и их обсуждение

Чукотское море является окраинным морем Северного Ледовитого океана. Рельеф дна достаточно ровный, выположенный — море целиком лежит в пределах шельфа. В нем преобладают глубины 40–60 м. Оно свободно сообщается с морями Восточно-Сибирским на западе и Бофорта на востоке, полностью открыто на север в сторону Центрального Арктического бассейна. На севере граница Чукотского моря проходит по внешнему краю шельфа — примерно по 72–76° с.ш. На юге граница с Беринговым морем проходит по наиболее узкой части Берингова пролива — линии от мыса Дежнева на азиатском материке через о-ва Диомида до мыса Принца Уэльского — на американском. Гидрологический режим Чукотского моря обусловлен взаимодействием арктических вод с более теплыми водами, поступающими из Тихого океана через Берингов пролив [Океанографическая энциклопедия, 1974*; Думанская, 2017].

Ареал

Сайка распространена в Северном Ледовитом океане и является неритическим панарктическим видом. Она многочисленна в Белом (временами) и восточной части Баренцева морях, попадает у восточных берегов Мурмана (Кольского полуострова), но западнее 37–38° в.д. и в юго-западной части Баренцева моря отсутствует. Повсеместно распространен этот вид в Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском морях. Сайка обычна в Беринговом проливе, Анадырском заливе и зал. Нортон (зимой), отмечена у Ян-Майена и северных берегов Исландии, вокруг Гренландии. Найден этот вид в американском секторе Арктики от мыса Барроу и о. Гершеля до бассейна Фокса и Гудзонова залива, а также у берегов Лабрадора. Встречается она и подо льдом в околополюсных районах. Обитает на глубинах 0–731 м [Андрияшев, 1954; Андрияшев и др., 1980; Шейко, Федоров, 2000; Mecklenburg et al., 2018; www.fishbase.us/summary/SpeciesSummary.php?id=319&lang=russian; и др.]. В бассейне Тихого океана вдоль азиатского побережья на юг опускается до южной части Карагинского залива, а по американскому — до зал. Бристоль. Южнее 62° с.ш. встречается редко [Фадеев, 2005].

Промысел

Промысел сайки в 1950–2018 гг. согласно статистике ФАО велся в северо-западной и северо-восточной частях Атлантики, а также в северо-западной Пацифике. По-видимому, в представленную статистику уловов попадает также и сайка, выловленная на прилегающих секторах Северного Ледовитого океана, поскольку данные по Арктическому бассейну в этом источнике представлены незначительно.

В 1930–1960-е гг., до начала специализированного отечественного промысла сайки в Баренцевом море, местное население добывало от 0,5–1,5 до 5,0–8,0 тыс. т

* Океанографическая энциклопедия. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 632 с.

ежегодно*. На рубеже 1960–1970-х гг., когда был открыт ее специализированный лов, отечественный годовой вылов в этом районе возрос до 116,6 тыс. т, а затем и до рекордных, до сих пор непревзойденных 331,6 тыс. т. Примерно в то же время промышленный лов сайки осуществлялся также и Норвегией, уловы которой в те годы колебались в пределах 0,4–17,8 тыс. т. Впоследствии сайку эпизодически облавливали Германия и Гренландия (Дания). Отечественный промысел, ведущийся главным образом в Баренцевом море, остается до сего времени основным, занимающим обычно не менее 95 % годового вылова всеми странами во всех морях бассейнов Атлантики, Тихого и Северного Ледовитого океана.

Успех промысла сайки в Баренцевом море инициировал интерес к этому объекту и на Дальнем Востоке. В бассейнах северной части Тихого и восточного сектора Ледовитого океанов этот объект промыщляется только отечественным флотом. В Чукотском море ее промысловые скопления впервые были обнаружены летом 1968 г. В официальной статистике она начала фиксироваться с 1970 г., когда было добыто 24,5 тыс. т (рис. 2) при довольно стабильных ее уловах от 61,5–85,0 т/судо-сутки. Промысел сайки вели на юго-востоке отечественного сектора Чукотского моря и в Беринговом проливе. К 1971 г. биомасса промыслового стада значительно уменьшилась, и ее промысел почти прекратился. В 1980-х гг. сайку вновь начали активно ловить в Анадырском

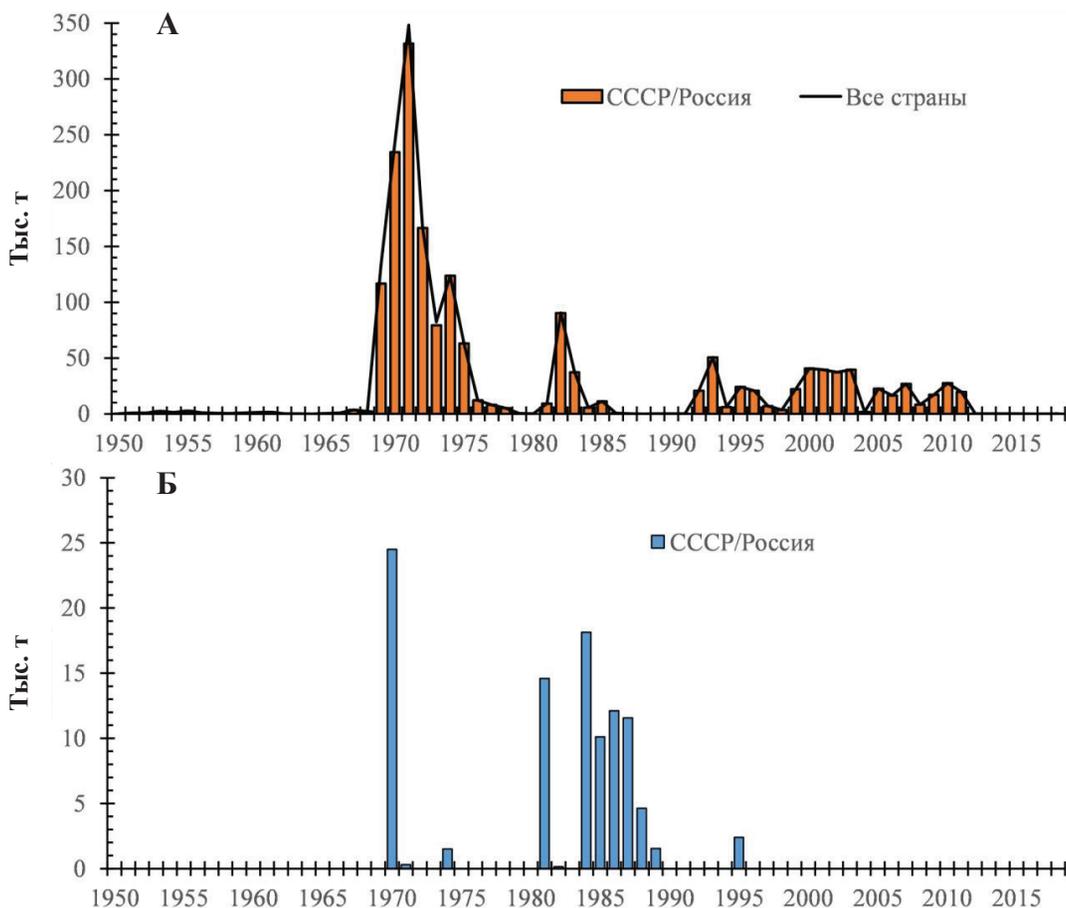


Рис. 2. Динамика вылова сайки в бассейнах северной Атлантики и западного сектора Арктики (А), а также северной Тихого и восточного сектора Арктики (Б)

Fig. 2. Arctic cod annual catch dynamics in the northern Atlantic with western Arctic (А) and northern Pacific with eastern Arctic (Б)

* Сайка..., 2006.

заливе Берингова моря. В среднем здесь ежегодно добывали 9,1 тыс. т, в отдельные годы — до 18,1 тыс. т. В настоящее время специализированный промышленный лов сайки не ведется. Изредка в статистике фиксируется годовой вылов в несколько тонн. Он состоит из отдельных уловов, полученных российскими научно-исследовательскими судами во время проведения учетных траловых съемок в восточном секторе Арктики и в Анадырском заливе.

Краткая история изучения сайки на Дальнем Востоке

Рыбохозяйственные исследования сайки в Беринговом и Чукотском морях начались во время Тихоокеанской комплексной экспедиции 1932–1933 гг. Экспедиция была подготовлена и проведена по инициативе и под руководством К.М. Дерюгина специалистами ТИНРО (на тот момент — ТИРХ), ЛГУ — Ленинградского государственного университета, ГГИ — Государственного гидрологического института и других институтов [Моисеев, Засельский, 1982]. Благодаря ей удалось исследовать обширные акватории дальневосточных морей, в том числе северную часть Берингова и южную часть Чукотского морей [Дерюгин, 1935]. Первые результаты исследований, касающиеся сайки, были опубликованы А.Я. Таранцом [1933, 1937], А.П. Андрияшевым [1935, 1939], А.Н. Световидовым [1948], а также С.К. Клумовым [1949]. Эти данные и сейчас во многом сохранили свою актуальность. Было обнаружено, что она обильна у берегов Чукотки, часто встречается в Анадырском заливе и довольно редка в Олюторском заливе Берингова моря.

К сожалению, в эти годы постоянных промысловых концентраций сайки обнаружено не было. Рыбохозяйственное освоение ее запасов до середины 1960-х гг. сдерживалось удаленностью районов обитания, отсутствием информации о динамике численности, отсутствием мощностей добывающего флота из-за слабой его развитости, а также из-за существования выявленной сырьевой базы на более близких к портам базирования акваториях.

Ситуация изменилась к концу 1960-х гг. с развитием экспедиционного промысла в Беринговом море и с расширением добывающих мощностей тралового флота. В 1968 г. в Чукотском море были обнаружены плотные концентрации сайки, что позволило организовать ее интенсивный промысел. Научные исследования этого объекта были возобновлены. Проведено несколько научно-поисковых экспедиций в Чукотское море: на РТМ «Каменское» в 1971 г.; СРТМ «Судоводитель» в 1977 г. и др. Часть полученных результатов опубликована в работах Б.М. Бондарева и Л.И. Сорокина [1970], Л.Д. Черкасовой [1974*, 1976], Л.Д. Тиллер [1976], Н.И. Науменко и Ч.А. Джангильдина [1987].

К сожалению, вслед за вспышкой численности сайки через три года произошло ее падение. Развернувшаяся летом 1971 г. промысловая экспедиция не добилась ожидаемых результатов. Поисково-промысловые исследования были свернуты на долгие годы. Не помогло даже очередное увеличение ее запасов в 1980-е гг., позволившее получить высокие уловы. Промысел сайки был отнесен к рискованным, не позволяющим обеспечить ритмичную (из года в год) работу флота. Усилия научно-поисковых судов были направлены на развитие промысла иных объектов на других акваториях бассейна Тихого океана, дававших неизмеримо больший вылов: минтая *Theragra chalcogramma*, скумбрии *Scomber japonicus*, мерлузы *Merluccius productus*, кабан-рыбы *Pentaceros richardsoni*, окуней *Sebastes* spp. и прочих.

Следующий этап исследований начался в 1995 г. после поисковой экспедиции СРТМ-К «Шурша» в Чукотское море. В 1997 г. проведена донная съемка юго-восточной части этого моря и Анадырского залива Берингова моря, выявившая промысловые скопления сайки. Впоследствии, вплоть до настоящего времени, съемки начали проводиться раз в три-четыре года или чаще.

* Черкасова Л.Д. К биологии дальневосточной сайки : отчет о НИР / ТИНРО. № 13942. Владивосток, 1974. 21 с.

Темпы роста и размерный состав

Наиболее быстро сайка растет до возраста 2+, после чего темп ее роста замедляется. Средние размеры сеголеток (0+) по данным Л.Д. Черкасовой [1976] и Хилзер с соавторами [Helser et al., 2017] колеблются в пределах от 4,9 до 7,1 см, трехлеток (2+) — от 12,2 до 14,5 см и шестилеток (5+) — от 16,1 до 21,5 см (табл. 1). Б.М. Бондарев и Л.И. Сорокин [1970] указывают для сеголеток сходные размеры — 6,5 см, но остальные размерные группы у них имеют значительно бóльшую среднюю длину: трехлетки — 18,0 и шестилетки — 23,5 см. Данные А.П. Андрияшева [1937] для двух- и трехлеток (с поправкой на измеряемую длину АВ) примерно соответствуют данным Л.Д. Черкасовой и Хилзер с соавторами. А вот четырех- и пятилетки у него существенно крупнее, что больше соответствует пяти- и шестилеткам упомянутых авторов.

Таблица 1

Сравнение темпов роста сайки, представленных различными авторами, в Чукотском море
Table 1

Estimations of growth rate for arctic cod in the Chukchi Sea, by authors

Параметр, источник данных	Район и год взятия проб	Возрастная группа									
		0+	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	
Длина АВ, Андрияшев, 1937	Берингово море (1932)	–	7,5–10,0	14,4–15,8	19,0–20,0	22,0–23,0	–	–	–	–	
Длина АС, Бондарев, Сорокин, 1970	Берингов пролив (год взятия проб не указан)	6,5	12,0	18,0	21,5	23,5	–	–	–	–	
Длина АС, Черкасова, 1976*	Чукотское море (1971)	–	8,8	14,5	16,6	19,1	21,1	–	–	–	
Длина АС, Helser et al., 2017*	Чукотское море (1976–1979)	5,1	8,8	12,2	14,7	16,9	18,8	20,1	21,5	22,5	
Длина АС, Helser et al., 2017*	Северная часть Берингова моря (1976–1979)	5,1	10,0	13,7	17,1	19,5	21,5	22,9	24,3	25,4	
Длина АС, Helser et al., 2017*	Юг Чукотского моря (2012)	4,9	9,6	12,8	15,2	16,9	18,4	–	–	–	
Длина АС, Helser et al., 2017*	Центр Чукотского моря (2012)	6,1	9,9	12,6	14,6	16,1	16,9	–	–	–	
Длина АС, Helser et al., 2017*	Север Берингова моря (2012)	7,1	10,1	12,8	15,0	16,9	18,4	–	–	–	

* Оцифровано с графика.

По данным Л.Д. Черкасовой [1976] сайка Чукотского моря максимально достигает шестилетнего (5+) возраста. Американские авторы [Gillispie et al., 1997; Helser et al., 2017] наблюдали в Чукотском и на севере Берингова морей и девятилеток (8+). Но они полагают этот возраст исключительным, при том что обычно встречаются особи не старше восьмилеток (7+).

Длина сайки в уловах обычно меняется от 2 до 30 см в Чукотском море и от 4 до 30 см в Чукотской зоне Берингова моря — Беринговом проливе с прилегающими водами восточной части Анадырского залива (рис. 3). В центральной части этого залива — в Западно-Берингоморской зоне — нередко поимки сайки размером 32 см. Максимальная длина АС особей сайки в Чукотском море равнялась 34,5 см.

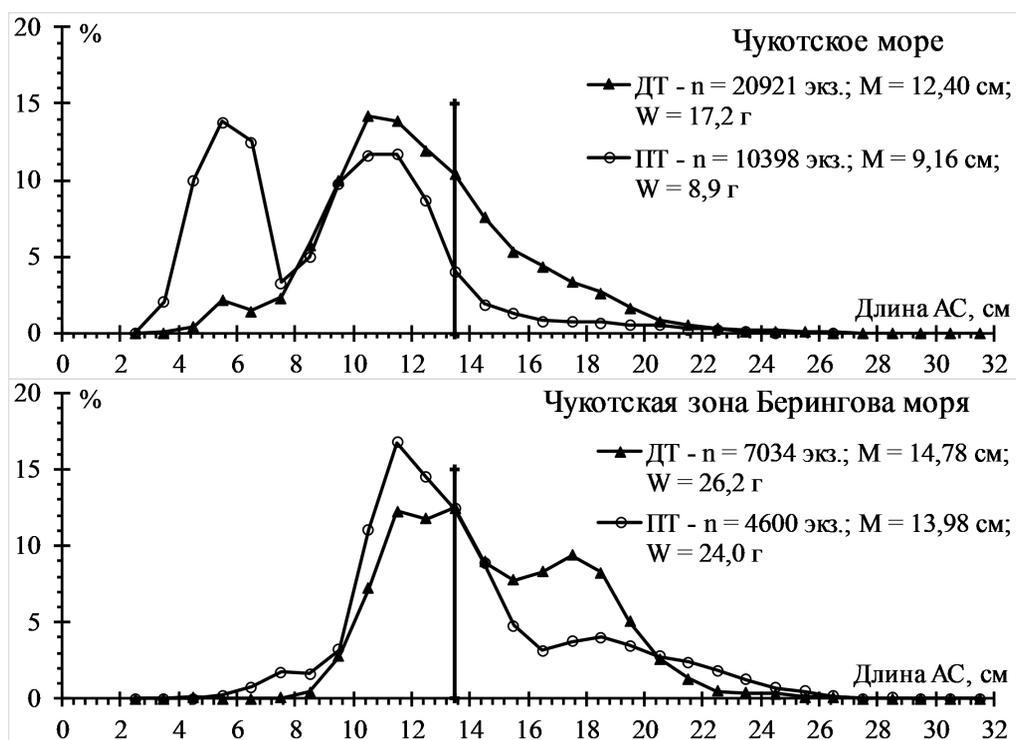


Рис. 3. Среднегодовые размерные составы придонных (ДТ) и пелагических скоплениях (ПТ) сайки в летне-осенний период 1977–2020 гг.: вертикальная линия указывает минимальную промысловую длину

Fig. 3. Mean size composition for arctic cod in the bottom layer (ДТ) and in the upper layer (ПТ) in summer-autumn of 1977–2020. The minimum commercial size is shown by vertical line

По заключению Л.Д. Черкасовой [1976] размерные составы сайки в Чукотском и Беринговом морях не имеют существенных различий. Наши данные опровергают ее мнение; с продвижением на юг средние размеры сайки увеличиваются (рис. 4). Если в Чукотском море ее средняя длина в придонных скоплениях за многолетний период составляет 12,4 см (при средней массе, равной 17,2 г), то уже в Беринговом проливе — 14,8 см (26,2 г). В пелагиали Чукотского моря средняя длина сайки составила 9,2 см (8,9 г), а в Беринговом проливе — 14,0 см (24,0 г).

Отличие размерного состава сайки пелагических от сайки придонных скоплений связано с тем, что ее сеголетки большей частью нагуливаются в пелагиали — их размерная группа длиной тела от 2 до 7 см в Чукотском море в среднем представляет 41,8 % от численности всей сайки пелагиали. При этом в придонных распределениях она занимает всего 6,4 % уловов. В Чукотской зоне Берингова моря сеголеток гораздо меньше, но и там их в пелагиали гораздо больше, чем у дна: доля этой размерно-возрастной группы в указанных экотопах равна соответственно 2,8 и 0,2 %.

Среднеголетняя доля особей промысловой длины в Чукотском море составляет 32,5 % в придонных горизонтах и 9,3 % в пелагиали по численности, а также 59,9 и 34,3 % по биомассе в указанных биотопах.

В Чукотской зоне Берингова моря среднеголетняя доля промысловых особей по численности выше: 59,2 % в придонных горизонтах и 43,9 % в пелагиали. При этом по биомассе доля соответственно равна 80,0 и 72,0 %.

Размерные составы самок и самцов — особей с различимым в процессе биологического анализа полом, т.е. находящихся на II и далее стадиях зрелости, — разнятся незначительно. Самки в среднем на 1 см крупнее самцов — их средние длины соответственно составляют 14,39 (25,5 г) и 13,46 см (20,3 г) (рис. 4). Модальные

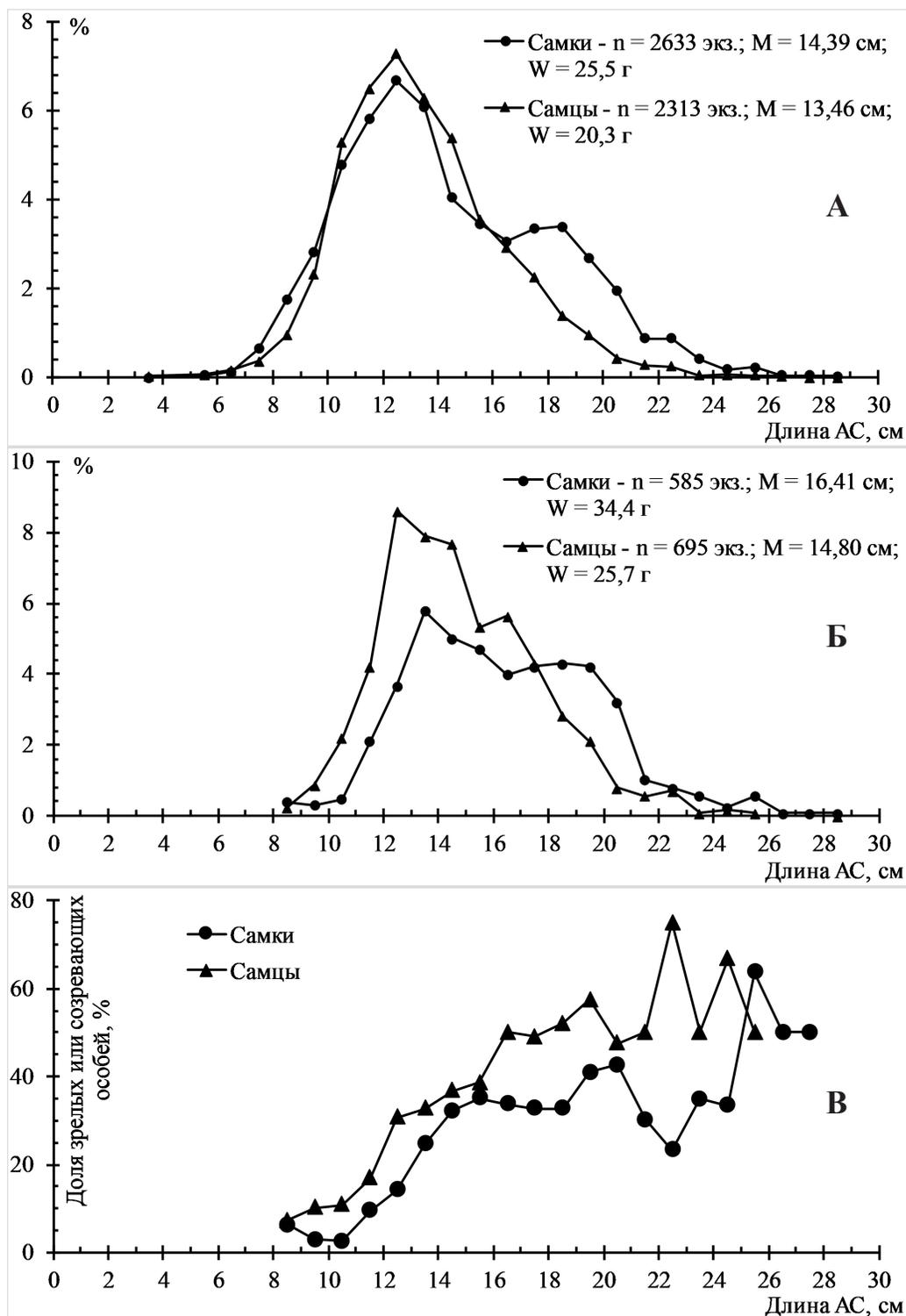


Рис. 4. Среднемноголетний (1977–2020 гг.) размерный состав сайки Чукотского моря различного состояния зрелости в теплый период года: **А** — размерный состав самок и самцов без учета зрелости; **Б** — размерный состав созревающих и зрелых самок и самцов; **В** — доля созревающих или зрелых самок и самцов по размерным группам

Fig. 4. Mean size composition for arctic cod in warm seasons of 1977–2020, by state of maturing: **A** — all females and males; **B** — maturing and matured females and males; **V** — portion of the maturing and matured females and males, by size classes

группы обоих полов совпадают — это размерный класс 12–13 см, но средние длины самок больше за счет преобладания относительно крупноразмерных особей длиной тела более 17 см.

Пространственное распределение размерных групп в Чукотском море неоднородно. В августе–сентябре наиболее крупная сайка концентрируется в районе Колючинской губы, а также у Берингова пролива (рис. 5). В придонных скоплениях в конце августа — начале сентября 1997 г. именно в этих районах отмечена наиболее крупная сайка — средней длиной более 16 см. В сентябре 2010 г. концентрация крупной сайки, средней длиной более 14 см, наблюдалась только у Берингова пролива. В августе–сентябре 2020 г., хотя район исследования и был не столь обширен, как в предыдущие годы, тем не менее в скоплениях рыб с северо-запада на юго-восток происходило увеличение средних размеров особей — от 10–12 до 16–18 см.

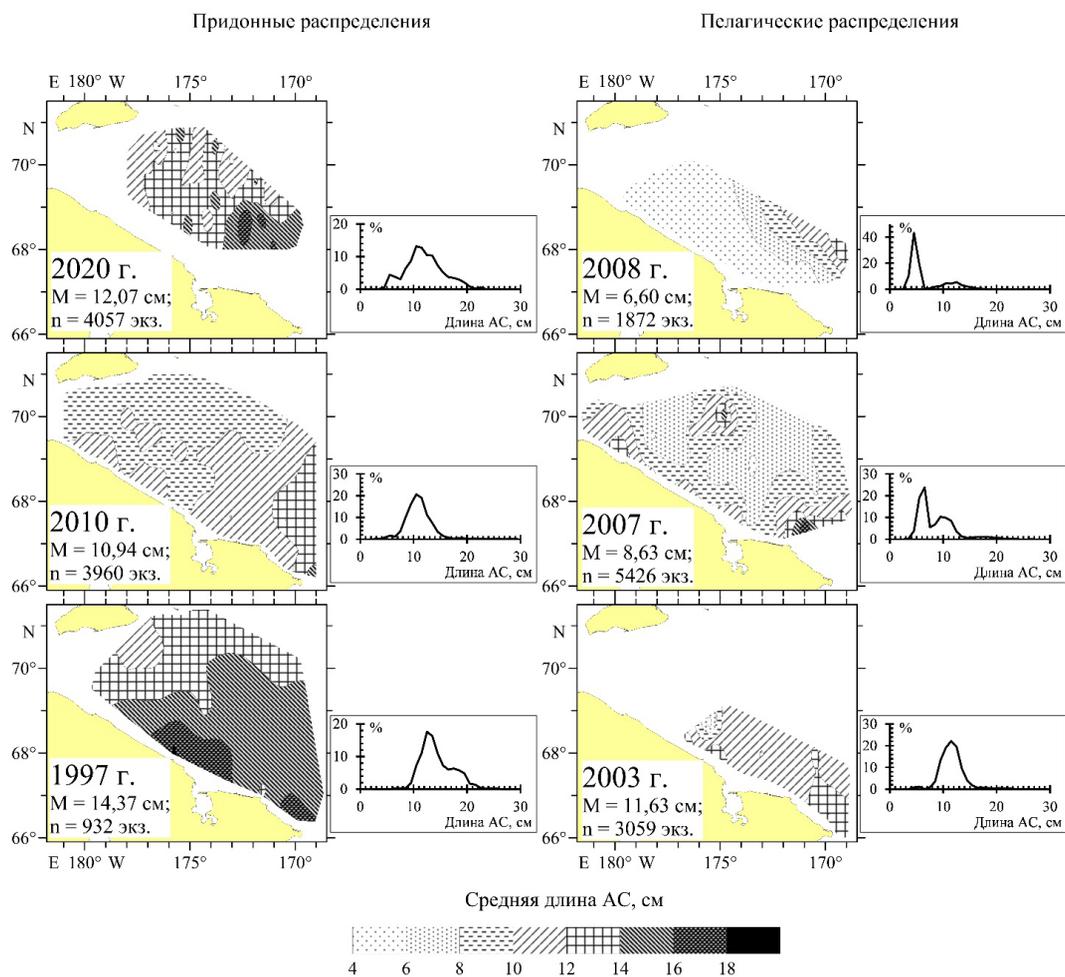


Рис. 5. Пространственное и частотное распределения размерного состава сайки в Чукотском море в теплый период различных лет, %

Fig. 5. Spatial changes of size composition for arctic cod in the Chukchi Sea in warm season, %

Аналогичная картина наблюдалась и в пелагических скоплениях. В августе 2003 и 2007 г. в районе Колючинской губы отмечались концентрации сайки сравнительно больших размеров: соответственно 12–14 и 10–12 см. Отмечены концентрации особей сравнительно больших размеров и на подходе к Берингову проливу: соответственно по годам 12–14 и 10–12 см. Происходило увеличение средних размеров рыб по направлению с северо-запада на юго-восток и в сентябре 2008 г.

Воспроизводство

Согласно Фросту и Лоури [Frost, Lowry, 1983] самки сайки в Чукотском море и море Бофорта начинают нерестятся при длине около 12,5 см в возрасте 3 лет.

По материалам, собранным в 1977–2020 гг., сезонное созревание семенников в августе-сентябре встречается у самцов начиная с размерного класса 8–9 см. До 12–13 см их доля в общем количестве половозрелых особей этого пола возрастает (см. рис. 4, Б). Половозрелые самки также начинают встречаться с размерной группы 8–9 см, но вплоть до 10–11 см их доля остается сравнительно небольшой. И только с размеров тела 11–12 см происходит быстрый рост численности рыб вплоть до 13–14 см.

Рассматривая рост доли половозрелых особей в размерных группах по полам, отметим, что у самок этот параметр начинает значительно расти с 11–12 см до длины 20–21 см (рис. 4, В). У меньших размерных групп этого пола доля половозрелых особей не столь значительна.

Доля половозрелых самцов начинает расти с длины рыб 8–9 см, вплоть до 19–20 см. Таким образом, самцы начинают и заканчивают созревать раньше самок. Как правило, в одних и тех же размерных группах доля половозрелых самцов выше, чем половозрелых самок. Это связано с различиями физиологического процесса созревания полов. Также необходимо отметить, что зрелость сайки отслеживалась в сравнительно короткий период августа-сентября. При возможности облова ее скоплений в период нереста доля половозрелых рыб закономерно была бы значительно выше.

Сайка нерестится в районах ледовой кромки в придонных слоях воды. Икра постепенно поднимается в толщу воды и может накапливаться подо льдом. При таянии льда икра освобождается и начинает развиваться. У кромки льда происходит массовое развитие фито- и зоопланктона, единственным массовым потребителем которого является эта рыба. С самых ранних стадий развития она оказывается в зоне, богатой пищей. Эта приспособленность к условиям жизни среди льдов и обеспечила сайке большую численность в арктических морях [Пономаренко, 1968, 2006].

Нерест дальневосточной сайки, по мнению А.П. Андрияшева [1937], происходит в январе-феврале, но в отдельных районах возможен в более ранние сроки.

По мнению С.К. Клумова [1949], у северного побережья Чукотки, включая Анадырский залив, он происходит в октябре-декабре, в отличие от сайки Баренцева моря, нерестящейся в январе-феврале. Л.Д. Черкасова [1976] провела сравнение данных В.П. Пономаренко [1965] по Баренцеву морю с собственными данными по сайке Чукотского моря. На основании этого было установлено, что созревание половых продуктов сайки в этих морях начинается примерно в одно и то же время. В июне-июле гонады сайки находятся на II стадии развития. В сентябре преобладают рыбы с половыми продуктами на III стадии зрелости. Начиная с сентября-октября процесс созревания происходит более интенсивно в Чукотском море, где в октябре 55 % рыб имеют гонады на IV стадии зрелости. Соответственно, был сделан вывод, о том, что нерест сайки в Чукотском море начинается раньше, чем в Баренцевом [Черкасова, 1976].

Согласно нашим данным, накопленным с 1970 по 2020 г., созревание чукотской сайки происходит не столь быстро (табл. 2). Если в августе гонады большинства особей находятся в состоянии покоя, а 0,8 и 2,3 % особей самок и самцов имеют III стадию зрелости, то в сентябре их доля увеличивается соответственно до 6,9 и 8,5 %. Отмечено также увеличение доли рыб, находящихся на IV стадии, и снижение особей на II и VI–II стадиях. Возможно, Л.Д. Черкасовой описывалось более быстрое созревание чукотской сайки, мигрировавшей в летне-осенний период в Берингово море. В нем действительно к октябрю наблюдается массовый переход рыб на III стадию зрелости. Но и здесь в этот период IV стадию имеют не более 2,5 % особей.

Таким образом, представленные данные по динамике зрелости самок сайки с июня по октябрь не подтверждают существование ее массового нереста в октябре в Беринговом проливе и Анадырском заливе. Тем не менее вопрос о сроках нереста дальневосточной сайки нуждается в дополнительном изучении. В частности, все

Таблица 2

Среднегодовой состав по стадиям зрелости сайки в юго-западной части Чукотского моря и в прилегающих акваториях Берингова моря в 1970–2020 гг., %

Table 2

Mean composition of arctic cod by stage of maturing in the southwestern Chukchi Sea and adjacent waters of the northern Bering Sea in 1970–2020, %

Месяц	Пол	Стадии зрелости						n	Сумма
		II	III	IV	V	VI	VI–II		
<i>Российские воды Чукотского моря</i>									
Август	♀	52,2	0,8	–	–	–	0,9	1562	53,9
	♂	43,4	2,3	0,1	–	–	0,3	1338	46,1
Сентябрь	♀	45,6	6,9	0,1	–	–	0,1	1053	52,7
	♂	38,4	8,5	0,2	–	–	0,2	945	47,3
<i>Берингов пролив с прилегающими водами (Чукотская зона)</i>									
Август	♀	52,2	0,2	–	–	–	1,8	721	54,2
	♂	44,7	0,9	–	–	–	0,2	609	45,8
Сентябрь	♀	42,8	2,7	–	–	–	8,2	197	53,7
	♂	35,6	5,8	–	0,5	4,4	–	170	46,3
Октябрь	♀	37,9	17,7	–	–	–	–	119	55,6
	♂	12,6	30,2	1,6	–	–	–	95	44,4
<i>Анадырский залив с прилегающими водами (Западно-Берингоморская зона)</i>									
Июнь	♀	53,7	–	–	0,3	5,5	–	238	59,5
	♂	39,0	0,5	0,5	–	0,5	–	162	40,5
Июль	♀	54,4	–	–	1,7	1,7	–	67	57,8
	♂	41,3	–	–	–	0,9	–	49	42,2
Август	♀	53,3	0,7	<0,05	–	–	0,2	1199	54,2
	♂	43,6	1,7	–	–	0,5	–	1013	45,8
Сентябрь	♀	55,1	4,2	–	–	–	–	258	59,3
	♂	26,0	12,0	2,5	–	–	0,2	177	40,7
Октябрь	♀	36,6	21,6	–	–	–	–	181	58,2
	♂	17,9	22,0	1,9	–	–	–	130	41,8

Примечание. n — количество просмотренных особей, экз.

представленные данные собирались с больших судов в море, что не позволило получить материалы по сайке, обитающей вблизи берегов, в устьях рек и в небольших бухтах. Возможно, именно эта часть особей имеет ранний нерест, как было заявлено С.К. Клуновым [1949], полагавшим, что нерестилища сайки располагаются только в прибрежной части, а сам нерест проходит с октября по декабрь. Кроме того, В.П. Пономаренко [1964] указывалось, что ее нерест может проходить не только в прибрежной части, но и в сотнях миль от берега.

Плодовитость сайки по сравнению с другими видами семейства тресковых довольно низкая: 9–36 тыс. икринок. Она зависит от размеров рыб и их возраста. Особи размером 16 см имеют около 10 тыс. икринок, 24 см — около 36 тыс. икринок при средней плодовитости 12 тыс. икринок [Бондарев, Сорокин, 1970]. Немного бóльшие цифры получены Л.Д. Черкасовой [1976]; согласно ее данным плодовитость сайки дальневосточных вод колеблется от 5 до 35 тыс. икринок, но в среднем составляет в Чукотском и Беринговом морях соответственно 19,7 и 20,5 тыс. икринок.

Икра сайки пелагическая. В середине мая — июне личинки имеют длину 5–10 мм, в июне-июле мальки достигают размеров 9–20 мм, в августе-сентябре — 21–38 мм [Бондарев, Сорокин, 1970].

Питание

Согласно исследованиям Л.Д. Тиллер [1976] спектр питания сайки довольно широк и насчитывает до 40 видов, однако его основу образует сравнительно неболь-

шое их количество. Пища в Чукотском море представлена донными ракообразными, планктонными формами и рыбами. Из донных ракообразных преобладают гаммариды и мизиды. Реже встречались креветки, кумовые раки и полихеты. Из планктонных форм основу составляют, в зависимости от района, копеподы, гиперииды и эвфаузииды. Роль щетинкочелюстных невелика. Среди рыб, потребляемых сайкой, обычно встречается молодь бычков, песчанка, мойва, сеголетки сайки, липарисы. В сентябре 1973 и октябре 1974 гг. основу питания сайки в Анадырском заливе составляли гиперииды и мизиды. В августе 1973 и октябре 1974 гг. на севере Берингова моря в питании преобладали креветки, гаммариды, мизиды и рыбы. В июне 1972 и сентябре 1973 гг. в Чукотском море она питалась в основном гипериидами, креветками, гаммаридами и рыбой.

По исследованиям трофики сайки на сопредельных с Чукотским морем акваториях, проведенным В.В. Напазаковым и В.И. Чучукало [2001], а также В.И. Чучукало [2006] в Анадырском заливе, в пище молоди сайки длиной 5–10 см основное значение имели как придонные виды беспозвоночных — мизиды (8,2 %), кумовые раки (23,6 %), гаммариды (20,6 %) и декаподы (11,7 %), так и пелагические — копеподы (16,6 %) и хетогнаты (10,1 %). Молодь сайки длиной 10–15 см потребляла сходную пищу, но, кроме того, включала в свой рацион и молодь других видов рыб. Практически ни один из компонентов не был первостепенным, доля каждого из основных составляла 8–14 %. В олюторско-наваринском районе эта размерная группа сайки предпочитала кумовых раков. У рыб длиной 15–20 см в Анадырском заливе основу питания в равных долях составляли несколько групп животных, хотя копеподы и рыбы несколько преобладали. В олюторско-наваринском районе в пище доминировали ракообразные, в основном эвфаузииды (56,6 %) и декаподы (10,8 %). У рыб более 20 см в обоих районах основным компонентом пищи были креветки (39,7–45,2 %). Вторыми по значимости были: в олюторско-наваринском районе — рыбы (32,4 %), а в Анадырском заливе — копеподы (28,9 %).

Суточный пищевой рацион (СПР) в среднем у различных размерно-возрастных групп изменялся незначительно — в пределах от 4,2 до 4,5 % [Чучукало, 2006].

По данным А.Я. Ефимкина [2013] в осенний период сайка в Анадырском заливе питается в основном амфиподами и копеподами. У более крупных экземпляров амфиподы в рационе частично заменяются креветками. Так же как в Анадырском заливе, в Чукотском море сайка поедает в большом количестве амфипод, различных креветок и копепод. Однако если в Анадырском заливе у сайки за все годы количество эвфаузиид в желудках не превосходило 11,4 %, то в Чукотском море содержание их в 2003 г. превышало 79,0 %. В годы высокой численности сайка выедает в Чукотском море до 29 тыс. т пищевых объектов в день.

Пища сайки, обитающей под паковыми льдами вблизи Северного полюса, состоит из обычных в Центральной Арктике видов представителей криофауны планктонных животных, в основном Calanoidea: *Calanus hyperboreus*, *C. glacialis*, *Pareuchaeta glacialis*, *Chiridius obtusifrons*, *Pseudocalanus major* и особенно *Metridia longa*, а также бокоплавов *Parathemisto libellula* и *Pseudolibrotus nansenii* [Андряшев и др., 1980; Павштикс, 1987].

Распределение и миграции сайки

По сообщению А.П. Андряшева с соавторами [1980], сайка в больших количествах встречается под паковыми льдами Арктики над псевдоабиссальными глубинами (глубина более 2000 м) в районе, находящемся примерно на середине между о. Врангеля и Северным полюсом на широтах 80°15'–80°53' с.ш. По наблюдениям и сборам на дрейфующих станциях «Северный полюс» в 1955–1973 гг. было установлено, что в околополюсных районах Арктики живут два вида тресковых рыб (*Boreogadus saida* и *Arctogadus glacialis*), которые временами образовывали в гидрологических лунках и трещинах многочисленные стаи, легкодоступные для облова. Лов рыбы в разное время проводился от поверхности до глубины 25 м различными способами: крючковой сна-

стью с наживкой, сачком для очистки лунки от осколков льда, коротким багорчиком. Сайка в массовых количествах ловилась главным образом в период с ноября по январь.

В северо-восточном секторе Чукотского моря — в американской зоне (между 68° и 72° с.ш., а также между 170° и 157° з.д.) — сайка хотя и доминирует среди всех остальных видов по численности и биомассе, но ее плотность распределения очень невелика и, например, в 1990 и 1991 гг. составляла соответственно 0,302 и 0,064 кг/км² [Barber et al., 1997].

По результатам промысла сайки в 1968–1970 гг.* можно проследить миграции ее крупных скоплений из Чукотского моря в Берингов пролив (рис. 6). В июне-августе 1968 г. они наблюдались у северного побережья п-ова Чукотского на изобатах 20–45 м между 173°30' и 170°10' з.д. К концу августа и началу сентября произошло дальнейшее их смещение вдоль побережья к Берингову проливу. Контрольные траления поисковых судов составляли 0,2–0,8 т/час траления.

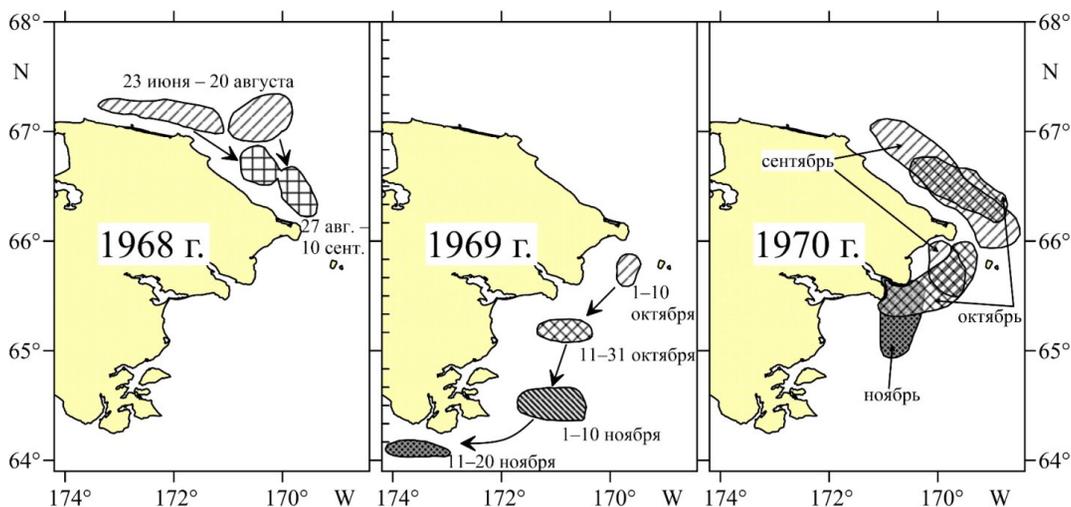


Рис. 6. Миграции промысловых скоплений сайки из Чукотского в Берингово море
Fig. 6. Migration of arctic cod commercial aggregations from the Chukchi Sea to Bering Sea

В сентябре 1969 г. скопления сайки обнаружены на изобатах 45–52 м на 80 миль севернее устья Колючинской губы (68°30'–68°35' с.ш. 173°35'–174°10' з.д.). В начале октября плотные ее скопления отмечены в Беринговом проливе в районе мыса Дежнева на изобате 40–48 м. До середины ноября они смещались вдоль побережья на юго-запад к мысу Чукотскому. Промысловые уловы составляли до 10–15 т/траление, или 70–100 т/судо-сутки.

В начале сентября 1970 г. сайка образовывала обширные скопления у мыса Дежнева и восточнее мыса — на северо-запад вдоль береговой линии, а также в Беринговом проливе к югу от него. До середины ноября скопления в Беринговом проливе медленно смещались на юг, выйдя за этот период к 65° с.ш. Кроме промысловых скоплений из района Берингова пролива к северу от Колючинской губы в квадрате 68°06'–68°50' с.ш. 173°42'–175°20' в.д. на изобатах 50–53 м обнаружены обширные поля, протяженностью 30–50 миль, образованные молодью сайки размерами 3–7 см. Промысловые уловы составляли 7,3–9,7 т/траление, или 56,2–61,5 т/судо-сутки.

* Сайка // Промысловая обстановка и результаты работы флота по основным объектам и районам лова Дальнего Востока 1968 года. Южно-Сахалинск: Управление Промразведки СахалинРыбпрома, 1969. С. 366.; Сайка // Промысловая обстановка и результаты работы флота по основным объектам и районам лова Дальнего Востока 1969 года. Южно-Сахалинск: Управление Промразведки СахалинРыбпрома, 1970. С. 341–342.; Сайка // Промысловая обстановка и результаты работы флота по основным объектам и районам лова Дальнего Востока 1970 года. Южно-Сахалинск: Управление Промразведки СахалинРыбпрома, 1971. С. 317–326.

В 1971 г. промысловых скоплений сайки в южной части Чукотского моря обнаружено не было*, а плотность ее распределения оказалась незначительной. Уловы поисковых судов не превышали 0,2–1,0 т/траление.

Таким образом, в периоды высокой численности взрослая сайка Чукотского моря образует довольно плотные концентрации в прибрежной его части в районе от мыса Сердце-Камень до мыса Дежнева. С сентября по ноябрь эти скопления смещаются в Беринговом проливе с той или иной скоростью на юг в сторону Анадырского залива. Это происходит на фоне сезонного выхолаживания вод и начала интенсивного льдообразования. Примерно в этот же период все потенциальные хищники, которые могли бы питаться сайкой, — треска *Gadus macrocephalus*, керчаки *Myoxocephalus* spp. и прочие — покидают воды шельфа, смещаясь к югу или в верхнюю часть материкового склона. Это снижает пресс хищничества и способствует успешной зимовке сайки. В холодный период года подо льдом сайка, по-видимому, продолжает миграцию на юг. Отдельные ее особи вдоль азиатского побережья доходят до Олюторского залива. С началом сезонного потепления и таяния льда, вероятно, происходит обратная миграция на север. Не вовлеченные в эту миграцию особи часто обнаруживаются в небольших количествах в водах зимнего происхождения, локализующихся в отдельных секторах Олюторского и Анадырского заливов.

Распределение сайки в августе-сентябре на акватории юго-западной части Чукотского моря согласно результатам донных и пелагических траловых съемок подчиняется выявленным по промысловым данным закономерностям (рис. 7). Так, в районе Берингова пролива, на крайнем юго-востоке полигона, обычно образуются плотные концентрации сайки. Это можно проследить по придонным распределениям 1997 и 2010 гг. и по пелагическим скоплениям 2003 г. Кроме того, в районе Колючинской губы, как это было в придонном горизонте в 1997 и 2010 гг. и в пелагиали в 2003 и 2007 гг., также отмечаются ее повышенные концентрации.

Формирование сравнительно плотных скоплений сайки перед проливом и в нем самом позволяет сделать предположение, что в те годы в августе-сентябре она активно мигрировала в Берингово море.

Схема миграций сайки из Чукотского моря в Берингово впервые предложена Б.М. Бондаревым и Л.И. Сорокиным [1970]. К сожалению, она не была подкреплена подробным изложением фактического материала, на основании которого выстраивалась. Между тем изучение миграционного цикла сайки сталкивается с недостатком материалов, поскольку скопления доступны для облова главным образом в теплый период года, а следовательно, только во время нагула на свободной от льда акватории. В Чукотском море — это четыре-пять летне-осенних (июль-ноябрь) месяца, в северной части Берингова моря — семь месяцев (май-ноябрь). Таким образом, зимовка и нерест вида остаются неизученными по причине закрытия акватории морей льдами.

Согласно Б.М. Бондареву и Л.И. Сорокину [1970] нерест сайки происходит в марте-апреле в Беринговом море, на севере Анадырского залива и в Беринговом проливе. Икра откладывается в битом льду и подо льдом на границе ледового припая при отрицательных температурах воды. Среда, в которой происходит нерест, изучена мало. После нереста косяки сайки совершают нагульную миграцию вслед за отступающей на север кромкой льда, достигая таким образом Чукотского моря. Здесь скопления сайки концентрируются главным образом у побережья в местах стыковки теплых и холодных вод. Вслед за половозрелой частью стада через Берингов пролив в Чукотское море с течением дрейфует икра и личинки сайки. В летний период в Чукотском море сайка образует скопления средней плотности в виде размытых полей. Они смещаются вдоль зон стыковок течений. По мере созревания половых продуктов осенью в конце

* Сайка // Промысловая обстановка и результаты работы флота по основным объектам и районам лова Дальнего Востока 1971 года. Южно-Сахалинск: Управление Промразведки СахалинРыбпрома, 1972. С. 318.

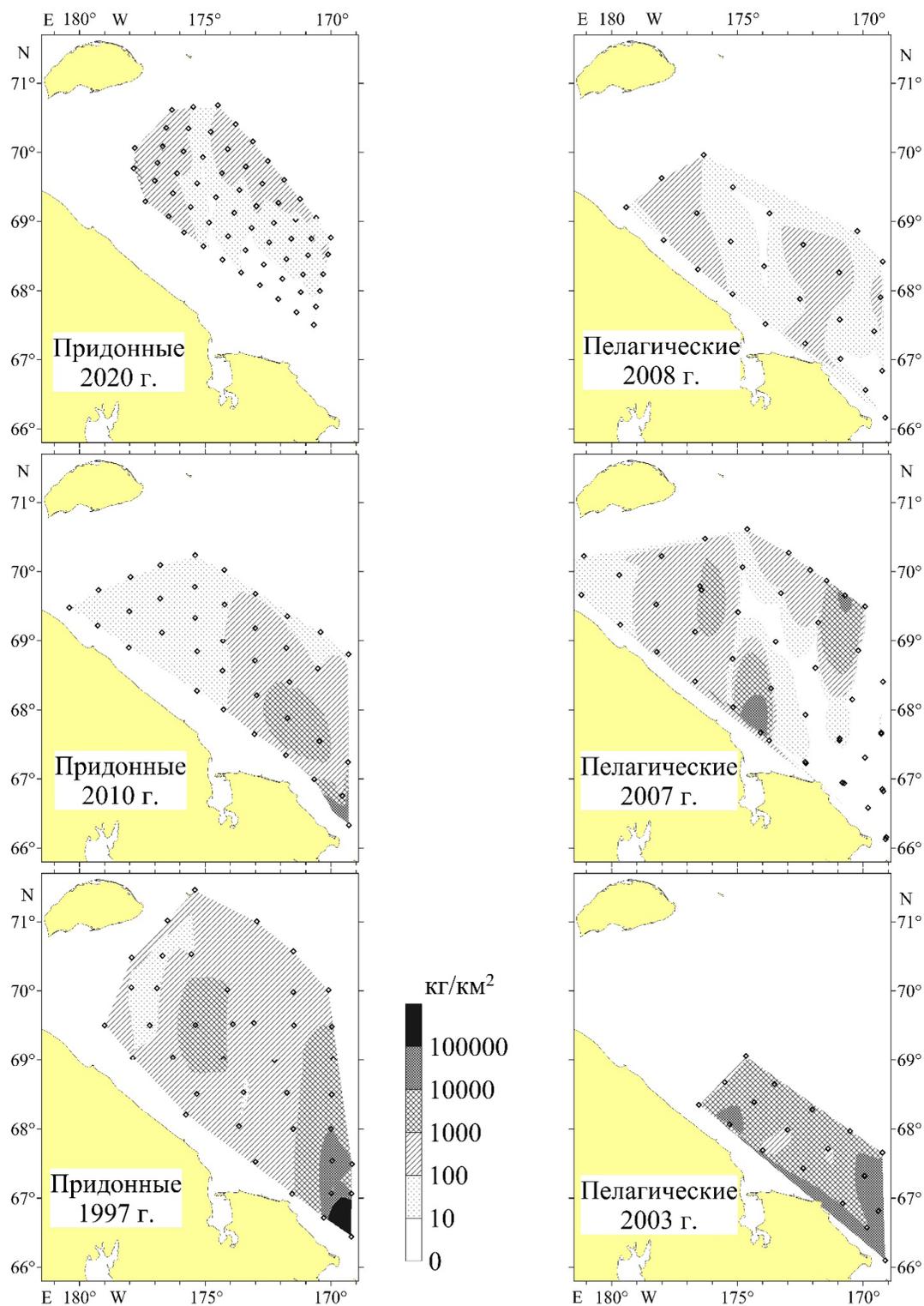


Рис. 7. Придонные и пелагические распределения сайки в Чукотском море по материалам донных и пелагических траловых съемок 1997–2020 гг.

Fig. 7. Spatial distribution of arctic cod in the bottom and upper layers of the Chukchi Sea on the data of bottom and midwater trawl surveys in 1997–2020

сентября половозрелая часть стада мигрирует против течения в район Берингова пролива. С наступлением сезонного оледенения часть косяков мигрирует на юг вслед за кромкой льда, другая же часть остается в прежних районах до тех пор, пока половые продукты не достигнут стадии текучести.

Предложенная Б.М. Бондаревым и Л.И. Сорокиным [1970] схема сезонных миграций в период с июля по ноябрь может быть подтверждена описанными выше миграциями промысловых скоплений в 1968–1970 гг. от района мыса Сердце-Камень в Чукотском море до восточной части Анадырского залива. В последнем еще в июне можно встретить незначительное количество нерестовых самок. В пользу схемы Бондарева говорят и описанные нами пространственные распределения размерного состава сайки в юго-западной части Чукотского моря. Согласно им размеры особей увеличиваются с приближением к Беринговому проливу, что является следствием миграций наиболее крупных особей в этом направлении.

Вместе с тем не следует понимать схему Бондарева, как окончательно доказанную. Ей не соответствуют формирование крупных распределений сайки в зал. Креста в августе-ноябре 1981 г.*

Сайка, как и многие массовые виды, откладываящие пелагическую икру, не имеет определенных узкоограниченных нерестилищ. Нерест происходит там, где у нее наступает полное созревание половых продуктов. По нашему мнению, то количество молоди сайки (особей длиной тела менее 8 см), обнаруживаемое в Чукотском море, не может вноситься в него извне, со стороны Берингова пролива. Следовательно, в самом Чукотском море в зимне-весенний период также происходит более или менее интенсивный нерест особей, не вовлеченных в описываемые миграции на юг.

Доля чукотской сайки, вовлекаемая в миграции на юг в Берингово море, зависит, по нашему мнению, от складывающейся океанологической обстановки. В холодные годы при раннем наступлении сезонного оледенения на юг сквозь пролив уходит значительно большее ее количество, чем в теплые годы. Соответственно, обратная миграция на север из Берингова моря в относительно холодное лето и при позднем таянии льда происходит не у всей сайки, а лишь у части ее скоплений. В этих условиях в Беринговом море к лету остается значительное ее количество, как это было, например, с упомянутой выше сайкой зал. Креста в 1981 г. Напротив, летом при формировании экстремально теплых условий среды обитания, как это было, например, в июле-августе 2018 г., сайка в пелагиали зал. Анадырь полностью отсутствует**. Влияет на массовость миграций и состояние запасов чукотской сайки. Все это, по-видимому, и определяет локализацию района нереста. В холодные годы значительная часть сайки весной нерестится в Беринговом море, а в теплые — нерест у мигрантов происходит уже в Чукотском море.

Запасы

Учетные запасы сайки в придонных горизонтах западной части Чукотского моря в период наблюдений с 1971 по 2020 г. варьировали в пределах от 3,5 (1977 г.) до 396,5 тыс. т (1997 г.) при среднем показателе 80,6 тыс. т (рис. 8).

Площади учета запасов ежегодно изменялись. Таким образом, величину биомассы как абсолютный показатель следует соотносить с плотностью ее распределения — относительным показателем. В рассматриваемый период он менялся в пределах от 0,131 до 2,795 т/км² при средней величине, равной 0,670 т/км². Динамика колебаний этого

* Сайка // Обзор промысловой обстановки в Тихоокеанском бассейне в 1981 г. Владивосток: ТУРНИФ–Дальрыба, 1982. С. 196–199.

** Савин А.Б., Дудков С.П., Панченко В.В. и др. Рейсовый отчет о донной траловой съемке внешнего шельфа и мезали Тихоокеанской подзоны Северо-Курильской зоны и Петропавловско-Командорской подзоны, а также пелагической тралово-акустической съемке в Западно-Беринговоморской и Чукотской промысловых зонах на НИС «Профессор Леванидов» 19 июля — 10 сентября 2018 г. / ТИПРО. № 28251. Владивосток, 2018. 236 с.

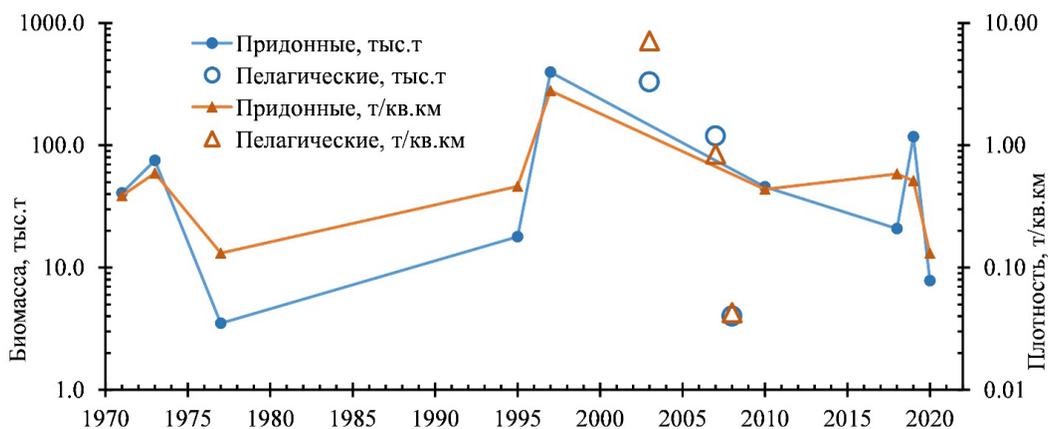


Рис. 8. Динамики запасов (тыс. т) и плотностей распределения (т/км²) сайки в западной части Чукотского моря в 1970–2020 гг.

Fig. 8. Dynamics of stock (10³ t) and distribution density (t/km²) for arctic cod in the western Chukchi Sea in 1970–2020

параметра соответствовала динамике запасов — локальные максимумы и минимумы по годам почти во всех случаях совпадали. Исключение составил 2018 г., когда сравнительно высокая плотность распределения, равная 0,583 т/км², показала сравнительно небольшой запас — 20,80 тыс. т. Причиной этому послужила небольшая площадь района исследований по сравнению с ближайшими по времени съемками. Если в 2018 г. его площадь составила 35,7 тыс. км², то в 2010 и 2019 гг. она была в несколько раз больше: соответственно 104,5 и 229,2 тыс. км².

В пелагиали биомасса сайки также испытывала существенные межгодовые колебания, меняясь от 329,2 (2003 г.) до 4,0 тыс. т (2008 г.) при среднем показателе 150,6 тыс. т. Динамика плотности ее распределения, несмотря на то что площади районов исследования год от года различались, соответствовала динамике запасов.

Сходная динамика колебаний биомассы отмечена также ранее для сайки северо-западного шельфа Берингова моря. Здесь ее биомасса в летне-осенний период росла с 1,0 в 1996 г. до 11,5 тыс. т в 2001 г. После чего произошло некоторое снижение — до 5,8 тыс. т в 2002 г. [Датский, Андронов, 2007].

Заклучение

Сайка Чукотского моря в настоящее время остается до сих пор недостаточно изученной. На Дальнем Востоке она активно добывалась на рубеже 1960–1970-х гг. — на юге Чукотского моря и в Беринговом проливе, когда ее годовой вылов достигал 24,5 тыс. т. В 1980-е гг. добыча производилась в Анадырском заливе при годовом вылове до 18,1 тыс. т. С 1996 г. и по настоящее время ее годовой вылов не превышает нескольких тонн.

Длина сайки меняется от 2 до 30 см в Чукотском море и от 4 до 30 см в Чукотской зоне Берингова моря — Беринговом проливе с прилегающими водами восточной части Анадырского залива. С продвижением на юг средние размеры сайки увеличиваются. Если в Чукотском море ее средняя длина в придонных скоплениях за многолетний период составляет 12,4 см, то уже в Беринговом проливе — 14,8 см. В пелагиали за счет большего количества сеголеток средние размеры меньше, чем в придонных скоплениях: в Чукотском море — 9,2 см, а в Беринговом проливе — 14,0 см. Доля сеголеток в Чукотском море значительно выше, чем Беринговом проливе.

Половозрелые самки начинают встречаться в размерной группе 11–12 см, их доля растет до длины 20–21 см. Доля половозрелых самцов возрастает с 8–9 до 19–20 см.

Пища сайки по литературным данным [Тиллер, 1976; Чучкало, 2006; Ефимкин, 2013; и др.] представлена донными ракообразными — в основном гаммаридами и ми-

зидами, планктонными формами (обычно копеподами, гипериидами, эвфаузидами), а также рыбами (молодь бычков, песчанки, мойвы, сеголетками сайки и др.).

Нерест сайки в летне-осенний период в открытых водах Чукотского моря не наблюдался. В этот период года в Беринговом проливе Берингова моря отмечены лишь отдельные особи в нерестовом состоянии.

В августе в прибрежной (южной) части Чукотского моря происходит концентрация сайки, после чего в сентябре-ноябре она через Берингов пролив мигрирует в восточную часть Анадырского залива.

Доля чукотской сайки, вовлекаемая в миграции на юг в Берингово море осенью-зимой, зависит, по нашему мнению, от формирующихся океанологических условий. В холодные годы при раннем наступлении сезонного оледенения на юг сквозь пролив уходит значительно большее ее количество, чем в теплые годы. Соответственно, обратная миграция на север из Берингова моря в относительно холодное лето и при позднем таянии льда происходит не у всей сайки, а лишь у части ее скоплений. В холодные годы значительная доля сайки весной нерестится в Беринговом море, а в теплые — большая ее часть, по-видимому, уходит в Чукотское море.

Учетные запасы сайки в придонных горизонтах западной части Чукотского моря в период наблюдений с 1971 по 2020 г. менялись в пределах от 3,5 (1977 г.) до 396,5 тыс. т (1997 г.) при среднем показателе 80,6 тыс. т. В пелагиали биомасса сайки также испытывала существенные межгодовые колебания, меняясь от 329,2 (2003 г.) до 4,0 тыс. т (2008 г.) при среднем показателе 150,6 тыс. т.

Благодарности

Автор глубоко признателен всем коллегам-ихтиологам, принимавшим участие в сборе материала, использованного в статье.

Финансирование работы

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Соблюдение этических стандартов

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

Список литературы

Андряшев А.П. Географическое распространение морских промысловых рыб Берингова моря и связанные с этим вопросы // Исслед. морей СССР. — 1935. — Вып. 22. — С. 133–145.

Андряшев А.П. К познанию ихтиофауны Берингова и Чукотского морей // Исслед. морей СССР. — 1937. — Вып. 25. — С. 292–355.

Андряшев А.П. Рыбы северных морей СССР : моногр. — М. ; Л. : АН СССР, 1954. — 566 с.

Андряшев А.П., Мухомедияров Б.Ф., Павштикс Е.А. О массовых скоплениях криопелагических тресковых рыб (*Boreogadus saida* и *Arctogadus glacialis*) в околополюсных районах Арктики // Биология Центрального Арктического бассейна. — М. : Наука, 1980. — С. 196–211.

Бондарев Б.М., Сорокин Л.И. Описание сайки // Сайка. — Петропавловск-Камчатский : Камчат. отд-ние Дальневост. кн. изд-ва, 1970. — С. 3–9.

Датский А.В., Андронов П.Ю. Ихтиоцен верхнего шельфа северо-западной части Берингова моря : моногр. — Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2007. — 261 с.

Дерюгин К.М. Работы Тихоокеанской экспедиции Государственного гидрологического института в 1933 г. // Исслед. морей СССР. — 1935. — Вып. 22. — С. 5–21.

Думанская И.О. Ледовые условия морей азиатской части России : науч.-справ. пособие. — М. ; Обнинск : ИГ-СОЦИН, 2017. — 640 с.

Ефимкин А.Я. Питание сайки *Boreogadus saida* в Беринговом и Чукотском морях // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 173. — С. 184–192.

Клумов С.К. Сайка // Промысловые рыбы СССР. — М. : Пищепромиздат, 1949. — С. 519–522.

Моисеев И.А., Засельский В.И. К истории исследований биологических ресурсов дальневосточных морей (1923–1941 гг.) // История региональных исследований биологических ресурсов гидросферы и их использования. — М. : Наука, 1982. — С. 66–80.

Напазаков В.В., Чучукало В.И. Питание и некоторые черты экологии палтусов западной части Берингова моря в летне-осенний период // Вопр. рыб-ва. — 2001. — Т. 2, № 2(6). — С. 319–337.

Науменко Н.И., Джангильдин Ч.А. Распределение планктона и некоторых видов рыб в южной части Чукотского моря // Биологические ресурсы Арктики и Антарктики. — М. : Наука, 1987. — С. 224–238.

Орлов А.М., Бензик А.Н., Ведищева Е.В. и др. Рыбохозяйственные исследования в Чукотском море на НИС «Профессор Леванидов» в августе 2019 г.: некоторые предварительные результаты // Тр. ВНИРО. — 2019. — Т. 178. — С. 206–220. DOI: 10.36038/2307-3497-2019-178-206-220.

Орлов А.М., Савин А.Б., Горбатенко К.М. и др. Биологические исследования в российских дальневосточных и арктических морях в трансарктической экспедиции ВНИРО // Тр. ВНИРО. — 2020. — Т. 181. — С. 102–143. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-181-102-143.

Павштик Е.А. О количестве зоопланктона в высоких широтах Северного ледовитого океана и его роли в жизненном цикле рыб // Биологические ресурсы Арктики и Антарктики. — М. : Наука, 1987. — С. 60–89.

Парин Н.В., Евсеев С.А., Васильева Е.Д. Рыбы морей России: аннотированный каталог. — М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2014. — 733 с.

Пономаренко В.П. Миграции сайки в советском секторе Арктики // Тр. ПИНРО. — 1968. — Вып. 23. — С. 500–512.

Пономаренко В.П. О распределении сайки в Баренцевом море // Рыб. хоз-во. — 1965. — № 1. — С. 8–12.

Пономаренко В.П. Районы и условия нереста сайки в Баренцевом море // Мат-лы сессии Ученого совета ПИНРО по результатам исследований 1962–1963 гг. — Мурманск, 1964. — С. 220–226.

Пономаренко В.П. Сайка — *Boreogadus saida* (Lepetchin, 1774) // Промысловые рыбы России. В двух томах / под ред. О.Ф. Гриценко, А.Н. Котляра и Б.Н. Котенева. — М. : ВНИРО, 2006. — Т. 1. — С. 367–371.

Световидов А.Н. Трескообразные : моногр. — М. ; Л. : АН СССР, 1948. — 221 с. (Фауна СССР. Рыбы; Т. 9, вып. 4.)

Сырьевая база российского рыболовства в 2012 году (районы российской юрисдикции) : справочно-аналитические материалы / сост. М.К. Глубоковский, С.Н. Тарасюк, Л.М. Зверькова, Л.В. Семяк, Н.Н. Мурзов, Н.В. Петрова, С.Ю. Бражник, В.А. Скакун. — М. : ВНИРО, 2012. — 512 с.

Таранец А.Я. Краткий определитель рыб советского Дальнего Востока и прилежащих вод : Изв. ТИНРО. — 1937. — Т. 11. — 200 с.

Таранец А.Я. Новые данные по ихтиофауне Берингова моря // Вестн. ДВФАН СССР. — 1933. — № 1/3. — С. 67–78.

Тиллер Л.Д. Материалы по питанию сайки в Беринговом и Чукотском морях : отчет о НИР / ТИНРО. № 14879, № ГР 71070017. — Владивосток, 1976. — 22 с.

Фадеев Н.С. Справочник по биологии и промыслу рыб северной части Тихого океана : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2005. — 363 с.

Черкасова Л.Д. Размерный состав, рост и плодовитость дальневосточной сайки // Исслед. по биол. рыб и промысл. океанографии. — 1976. — Вып. 7. — С. 137–143.

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

Шейко Б.А., Федоров В.В. Каталог позвоночных Камчатки и сопредельных морских акваторий. — Петропавловск-Камчатский : Камч. печ. двор, 2000. — 166 с.

Barber W.E., Smith R.L., Meyer R.M. Demersal fish assemblages of the northeastern Chukchi Sea // Fish. Bull. — 1997. — Vol. 95, Iss. 2. — P. 195–209.

Frost K.J., Lowry L.F. Demersal fishes and invertebrates trawled in the northeastern Chukchi and western Beaufort seas, 1976–1977 : NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF. — 1983. — № 764. — 22 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.36401.38245.

Gillispie J.G., Smith R.L., Barbour E., Barber W.E. Distribution, abundance, and growth of Arctic cod in the northeastern Chukchi Sea // Fish ecology in arctic North America. — Bethesda, Maryland : American Fisheries Society, 1997. — P. 81–89.

Helser T.E., Colman J.R., Anderl D.M., Kastelle C.R. Growth dynamics of saffron cod (*Eleginus gracilis*) and Arctic cod (*Boreogadus saida*) in the Northern Bering and Chukchi Seas // Deep-Sea Res. II. — 2017. — Vol. 135. — P. 66–77. DOI: 10.1016/j.dsr2.2015.12.009.

Mecklenburg C.W., Lynghammar A., Johannesen E. et al. Marine Fishes of the Arctic Region : Conservation of Arctic Flora and Fauna. — Akureyri, 2018. — Vol. 1. — 454 p.

References

Andriyashev, A.P., Geographic distribution of commercial fish in the Bering Sea and related issue, *Issled. morey SSSR*, 1935, no. 22, pp. 133–145.

Andriyashev, A.P., To the knowledge of the ichthyofauna of the Bering and Chukchi seas, *Issled. Morei SSSR*, 1937, no. 25, pp. 292–355.

Andriyashev, A.P., *Ryby severnykh morei SSSR* (Fishes of the Northern Seas of the USSR), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1954.

Andriyashev, A.P., Mukhomediyarov, B.F., and Pavshchikov, E.A., On mass accumulations of cryoplagic cod fishes (*Boreogadus saida* and *Arctogadus glacialis*) in the circumpolar regions of the Arctic, *Biologiya Tsentral'nogo Arkticheskogo basseyna* (Biology of the Central Arctic Basin), Moscow: Nauka, 1980, pp. 196–211.

Bondarev, B.M. and Sorokin, L.I., Description of the cage, *Sayka* (Saika), Petropavlovsk-Kamchatskiy: Kamchat. otd-niye Dal'nevost. kn. izd-va, 1970, pp. 3–9.

Datsky, A.V. and Andronov, P.Yu., *Ikhtiotitsen verkhnego shel'fa severo-zapadnoi chasti Beringova morya* (The Ichthyofauna on the Upper Shelf of the Northwestern Bering Sea), Magadan: Sev.-Vost. Nauchn. Tsentr, Dal'nevost. Otd., Ross. Akad. Nauk, 2007.

Deryugin, K.M., Works of the Pacific Expedition of the State Hydrological Institute in 1933, *Issled. morey SSSR*, 1935, no. 22, pp. 5–21.

Dumanskaya, I.O., *Ledovye usloviya morey aziatskoy chasti Rossii* (Ice conditions of the seas of the Asian part of Russia), Moscow; Obninsk: IG-SOCIN, 2017.

Efimkin, A.Ya., Feeding of arctic cod *Boreogadus saida* in the Bering and Chukchi Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 173, pp. 184–192.

Klumov, S.K., Saika, *Promyslovyye ryby SSSR* (Commercial fish of the USSR), Moscow: Pishchepromizdat, 1949, pp. 519–522.

Moiseev, I.A. and Zaselsky, V.I., On the history of research on biological resources of the Far Eastern seas (1923–1941), *Istoriya regional'nykh issledovaniy biologicheskikh resursov gidrosfery i ikh ispol'zovaniya* (History of regional research on biological resources of the hydrosphere and their use), Moscow: Nauka, 1982, pp. 66–80.

Napazakov, V.V. and Chuchukalo, V.I., Nutrition and some ecology features of halibuts in the western part of the Bering Sea in the summer-autumn period, *Vopr. Rybolov.*, 2001, vol. 2, no. 2(6), pp. 319–337.

Naumenko, N.I. and Dzhangildin, Ch.A., Distribution of plankton and some fish species in the southern part of the Chukchi Sea, *Biologicheskkiye resursy Arktiki i Antarktiki* (Biological resources of the Arctic and Antarctic), Moscow: Nauka, 1987, pp. 224–238.

Orlov, A.M., Benzik, A.N., Vedishcheva, E.V., Gafitsky, S.V., Gorbatenko, K.M., Goryanina, S.V., Zubarevich, V.L., Kodryan, K.V., Nosov, M.A., Orlova, S. Yu., Pedchenko, A.P., Rybakov, M.O., Sokolov, A.M., Somov, A.A., Subbotin, S.N., Tapygin, M. Yu., Firsov, Yu.L., Khleborodov, A.S., and Chikilev, V.G., Fisheries research in the Chukchi Sea at the RV «Professor Levanidov» in August 2019: some preliminary results, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 178, pp. 206–220. doi 10.36038/2307-3497-2019-178-206-220

Orlov, A.M., Savin, A.B., Gorbatenko, K.M., Benzik, A.N., Morozov, T.B., Rybakov, M.O., Terent'ev, D.A., Vedishcheva, E.V., Kurbanov, Yu. K., Nosov M.A., and Orlova S.Yu., Biological research in the Russian Far Eastern and Arctic seas during the VNIRO transarctic expedition, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 181, pp. 102–143. doi 10.36038/2307-3497-2020-181-102-143

Pavshchikov, E.A., On the amount of zooplankton in the high latitudes of the Arctic Ocean and its role in the life cycle of fish, *Biologicheskkiye resursy Arktiki i Antarktiki* (Biological resources of the Arctic and Antarctic), Moscow: Nauka, 1987, pp. 60–89.

Parin, N.V., Evseenko, S.A., and Vasiljeva, E.D., *Ryby morei Rossii: annotirovannyi katalog* (Fishes of Russian Seas: Annotated Catalogue), Moscow: KMK, 2014.

Ponomarenko, V.P., Arctic cod migrations in the Soviet sector of the Arctic, *Tr. Polyrn. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1968, no. 23, pp. 500–512.

Ponomarenko, V.P., Distribution of Arctic cod in the Barents Sea, *Rybn. Khoz.*, 1965, no. 1, pp. 8–12.

Ponomarenko, V.P., Areas and conditions for spawning Arctic cod in the Barents Sea, *Materialy sessii Uchonogo soveta PINRO po rezul'tatam issledovaniy 1962–1963* (Proceedings of the PINRO Scientific Council session based on the research results of 1962–1963), Murmansk, 1964, pp. 220–226.

Ponomarenko, V.P., Saika — *Boreogadus saida* (Lepechin, 1774), *Promyslovyye ryby Rossii. V dvukh tomakh* (Commercial fishes of Russia: in 2 volumes), Gritsenko, O.F., Kotlyar, A.N., and Kotenev, B.N., eds, Moscow: VNIRO, 2006, pp. 367–371.

Svetovidov, A.N., Codfish, *Fauna SSSR. T. 9: Ryby* (Fauna of the USSR, vol. 9: Fish), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1948, no. 4.

Glubokovskiy, M.K., Tarasyuk, S.N., Zverkova, L.M., Semenyak, L.V., Murzov, N.N., Petrova, N.V., Brazhnik, S.Yu., and Horse, V.A., *Syr'yevaya baza rossiyskogo rybolovstva v 2012 godu (rayony rossiyskoy yurisdiktsii) : spravochno-analiticheskiye materialy* (Raw materials base of Russian fishing in 2012 (areas of Russian jurisdiction): reference and analytical materials), Moscow: VNIRO, 2012.

Taranets, A.Ya., A brief guide to the fish of the Soviet Far East and adjacent waters, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1937, vol. 11.

Taranets, A.Ya., New data on the fish fauna of the Bering Sea, *Vestn. Dal'nevost. Fil. Akad. Nauk SSSR*, 1933, no. 1/3, pp. 67–78.

Tiller, L.D., *Materialy po pitaniyu sayki v Beringovom i Chukotskom moryakh* (Materials on Arctic Cod Feeding in the Bering and Chukchi Seas), Available from TINRO, 1976, Vladivostok, no. 14879, no. GR 71070017.

Fadeev, N.S., *Spravochnik po biologii i promyslu ryb severnoi chasti Tikhogo okeana* (A Reference Book on Biology and Harvesting of Fishes in the Northern Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2005.

Cherkasova, L.D., Size composition, growth and fertility of the Far Eastern Arctic cod, *Issled. Biol. Rybn. Promysl. Okeanogr.*, 1976, no. 7, pp. 137–143.

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.

Sheiko, B.A. and Fedorov, V.V., *Katalog pozvonochnykh Kamchatki i sopredel'nykh morskikh akvatoriy* (Catalog of Kamchatka's vertebrates and adjacent marine areas), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatsky Pechatny Dvor, 2000.

Barber, W.E., Smith, R.L., and Meyer, R.M., Demersal fish assemblages of the northeastern Chukchi Sea, *Fish. Bull.*, 1997, vol. 95, no. 2, pp. 195–209.

Frost, K.J. and Lowry, L.F., Demersal fishes and invertebrates trawled in the northeastern Chukchi and western Beaufort seas, 1976–1977, *NOAA Tech. Rep., NMFS, SSRF*, 1983, no. 764. doi 10.13140/RG.2.2.36401.38245

Gillispie, J.G., Smith, R.L., Barbour, E., and Barber, W.E., Distribution, abundance, and growth of Arctic cod in the northeastern Chukchi Sea, *Fish ecology in arctic North America*, Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 1997, pp. 81–89.

Helser, T.E., Colman, J.R., Anderl, D.M., Kastelle, C.R., Growth dynamics of saffron cod (*Eleginus gracilis*) and Arctic cod (*Boreogadus saida*) in the Northern Bering and Chukchi Seas, *Deep-Sea Res., Part II*, 2017, vol. 135, pp. 66–77. doi 10.1016/j.dsr2.2015.12.009

Mecklenburg, C.W., Lynghammar, A., Johannesen, E., Byrkjedal, I., Christiansen, J.S., Dolgov, A.V., Karamushko, O.V., Mecklenburg, T.A., Møller, P.R., Steinke, D. and Wienerroither, R.M., Marine Fishes of the Arctic Region, *Conservation of Arctic Flora and Fauna*, Akureyri, 2018, vol. 1.

Boreogadus saida, Polar cod: fisheries (fishbase.us). <http://www.fishbase.us/summary/Species-Summary.php?id=319&lang=russian>. Cited January 27, 2021.

Sayka (polyarnaya tresochka) Barentseva morya. Putinnyy prognoz 2006 (Sayka (polyarnaya tresochka) Barentseva morya. Putinnyy prognoz 2006), Murmansk: PINRO, 2006.

Okeanograficheskaya entsiklopediya (Oceanographic Encyclopedia), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974.

Cherkasova, L.D., *K biologii dal'nevostochnoy sayki* (On the biology of the Far Eastern Arctic cod), Available from TINRO, 1974, Vladivostok, no. 13942.

Sayka, *Promyslovaya obstanovka i rezul'taty raboty flota po osnovnym ob'yektam i rayonam lova Dal'nego vostoka 1968* (Fishing situation and the results of the work of the fleet in the main objects and fishing areas of the Far East 1968), Yuzhno-Sakhalinsk: Upravleniye Promrazvedki SakhalinRybproma, 1969, p. 366.

Sayka, *Promyslovaya obstanovka i rezul'taty raboty flota po osnovnym ob'yektam i rayonam lova Dal'nego vostoka 1969* (Fishing situation and the results of the work of the fleet in the main objects and fishing areas of the Far East 1969), Yuzhno-Sakhalinsk: Upravleniye Promrazvedki SakhalinRybproma, 1970, pp. 341–342.

Sayka, *Promyslovaya obstanovka i rezul'taty raboty flota po osnovnym ob'yektam i rayonam lova Dal'nego vostoka 1970* (Fishing situation and the results of the work of the fleet in the main objects and fishing areas of the Far East 1970), Yuzhno-Sakhalinsk: Upravleniye Promrazvedki SakhalinRybproma, 1971, pp. 317–326.

Sayka, *Promyslovaya obstanovka i rezul'taty raboty flota po osnovnym ob'yektam i rayonam lova Dal'nego vostoka 1971* (Fishing situation and the results of the work of the fleet in the main objects and fishing areas of the Far East 1971), Yuzhno-Sakhalinsk: Upravleniye Promrazvedki SakhalinRybproma, 1972, p. 318.

Sayka, *Obzor promyslovoy obstanovki v Tikhookeanskom bassejne v 1981 g.* (Review of the fishing situation in the Pacific Basin in 1981), Vladivostok: TURNIF–DAL'RYBA, 1982, pp. 196–199.

Savin, A.B., Dudkov, S.P., Panchenko, V.V., Balanov, A.A., Khleborodov, A.S., and Syrovatkin, E.V., *Reysovyy otchet o donnoy tralovoy s'yemke vneshnego shel'fa i mezali Tikhookeanskoj podzony Severo-Kuril'skoj zony i Petropavlovsko-Komandorskoj podzony, a takzhe pelagicheskoj tralovo-akusticheskoy s'yemke v Zapadno-Beringovomorskoj i Chukotskoj promyslovykh zonakh na NIS «Professor Levanidov» 19 iyulya — 10 sentyabrya 2018 g.* (Cruise report on bottom trawl survey of the outer shelf and mesals of the Pacific subzone of the North Kuril zone and the Petropavlovsk-Commander subarea, as well as pelagic trawl-acoustic survey in the West Bering Sea and Chukotka fishing zones on the R/V Professor Levanidov 19 July — 10 September 2018), Available from TINRO, 2018, Vladivostok, no. 28251.

Поступила в редакцию 9.11.2021 г.

После доработки 29.11.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

УДК [597.5–1.05:549.241](268.45)

**М.А. Новиков, Е.А. Горбачева, А.М. Лаптева***Полярный филиал ВНИРО (ПИНРО им. Н.М. Книповича),
183038, г. Мурманск, ул. Академика Книповича, 6**СОДЕРЖАНИЕ МЫШЬЯКА В ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБАХ
БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО МНОГОЛЕТНИМ ДАННЫМ)**

На основе многолетних данных (2009–2020 гг.) изучено содержание общего мышьяка в мышцах и печени основных промысловых рыб Баренцева моря: трески *Gadus morhua*, пикши *Melanogrammus aeglefinus*, камбалы-ерша *Hippoglossoides platessoides*, черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides* и морской камбалы *Pleuronectes platessa*. Показано, что среднее содержание общего мышьяка в мышцах исследованных рыб близко к гигиеническому нормативу допустимого содержания общего As — 5 мкг/г сырой массы. Содержание мышьяка в печени рыб примерно в 2 раза превышает таковое в мышцах. Сделан вывод, что для промысловых рыб Баренцева моря характерно повышенное естественное содержание общего мышьяка в тканях. Отмечена высокая вариабельность содержания общего мышьяка в мышцах молоди и рыб основных промысловых размеров. В таких условиях применение действующего норматива безопасного уровня содержания общего As к промысловой рыбе Баренцева моря накладывает избыточные ограничения на ее реализацию как пищевой продукции, напрямую не связанные с ее фактическим качеством. Рекомендован региональный критерий допустимого содержания общего мышьяка в мышцах баренцевоморских рыб 12 мкг/г сырой массы, учитывающий уровень природного фона. Для принципиального решения задачи установления безопасного уровня содержания мышьяка в пищевой рыбной продукции рекомендовано перейти к нормированию уровня содержания неорганического мышьяка как более информативного показателя.

Ключевые слова: токсичные элементы, треска, пикша, палтус, камбала-ерш, мышцы, печень.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-833-844.

Novikov M.A., Gorbacheva E.A., Lapteva A.M. Arsenic content in commercial fish of the Barents Sea (according to long-term data) // *Izv. TINRO*. — 2021. — Vol. 201, Iss. 3. — P. 833–844.

Total content of arsenic in muscles and liver of the main commercial fish species landed in the Barents Sea, as atlantic cod *Gadus morhua*, haddock *Melanogrammus aeglefinus*, long rough dab (american plaice) *Hippoglossoides platessoides*, greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides*, and european plaice *Pleuronectes platessa* is considered on the data collected in 2009–2020. The average As content in the muscles of examined fish met hygienic standards

* Новиков Михаил Аркадьевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: mnovik@pinro.ru; Горбачева Елена Анатольевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: gorbach@pinro.ru; Лаптева Анна Михайловна, главный специалист, e-mail: lapteva@pinro.ru.

Novikov Mikhail A., Ph.D., leading researcher, Polar Branch of VNIRO (PINRO), 6, Academic Knipovich Str., Murmansk, 183038, Russia, e-mail: mnovik@pinro.ru; Gorbacheva Elena A., Ph.D., researcher, Polar Branch of VNIRO (PINRO), 6, Academic Knipovich Str., Murmansk, 183038, Russia, e-mail: gorbach@pinro.ru; Lapteva Anna M., principal specialist, Polar Branch of VNIRO (PINRO), 6, Academic Knipovich Str., Murmansk, 183038, Russia, e-mail: lapteva@pinro.ru.

for the permissible concentration, i.e. 5 µg/g of wet weight, but the content in liver was about twice higher. High variability of the total As content in muscles of juveniles and adult fish was observed that imposed excessive restrictions on their sales as food products. Taking into account that the increased content of arsenic in tissues of fish in the Barents Sea has natural origin, these restrictions are not directly related to actual quality of the fish raw materials. There is recommended to account the natural background of As and establish a regional criterion for the allowable concentration of total arsenic in the muscles of fish landed in the Barents Sea as 12 µg/g WW. For principal decision on the safe level of arsenic content in fish products, introduction of a new standard for the level of inorganic arsenic content is recommended, that is more reliable and representative indicator.

Key words: toxic element, atlantic cod, haddock, greenland halibut, long rough dab, muscle, liver.

Введение

Известно, что на формирование микроэлементного состава водных организмов оказывают влияние состав среды обитания, состав потребляемой пищи и их биологические особенности [Морозов, Петухов, 1986; Виноградов, 2001].

Накопление в органах и тканях морских гидробионтов многих микроэлементов обусловлено их способностью замещать другие, близкие по свойствам, микроэлементы. Арсениты, будучи аналогами фосфатов, в известной степени определяют накопление мышьяка в организме гидробионтов [Мур, Рамамурти, 1987]. В морских животных преобладающей формой мышьяка становится арсенобетаин, триметилированное пятивалентное соединение мышьяка, выявленное в 1977 г. [Edmonds et al., 1977]. Содержание мышьяка в гидробионтах зависит от сезона и связано с особенностями питания. Следует отметить, что мышьяк поглощается гидробионтами в основном с пищей и его токсичные неорганические соединения способны быстро образовывать прочные комплексы с низкомолекулярными органическими соединениями, которые не представляют опасности для человека и к тому же быстро выводятся из организма [Мур, Рамамурти, 1987].

Считают, что в морских экосистемах мышьяк находится в 4 основных химических формах: арсенаты — HAsO_4^{2-} ; арсениты — HAsO_2 ; метиларсенаты — $\text{CH}_3\text{AsO}(\text{OH})\text{O}^-$; диметиларсенаты — $(\text{CH}_3)_2\text{AsO}_2^-$. Арсенаты — наиболее термодинамически стабильная форма мышьяка, которая преобладает в океане. В природных условиях 95–100 % всего мышьяка находится в виде неорганических соединений (в основном арсенатов), а 2–5 % — в виде органических соединений (в основном метиларсенатов). Метиларсенаты концентрируются в основном в фотической зоне (в зоне первичной продукции). Максимальная концентрация метиларсенатов здесь равна 0,015–0,230 мкг/л, в то время как на глубине 400 м их средняя концентрация понижается до 0,0083 мкг/л. Планктонные водоросли могут производить соединения метиларсенатов, которые, в свою очередь, могут восстанавливать арсенаты до арсенитов [Емельянов, Кравцов, 2007]. По некоторым данным, мышьяк в заметных количествах находится в морской взвеси, составляя порядка 11–14 мкг/г, и в океаническом планктоне — около 10 мкг/г; в незагрязненных донных отложениях океанов содержится 5–10 мкг As на грамм сухой массы осадка [Батурин и др., 1993; Емельянов, Кравцов, 2007].

Известно, что токсическое действие мышьяка возникает только после его биологического окисления до арсеноксидов (R-As=O), если он входит в молекулу органического вещества, или до мышьяковистой кислоты (HO-As=O). При этом соединения пятивалентного As приобретают биологическую активность только после восстановления до арсеноксидов [Альберт, 1989а]. В основе механизма токсического действия соединений мышьяка лежит взаимодействие с сульфгидрильными группами (SH-группы, тиольные группы) белков и энзимов. Это действие обусловлено главным образом реакцией соединений трехвалентного мышьяка с молекулами со смежным расположением SH-групп, в результате чего образуются прочные циклические структуры

[Альберт, 1989б]. Действие As (III) направлено на блокаду пируватдегидрогеназного комплекса, играющего важную роль в гликолитических процессах [Хмельницкий и др., 1987]. Squibb и Fowler [1983] обнаружили, что As (III) в 10 раз токсичнее As (V) и в 70 раз токсичнее, чем монометиларсенаты (V) и диметиларсенаты (V).

Известно, что неорганический мышьяк даже в небольших дозах канцерогенен, способен вызывать рак легких, мочевого пузыря, почек, печени и кожи*. Поэтому Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов (EFSA) предложило фиксированный уровень допустимого содержания неорганического мышьяка в морепродуктах вместо ранее использованного процентного отношения к общему As, а именно: 0,03 мг/кг (мкг/г) сырой массы для рыбного филе и 0,10 мг/кг для других морепродуктов**. Однако, по мнению норвежских исследователей морских биоресурсов, предложенная величина сильно завышена [Julshamn et al., 2012].

Согласно СанПиН 2.3.2.1078-01 в мышцах (филе, фарш) морских рыб содержание общего мышьяка не должно превышать 5 мкг/г сырой массы; в печени рыб содержание этого микроэлемента в РФ не нормируется.

Материалы и методы

Материал для исследований собирался в рамках комплексных научных экспедиций, главным образом на судах ПИНРО «Вильнюс» и «Фритъоф Нансен», в рамках выполнения программ государственного мониторинга водных биологических ресурсов.

В настоящей работе представлены результаты анализа проб мышечной ткани 5 промысловых рыб Баренцева моря: атлантической трески *Gadus morhua* ($n = 373$), пикши *Melanogrammus aeglefinus* ($n = 248$), камбалы-ерша *Hippoglossoides platessoides* ($n = 193$), черного, или синекорого палтуса *Reinhardtius hippoglossoides* ($n = 153$) и морской камбалы *Pleuronectes platessa* ($n = 81$), — пойманных в результате учетных тралений в период с 2009 по 2020 г. включительно практически на всей акватории Баренцева моря. Есть одно исключение: для черного палтуса пробы за 2009 г. отсутствуют (не пойман). Всего для отбора материала было выполнено более 500 траловых станций. Исследование содержания мышьяка в печени выполнялось для тех же рыб, но на несколько меньшем количестве экземпляров.

Отбор проб рыб, их консервацию и хранение осуществляли в соответствии с методическими указаниями ВНИРО [Изучение экосистем..., 2004]. По завершении отбора пробы были заморожены при минус 20 °С для доставки в стационарную лабораторию.

Подготовка и химический анализ проб биоты выполнены в ПИНРО в соответствии с действующими методическими руководствами [ГОСТ Р 51766-2001]. Подготовка проб проводили методом «мокрой» минерализации азотной кислотой с перекисью водорода в микроволновой системе пробоподготовки МС-6 (НТФ «Вольта», Санкт-Петербург, Россия). Содержание общего мышьяка в пробах биоты определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы «Shimadzu», модель AA-6800 (Япония), атомизатор — графитовая кювета (электротермический способ), корректор фона — дейтериевая лампа. Для уменьшения помех применяли раствор матричного модификатора № 7289 фирмы «Merck» с концентрацией палладия 0,5 г/дм³. Для калибровки использовали стандартный образец раствора ионов мышьяка ГСО 7143-95. Относительная погрешность определения As составляла не более 5 %.

Содержание мышьяка в промысловых рыбах указывали в микрограммах на грамм сырой массы. Статистическую обработку данных и построение диаграмм осуществляли в среде MS Excel.

* Evaluation of certain food additives and contaminants: 33rd Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives : Tech. Rep. Ser. 776. Geneva, 1989. 64 p.

** EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on Arsenic in Food: EFSA J. 2009. Vol. 7, Iss. 10. 1351. DOI: 10.2903/j.efsa.2009.1351.

Результаты и их обсуждение

Данные по содержанию общего мышьяка в мышцах баренцевоморских рыб приведены в табл. 1. Как видно из данных таблицы, среднее содержание общего мышьяка в мышцах основных промысловых видов Баренцева моря весьма близко к уровню норматива и характерно для значительной части особей промысловых популяций. Анализ межгодовой динамики показателей содержания общего мышьяка в мышцах исследованных рыб не выявил достоверных трендов (рис. 1).

Таблица 1

Содержание общего мышьяка в мышцах промысловых рыб Баренцева моря

Table 1

Total arsenic content in muscles of commercial fish from the Barents Sea

Вид рыбы	Диапазон содержания, мкг/г	Среднее содержание ± m, мкг/г сырой массы	Доля рыб с превышением норматива содержания As, %	Фоновый уровень, 95-й процентиль
<i>Gadus morhua</i>	0,01–21,25	4,19 ± 0,17	34,6	10,0
<i>Melanogrammus aeglefinus</i>	0,10–22,20	4,92 ± 0,24	44,4	11,9
<i>Hippoglossoides platessoides</i>	0,10–12,75	5,13 ± 0,20	46,7	11,1
<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>	0,40–11,91	3,78 ± 0,17	17,0	7,6
<i>Pleuronectes platessa</i>	1,01–8,70	4,64 ± 0,18	39,5	7,1

Примечание. m — стандартная ошибка среднего.

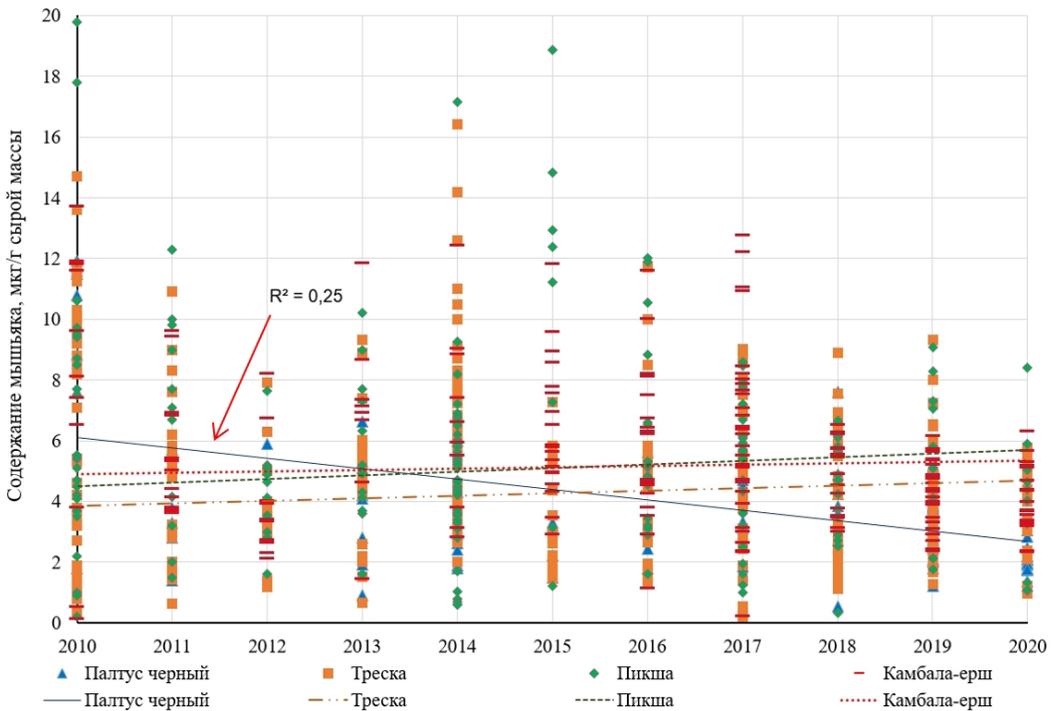


Рис. 1. Динамика содержания общего мышьяка в мышцах промысловых рыб Баренцева моря в период 2010–2020 гг. с указанием линий трендов и коэффициента регрессии для палтуса
 Fig. 1. Dynamics of total arsenic content in muscles of commercial fish from the Barents Sea (2010–2020). Linear trends are shown, coefficient of linear regression is indicated for greenland halibut

Таким образом, высокое с точки зрения норматива содержание мышьяка в мышцах в реальности является физиолого-биохимической нормой для популяций рассмотренных представителей ихтиофауны Баренцева моря. Нормой потому, что, во-первых, указанный уровень содержания мышьяка характерен для значительного количества

особей в популяции и, во-вторых, отклонений от нормальной физиологии основной массы промысловых рыб Баренцева моря не наблюдается [The Barents Sea..., 2011]. Отсюда очевидно, что превышение санитарно-гигиенического критерия в 5 мкг/г до определенного предела не может достоверно свидетельствовать о загрязнении или критическом (опасном) содержании мышьяка в промысловой рыбе из Баренцева моря.

В дополнение можно привести данные иностранных исследователей, относящиеся к рассматриваемому региону. Так, согласно данным норвежских исследователей в мышцах атлантической трески из Баренцева, Норвежского и Северного морей, выловленной в 1995–2000 гг., среднее содержание общего мышьяка составляло 6,2 мкг/г сырой массы ($n = 150$) с диапазоном фактического содержания 0,5–52,0 мкг/г [Julshamn et al., 2004], что на 32,4 % выше наших значений. По данным этих же ученых в период 2006–2010 гг. в мышцах трески из Норвежского и западной части Баренцева морей содержание общего мышьяка составило в среднем уже 10,5 мкг/г сырой массы ($n = 190$) с диапазоном содержания 0,38–110,0 мкг/г [Julshamn et al., 2012]. Таким образом, согласно приведенным значениям с 1995 по 2010 г. наблюдалось увеличение содержания общего мышьяка в мышцах трески, в то время как в мышцах черного (гренландского) палтуса этого отмечено не было. Среднее содержание As в палтусе за весь период исследований по норвежским данным [Julshamn et al., 2011, 2012] составляло порядка 8,1–11,3 мкг/г сырой массы, что значительно выше полученных нами значений (табл. 1). При этом содержание неорганического As в рыбах из исследованных северных европейских морей было очень низким: в 94 % случаев оно было ниже предела обнаружения примененного метода анализа (высокоэффективная жидкостная хроматография) — < 0,002 мкг/г сырой массы. Максимальные значения неорганического As, отмеченные для сайды и трески, составляли соответственно 0,015 и 0,006 мкг/г сырого веса [Julshamn et al., 2012].

Приведенные нами в табл. 1 значения среднего содержания мышьяка в мышцах промысловых рыб из Баренцева моря, несомненно, соответствуют региональному фоновому уровню, но характеризуют его только отчасти. Согласно правилам статистики значения нормального содержания мышьяка в рыбах из исследованной области — генеральной совокупности — будут распределяться в диапазоне среднее значение \pm две величины стандартного отклонения ($\pm 2\delta$) с вероятностью 95 % [Лакин, 1980]. Иными словами, у 95 % рыб. Поскольку далеко не во всех случаях исследователь имеет дело с нормальным распределением измеряемых величин, предпочтительнее использовать расчет величины 95-го перцентиля, как это было сделано нами ранее для установления фоновых уровней содержания микроэлементов в воде Баренцева моря [Новиков, Драганов, 2017]. Искомые величины фонового содержания мышьяка для исследованных промысловых рыб приведены в табл. 1. С вероятностью 95 % можно утверждать, что в пределах указанной величины содержание мышьяка соответствует его естественному природному уровню, характерному для данного вида рыб в Баренцевом море. Поэтому приходится констатировать, что установленный норматив по содержанию As 5 мкг/г сырой массы вступает в противоречие с естественным природным фоновым его содержанием в рыбе и накладывает необоснованные избыточные ограничения на реализацию продукции из нее для пищевого использования. Иными словами, норматив не учитывает региональную специфику.

Норвежскими исследователями показано, что содержание общего мышьяка в мышцах трески из Баренцева моря ($n = 165$) [Julshamn et al., 2012] и черного палтуса из Норвежского моря ($n = 320$) [Julshamn et al., 2011] практически не коррелирует с массой рыбы. Этот факт отмечен и нами для трески и пикши соответственно при $n = 138$ и $n = 121$ (рис. 2). Тем не менее, анализируя представленные на рис. 2 данные, можно отметить, что вариабельность содержания общего мышьяка в мышцах трески намного сильнее выражена у ее молоди и рыб основных промысловых размеров (2–7 кг). Далее она имеет тенденцию к снижению при дальнейшем увеличении возраста и массы. Та же закономерность отмечена и для пикши.

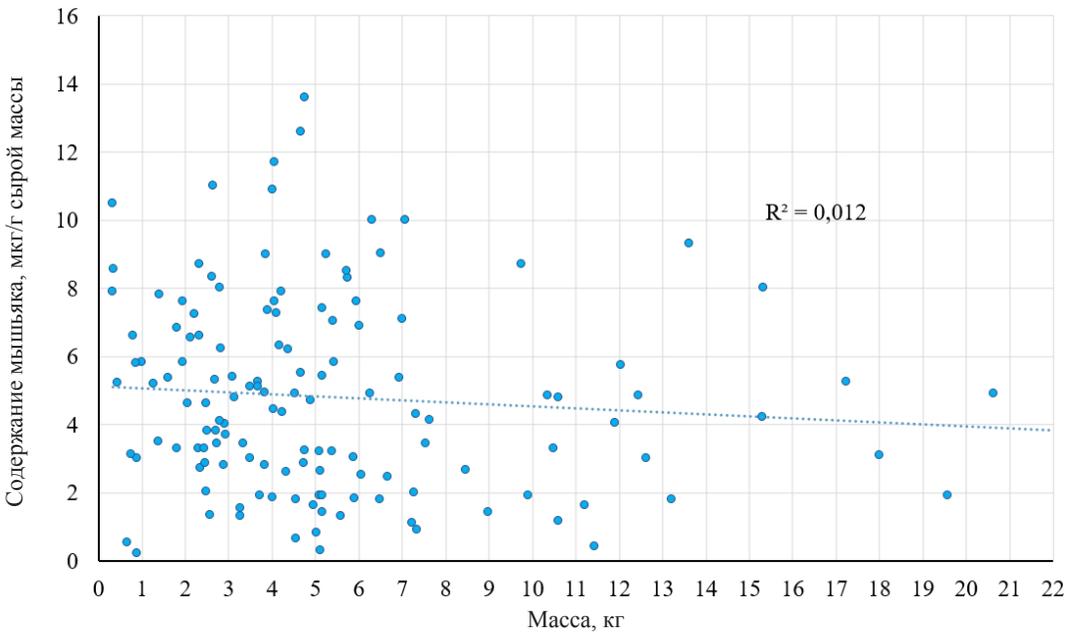


Рис. 2. Связь содержания общего мышьяка в мышцах трески Баренцева моря с массой рыбы с указанием линии тренда и коэффициента регрессии

Fig. 2. Dependence of total arsenic content in muscles of cod from the Barents Sea on the fish body weight. Linear trend and coefficient of linear regression are shown

Аналогично согласно норвежским данным [Julshamn et al., 2012] наибольшее и наименьшее содержание мышьяка регистрируется у особей трески массой до 6 кг, соответственно 110,0 и 0,38 мкг/г сырой массы. У рыб большей массы, а соответственно, и возраста содержание мышьяка в мышцах варьировало заметно меньше и не превышало 34 мкг/г сырой массы. По всей видимости, главную роль в содержании мышьяка в организме рыб играет их физиологическое состояние (уровень обмена веществ) и состав пищи.

Содержание общего мышьяка в мышцах камбал (малоротая, колючая) из зал. Петра Великого (Японское море) составляло 3,0–4,6 мкг/г сырой массы [Ковековдова и др., 2016], что полностью согласуется с приведенными нами данными по морской камбале из Баренцева моря.

Согласно данным норвежских исследователей [Julshamn et al., 2012] среднее содержание общего мышьяка в мышцах скумбрии атлантической из разных районов Норвежского моря в 2006–2010 гг. варьировало в диапазоне от ниже предела обнаружения до 3,3 мкг/г сырой массы с максимальным значением 4,3 мкг/г. Аналогично по данным, приведенным Е.С. Чупиковой с соавторами [2019], в период с 2014 по 2017 г. у японской скумбрии *Scomber japonicus*, выловленной в Северной Пацифике, содержание общего мышьяка в мышцах, как правило, не превышало норматив, варьируя от 0,049 до 1,810 мкг/г сырой массы. В мышцах норвежской весенненерестующей сельди *Clupea harengus* в 2006–2007 гг. содержание общего мышьяка мало отличалось от такового у скумбрии, изменялось от 0,79 до 4,30 мкг/г сырой массы со средним 2,20 мкг/г сырой массы и зависело от сезона года [Frantzen et al., 2015]. Отметим, что скумбрия и сельдь — преимущественно зоопланктонофаги, питающиеся в пелагиали.

Из наших и представленных выше опубликованных материалов можно сделать заключение, что у типичных донных рыб-бентофагов, в нашем случае у камбалы-ерша и пикши, среднее содержание общего мышьяка в мышцах ожидается выше, чем у рыбадных пелагических хищников, таких как черный палтус, треска, скумбрия и др.

К подобному выводу приходят и зарубежные исследователи [Neff, 1997; Julshamn et al., 2011]. Это, вероятно, связано с тем, что многие бентосные организмы, в том числе и в Баренцевом море, такие как брюхоногие моллюски, ракообразные, иглокожие и полихеты, содержат значительное количество общего мышьяка, превышающее его среднее содержание в рыбе [Лаптева, Плотицына, 2017, 2019; Лаптева, 2018]. Кроме того, и организмы бентоса, и рыбы-бентофаги, в том числе и камбала-ерш, способны активно захватывать донные осадки в процессе питания [Жизнь и условия..., 1986; Берестовский, 1995], которые также содержат общий мышьяк в значительном количестве. Например, в донных отложениях западной части Баренцева моря среднее содержание мышьяка составляет порядка 18 мкг/г сухой массы осадка [Лаптева, Плотицына, 2017].

Содержание общего мышьяка в печени исследованных промысловых рыб было выше, чем в мышцах (табл. 2). При том что содержание As в печени рыб законодательством РФ не нормируется, есть технический регламент Таможенного союза*, в котором приводится единый норматив содержания мышьяка «на все виды рыбной продукции (кроме икры, молоков, рыбного жира)», все те же 5 мкг/г сырой массы. Этот норматив практически «закрывает» использование печени баренцевоморских рыб в качестве пищевой продукции, так как превышение содержания As в печени баренцевоморских рыб по отношению к содержанию в мышцах в среднем составляет 2 раза. Этот показатель, по нашим данным, заметно ниже такового, рассчитанного, например, для тяжелых металлов. Так, более всего в печени исследованных рыб по сравнению с мышцами накапливается медь — от 18,3 раза у пикши до 26,1 у камбалы-ерша. Далее по нисходящей идут кадмий, железо и цинк.

Таблица 2
Содержание общего мышьяка в печени промысловых рыб Баренцева моря

Table 2

Total arsenic content in liver of commercial fish from the Barents Sea

Вид рыбы	Диапазон содержания, мкг/г	Среднее содержание \pm m, мкг/г сырой массы	Превышение содержания в мышцах, разы
<i>Gadus morhua</i>	0,14–63,90	7,37 \pm 0,47	1,53
<i>Melanogrammus aeglefinus</i>	0,10–80,20	9,20 \pm 0,74	1,69
<i>Hippoglossoides platessoides</i>	0,40–52,0	11,97 \pm 0,76	2,23
<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>	0,02–44,50	12,37 \pm 1,15	3,27
<i>Pleuronectes platessa</i>	0,81–20,67	7,0 \pm 0,66	1,47

Примечание. m — стандартная ошибка среднего.

Очевидно, что отсутствие отдельного норматива на содержание As в печени морских рыб в упомянутом техническом регламенте не прибавляет ясности в вопросе безопасного использования пищевой рыбной продукции и, на наш взгляд, является недоработкой.

Содержание мышьяка в печени рыб Баренцева моря на протяжении всего периода исследований было так же стабильно, как и в мышцах. Межгодовой тренд содержания As в печени отсутствовал у всех видов рыб, кроме палтуса. У последнего, как и в случае содержания As в мышцах, отмечен слабый тренд на снижение с коэффициентом корреляции $R = 0,11$.

В научной литературе сведения о содержании мышьяка в печени рыб весьма скудные. По опубликованным данным, в 5 видах донных рыб (*Pomadasys* sp., *Platycephalus* sp., *Epinephelus tauvina*, *Otolithes ruber*, *Pampus argenteus*) из Персидского залива

* Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС — 021 — 2011). М.: Росстандарт, 2011. 242 с. [https://Действующие_технические_регламенты_\(rst.gov.ru\)](https://Действующие_технические_регламенты_(rst.gov.ru)).

среднее содержание мышьяка в печени превышало накопление этого элемента в мышцах в 1,4 раза [Agah et al., 2009], что согласуется с результатами наших исследований. Причем среднее содержание мышьяка в мышцах и печени рыб, выловленных в Персидском заливе, оказалось значительно ниже, чем в изученных видах рыб Баренцева моря, и составляло соответственно 0,3–1,0 и 0,42–2,50 мкг/г сырой массы. Принято считать, что наибольшее количество As концентрируется у рыб в жировой фракции печени и других органов [Виноградов, 2001]. Это, вероятно, связано с тем, что соли мышьяка, являясь аналогами фосфатов, включаются в метаболизм морских рыб [Мур, Рамамурти, 1987]. На млекопитающих показано, что печень обычно является основным органом-мишенью для метаболизма мышьяка [Marafante et al., 1985; Geubel et al., 1988; Khairul et al., 2017].

В рыбах поступающий с пищей или водой мышьяк может подвергаться метилированию с образованием менее токсичных органических форм [Zhang et al., 2016a], а также возможен синтез металлсвязывающих белков, таких как металлотионеин-подобные белки [Zhang et al., 2012]. Исследование двух видов хищных морских рыб, *Terapon jarbua* и *Acanthopagrus schlegeli*, выращенных в садковом хозяйстве в Шэньжэне (Китай), показало, что As в их печени представлен главным образом органическими соединениями (преимущественно арсенобетаин), содержание которых достигало соответственно 94,8 и 99,5 % от общего содержания As [Zhang et al., 2016b]. Полагают, что в рыбе содержится больше арсенобетаина по сравнению с другими видами гидробионтов, такими, например, как моллюски и ракообразные. Последние могут содержать 25–45 % потенциально токсичных и способных к биоаккумуляции соединений мышьяка, таких как арсеносахара [Li et al., 2003; Feldman, Krupp, 2011].

Несмотря на то что органические формы считаются менее токсичными, есть сведения, что соединения трехвалентного метилированного мышьяка, монометиларсонистой (III) и диметиларсинистой (III) кислот более токсичны для млекопитающих, чем неорганический мышьяк, потому что они более эффективно вызывают разрушение ДНК [Styblo et al., 2000; Dopp et al., 2004]. Соединения мышьяка в трехвалентной степени окисления проявляют сильные генотоксические эффекты, возможно, потому, что трехвалентные органические соединения мышьяка легче проникают через мембраны, чем пятивалентные соединения [Dopp et al., 2004].

Заключение

Проведенные исследования показали, что для промысловых рыб Баренцева моря характерно относительно высокое природное содержание общего мышьяка в тканях. В таких условиях применение норматива безопасного уровня содержания общего мышьяка к промысловой рыбе Баренцева моря накладывает избыточные ограничения на ее реализацию как пищевой продукции, напрямую не связанные с ее фактическим качеством. Исходя из этого, следует считать фоновым и допустимым (нормативным) уровнем содержания общего мышьяка в мышцах промысловых рыб Баренцева моря 12 мкг/г (мг/кг) сырой массы и меньше. Подобный региональный показатель, если он будет принят в качестве дополнения, позволит избежать противоречия с существующим нормативом СанПиН 2.3.2.1078-01. В качестве объектов нормирования показателей содержания мышьяка в мышцах промысловых рыб рекомендуем использовать донную рыбу, питающуюся преимущественно бентосом. В случае Баренцева моря это пикша *M. aeglefinus*.

Для принципиального решения проблемы нормирования пищевой рыбной продукции на содержание мышьяка необходимо выполнять количественный анализ присутствия его неорганических форм как наиболее токсичных для млекопитающих, включая человека. Содержание неорганического мышьяка в общем мышьяке, как правило, очень низкое. На данном этапе целесообразно использовать норматив, предложенный Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов, устанавливающий до-

пустимое содержание неорганического мышьяка в пищевой рыбе на уровне 0,03 мг/кг (мкг/г) сырой массы рыбного филе*.

Благодарности

Авторы выражают благодарность начальнику центра экологического мониторинга ПИНРО им. Н.М. Книповича, к.х.н. А.Ю. Жилину за ценные советы и замечания, которые были учтены при подготовке рукописи.

Финансирование работы

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Соблюдение этических стандартов

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

Список литературы

- Альберт А. Избирательная токсичность : моногр. — М. : Медицина, 1989а. — Т. 1. — 400 с.
Альберт А. Избирательная токсичность : моногр. — М. : Медицина, 1989б. — Т. 2. — 432 с.
Батурин Г.Н., Емельянов Е.М., Стрюк Л.В. О геохимии планктона и взвеси Балтийского моря // Океанол. — 1993. — Т. 33, № 1. — С. 126–132.
Берестовский Е.Г. Питание и пищевая стратегия камбалы-ерша *Hippoglossoides platessoides limantoides* в Баренцевом и Норвежском морях // Вопр. ихтиол. — 1995. — Т. 35, № 1. — С. 94–104.
Виноградов А.П. Химический элементарный состав организмов моря : моногр. — М. : Наука, 2001. — 620 с.
Емельянов Е.М., Кравцов В.А. О причинах повышенных содержаний мышьяка в Балтийском море и Вислинском заливе // Геохимия. — 2007. — № 8. — С. 871–888.
Жизнь и условия ее существования в бентали Баренцева моря : моногр. / ред. Г.Г. Матишов. — Апатиты : КФ ММБИ АН СССР, 1986. — 220 с.
Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычки и переработки. Вып. 1. Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях Европейского Севера и Северной Атлантики. 2-е изд., испр. и доп. / отв. ред. М.С. Шевелев — М. : ВНИРО, 2004. — 300 с.
Ковековдова Л.Т., Кикун Д.П., Касьяненко И.С. Мониторинг водной среды и безопасности промысловых объектов в дальневосточном рыбохозяйственном бассейне (токсичные элементы) // Морские биологические исследования: достижения и перспективы : сб. мат-лов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроч. к 145-летию Севастопольской биологической станции. — Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика. — 2016. — Т. 3. — С. 111–114.
Лакин Г.Ф. Биометрия : учеб. пособие. — М. : Высш. шк., 1980. — 292 с.
Лаптева А.М. Микроэлементарный состав камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) Баренцева моря // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана : мат-лы 5-й Междунар. науч.-техн. конф. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2018. — Ч. 1. — С. 123–127.
Лаптева А.М., Плотицына Н.Ф. Микроэлементы в донных отложениях Баренцева моря на стандартном разрезе «Кольский меридиан» // Вестн. МГТУ. — 2017. — Т. 20, № 1–2. — С. 242–251. DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-242-251.
Лаптева А.М., Плотицына Н.Ф. Микроэлементы в крабе-стригуне *Chionoecetes opilio* Баренцева моря // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование : мат-лы 10-й Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. — Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2019. — С. 35–39.
Морозов Н.П., Петухов С.А. Микроэлементы в промысловой ихтиофауне Мирового океана : моногр. — М. : Агропромиздат, 1986. — 160 с.
Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния : моногр. — М. : Мир, 1987. — 285 с.

* EFSA Panel..., 2009.

Новиков М.А., Драганов Д.М. Комплексный методический подход к определению фоновых значений содержания микроэлементов в водных массах Баренцева моря на примере Cd, Co, Cu и Ni // Вестн. КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. — 2017. — № 2(34). — С. 37–48.

Хмельницкий Г.А., Локтионов В.Н., Полоз Д.Д. Ветеринарная токсикология : учеб. для вузов. — М. : Агропромиздат, 1987. — 320 с.

Чупикова Е.С., Ткаченко С.А., Борисенко Г.С. и др. Мониторинг показателей безопасности скумбрии японской // Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования : мат-лы 2-й Нац. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию кафедры экологии моря ФГБОУ ВО «КГМТУ». — Симферополь : ИТ «Ариал», 2019. — С. 248–252.

Agah H., Leermakers M., Elskens M. et al. Accumulation of trace metals in the muscle and liver tissues of five fish species from the Persian Gulf // Environ Monit Assess. — 2009. — Vol. 157. — P. 499–514. DOI: 10.1007/s10661-008-0551-8.

Dopp E., Hartmann L.M., Florea A.-M. et al. Uptake of inorganic and organic derivatives of arsenic associated with induced cytotoxic and genotoxic effects in Chinese hamster ovary (CHO) cells // Toxicology Applied Pharmacology. — 2004. — Vol. 201, Iss. 2. — P. 156–165. DOI: 10.1016/j.taap.2004.05.017.

Edmonds J.S., Francesconi K.A., Cannon J.R. et al. Isolation, crystal structure and synthesis of arsenobetaine, the arsenical constituents of the western rock lobster *Panulirus longipes cygnus* George // Tetrahedron Letters. — 1977. — Vol. 18, Iss. 18. — P. 1543–1546. DOI: 10.1016/S0040-4039(01)93098-9.

Feldman J., Krupp E.M. Critical review or scientific opinion paper: Arsenosugars — a class of benign arsenic species or justification for developing partly speciated arsenic fractionation in foodstuffs? // Anal. Bioanal. Chem. — 2011. — Vol. 399. — P. 1735–1741. DOI: 10.1007/s00216-010-4303-6.

Frantzen S., Maage A., Duinker A. et al. A baseline study of metals in herring (*Clupea harengus*) from the Norwegian Sea, with focus on mercury, cadmium, arsenic and lead // Chemosphere. — 2015. — Vol. 127. — P. 164–170. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.01.037.

Geubel A.P., Mairlot M.C., Buchet J.P. et al. Abnormal methylation capacity in human liver cirrhosis // Int. J. Clin. Pharmacol. Res. — 1988. — Vol. 8(2). — P. 117–122.

Julshamn K., Frantzen S., Valdersnes S. et al. Concentrations of mercury, arsenic, cadmium and lead in Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) caught off the coast of northern Norway // Mar. Biol. Res. — 2011. — Vol. 7, Iss. 8. — P. 733–745. DOI: 10.1080/17451000.2011.594893.

Julshamn K., Lundebye A.-K., Heggstad K. et al. Norwegian monitoring programme on the inorganic and organic contaminants in fish caught in the Barents Sea, Norwegian Sea and North Sea, 1994–2001 // Food Addit. Contam. — 2004. — Vol. 21, Iss. 4. — P. 365–376. DOI: 10.1080/02652030310001639512.

Julshamn K., Nilsen B.M., Frantzen S. et al. Total and inorganic arsenic in fish samples from Norwegian waters // Food Addit. Contam. Part B: Surveillance. — 2012. — Vol. 5, Iss. 4. — P. 229–235. DOI: 10.1080/19393210.2012.698312.

Khairul I., Wang Q.Q., Jiang Y.H. et al. Metabolism, toxicity and anticancer activities of arsenic compounds // Oncotarget. — 2017. — Vol. 8, № 14. — P. 23905–23926. DOI: 10.18632/oncotarget.14733.

Li W., Wei C., Zhang C. et al. A survey of arsenic species in chinese seafood // Food Chem. Toxicol. — 2003. — Vol. 41, Iss. 8. — P. 1103–1110. DOI: 10.1016/s0278-6915(03)00063-2.

Marafante E., Vahter M., Envall J. The role of the methylation in the detoxication of arsenate in the rabbit // Chem. Biol. Interact. — 1985. — Vol. 56, Iss. 2–3. — P. 225–238. DOI: 10.1016/0009-2797(85)90008-0.

Neff J.M. Ecotoxicology of arsenic in the marine environment // Environ. Toxicol. Chem. — 1997. — Vol. 16, № 5. — P. 917–927. DOI: 10.1002/etc.5620160511.

Squibb K.S., Fowler B.A. The toxicity of arsenic and its compounds // Biological and environmental effects of arsenic. — Amsterdam : Elsevier, 1983. — P. 233–269.

Styblo M., Del Razo L.M., Vega L. et al. Comparative toxicity of trivalent and pentavalent inorganic and methylated arsenicals in rat and human cells // Arch. Toxicol. — 2000. — Vol. 74, Iss. 6. — P. 289–299. DOI: 10.1007/s002040000134.

The Barents Sea: Ecosystem, Resources, Management. Half a Century of Russian-Norwegian Cooperation / ed. by T. Jakobsen and V.K. Ozhigin. — Trondheim : Tapir Academic Press, 2011. — 825 p.

Zhang W., Chen L., Zhou Y. et al. Biotransformation of inorganic arsenic in a marine herbivorous fish *Siganus fuscescens* after dietborne exposure // Chemosphere. — 2016a. — Vol. 147. — P. 297–304. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.12.121.

Zhang W., Guo Z., Zhou Y. et al. Comparative contribution of trophic transfer and biotransformation on arsenobetaine bioaccumulation in two marine fish // Aquat. Toxicol. — 2016b. — Vol. 179. — P. 65–71. DOI: 10.1016/j.aquatox.2016.08.017.

Zhang W., Huang L., Wang W.-X. Biotransformation and detoxification of inorganic arsenic in a marine juvenile fish *Terapon jarbua* after waterborne and dietborne exposure // J. Hazard. Mater. — 2012. — Vol. 221–222. — P. 162–169. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2012.04.027.

References

- Albert, A.**, *Izбирatel'naya toksichnost'* (Selective Toxicity), vol. 1, Moscow: Medicina, 1989.
- Albert, A.**, *Izбирatel'naya toksichnost'* (Selective Toxicity), vol. 2, Moscow: Medicina, 1989.
- Baturin, G.N., Emel'yanov, E.M., and Stryuk, L.V.**, On the geochemistry of plankton and suspended solid sediments in the Baltic Sea, *Okeanologiya*, 1993, vol. 33, no. 1, pp. 126–132.
- Berestovskij, E.G.**, Diet and feeding behavior of American plaice *Hippoglossoides platessoides limantoides* in the Barents and Norwegian Seas, *Vopr. Ikhtiol.*, 1995, vol. 35, no. 1, pp. 94–104.
- Vinogradov, A.P.**, *Himicheskij elementarnyj sostav organizmov moray* (Elemental chemical composition of marine organisms), Moscow: Nauka, 2001.
- Emelyanov, E.M. and Kravtsov, V.A.**, Cause of elevated arsenic concentrations in the Baltic Sea and Vistula lagoon, *Geohimiya*, 2007, no. 8, pp. 871–888.
- Zhizn' i usloviya yeye sushchestvovaniya v bentali Barentseva morya* (The life and its existence peculiarity in the Barents Sea benthos), Matishov, G.G., ed., Apatity: Kol. fil. KF MMBIAN SSSR, 1986.
- A study of ecosystems in fishery water areas, collection and processing of data on aquatic biological resources, and techniques and technology for their harvesting and processing**, in *Instruktsii i metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke biologicheskoi informatsii v moryakh Evropejskogo Severa i Severnoi Atlantiki* (Instructions and Methodical Recommendations for the Collection and Processing of Biological Information in the Seas of the European North and North Atlantic), Shevelev, M.S., ed., Moscow: VNIRO, 2004, 2nd ed., no. 1.
- Kovekovdova, L.T., Kiku, D.P., and Kasyanenko, I.S.**, Monitoring of the marine environment and safety of fishing grounds in the Far Eastern Fisheries Basin (toxic elements), in *Sb. mater. Vseross. nauchno-prakt. konf. mezhdunar. uchastiem, priuroch. k 145-letiyu Sevastopol. biol. stn. "Morskije biologicheskie issledovaniya: dostizheniya i perspektivy"* (Collect. Mater. All-Russ. Sci. Pract. Conf. Int. Participation, Commem. 145th Anniv. Sevastopol Biol. Stn. "Marine Biological Research: Achievements and Prospects"), Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2016, vol. 3, pp. 111–114.
- Lakin, G.F.**, *Biometriya* (Biometrics), Moscow: Vysshaya Shkola, 1990.
- Lapteva, A.M.**, Trace element composition of red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) of the Barents Sea, in *Mater. 5 mezhdunar. nauchno-tech. konf. "Aktual'nye problemy osvoeniya biologicheskikh resursov Mirovogo okeana"* (Proc. 5th Int. Sci. Tech. Conf. "The Actual Problems of Development of Biological Resources of the World Ocean"), Vladivostok: Dal'rybvtuz, 2016, part 1, pp. 123–127.
- Lapteva, A.M. and Plotitsyna, N.F.**, Trace elements in bottom sediments of the Barents Sea on the standard section "Kola Meridian", *Vestn. Murm. Gos. Tekh. Univ.*, 2017, vol. 20, no. 1–2, pp. 242–251. doi 10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-242-251
- Lapteva, A.M. and Plotitsyna, N.F.**, Trace elements in the snow crab *Chionoecetes opilio* of the Barents Sea, in *Mater. 10 Nats. (Vseross.) nauchno-prakt. konf. "Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie"* (Proc. 10th Nat. All-Russ. Sci. Pract. Conf. "Natural Resources, Their Current Status, Conservation, and Commercial and Technical Use"), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatskii Gos. Tekh. Univ., 2019, pp. 35–39.
- Morozov, N.P. and Petuhov, S.A.**, *Mikroelementy v promyslovoj ihtiofaune Mirovogo okeana* (Microelements in the commercial fish fauna of the World Ocean), Moscow: Agropromizdat, 1986.
- Mur, J.V. and Ramamurti, S.**, *Tyazhelye metally v prirodnyh vodah: kontrol' i oценка vliyaniya* (Heavy metals in natural waters: applied monitoring and impact assessment), Moscow: Mir, 1987.
- Novikov, M.A. and Draganov, D.M.**, Complex methodical approach to estimation of background levels of microelement content in watermasses of the Barents Sea (Cd, Co, Cu and Ni), *Bulletin of the Kamchatka Regional organization training and Scientific Center. Series: Earth sciences*, 2017, no. 2(34), pp. 37–48.
- Hmel'nickij, G.A., Loktionov, V.N., and Poloz, D.D.**, *Veterinarnaya toksikologiya* (Veterinary toxicology), Moscow: Agropromizdat, 1987.
- Chupikova, E.S., Tkachenko, S.A., Borisenko, G.S., Kovekovdova, L.T., and Popkov, A.A.**, Monitoring safety of Japanese mackerel, in *Mater. 2 Nats. nauchno-prakt. konf., posvyashch. 20-letiyu kafedry ekologii morya FGBOU VO "KGMTU" "Aktual'nye problemy bioraznoobraziya i prirodopol'zovaniya"* (Proc. 2th Nat. Sci. Prakt. Conf., dedicated 20th anniversary of the Department of Marine Ecology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "KGMTU" "Actual problems of biodiversity and nature management"), Simferopol': IT "Arial", 2019, pp. 248–252.
- Agah, H., Leermakers, M., Elskens, M., Rez-Fatemi, S.M., and Baeyens, W.**, Accumulation of trace metals in the muscle and liver tissues of five fish species from the Persian Gulf, *Environ Monit Assess.*, 2009, vol. 157, pp. 499–514. doi 10.1007/s10661-008-0551-8
- Dopp, E., Hartmann, L.M., Florea, A.-M., von Recklinghausen, U., Pieper, R., Shokouhi, B., Shokouhi, B., Rettenmeier, A.W., Hirner, A.V., and Obe, G.**, Uptake of inorganic and organic derivatives

of arsenic associated with induced cytotoxic and genotoxic effects in Chinese hamster ovary (CHO) cells, *Toxicology Applied Pharmacology*, 2004, vol. 201, no. 2, pp. 156–165. doi 10.1016/j.taap.2004.05.017

Edmonds, J.S., Francesconi, K.A., Cannon, J.R., Raston, C.L., Skelton, B.W., and White, A.H., Isolation, crystal structure and synthesis of arsenobetaine, the arsenical constituents of the western rock lobster *Panulirus longipes cygnus* George, *Tetrahedron Letters*, 1977, vol. 18, no. 18, pp. 1543–1546. doi 10.1016/S0040-4039(01)93098-9

Feldman, J. and Krupp, E.M., Critical review or scientific opinion paper: Arsenosugars — a class of benign arsenic species or justification for developing partly speciated arsenic fractionation in foodstuffs?, *Anal. Bioanal. Chem*, 2011, vol. 399, pp. 1735–1741. doi 10.1007/s00216-010-4303-6

Frantzen, S., Maage, A., Duinker, A., Julshamn, K., and Iversen S.A., A baseline study of metals in herring (*Clupea harengus*) from the Norwegian Sea, with focus on mercury, cadmium, arsenic and lead, *Chemosphere*, 2015, vol. 127, pp. 164–170. doi 10.1016/j.chemosphere.2015.01.037

Geubel, A.P., Mairlot, M.C., Buchet, J.P., Dive, C., and Lauwerys, R., Abnormal methylation capacity in human liver cirrhosis, *Int. J. Clin. Pharmacol. Res.*, 1988, vol. 8, no. 2, pp. 117–122.

Julshamn, K., Frantzen, S., Valdersnes, S., Nilsen, B.M., Maage, A., and Nedreaas, K., Concentrations of mercury, arsenic, cadmium and lead in Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) caught off the coast of northern Norway, *Mar. Biol. Res.*, 2011, vol. 7, no. 8, pp. 733–745. doi 10.1080/17451000.2011.594893

Julshamn, K., Lundebye, A.-K., Heggstad, K., Berntssen, M.H.G., and Boe, B., Norwegian monitoring programme on the inorganic and organic contaminants in fish caught in the Barents Sea, Norwegian Sea and North Sea, 1994–2001, *Food Addit. Contam.*, 2004, vol. 21, no. 4, pp. 365–376. doi 10.1080/02652030310001639512

Julshamn, K., Nilsen, B.M., Frantzen, S., Valdersnes, S., Maage, A., Nedreaas, K., and Sloth J.J., Total and inorganic arsenic in fish samples from Norwegian waters, *Food Addit. Contam. Part B: Surveillance*, 2012, vol. 5, no. 4, pp. 229–235. doi 10.1080/19393210.2012.698312

Khairul, I., Wang, Q.Q., Jiang, Y.H., Wang, C., and Naranmandura, H., Metabolism, toxicity and anticancer activities of arsenic compounds, *Oncotarget*, 2017, vol. 8, no. 14, pp. 23905–23926. doi 10.18632/oncotarget.14733

Li, W., Wei, C., Zhang, C., Van Hulle, M., Cornelis, R., and Zhang, X., A survey of arsenic species in chinese seafood, *Food Chem. Toxicol.*, 2003, vol. 41, no. 8, pp. 1103–1110. doi 10.1016/S0278-6915(03)00063-2

Marafante, E., Vahter, M., and Envall, J., The role of the methylation in the detoxication of arsenate in the rabbit, *Chem. Biol. Interact.*, 1985, vol. 56, no. 2–3, pp. 225–238. doi 10.1016/0009-2797(85)90008-0

Neff, J.M., Ecotoxicology of arsenic in the marine environment, *Environ. Toxicol. Chem.*, 1997, vol. 16, no. 5, pp. 917–927. doi 10.1002/etc.5620160511

Squibb, K.S. and Fowler, B.A., The toxicity of arsenic and its compounds, *Biological and environmental effects of arsenic*, Amsterdam: Elsevier, 1983, pp. 233–269.

Styblo, M., Del Razo, L.M., Vega, L., Germolec, D.R., LeCluyse E.L., Hamilton, G.A., Reed, W., Wang, C., Cullen, W.R., and Thomas, D.J., Comparative toxicity of trivalent and pentavalent inorganic and methylated arsenicals in rat and human cells, *Arch. Toxicol.*, 2000, vol. 74, no. 6, pp. 289–299. doi 10.1007/s002040000134

The Barents Sea: Ecosystem, Resources, Management. Half a Century of Russian-Norwegian Cooperation, Jakobsen, T. and Ozhigin, V.K., ed., Trondheim: Tapir Academic Press, 2011.

Zhang, W., Chen, L., Zhou, Y., Wu, Y., and Zhang, L., Biotransformation of inorganic arsenic in a marine herbivorous fish *Siganus fuscescens* after dietborne exposure, *Chemosphere*, 2016, vol. 147, pp. 297–304. doi 10.1016/j.chemosphere.2015.12.121

Zhang, W., Guo, Z., Zhou, Y., Chen, L., and Zhang, L., Comparative contribution of trophic transfer and biotransformation on arsenobetaine bioaccumulation in two marine fish, *Aquat. Toxicol.*, 2016, vol. 179, pp. 65–71. doi 10.1016/j.aquatox.2016.08.017

Zhang, W., Huang, L., and Wang, W.-X., Biotransformation and detoxification of inorganic arsenic in a marine juvenile fish *Terapon jarbua* after waterborne and dietborne exposure, *J. Hazard. Mater.*, 2012, vol. 221–222, pp. 162–169. doi 10.1016/j.jhazmat.2012.04.027

Evaluation of certain food additives and contaminants: 33rd Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, *Tech. Rep. Ser. 776*, Geneva, 1989.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on Arsenic in Food, *EFSA J.*, 2009, vol. 7, no. 10, 1351. doi 10.2903/j.efsa.2009.1351

Поступила в редакцию 28.06.2021 г.

После доработки 14.07.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

УДК 597.552.511–135(282.257.6)

О.В. Зеленников¹, Д.В. Багинский², В.П. Погодин^{2*}¹ Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7/9;² ООО «Каниф», 694740, г. Невельск, ул. Советская, 26УНИКАЛЬНЫЙ СЛУЧАЙ ОБНАРУЖЕНИЯ БОЛЬШОГО ЧИСЛА
СИАМСКИХ БЛИЗНЕЦОВ МОЛОДИ ГОРБУШИ

Исследовали питание рыб, пойманных в р. Обутанай (Сахалинская область, Невельский район) в период ската молоди горбуши в мае 2021 г. У экземпляров кунджи массой 72,3; 55,7 и 73,9 г в желудках были обнаружены соответственно 21, 35 и 51 малек горбуши и кеты, среди которых выявили 3, 4 и 8 пар сиамских близнецов горбуши природного происхождения. Состояние всех пар близнецов свидетельствовало о том, что пойманы они были недавно и фактически одновременно. Можно полагать, что, во-первых, сиамские близнецы горбуши, обнаруженные в желудках хищников, в месте питания этих рыб присутствовали в значительном количестве, во-вторых, пары близнецов, по крайней мере при их относительно синхронном развитии, наряду с обычной молодью вышедшие из нерестовых гнезд, потенциально могут участвовать в естественном скате.

Ключевые слова: Сахалинская область, река Обутанай, кунджа, горбуша, сиамские близнецы.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-845-848.

Zelennikov O.V., Baginskiy D.V., Pogodin V.P. A unique case of finding a large number of conjoined twins of juvenile pink salmon // *Izv. TINRO*. — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 845–848.

During the fish feeding studies in the Obutanai River (Sakhalin, Nevelsk district) in the time of juvenile salmon migration in May 2021, the pink and chum juveniles were found in stomach of white-spotted char (weight 72.3, 55.7 and 73.9 g) in the number of 21, 35 and 51 specimens, respectively. Among them, there were 3, 4 and 8 pairs of conjoined twins of pink salmon, obviously preyed recently and practically at the same time. It can be assumed that the conjoined twins of pink salmon were presented on the feeding grounds of char in significant numbers and developed synchronously with ordinary juveniles, so they were able to join the downstream migration.

Key words: Sakhalin, Obutanai River, white-spotted char, pink salmon, conjoined twins.

Введение

Среди нарушений в развитии рыбоводам, занимающимся выращиванием молоди тихоокеанских лососей, хорошо известно такое явление, как сиамские близнецы. Поскольку молодь на рыбоводных заводах защищена от воздействия хищников,

* Зеленников Олег Владимирович, доктор биологических наук, доцент, e-mail: oleg_zelennikov@rambler.ru; Багинский Дмитрий Владимирович, старший рыбовод, e-mail: baginskiy_igs@mail.ru; Погодин Виктор Петрович, заместитель генерального директора, e-mail: v_pogodin@mail.ru.

Zelennikov Oleg V., D.Biol., assistant professor, e-mail: oleg_zelennikov@rambler.ru; Baginskiy Dmitry V., senior fish master, e-mail: baginskiy_igs@mail.ru; Pogodin Viktor P., deputy general director, e-mail: v_pogodin@mail.ru.

пары сросшихся друг с другом зародышей успешно развиваются, встают «на плав» и переходят на внешнее питание. Сиамские близнецы хорошо заметны в бассейнах и каналах, так как, в отличие от обычных мальков, перемещаются в воде в горизонтальной плоскости.

В 2000-е гг. у сахалинских рыбодоводов возникло ощущение, что в производственных партиях молоди кеты заметно увеличилась доля особей с различными уродствами. Для проверки этого предположения была проведена специальная работа, результаты которой остались только в отчете, а опубликованы не были. На трех рыбодоводных заводах из 26 производственных партий кеты случайным образом были взяты выборки зародышей объемом от 748 до 1586 особей. Рыб обследовали в период их выдерживания в субстрате — после вылупления и до подъема «на плав». Среди различных нарушений были выявлены и сиамские близнецы. Их число варьировало от 0 до 4 экз. на пробу, и только в одной выборке было обнаружено сразу 32 особи. По итогам проведенной работы было сделано два вывода. Во-первых, была подтверждена очень редкая встречаемость сиамских близнецов, что отмечают и другие авторы [Arbuatti et al., 2011], ведь даже в партии с наибольшей встречаемостью их доля была менее 1,5 %. Во-вторых, показано, что в отдельных случаях число сиамских близнецов может многократно возрасти.

Материалы и методы

В мае 2021 г. в р. Обутанай, впадающей в море в 45 км южнее г. Невельск (юго-западное побережье о. Сахалин), в период ската природной молоди горбуши проводили обследование питания кунджи *Salvelinus leucomaenis* и мальмы *S. malma*. Хищных рыб, которых отлавливали на расстоянии 150–350 м от устья реки, непосредственно после поимки измеряли и взвешивали, затем вскрывали желудки (кишечники) и изучали состав пищевого комка. В ходе этой работы выявляли и подсчитывали количество мальков лососевых рыб.

Результаты и их обсуждение

При обследовании рыб, пойманных 18 мая 2021 г., в желудках сразу нескольких особей кунджи были обнаружены сиамские близнецы горбуши. Так, у экземпляра массой 72,5 г в желудке был выявлен 21 малек горбуши и кеты, среди которых присутствовали 3 пары сиамских близнецов (см. рисунок, А). Затем у особи массой 55,7 г среди 35 мальков было выявлено 4 пары сиамских близнецов горбуши. И наконец, у кунджи массой 73,9 г в кардиальном отделе желудка был обнаружен 51 экз. молоди лососей, среди них были идентифицированы 8 пар сиамских близнецов горбуши (см. рисунок, Б). Таким образом, доля сиамских близнецов в пищевом комке трех особей кунджи составила соответственно 14, 11 и 16 %.

Заключение

На основе выявленных фактов можно сделать вывод, что сиамские близнецы, по крайней мере при относительно синхронном развитии в парах, либо самостоятельно выходят из нерестовых бугров, либо вымываются из них потоком воды, а значит, потенциально могут участвовать в скате. Ясно, что они более доступны для потребления хищниками, однако такое их количество в пищевом комке нельзя объяснить только меньшей защищенностью. Все экземпляры сиамских близнецов были обнаружены у особей кунджи, пойманных одновременно, а сами они находились на одинаковой стадии переваривания. Эти факты свидетельствуют в пользу того, что и все эти мальки могли быть выловлены хищниками также одновременно и, с большой вероятностью, в районе одного нерестового гнезда. Очевидно, что мы вновь столкнулись с фактом многократного увеличения доли сиамских близнецов в потомстве тихоокеанских лососей.

А



Б



Экземпляры кунджи массой 72,3 (А) и 73,9 (Б) г, в желудках которых было обнаружено соответственно 3 и 8 пар сиамских близнецов горбуши

White-spotted chars with weight of 72.3 g (А) and 73.9 g (Б) caught in the Obutanai River, in whose stomachs 3 and 8 pairs of conjoined twins of juvenile pink salmon were found, respectively

Благодарности

Авторы выражают благодарность работникам ЛРЗ «Обутанай», оказавшим помощь в проведении облова хищных рыб.

Финансирование работы

Данная работа не имела дополнительного спонсорского финансирования.

Соблюдение этических стандартов

Биологические анализы проводили в соответствии с правилами Европейской Конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 18 марта 1986 г.).

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Информация о вкладе авторов

Все три автора приняли участие в организации обловов, их непосредственном проведении и анализе выловленных рыб. О.В.Зеленников написал статью.

Список литературы

Arbuatti A., Della Salda L., Romanucci M.J. Histological observations on conjoined twins occurring among a captive-bred wild line of *Poecillia wingei* (Poeser, Kempkes and Isbrücker) // *J. Fish Diseases*. — 2011. — Vol. 34, № 4. — P. 319–321. DOI: 10.1111/j.1365-2761.2011.01239.x.

References

Arbuatti, A., Della Salda, L., and Romanucci, M.J., Histological observations on conjoined twins occurring among a captive-bred wild line of *Poecillia wingei* (Poeser, Kempkes and Isbrücker), *J. Fish Diseases*, 2011, vol. 34, no. 4, pp. 319–321. doi 10.1111/j.1365-2761.2011.01239.x

Поступила в редакцию 1.09.2021 г.

После доработки 29.09.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

УДК 597.555.51–113.4



А.В. Буслов, С.Л. Овсянникова*
Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

РОСТ ТИХООКЕАНСКОЙ ТРЕСКИ *GADUS MACROCEPHALUS* НА ПЕРВОМ ГОДУ ЖИЗНИ

На основании данных наблюдений и обобщения опубликованных материалов рассмотрен линейный и весовой рост тихоокеанской трески на первом году жизни в разных районах ее обитания. Посредством логистической функции смоделирован ее рост в течение года. Показано, что в южных районах обитания треска растет значительно быстрее. Наиболее интенсивный линейный рост трески происходит в первые три месяца жизни, когда длина личинок и мальков увеличивается примерно на 50 % ежемесячно. К осени и зиме относительные приросты снижаются. В абсолютном выражении приращения длины нарастают в первую половину года, достигая пика во второй половине лета — первой половине осени. В этот период длина рыб увеличивается на 25–30 мм в месяц. В оставшуюся часть года значения абсолютных приростов снижаются. Характер весового роста заметно отличается от линейного. В течение первого полугодия у молоди трески весовой рост наиболее интенсивен и значительно превосходит линейный. За этот период относительные ежемесячные приросты массы изменяются от 142 до 85 %, постепенно уменьшаясь от первого месяца жизни к шестому. После чего, при достижении массы около 4 г, относительный темп весового роста резко снижается, при этом существенно увеличиваются абсолютные приросты. Максимальные приращения массы (8–10 г) приходятся на седьмой-девятый месяцы жизни трески, когда рыбы достигают длины более 10 см. За этот короткий промежуток треска набирает 58 % массы первого года жизни. Пики линейных и весовых приростов не совпадают по времени и смещены примерно на 2 мес. относительно друг друга – максимальные приращения длины приурочены к шестому месяцу жизни, а массы – к восьмому.

Ключевые слова: тихоокеанская треска, линейный и весовой рост, относительный и абсолютный прирост, логистическая функция, районы обитания.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-849-865.

Buslov A.V., Ovsyannikova S.L. Growth of pacific cod *Gadus macrocephalus* in the first year of life // *Izv. TINRO.* — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 849–865.

Data of observations and published materials on linear and weight growth of pacific cod in the first year of life are analyzed for different habitats. The growth curve is approximated by logistic function. Monthly increments for the body length of larvae and fry are about 50 % in the first three months of life, when growth is the most intense. Absolute length increments increase in the first half of the year and reach the maximum of 25-30 mm per month in late summer —

* Буслов Александр Вячеславович, кандидат биологических наук, заместитель руководителя филиала, e-mail: aleksandr.buslov@tinro-center.ru; Овсянникова Светлана Леонидовна, исполняющая обязанности заведующей лабораторией, e-mail: svetlana.ovsyannikova@tinro-center.ru.

Buslov Alexander V., Ph.D., deputy head, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: aleksandr.buslov@tinro-center.ru; Ovsyannikova Svetlana L., acting head of laboratory, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: svetlana.ovsyannikova@tinro-center.ru.

early autumn, then decrease in the rest of the year. Relative body length increments decrease in autumn and winter, too. The cod grow faster in southern areas. Weight growth patterns are different from the linear growth. The weight growth is the most intense in the first half of year, when relative weight increments exceed significantly the length increments — monthly weight increments decrease gradually from 142 % in the first month of life to 85 % in the sixth month. When the weight reaches app. 4 g, the relative weight increments decrease abruptly though the absolute increments continue to increase until the 7–9th months of life when they reach 8–10 g per month for fish with body length > 10 cm. The cod weight increases by 58 % in this short period of the highest growth. Time lag between the peaks of absolute increments of length (in the sixth month of life) and weight (in the eighth month) is about 2 months.

Key words: pacific cod, linear growth, weight growth, relative increment, absolute increment, logistic function, habitat.

Введение

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

В этом смысле исследования роста в раннем онтогенезе представляют несомненный интерес для изучения важных промысловых видов, к которым безусловно можно отнести тихоокеанскую треску *Gadus macrocephalus*. Однако приходится констатировать, что у трески, обитающей в российских водах дальневосточных морей, эта часть онтогенеза остается малоизученной, поскольку отечественными исследователями данному вопросу уделялось критически мало внимания. Если в широко известной обобщающей работе П.А. Моисеева [1953] можно найти хотя бы немногочисленную информацию о размерах молоди в ряде районов, то в современной сводке по тихоокеанской треске нет ничего нового по этому вопросу [Тихоокеанская треска..., 2013]. Поэтому вполне справедливо замечание В.П. Шунтова, высказанное в предисловии к монографии, упомянутой выше, что экология ранних стадий трески почти не исследована. Не лучше ситуация с представлениями о росте трески на первом году жизни и в других районах ее обитания — в водах тихоокеанского побережья Канады и США, у берегов Японии и Корейского полуострова. Упоминания о размерах пойманной молоди в разрозненных работах также не позволяют судить о закономерностях и характере ее роста.

Слабая изученность роста тихоокеанской трески в раннем онтогенезе во многом обусловлена объективными сложностями со сбором материалов. Несмотря на то что местоположение основных ее нерестилищ и сроки икрометания известны [Савин, 2016], поймки ранней молоди весьма немногочисленны. Личинки и мальки в уловах ихтиопланктонных сетей и мальковых неводов встречаются достаточно редко и улавливаются преимущественно случайно [Мухачева, Звягина, 1960; Булатов, 1986; Балыкин и др., 2002; Максименков, 2007]. По этой причине полноценные представления о районах обитания трески в первые месяцы жизни отсутствуют, что, в свою очередь, не позволяет наладить системные работы по отлову ее молоди.

Вместе с тем необходимо отметить, что с 90-х гг. прошлого столетия в Японии и Республике Корея широкое распространение получили работы по искусственному воспроизводству и выращиванию тихоокеанской трески*. Понятно, что наблюдения

* International Symposium on Stock Enhancement and Fisheries Management of Pacific Cod. Geoje: Gyeongsang National University, 2008. Vol. 14. 106 p.

в закрытых контролируемых системах не дают полноценного представления о росте рыб в природных условиях. Тем не менее результаты экспериментов позволяют описать особенности роста в таком проблемном для исследований периоде, как ранний постэмбриогенез.

В целом, несмотря на явный дефицит информации, на наш взгляд, необходимо в обобщенном виде охарактеризовать закономерности роста тихоокеанской трески в течение первого года жизни с привлечением имеющихся первичных и опубликованных материалов. Это и являлось целью настоящей работы.

Материалы и методы

В осенне-зимний период треска, будучи сеголеткой, начинает попадаться в уловах донных траловых съемок. Однако исследования в этот период нерегулярны в разных районах, а поимки сеголеток в большей степени эпизодичны. Экспедиции, в которых были собраны имеющиеся в нашем распоряжении материалы, представлены в табл. 1.

Таблица 1
Перечень экспедиций с поимками и измерениями молоди тихоокеанской трески первого года жизни

Table 1
List of surveys with captures and measurements of juvenile pacific cod

Район	Месяц/год	Судно	Орудие лова	Кол-во измерений
Западная часть Берингова моря	XII/1985	СРТМ-К «Горный»	Донный трал	336
	XI/1990	СРТМ-К «Шурша»	«	140
	XI/2000	РТМС «Багратион»	«	13
	X/2001	НИС «Профессор Кагановский»	«	67
	XI/2002	РКМРТ «Фортуна»	«	22
	II/2005	РТМС «Багратион»	«	5
Юго-восточное побережье Камчатки	IX/2007	Береговые исследования	Мальковый невод	15
	XII/1981	НПС «Немирово»	Донный трал	130
	IX/1999	СРТМ-К «Шурша»	«	35
	IV/1998	МФТ «Иоланта»	Ихтиопланктонная сеть	6
	II/2002	МРТК-316	Снюрревод	18
Западное побережье Камчатки	IV/2005	МРТК-316	Ихтиопланктонная сеть	13
	II/1981	НПС «Немирово»	Донный трал	213
	IX/2003	СРТМ-К «Панкара»	«	74
	VI/2005	Береговые исследования	Мальковый невод	9
Зал. Петра Великого	VIII/2009	НИС «Профессор Кизеветтер»	Донный трал	10
	VIII/1994	МРС-150	Снюрревод	3
	IV/2009	РКМРТ «Бухоро»	Донный трал	24

Данные о росте предличинок получены в результате экспериментов по инкубированию икринок тихоокеанской трески, методика проведения которых была подробно описана ранее [Буслов, Сергеева, 2013]. Всего промерено 568 предличинок.

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

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

где L — длина в любой момент времени; L_{∞} — асимптотическая длина в годовалом возрасте; t — месяц жизни; γ и β — коэффициенты уравнения. Такой тип кривой применялся ранее для минтая [Буслов, 2005]. Параметры уравнений рассчитаны по методу

избранных точек посредством минимизации суммы квадратов отклонений расчетных значений от наблюдаемых [Зайцев, 1984].

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

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

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

Результаты и их обсуждение

Линейный рост. Рассмотрение вопросов роста тихоокеанской трески на ранних этапах развития логично начать с анализа материалов по ее содержанию в искусственных условиях. Результаты этих работ дают возможность оценить закономерности линейного роста трески на начальных этапах онтогенеза, что всегда проблематично выполнить в природных условиях.

Размеры выклюнувшихся предличинок, указываемые разными авторами, варьируют, но в целом достаточно близки: 3,6–4,0 мм [Горбунова, 1954], 3,3–3,8 [Мухачева, Звягина, 1960], 4,4–5,6 [Буслов, Сергеева, 2013], 3,8–5,0 [Юсупов, 2015], 4,1–4,8 [Forrester, 1964], 3,7–4,4 мм [Park, 2008].

Эксперименты по содержанию предличинок в аквариальных условиях свидетельствуют о том, что в первые 10 дней жизни их линейный рост достаточно интенсивен за счет использования ресурсов желтка. При отсутствии корма темп роста по мере рассасывания желточного мешка снижается и прекращается (рис. 1). Суточные приросты в период желточного питания составляют 0,05–0,10 мм.

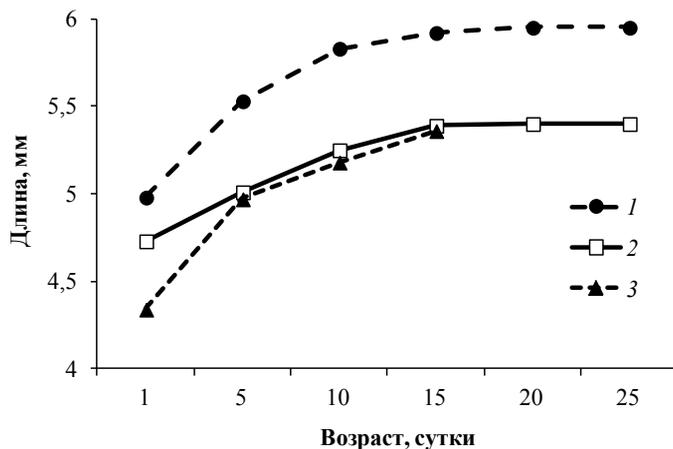


Рис. 1. Изменение средней длины предличинок тихоокеанской трески в экспериментах без кормления: 1 — восточная Камчатка (наши данные); 2 — о. Кадьяк [Laurel et al., 2008]; 3 — Тайская губа северной части Охотского моря [Юсупов, 2015]

Fig. 1. Variations of mean length for prelarvae of pacific cod in experiments without feeding: 1 — East Kamchatka (authors' data); 2 — Kodiak Island [Laurel et al., 2008]; 3 — Tauiskaya Guba Bay [Yusupov, 2015]

У 5-суточных предличинок средней длиной 5,8 мм заканчивается формирование челюстного аппарата, после чего они способны переходить на смешанное питание [Буслов, Сергеева, 2013]. В условиях контролируемого содержания предличинки длиной 5 мм начинали питаться коловратками на восьмой день после выклева [Park, 2008]. В природных условиях пищу в желудках (яйца и науплии копепод) также отмечали у предличинок длиной 5 мм [Takatsu et al., 1995].

Размеры, при которых желточный мешок полностью рассасывается и заканчивается фаза предличинки, варьируют по данным разных авторов — 4,1 мм [Мухачева, Звягина, 1960], 4,6 [Park, 2008], не менее 5,3 [Forrester, 1964], 5,7 [Горбунова, 1954], 6,2 мм (наши данные). Можно полагать, что личиночная фаза у тихоокеанской трески начинается при длине от 4,5 до 6,0 мм в зависимости от региона.

Изменение линейных размеров личинок трески в ходе их содержания в искусственных условиях в течение первых 2–3 мес. жизни показано на рис. 2 [Zhang, 1984; Narimatsu et al., 2007; Tezuka, 2008; Hurst et al., 2009]. При средней длине выклюнувшихся предличинок около 4–5 мм к месячному возрасту этот показатель увеличивается в 2 раза — до 8,0–10,0 мм, а суточные приросты составляют в среднем 0,2 мм [Narimatsu et al., 2007]. По окончании второго месяца выращивания личинки достигают размера 16–20 мм, а еще через месяц их длина, как правило, колеблется от 30 до 40 мм. При этом, судя по наблюдениям, личинки еще ведут пелагический образ жизни [Park, 2008]. По всей видимости, к началу мальковой фазы тихоокеанская треска достигает длины 35–40 мм и переходит к придонному образу жизни. После фазы малька у нее не происходит существенных морфологических изменений в строении тела [Мухачева, Звягина, 1960]. Дальнейшее развитие выражается в увеличении размеров и носит количественное выражение.

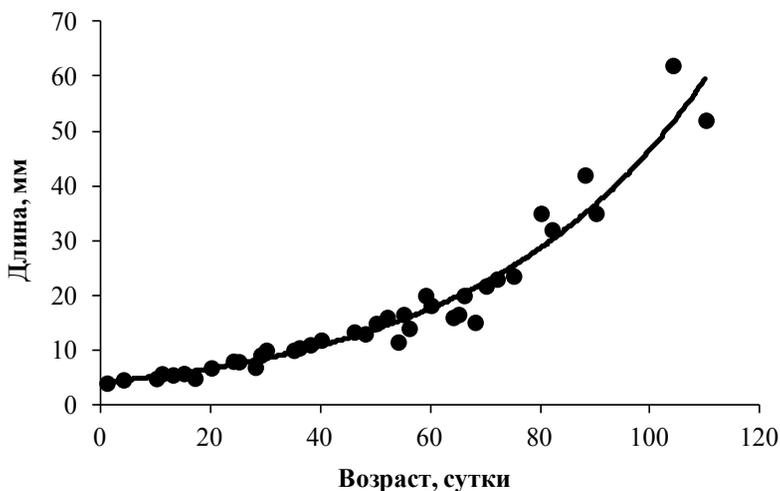


Рис. 2. Зависимость «возраст–длина» трески в первые месяцы жизни при содержании в искусственных условиях

Fig. 2. Relationship between age and length for pacific cod in the first months of life in artificial conditions

В целом данные разных экспериментов свидетельствуют о том, что в течение первых 100–110 дней жизни увеличение длины личинок и мальков носит экспоненциальный характер и удовлетворительно описывается уравнением $L = 4,06 \cdot e^{0,0244t}$, где L — длина рыбы, мм; t — возраст, сут. Аналогичный характер роста в этот период отмечался, например, и для атлантической трески [Campana, Hurley, 1989].

По результатам почти годичного содержания в контролируемых условиях молодь трески к середине декабря достигла средней длины — 15,3 см [Seo et al., 2007]. Характер роста рыб был близок к линейному, что вполне объяснимо при стабильных температурных условиях и кормлении. Тем не менее некоторые эксперименты показывают, что темп роста может зависеть от ряда факторов. Так, например, различный подбор кормов приводил к тому, что через 90 сут после выклева разница в длине мальков, имевших разные диеты, достигала в среднем 18 мм [Park, 2008].

Известны эксперименты, подтверждающие влияние температуры на рост трески. Суточные приросты длины личинок увеличивались в 2 раза с ростом температуры от

2 до 10 °С [Hurst et al., 2010]. Мальки, содержащиеся в более теплых по сравнению с натурной температурой условиях, имели по окончании эксперимента на четверть больше размеры [Park, 2008; Park, Kim, 2016]. Однако необходимо отметить, что при температуре свыше 13 °С ускорения роста трески не наблюдалось, при этом значительно возрастала смертность. Авторами также был определен температурный оптимум для коэффициента усвоения корма, который составил 8,5 °С [Park, Kim, 2016].

Немаловажным фактором, определяющим темп роста мальков в искусственных условиях, оказалась величина емкостей, в которых содержится рыба. Так, личинки трески, помещенные при длине 20–30 мм в садки, расположенные в море, к 100-дневному возрасту оказались на треть длиннее личинок, выращивавшихся в закрытых танках [Tezuka, 2008]. В другом эксперименте мальки, содержащиеся в емкостях, вмещавших 25 т воды, в декабре имели длину 166 мм, тогда как в емкостях меньшего объема (1,5 т) к этому времени они достигли длины только 125 мм (личное сообщение Бюн Сун Гю). Очевидно, что в естественных условиях такой фактор не будет влиять на рост рыб, однако его необходимо учитывать в случае искусственного выращивания трески.

Если обобщить данные экспериментов по выращиванию трески, то кривая изменения ее длины в течение первого года жизни может быть условно охарактеризована двумя типами роста: экспоненциальный с февраля по июль и практически линейный в последующие месяцы (рис. 3). Наиболее интенсивный рост наблюдается в первые 5 мес. жизни, в течение которых длина особи увеличивается в 20 раз, с 4 до 80 мм. При этом в относительном выражении динамика приростов имеет достаточно необычный вид — возрастает с февраля по июнь, после чего резко замедляется и вновь незначительно увеличивается в ноябре-декабре.

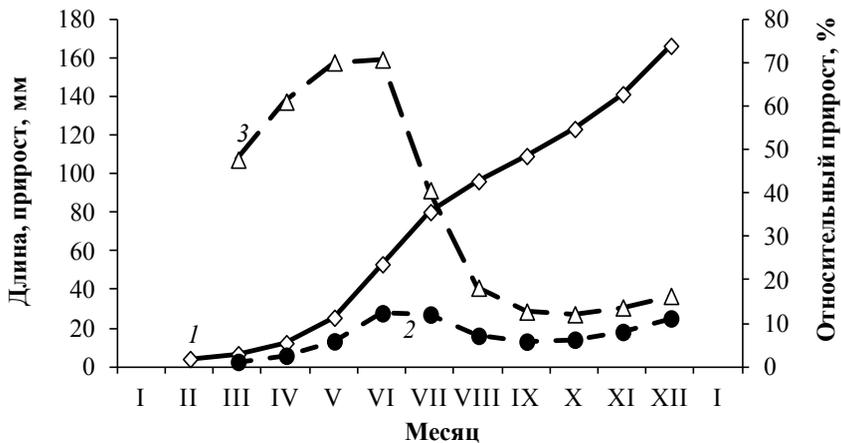


Рис. 3. Изменение длины (1), абсолютных (2) и относительных (3) приростов в течение первого года жизни тихоокеанской трески, содержащейся в искусственных условиях [по: Zhang, 1984; Narimatsu et al., 2007; Seo et al., 2007; Park, 2008; Tezuka, 2008; Hurst et al., 2010]

Fig. 3. Dynamics of length (1) and absolute (2) and relative (3) increments for pacific cod in the first year of life in artificial conditions [from: Zhang, 1984; Narimatsu et al., 2007; Seo et al., 2007; Park, 2008; Tezuka, 2008; Hurst et al., 2010]

Все данные о длине молоди трески, пойманной в традиционных районах ее обитания, обобщены в табл. 2. Интересно сравнить рост рыб в естественных и искусственных условиях. Так, в водах юго-восточной части Корейского полуострова в течение первого полугодия он сходен: молодь в экспериментах и в морских уловах имела близкую длину. В следующие полгода сеголетки трески в естественных условиях росли интенсивней и к январю достигали длины 20–27 см, тогда как в экспериментах — 18 см. Это подтверждает высказанное выше предположение, что наблюдения за ростом рыб в регулируемых условиях не дают полноценного представления о его потенциале в естественной среде.

Таблица 2
Table 2

Средние и преобладающие размеры тихоокеанской трески на первом году жизни в разных районах, мм

Mean and modal length of pacific cod in the first year of life, by areas, mm

Район	Месяц												Источник данных			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		I	II	III
Юго-восточные воды Южной Кореи	3-6	10-13	15-25	23-40	40-70	60-90	80-100					200-270				Моисеев, 1953
Зал. Петра Великого							60 70	90								Наши данные Моисеев, 1953
Зал. Муцу, о. Хонсю	4,4 5-6	11,5 20-30	34	62 70-80	69	112	125 100-150						210			Takatsu et al., 2001 Mishima, 1984
Южные Курильские острова								70-130						195		Моисеев, 1953
Западная Камчатка						45		66	83				135	140		Наши данные Моисеев, 1953
Северные Курильские острова														138		Полтев, Немчинова, 2006
Юго-восточная Камчатка				6,5		65	67		90			130 100-190		143		Наши данные Моисеев, 1953
Западная часть Берингова моря						13			70-90	93	104	117		130		Наши данные Булатов, 1986
Восточная часть Берингова моря								56-82	100	115						Bakkala, 1984 Miller et al., 2016
О. Кадьяк						60	55	70 75 65			140				150	Laurel et al., 2008 Blackburn, 1984 Brown et al., 1984
Британская Колумбия					30-93	52	63-115 107				207	218	241	200-300 255	264	Ketchen, 1961, 1964

Примечание. Заштрихован месяц массового нереста.

Обобщенные данные о длине молоди трески в течение первого года жизни (за начало отсчета принят месяц массового выклева) свидетельствуют о S-образной форме кривой роста, что характерно для многих рыб [Яржомбек, 2011] (рис. 4). В южных районах обитания трески за первый год жизни достигает существенно больших размеров, чем в северных. В этом смысле не находит подтверждение тезис П.А. Моисеева [1953] о том, что молодь трески в северных водах растет гораздо интенсивнее, чем на юге. Это наглядно демонстрируют результаты моделирования роста посредством логистических уравнений по приведенным выше данным (табл. 3, рис. 5).

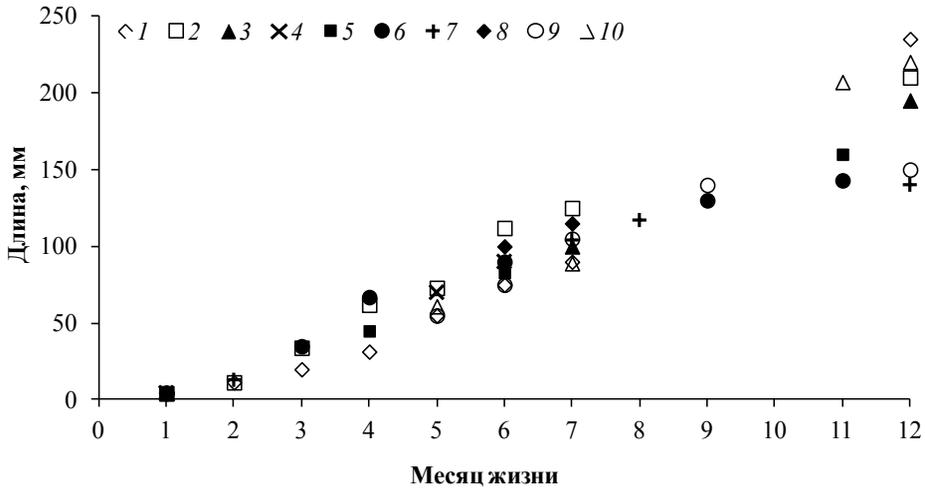


Рис. 4. Размеры трески из разных районов обитания, наблюдаемые на первом году жизни в естественных условиях: 1 — воды Южной Кореи; 2 — зал. Муцу, о. Хонсю; 3 — южные Курильские острова; 4 — зал. Петра Великого; 5 — западная Камчатка; 6 — юго-восточная Камчатка; 7 — западная часть Берингова моря; 8 — восточная часть Берингова моря; 9 — зал. Аляска; 10 — воды Британской Колумбии

Fig. 4. Size of pacific cod from different habitats in the first year of life in natural conditions: 1 — waters of South Korea; 2 — Mutsu Bay, Honshu Island; 3 — at southern Kuril Islands; 4 — Peter the Great Bay; 5 — at western Kamchatka; 6 — at southeastern Kamchatka; 7 — western Bering Sea; 8 — eastern Bering Sea; 9 — Gulf of Alaska; 10 — waters of British Columbia

Таблица 3

Параметры уравнений зависимости «возраст–длина» для первого года жизни трески разных районов

Table 3

Parameters of equation for body length dependence on age for pacific cod in the first year of life, by areas

Район	Коэффициенты		L_{∞} , мм	Ошибка (SE)
	β	γ		
Воды Южной Кореи	-0,288	2,024	236	3,2
Зал. Муцу, о. Хонсю	-0,278	1,754	211	4,6
Южные Курильские острова	-0,278	1,876	205	4,9
Западная Камчатка	-0,251	1,557	141	5,8
Восточная Камчатка	-0,240	1,393	150	4,3
Западная часть Берингова моря	-0,257	1,460	135	5,1
Восточная часть Берингова моря	-0,268	1,458	145	4,8
Зал. Аляска	-0,270	1,610	155	3,6
Воды Британской Колумбии	-0,259	1,827	225	4,4

Примечание. L_{∞} — асимптотическая длина в годовалом возрасте.

В относительно теплых водах Южной Кореи, Японии, южных Курильских островов и Британской Колумбии треска после четвертого месяца жизни имеет наиболее

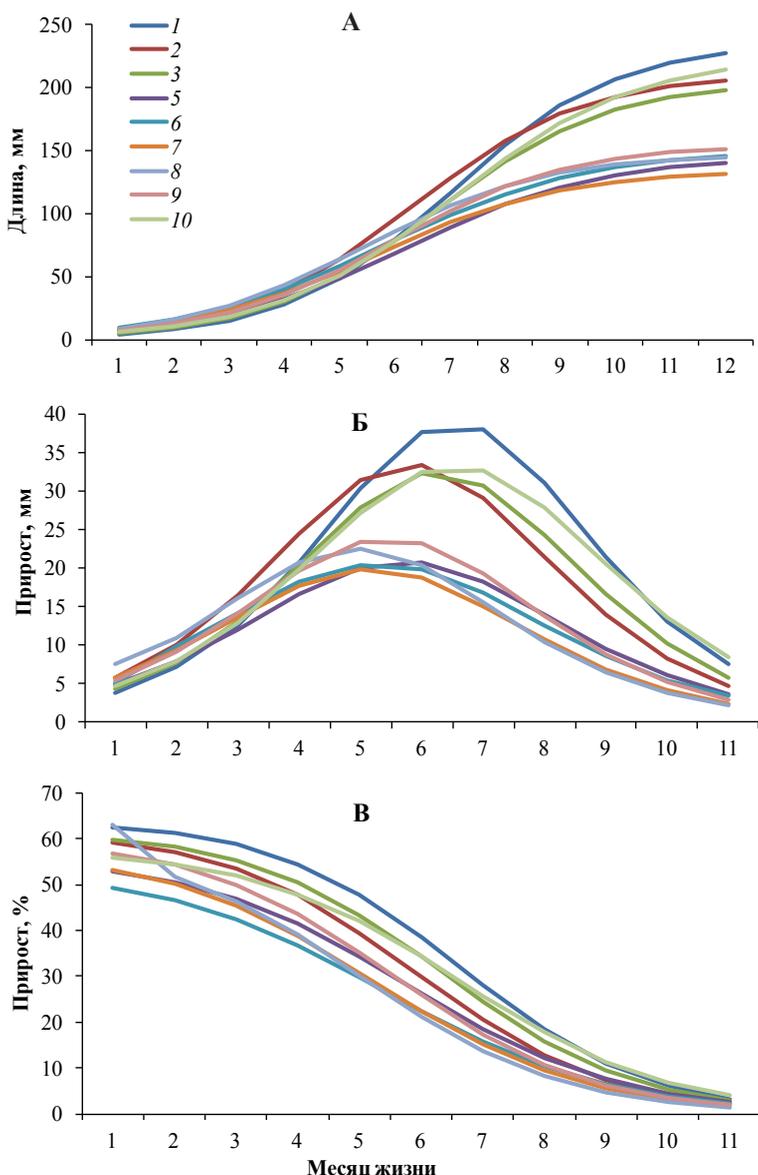


Рис. 5. Линейный рост трески на первом году жизни (А), абсолютные (Б) и относительные (В) приросты. Нумерация как на рис. 4

Fig. 5. Linear growth of pacific cod in the first year of life (А) and absolute (Б) and relative (В) increments of the body length. The areas numbers as for Figure 4

высокие показатели линейного роста. В итоге длина годовиков в южных районах составляет 20 см и более, тогда как годовалые особи из северной части ареала достигают в среднем 13–14 см. Максимальные абсолютные приросты у последних наблюдаются в течение четвертого-шестого месяцев жизни, а у трески, обитающей южнее, на пятом-седьмом месяцах. Однако если расположить кривые роста в соответствии со сроками нереста и выклева личинок, то наибольшие абсолютные приросты у трески повсеместно приурочены к наиболее теплому периоду года (июль-сентябрь). В относительном выражении интенсивный рост приходится на первые полгода, когда ежемесячные приращения составляют 60–30 % длины. При этом динамика относительных приростов сходна во всех районах (плавное снижение от начала года к концу), а их величина у рыб из южных районов в среднем на 5–10 % больше в течение первых 8 мес. жизни.

Весовой рост. Информация о весовых характеристиках трески в течение первого года жизни крайне немногочисленна. Средняя масса выклюнувшихся предличинок, измеренная в итоге экспериментов по инкубации икры, составляла 0,17 мг [Буслов и др., 2010]. Известно, что в зал. Муцу мальки трески длиной 40 мм имеют массу около 0,5 г, а длиной 70 мм — 2,9 г. Зависимость «длина–масса» для молоди этого размерного диапазона описывается степенной функцией [Takatsu, 2008].

В условиях искусственного выращивания треска длиной 8 см набирала массу 3–4 г, а через 7 мес. при длине 18 см — 57 г [Seo et al., 2007]. Близкие весовые характеристики наблюдались и в другом эксперименте, где в течение 6 мес. масса и длина изменялись следующим образом: 8 см — 4 г; 10 см — 6; 11 см — 9; 13 см — 20; 17 см — 41 г (личное сообщение Бюн Сун Гю).

В зал. Петра Великого, по нашим данным, при длине 9 см мальки трески имели среднюю массу 10 г, а молодь длиной 17–19 см весила 40–70 г. У юго-восточного побережья Камчатки при аналогичной длине масса особей варьировала в близком диапазоне — 46–76 г. Известно также, что у побережья северных Курильских островов масса сеголеток трески длиной 11–14 см составляет 11–16 г [Полтев, Виноградов, 2004]. Вышеприведенные данные позволяют построить зависимость массы трески от длины на первом году жизни, которая удовлетворительно ($R^2 = 0,998$) описывается степенной функцией $W = 0,006L^{3,098}$, где W и L — соответственно масса (г) и длина (см) (рис. 6).

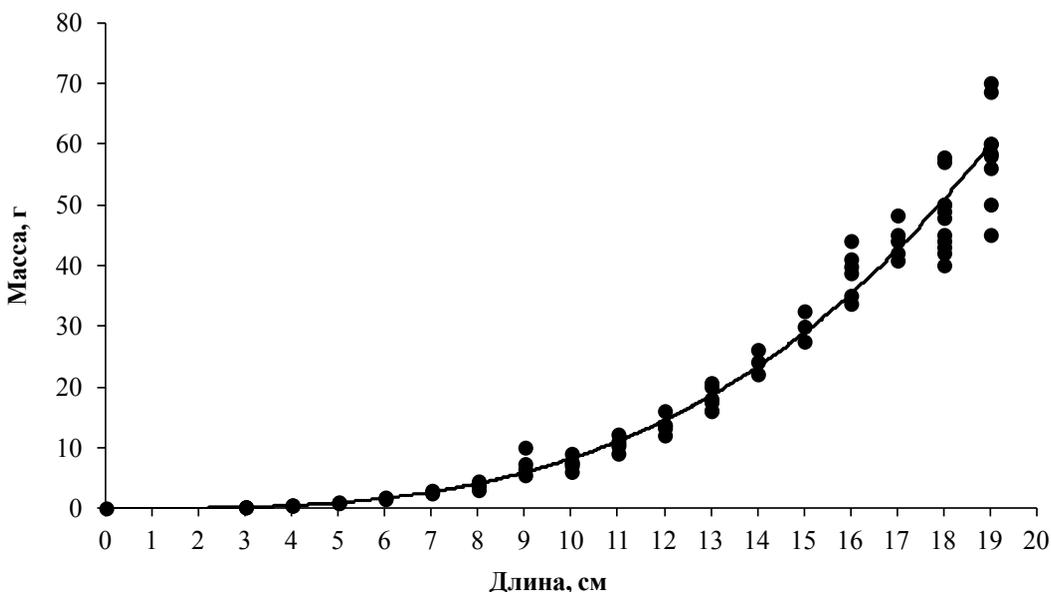


Рис. 6. Зависимость массы тела трески от длины на первом году жизни
 Fig. 6. Body weight dependence on body length for pacific cod in the first year of life

Как видно на рис. 6, кривая имеет типичную для большинства рыб форму, когда увеличение массы пропорционально кубу длины с «коэффициентом формы» [Яржомбек, 2011]. Можно полагать, что такая зависимость будет характерна для трески во всех районах ее обитания. Это позволяет реконструировать весовой рост трески в соответствии с логистическими уравнениями «возраст–длина», рассчитанными для разных районов (рис. 7).

Моделирование весового роста трески свидетельствует о том, что на первом году жизни в южных районах она набирает массу значительно интенсивнее, чем в северных. Если в водах Южной Кореи, Японии, южных Курильских островов и Британской Колумбии масса годовиков составляет 69–90 г, то в остальных районах колеблется в пределах 18–27 г. Основное преимущество в весовом росте молодь трески из южных

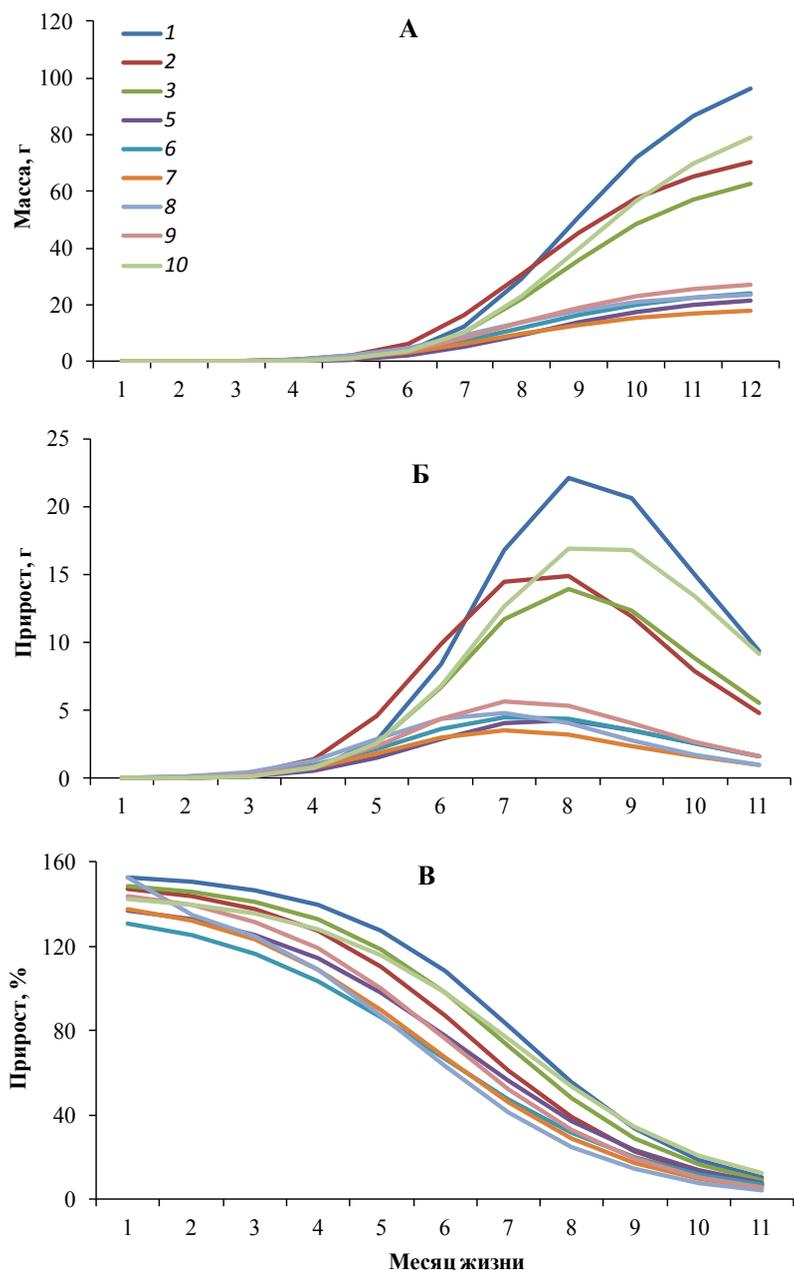


Рис. 7. Весовой рост трески на первом году жизни (А), абсолютные (Б) и относительные (В) приросты. Нумерация как на рис. 4

Fig. 7. Weight growth of pacific cod in the first year of life (A) and absolute (Б) and relative (В) increments of the body weight. The areas numbers as for Figure 4

районов получает во второй половине года, когда абсолютные месячные приросты достигают 10–20 г, что в 2–3 раза выше, чем в северных районах. Максимальные абсолютные приросты у последних наблюдаются в течение шестого-восьмого месяцев жизни, а у трески, обитающей южнее, на седьмом-девятом месяцах. В относительном выражении наиболее интенсивный весовой рост приходится на первые полгода. В этот период масса молоди ежемесячно увеличивается в 2,0–2,5 раза во всех районах, после чего происходит резкое снижение темпа роста. Однако относительные приросты у молоди трески из южных районов в среднем на 15 % больше, чем из северных.

Заключение

Обобщив оценки моделирования, можно в усредненном виде охарактеризовать рост трески на первом году жизни в пределах ареала (рис. 8). Наиболее интенсивный линейный рост происходит в первые три месяца жизни, когда длина личинок и мальков увеличивается примерно на 50 % ежемесячно. Это вполне соотносится с наблюдениями в искусственных условиях, которые показали, что в течение первых 100 дней жизни длина личинок, а затем мальков возрастала экспоненциально. К осени и зиме относительные приросты снижаются. В абсолютном выражении приращения длины нарастают в первую половину года, достигая пика к середине фенологического года, который, как отмечалось выше, приурочен ко второй половине лета — первой половине осени. В этот период длина рыб увеличивается на 25–30 мм в месяц. В оставшуюся часть года значения абсолютных приростов снижаются. Таким образом, за первую весну к началу лета треска в среднем достигает длины 5 см, к осени она вырастает еще на 7–8 см, за осень и зиму длина увеличивается на 3–4 см.

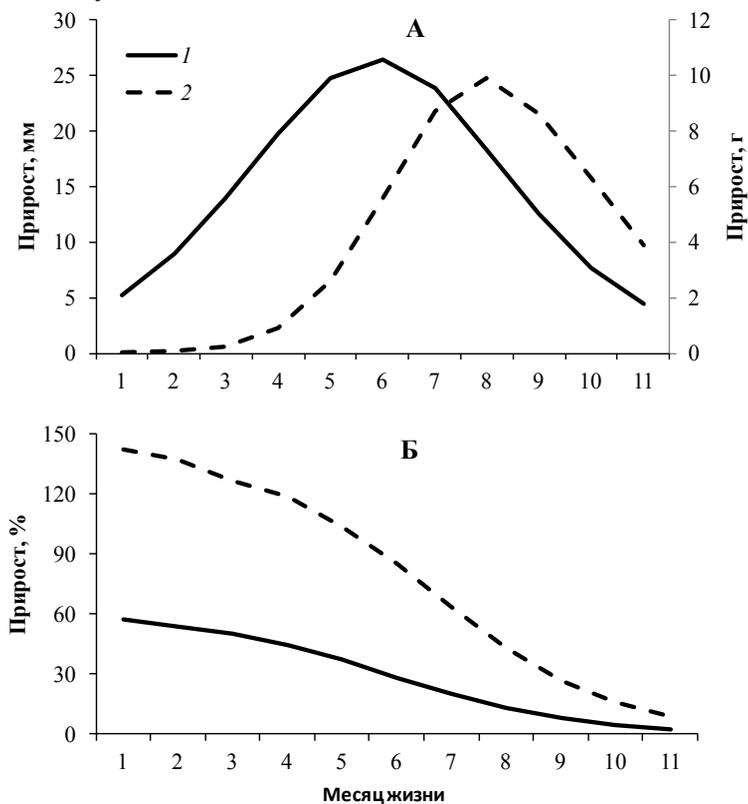


Рис. 8. Осредненные показатели линейного (1) и весового (2) роста тихоокеанской трески на первом году жизни: А — абсолютные приросты; Б — относительные приросты

Fig. 8. Average values of linear growth (1) and weight growth (2) for pacific cod in the first year of life: А — absolute increments; Б — relative increments

Характер весового роста заметно отличается от линейного. В течение первого полугодия у молоди трески весовой рост наиболее интенсивен и значительно превосходит линейный. За этот период ее масса ежемесячно увеличивается двукратно. Величина относительных приростов постепенно уменьшается от первого месяца жизни к шестому, после чего при достижении массы около 4 г относительный темп весового роста резко снижается, при этом существенно увеличиваются абсолютные приросты. Максимальные приращения массы (8–10 г) приходятся на седьмой-девятый месяцы жизни трески, когда рыбы достигают длины более 10 см. За этот короткий промежуток треска набирает 58 % массы первого года жизни. Следует также отме-

тить, что пики линейных и весовых приростов не совпадают по времени и смещены примерно на 2 мес. относительно друг друга. Обобщенно можно констатировать, что максимальные приращения длины приурочены к июлю-сентябрю (к 6 мес. жизни), а массы — к августу-сентябрю (к 8 мес. жизни).

Благодарности

Авторы глубоко признательны сотруднику Научно-исследовательского центра марикультуры Восточного моря (Республика Корея) Бюн Сун-Гю (Soon-Gyu) за предоставленную при личной встрече информацию о росте молоди трески в экспериментах по ее воспроизводству и содержанию.

Финансирование работы

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Соблюдение этических стандартов

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

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Информация о вкладе авторов

А.В. Буслов — концепция исследования; написание исходного текста; итоговые выводы. С.Л. Овсянникова — участие в реализации концепции исследования; доработка текста; итоговые выводы.

Список литературы

- Архипов А.Г.** Применение результатов изучения раннего онтогенеза морских промысловых рыб в рыбохозяйственной деятельности // Тр. ВНИРО. — 2015. — Т. 156. — С. 16–37.
- Балыкин П.А., Сергеева Н.П., Балыкина Н.В.** Зимне-весенний ихтиопланктон восточной части Охотского моря // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2002. — Вып. 6. — С. 27–32.
- Булатов О.А.** Распределение икры и личинок тресковых (подсемейство Gadinae) в тихоокеанских водах Камчатки и западной части Берингова моря // Тресковые дальневосточных морей. — Владивосток : ТИНРО, 1986. — С. 89–101.
- Буслов А.В.** Рост минтая и размерно-возрастная структура его популяций : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2005. — 224 с.
- 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.** Размножение и развитие минтая // Тр. ИОАН СССР. — 1954. — Т. 11. — С. 132–195.
- Дехник Т.В., Серебряков В.П., Соин С.Г.** Значение ранних стадий развития рыб в формировании численности поколений // Теория формирования численности и рационального использования стад промысловых рыб. — М. : Наука, 1985. — С. 56–72.
- Зайцев Г.Н.** Математическая статистика в экспериментальной ботанике : моногр. — М. : Наука, 1984. — 424 с.
- Максименков В.В.** Питание и пищевые отношения молоди рыб, обитающих в эстуариях рек и побережье Камчатки : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2007. — 278 с.
- Мина М.В., Клевезаль Г.А.** Рост животных: анализ на уровне организма : моногр. — М. : Наука, 1976. — 291 с.
- Моисеев П.А.** Треска и камбалы дальневосточных морей : Изв. ТИНРО. — 1953. — Т. 40. — 288 с.

Мухачева В.А., Звягина О.А. Развитие тихоокеанской трески *Gadus morhua macrocephalus* Tilesius // Тр. ИОАН СССР. — 1960. — Т. 31. — С. 145–165.

Полтев Ю.Н., Виноградов С.А. Некоторые вопросы, связанные с зараженностью сеголеток тихоокеанской трески (*Gadus macrocephalus*) северокурильских вод копеподой *Naemobaphes diceraus* (Copepoda: Pennellidae) // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Тр. СахНИРО. — 2004. — Т. 6. — С. 301–304.

Полтев Ю.Н., Немчинова И.А. К вопросу об условиях обитания и питания сеголеток трески в водах северных Курильских островов // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Тр. СахНИРО. — 2006. — Т. 8. — С. 267–271.

Рикер У.Е. Количественные показатели и модели роста рыб // Биоэнергетика и рост рыб. — М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1983. — С. 346–402.

Савин А.Б. Нерестилища тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* в северо-западной части Тихого океана // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 187. — С. 48–71. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-48-71.

Тихоокеанская треска дальневосточных вод России : моногр. / под ред. А.М. Орлова. — М. : ВНИРО, 2013. — 320 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.

Яржомбек А.А. Закономерности роста промысловых рыб : моногр. — М. : ВНИРО, 2011. — 182 с.

Bakkala R.G. Pacific cod of the eastern Bering Sea // Int. North Pac. Fish. Comm. Bull. — 1984. — Vol. 42. — P. 157–179.

Blackburn J. Observation on the growth of Pacific cod in the Kodiak area // Int. North Pac. Fish. Comm. Bull. — 1984. — Vol. 42. — P. 152–156.

Brown E.S., Rose C.S., Cummings N.J. Information on Pacific cod from winter research trawl surveys in the Kodiak Island region, 1977–81 // Int. North Pac. Fish. Comm. Bull. — 1984. — Vol. 42. — P. 130–151.

Campana S.E., Hurley P.C.F. An age- and temperature-mediated growth model for cod (*Gadus morhua*) and caddock (*Melanogrammus aeglefinus*) larvae in the Gulf of Maine // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1989. — Vol. 46, № 4. — P. 603–613.

Early Life History and Recruitment in Fish Populations / eds R.C. Chambers, E.A. Trippel. — L. : Chapman & Hall, 1997. — 596 p.

Forrester C.R. Laboratory observations on embryonic development and larvae of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus* Tilesius) // J. Fish. Res. Board Can. — 1964. — Vol. 21, № 1. — P. 9–16. DOI: 10.1139/f64-002.

Hurst T.P., Cooper D.W., Scheingross J.S. et al. Effects of ontogeny, temperature, and light on vertical movements of larval Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) // Fish. Oceanogr. — 2009. — Vol. 18, № 5. — P. 301–311.

Hurst T.P., Laurel B.J., Ciannelli L. Ontogenetic patterns and temperature-dependent growth rates in early life stages of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) // Fish. Bull. — 2010. — Vol. 108. — P. 382–392.

Ketchen K.S. Observations on the ecology of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Canadian waters // J. Fish. Res. Board Can. — 1961. — Vol. 18, № 4. — P. 513–558.

Ketchen K.S. Preliminary results of studies on growth and mortality of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Hecate Strait, British Columbia // J. Fish. Res. Board Can. — 1964. — Vol. 21, № 5. — P. 1051–1067.

Laurel B.J., Hurst T.P., Copeman L.A., Davis M.W. The role of temperature on the growth and survival of early and late hatching Pacific cod larvae (*Gadus macrocephalus*) // J. Plankt. Res. — 2008. — Vol. 30, № 9. — P. 1051–1060.

Miller J.A., DiMaria R.A., Hurst T.P. Patterns of larval source distribution and mixing in early life stages of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the southeastern Bering Sea // Deep-Sea Res. II. — 2016. — Vol. 134. — P. 270–282. DOI: 10.1016/j.dsr2.2014.12.012.

Mishima S. Stock assessment and biological aspects of Pacific cod (*Gadus macrocephalus* Tilesius) in Japanese waters // Int. North Pac. Fish. Comm. Bull. — 1984. — Vol. 42. — P. 180–188.

Narimatsu Y., Hattori T., Ueda Y. et al. Somatic growth and otolith microstructure of larval and juvenile Pacific cod *Gadus macrocephalus* // Fish. Sci. — 2007. — Vol. 73, № 6. — P. 1257–1264.

Park D.W. Studies on mass seedling production of Pacific cod *Gadus macrocephalus* (in Korean). — Pukyong National University, 2008. — 144 p.

Park J., Kim P.K. The effects of water temperature on growth performance and hematology of Pacific cod *Gadus macrocephalus* reared in land-based culture tanks // Fish. Sci. — 2016. — Vol. 82, № 6. — P. 953–960. DOI: 10.1007/s12562-016-1020-x.

Seo Y.S., Park M.E., Kim J.G., Lee S.U. Egg development and juvenile growth of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* (Korean East Sea population) // Kor. J. Fish. Aquat. Sci. — 2007. — Vol. 40, Iss. 6. — P. 380–386. DOI: 10.5657/kfas.2007.40.6.380.

Takatsu T. Early life history and population fluctuation of Pacific cod in Mutsu Bay // Intern. Symp. on Stock Enhancement and Fisheries Management of Pacific Cod. — Geoje : Gyeongsang National University, 2008. — Vol. 14. — P. 64–79.

Takatsu T., Nakatani T., Mutoh T., Takahashi T. Feeding habits of Pacific cod larvae and juveniles in Mutsu Bay, Japan // Fish. Sci. — 1995. — Vol. 61, № 3. — P. 415–422.

Takatsu T., Yoshida Y., Kooka K. et al. Spatial and temporal distribution of Pacific Cod *Gadus macrocephalus* juveniles in Mutsu Bay, Japan // Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr. — 2001. — Vol. 65, № 1. — P. 6–14.

Tezuka N. Present state on Sea-Farming of pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Notojima Station // Intern. Symp. on Stock Enhancement and Fisheries Management of Pacific Cod. — Geoje : Gyeongsang National University, 2008. — Vol. 14. — P. 80–96.

Zhang Ch.I. Pacific cod of South Korean waters // Int. North Pac. Fish. Comm. Bull. — 1984. — Vol. 42. — P. 116–129.

References

Arkhipov, A.G., Application of Study Results of the Commercial Pelagic Fish Early Ontogeny in Fisheries Management, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 156, pp. 16–37.

Balykin, P.A., Sergeeva, N.P., and Balykina, N.V., Winter-spring ichthyoplankton in the eastern part of the Sea of Okhotsk, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2002, vol. 6, pp. 27–32.

Bulatov, O.A., Distribution of eggs and larvae of *Gadus* (subfamily Gadinae) in the Pacific coast of Kamchatka and western Bering Sea, in *Treskovyye dal'nevostochnykh morey* (Gadidae of the Far Eastern Seas), Vladivostok: TINRO, 1986, pp. 89–101.

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

Buslov, A.V. and 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., Reproduction and development of pollock, *Tr. Inst. Okeanol. im. P. P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1954, vol. 11, pp. 132–195.

Dekhnik, T.V., Serebryakov, V.P., and Soin, S.G., The importance of the early stages of fish development in the formation of the number of generations, *Teoriya formirovaniya chislennosti i ratsional'no go ispol'zovaniya stad promyslovykh ryb* (Theory of the formation of the number and rational use of commercial fish stocks), Moscow: Nauka, 1985, pp. 56–72.

Zaitsev, G.N., *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* (Mathematical statistics in experimental botany), Moscow: Nauka, 1984.

Maksimenkov, V.V., *Pitaniye i pishchevyye otnosheniya molodi ryb, obitayushchikh v estuariyakh rek i pribrezh'ye Kamchatki* (Nutrition and nutritional relationships of juvenile fish living in estuaries of rivers and the coast of Kamchatka), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2007.

Mina, M.V. and Klevezal', G.A., *Rost zhivotnykh: analiz na urovne organizma* (Animal Growth: An Analysis on the Level of Organism), Moscow: Nauka, 1976.

Moiseev, P.A., Cod and flounders of the Far Eastern seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1953, vol. 40.

- 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.
- Poltev, Yu.N. and Vinogradov, S.A.**, Some questions connected with infestation of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) fingerlings from the northern Kuril waters by the copepod *Haemobaphes diceraus* (Copepoda: Pennellidae), in *Biologiya, sostoyaniye zapasov i usloviya obitaniya gidrobiontov v Sakhalino-Kuril'skom regione i sopedel'nykh akvatoriyakh* (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.*, 2004, vol. 6, pp. 301–304.
- Poltev, Yu.N. and Nemchinova, I.A.**, Habitat conditions and feeding of cod fingerlings in waters of the northern Kuril Islands, in *Biologiya, sostoyaniye zapasov i usloviya obitaniya gidrobiontov v Sakhalino-Kuril'skom regione i sopedel'nykh akvatoriyakh* (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.*, 2006, vol. 8, pp. 267–271.
- Ricker, W.E.**, Quantitative indicators and models of fish growth, in *Fish Physiology*, vol. 8: *Bioenergetics and Growth*, Hoar, W.S., Randall, D.J., Brett, J.R., Eds., New York: Academic Press, 1979, vol. 10.
- Savin, A.B.**, Spawning grounds of pacific cod *Gadus macrocephalus* in the North-West Pacific, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 187, pp. 48–71. doi 10.26428/1606-9919-2016-187-48-71
- Tikhookeanskaya treska dal'nevostochnykh vod Rossii* (Pacific cod of the Far Eastern waters of Russia), Orlov A.M., ed., Moscow: VNIRO, 2013.
- 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
- Yarzhombek, A.A.**, Zakonomernosti rosta promyslovykh ryb (Regularities of growth of commercial fish), Moscow: VNIRO, 2011.
- Bakkala, R.G.**, Pacific cod of the eastern Bering Sea, *Int. North Pac. Fish. Comm. Bull.*, 1984, vol. 42, pp. 157–179.
- Blackburn, J.**, Observation on the growth of Pacific cod in the Kodiak area, *Int. North Pac. Fish. Comm. Bull.*, 1984, vol. 42, pp. 152–156.
- Brown, E.S., Rose, C.S., and Cummings, N.J.**, Information on Pacific cod from winter research trawl surveys in the Kodiak Island region, 1977–81, *Int. North Pac. Fish. Comm. Bull.*, 1984, vol. 42, pp. 130–151.
- Campana, S.E. and Hurley P.C.F.**, An age- and temperature-mediated growth model for cod (*Cadus rnorhua*) and caddock (*Melanogramrnus aeglefinus*) larvae in the Gulf of Maine, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1989, vol. 46, no. 4, pp. 603–613.
- Early Life History and Recruitment in Fish Populations*, Chambers, R.C., Trippel, E.A., eds, L.: Chapman & Hall, 1997.
- Forrester, C.R.**, Laboratory observations on embryonic development and larvae of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus* Tilesius), *J. Fish. Res. Board Can.*, 1964, vol. 21, no. 1, pp. 9–16. doi 10.1139/f64-002
- Hurst, T.P., Cooper, D.W., Scheingross, J.S., Seale, E.M., Laurel, B.J., and Spencer, M.L.**, Effects of ontogeny, temperature, and light on vertical movements of larval Pacific cod (*Gadus macrocephalus*), *Fish. Oceanogr.*, 2009, vol. 18, no. 5, pp. 301–311.
- Hurst, T.P., Laurel, B.J., and Ciannelli, L.**, Ontogenetic patterns and temperature-dependence of growth in early life stages of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*), *Fish. Bull.*, 2010, vol. 108, pp. 382–392.
- Ketchen, K.S.**, Observations on the ecology of the Pacific Cod (*Gadus macrocephalus*) in Canadian waters, *J. Fish. Res. Board Can.*, 1961, vol. 18, no. 4, pp. 513–558.
- Ketchen, K.S.**, Preliminary results of studies on a growth and mortality of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Hecate Strait, British Columbia, *J. Fish. Res. Board Can.*, 1964, vol. 21, no. 5, pp. 1051–1067.
- Laurel, B.J., Hurst, T.P., Copeman, L.A., and Davis, M.W.**, The role of temperature on the growth and survival of early and late hatching Pacific cod larvae (*Gadus macrocephalus*), *J. Plankt. Res.*, 2008, vol. 30, no. 9, pp. 1051–1060.
- Miller, J.A., DiMaria, R.A., and Hurst, T.P.**, Patterns of larval source distribution and mixing in early life stages of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the southeastern Bering Sea, *Deep-Sea Res. Part II*, 2016, vol. 134, pp. 270–282. doi 10.1016/j.dsr2.2014.12.012
- Mishima, S.**, Stock assessment and biological aspects of Pacific cod (*Gadus macrocephalus* Tilesius) in Japanese waters, *Int. North Pac. Fish. Comm. Bull.*, 1984, vol. 42, pp. 180–188.

Narimatsu, Y., Hattori, T., Ueda, Y., Matsuzaka, H., and Shiogaki, M., Somatic growth and otolith microstructure of larval and juvenile Pacific cod *Gadus macrocephalus*, *Fish. Sci.*, 2007, vol. 73, no. 6, pp. 1257–1264.

Park, D.W., Studies on mass seedling production of Pacific cod *Gadus macrocephalus* (in Korean), Pukyong National University, 2008.

Park, J. and Kim, P.K., The effects of water temperature on growth performance and hematology of Pacific cod *Gadus macrocephalus* reared in land-based culture tanks, *Fish. Sci.*, 2016, vol. 82, no. 6, pp. 953–960. doi 10.1007/s12562-016-1020-x

Seo, Y.S., Park, M.E., Kim, J.G., and Lee S.U., Egg development and juvenile growth of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* (Korean East Sea population), *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2007, vol. 40, no. 6, pp. 380–386. doi 10.5657/kfas.2007.40.6.380

Takatsu, T., Early life history and population fluctuation of Pacific cod in Mutsu Bay, *Intern. Symp. on Stock Enhancement and Fisheries Management of Pacific Cod*, Geoje: Gyeongsang National University, 2008, vol. 14, pp. 64–79.

Takatsu, T., Nakatani, T., Mutoh, T., and Takahashi, T., Feeding habits of Pacific cod larvae and juveniles in Mutsu Bay, Japan, *Fish. Sci.*, 1995, vol. 61, pp. 415–422.

Takatsu, T., Yoshida, Y., Kooka, K., Sugimoto, K., and Takahashi, T., Spatial and temporal distribution of Pacific Cod *Gadus macrocephalus* juveniles in Mutsu Bay, Japan, *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.*, 2001, vol. 65, no. 1, pp. 6–14.

Tezuka, N., Present state on Sea-Farming of pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Notojima Station, *Intern. Symp. on Stock Enhancement and Fisheries Management of Pacific Cod*, Geoje: Gyeongsang National University, 2008, vol. 14, pp. 80–96.

Zhang, Ch.I., Pacific cod of South Korean waters, *Intern. North Pac. Fish. Comm. Bull.*, 1984, vol. 42, pp. 116–129.

International Symposium on Stock Enhancement and Fisheries Management of Pacific Cod, Geoje: Gyeongsang National University, 2008, vol. 14.

Поступила в редакцию 6.09.2021 г.

После доработки 14.10.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

УДК 597–19(265.54)

Л.Н. Ким¹, Д.М. Ким^{2*}¹ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;² Приморское территориальное управление Росрыболовства,
690033, г. Владивосток, ул. Петра Великого, 2

СРЕДНЕМНОГОЛЕТНИЕ ДАННЫЕ ПО БИОМАССЕ И СОСТАВУ ВИДОВ РЫБ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ГЛУБИН ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Проведено ранжирование по глубинам менее 50 м, 50–100 и 100–200 м по 10 первым по биомассе видам. На глубинах менее 50 м во всех районах в число доминирующих видов входит японская камбала *Pseudopleuronectes yokohamae*. На глубинах 50–100 и 100–200 м она, будучи сублиторальным видом, отсутствует. Южный одноперый терпуг *Pleurogrammus azonus*, имеющий в целом по заливу самую высокую среднеголетнюю биомассу, распределяется по глубинам крайне неравномерно: от 1,2 до 30,6 % (глубины менее 50 м), от 8,1 до 34,3 (50–100 м) и от 0,7 до 43,7 % (100–200 м). Навага *Eleginus gracilis* обитает повсеместно, ее среднеголетние биомассы занимают в 3 диапазонах глубин от 1,1 до 6,1 %, от 5,2 до 9,9 и от 2,5 до 6,8 %. На глубинах менее 50 м самые высокие плотности концентраций рыб наблюдаются во 2-м (Средне-Амурском) и 4-м (Средне-Уссурийском) районах. Они слагались из биомасс японской камбалы (25,0 %) и красноперки (26,0 %) во 2-м районе и южного одноперого терпуга (30,6 %) и японской камбалы (16,1 %) — в 4-м. Плотность концентраций японской камбалы как доминирующего вида на рассматриваемых глубинах устойчиво высокая: от 15,8 до 25,0 %. На глубинах 50–100 м максимальная плотность концентраций рыб отмечается также в 4-м районе. Основу биомасс составляют южный одноперый терпуг (13,4 %) и минтай (14,4 %). На глубинах 100–200 м в районах 6 (Посьетском) и 7 (Центральном) отмечаются плотности концентраций рыб, основу которых составляют соответственно по каждому району шлемоносец охотский (32,1 %) и колючая камбала (15,6 %), южный одноперый терпуг (43,7 %) и шлемоносец охотский (9,0 %). В западных районах залива среднеголетние биомассы рыб в сумме гораздо ниже, чем в восточных, где находятся высокопродуктивные районы — 4-й и 7-й.

Ключевые слова: среднеголетняя биомасса рыб, плотность концентраций, ранжирование рыб, диапазон глубин, залив Петра Великого.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-866-878.

Kim L.N., Kim D.M. Long-term data on biomass and species composition of fish by depth ranges in Peter the Great Bay // *Izv. TINRO*. — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 866–878.

* Ким Лора Николаевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: kln07@mail.ru; Ким Денис Михайлович, заместитель руководителя, e-mail: kdm@bk.ru.

Kim Lora N., Ph.D., leading researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: kln07@mail.ru; Kim Denis M., deputy head, Primorsky Territorial Administration of the Russian Fishery Agency, 2, Peter the Great Str., Vladivostok, 690033, Russia, e-mail: kdm@bk.ru.

Species composition of fish in the bottom biotopes of Peter the Great Bay (Japan Sea) is considered for 8 biostatistical areas on the data of 2428 trawl catches obtained in 36 surveys conducted by Pacific Res. Inst. of Fisheries and Oceanography (TINRO) in 1978–2009. The main 10 species for the depth ranges 20–50 m, 50–100 m and 100–200 m are ranked by biomass. Japanese flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* had the 1st or 2nd rank at the depth < 50 m in all areas where it was 15.8–25.0 % of the total fish biomass, but was almost absent deeper, being a sublithoral species. Arabesque greenling *Pleurogrammus azonus* had the largest summary stock in the bay that was 6.8–30.6 % of the total fish biomass at the depths < 50 m, 8.1–34.3 % at 50–100 m, and 0.7–43.7 % at 100–200 m. Saffron cod *Eleginus gracilis* lived everywhere and had the 2nd–4th rank at the depths < 50 m (1.1–6.1 % of the total fish biomass), the 4th rank at 50–100 m (5.2–9.9 %), and 8th rank at 100–200 m (2.5–6.8 %). For the depths < 50 m, the densest distribution of fish was observed in the middle areas of the Amur Bay (25.0 % of Japanese flounder and 26.0 % of saffron cod) and Ussuri Bay (30.6 % of Arabesque greenling and 16.1 % of Japanese flounder), on average. At the depths 50–100 m the highest distribution density was in the middle Ussuri Bay, too, where walleye pollock (14.4 %) and Arabesque greenling (13.4 %) prevailed. At the depths 100–200 m, graypurple sculpin (32.1 %) and sea plaice (15.6 %) had the densest concentration in the Posyet Bay and Arabesque greenling (43.7 %) and graypurple sculpin (9.0 %) — in the central part of Peter the Great Bay. Generally, mean biomass of fish was lower in the western Peter the Great Bay than in its eastern part that included such high-productive areas, as the Ussuri Bay and the central Peter the Great Bay.

Key words: fish biomass, bottom biotope, distribution density, ranking, depth range, Peter the Great Bay.

Введение

Залив Петра Великого — район, с которого с начала прошлого столетия начались на Дальнем Востоке рыбохозяйственные исследования по оценке сырьевой базы тралового рыболовства. К настоящему времени собраны большие массивы данных по биологии и динамике запасов основных промысловых видов рыб, на основе которых осуществляется регулирование рыболовства [Гаврилов и др., 1988; Вдовин, 1998, 2005; Соломатов, Калчугин, 2013].

Расширение исследований пришлось на 1980-е гг., когда в заливе стали ежегодно вести учетные траловые съемки, во время которых уловы разбирались тотально, т.е. учитывались промысловые и непромысловые виды. Это позволило накопить количественную информацию, обобщить ее в самостоятельную базу данных и опубликовать в табличном каталоге, в котором уловы траловых съемок объединены по периодам лет, сезонам и глубинам [Макрофауна..., 2014]. Такой солидный объем материала позволил дать анализ состояния запасов рыб, рассмотреть динамику общей биомассы по периодам [Калчугин, 2021].

В работе Л.Н. Ким и Д.В. Измятинского [2021] по данным этого же табличного каталога [Макрофауна..., 2014] были рассмотрены среднегодовалые данные (1978–2009 гг.) по биомассам и доминирующим видам рыб в биотопах в 8 биостатистических районах залива. Оказалось, что самым массовым по средней биомассе является южный одноперый терпуг — 10,96 тыс. т, затем идут японская камбала — 7,75 и навага — 5,86 тыс. т.

Настоящая статья продолжает анализ состава доминирующих рыб в донных и придонных биотопах 8 биостатистических районов зал. Петра Великого. Цель работы — дать количественную оценку состава доминирующих видов рыб в разных диапазонах глубин.

Материалы и методы

Материалом для статьи послужили данные 2428 донных тралений, проведенных в 36 учетных съемках ТИНРО в 1978–2009 гг. в зал. Петра Великого [Макрофауна..., 2014]. Траления выполнялись по 8 биостатистическим районам (рис. 1) и трем диапазонам глубин (см. таблицу).

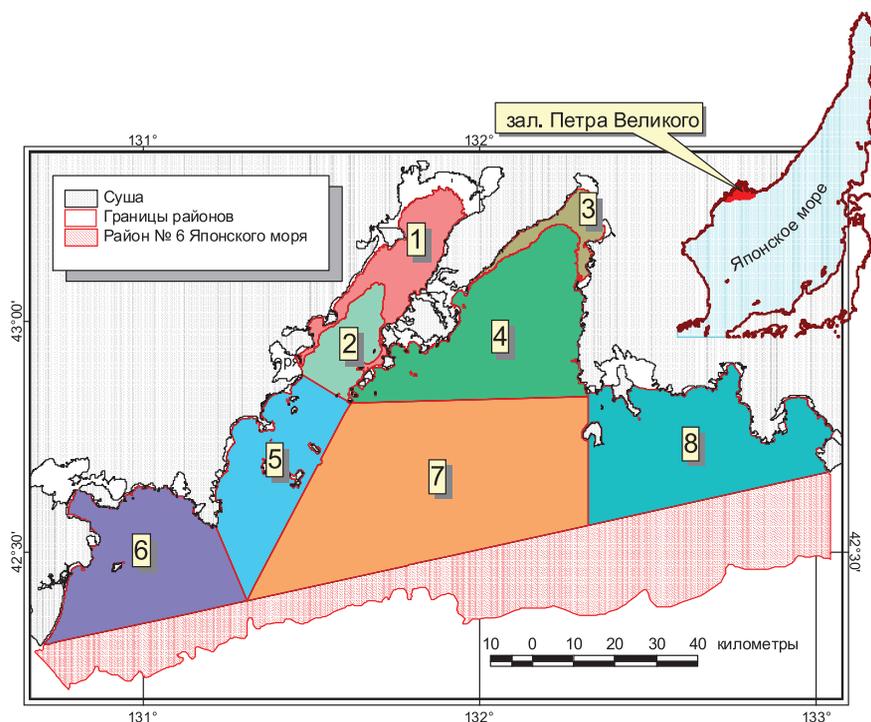


Рис. 1. Карта-схема зал. Петра Великого по биостатистическим районам: 1–8 — номера районов

Fig. 1. Scheme of biostatistical areas in Peter the Great Bay: figures in squares — numbers of the areas

Площадь поверхности дна в стандартных биостатистических районах зал. Петра Великого, тыс. км² [Макрофауна..., 2014]

Area of the bottom surface, 10³ km², by standard biostatistical areas in Peter the Great Bay [from: Mackrophaua..., 2014]

№ п/п	Район	Диапазон глубин, м			
		< 50	50–100	100–200	Всего
1	Северо-Амурский	0,4420	0	0	0,4420
2	Средне-Амурский	0,2948	0	0	0,2948
3	Северо-Уссурийский	0,1496	0	0	0,1496
4	Средне-Уссурийский	0,8455	0,4610	0	1,3065
5	Южно-Амурский	0,4355	0,3892	0,0057	0,8303
6	Посьетский	0,6075	0,4587	0,0357	1,1018
7	Центральный	0,0031	2,5044	0,1333	2,6408
8	Восточный	0,4993	0,8809	0	1,3802
	Сумма	3,2772	4,6941	0,1747	8,1459

Биомасса рыб (кг/км²) в каталоге рассчитана площадным методом [Аксютина, 1968] с учетом коэффициентов уловистости. Материал в статье представлен на рис. 2–4 по 3 диапазонам глубин (менее 50 м, 50–100 и 100–200 м), по каждому району, где такие глубины имеются, для всего периода лет (1978–2009 гг.) в процентах.

Проведено ранжирование гидробионтов по первым 10 видам в 8 биостатистических районах зал. Петра Великого (%) по глубинам. При ранжировании гидробионтов учитывались не только донные и придонные виды, но и пелагические. Последние могут рассматриваться как вполне «правомочные» члены в донных биотопах [Шунтов, Темных, 2018]. Для зал. Петра Великого такое ранжирование тем более уместно, так

как биомасса минтая в этом районе имеет заметную численность, а в открытых водах залива (районы 4, 7, 8) он находится на 2 месте: соответственно 1,26, 1,76 и 0,77 тыс. т по каждому району.

Результаты и их обсуждение

На глубинах менее 50 м во всех районах в число одного из доминирующих видов входит японская камбала. Доли ее среднеголетних биомасс значительны и составляют от 15,8 до 25,0 %. Причиной таких концентраций является то, что японская камбала нерестится на мелководных участках, в основном на глубинах 2–10 м. Нагуливается она в этих же районах на глубинах менее 50 м, с преобладающими илистыми, илисто-песчаными грунтами [Надточий и др., 2005], которые предпочтительны для червей — излюбленной пищи японской камбалы [Пушина, 1998]. Этот вид отсутствует только в районе 7, где глубины менее 50 м составляют ничтожно малую часть — 0,003 тыс. км² (см. таблицу).

Южный одноперый терпуг имеет субдоминирующее значение в районах 1 и 3 (1,6 и 1,2 %), в других районах (4, 6, 8) доля его биомасс довольно большая: соответственно 30,6 %, 12,0, 18,4 % (рис. 2).

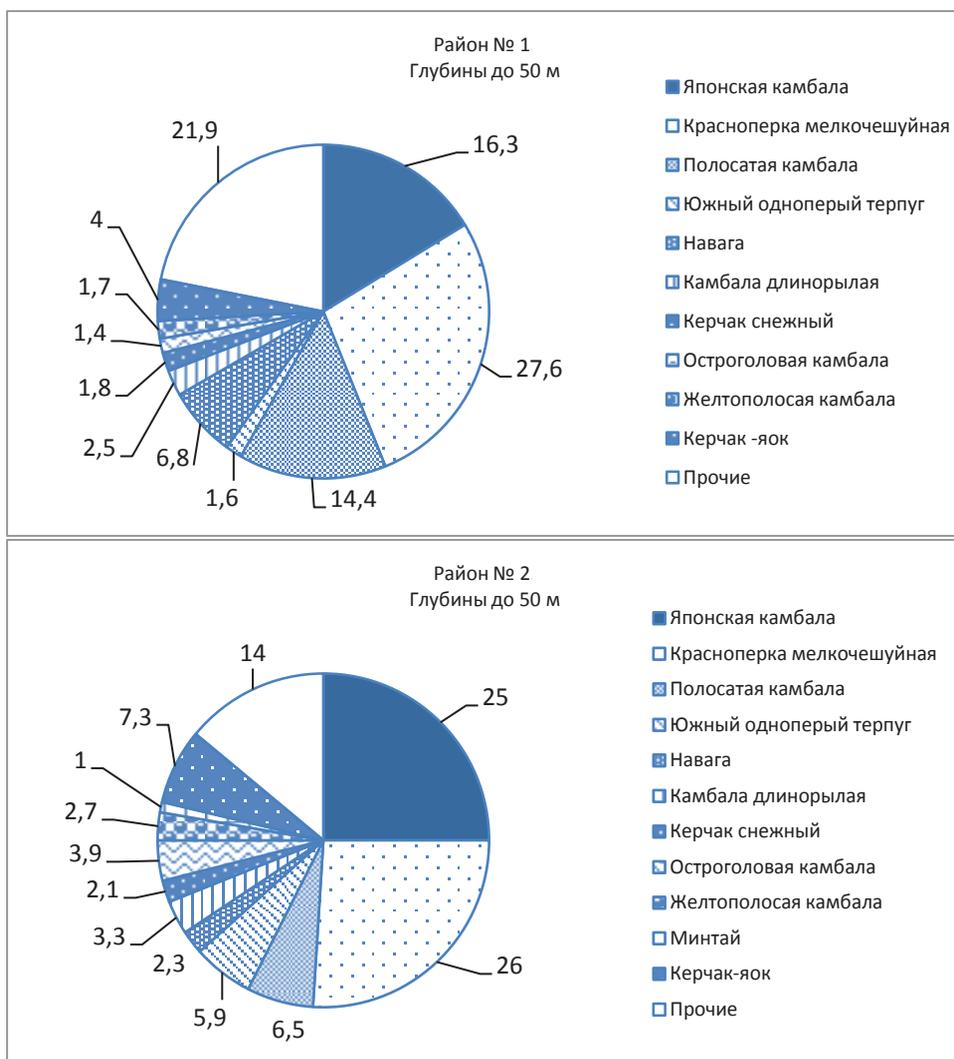


Рис. 2
Fig. 2

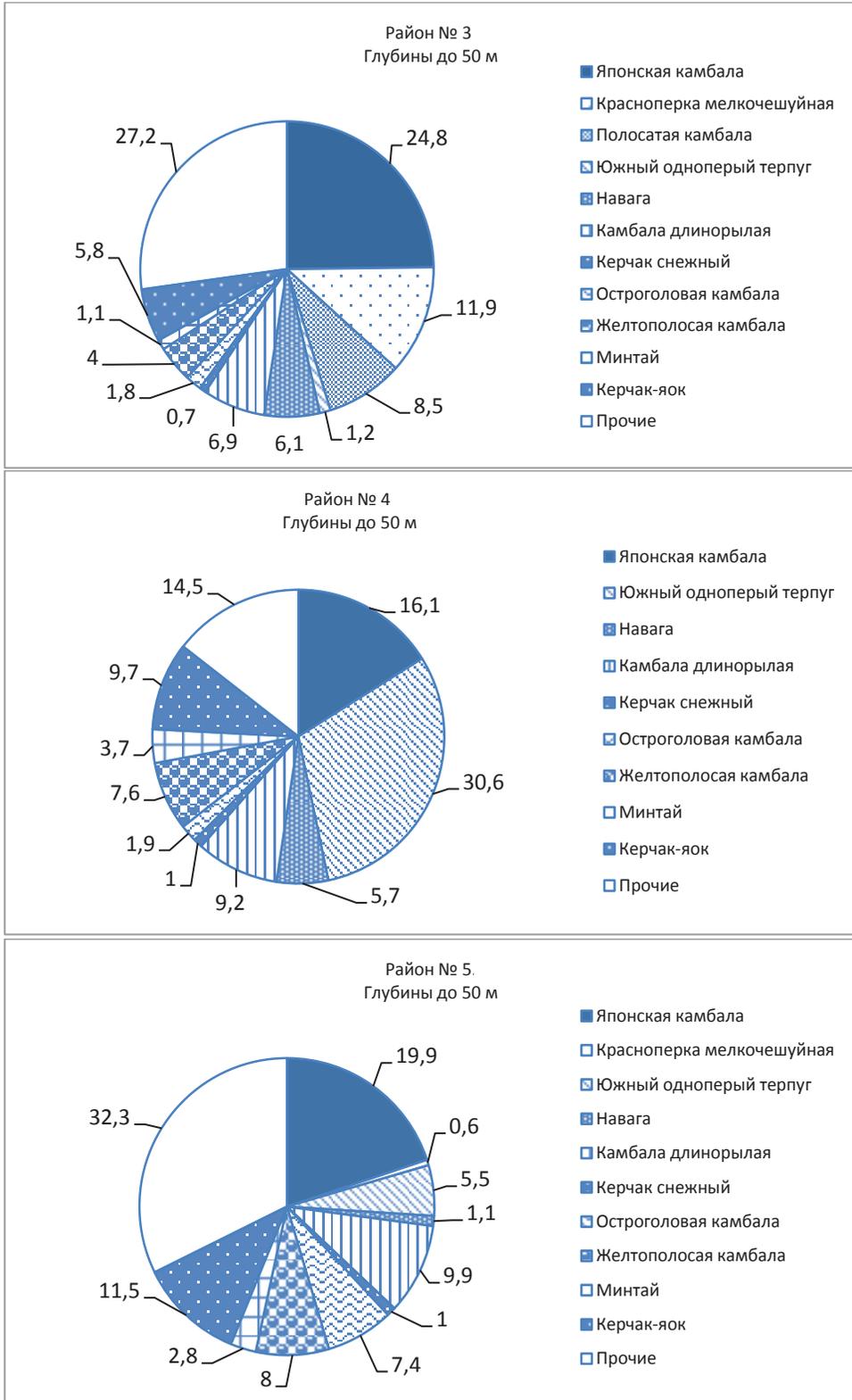


Рис. 2
Fig. 2

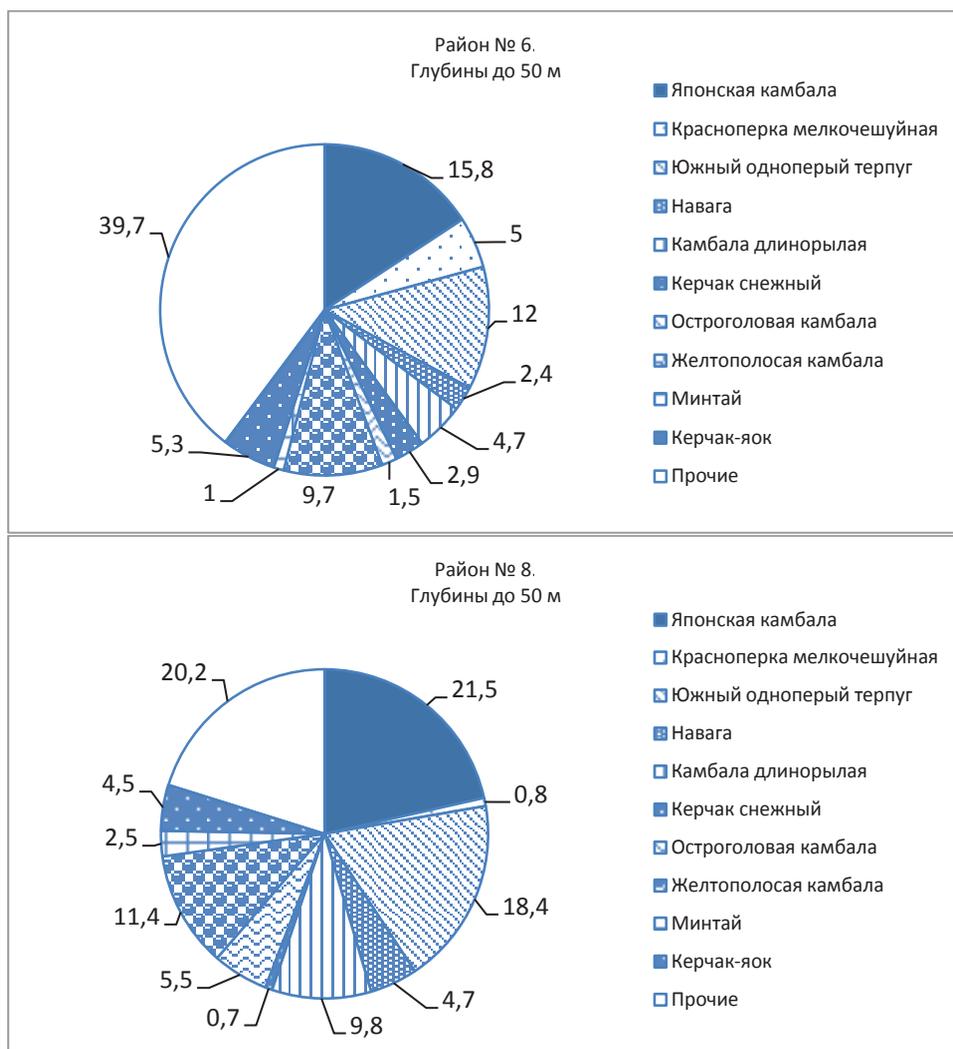


Рис. 2. Распределение первых по биомассе 10 видов рыб в районах с глубинами менее 50 м, %

Fig. 2. Distribution by biomass for the top-ten fish species in bottom biotopes at the depth < 50 m in Peter the Great Bay, %

Высокая доля среднеголетней биомассы (27,6 и 11,9 %) красноперки мелкочешуйной *Tribolodon brandti* хорошо прослеживается в двух приэстуарных районах (1 и 3), которые находятся под влиянием стоков больших рек (р. Раздольной — в районе 1 и рек Артемовка, Шкотовка, Суходол, Петровка — в районе 3). Как известно [Гавренков, 1998], жизненный цикл красноперки мелкочешуйной связан с пресными (нерест, зимовка) и с солоноватыми (нагул) водами, что и предопределяет высокие концентрации ее биомассы в эстуарных районах. В районах 1–3 на глубинах менее 50 м значительная плотность концентраций (соответственно 14,4 %, 6,5, 8,5 %) наблюдается и у полосатой камбалы *Liopsetta pinnifasciatus* как сублиторального вида, отдающего предпочтение этим биотопам. Здесь она занимает 3-е место в ряду 10 ранжированных видов рыб. В других районах (4–8), где влияние пресных вод и иных факторов (структура грунтов, температура воды и др.) невелико, полосатая камбала отсутствует.

Навага — один из видов, обитающих на глубинах менее 50 м во всех районах зал. Петра Великого, среднеголетние биомассы занимают от 1 до 10 %.

На глубинах 50–100 м (рис. 3) хорошо видно, что у южного одноперого терпуга доли среднегодовалых биомасс в районах 4–8 значительны и составляют от 8,1 до 34,3 %.

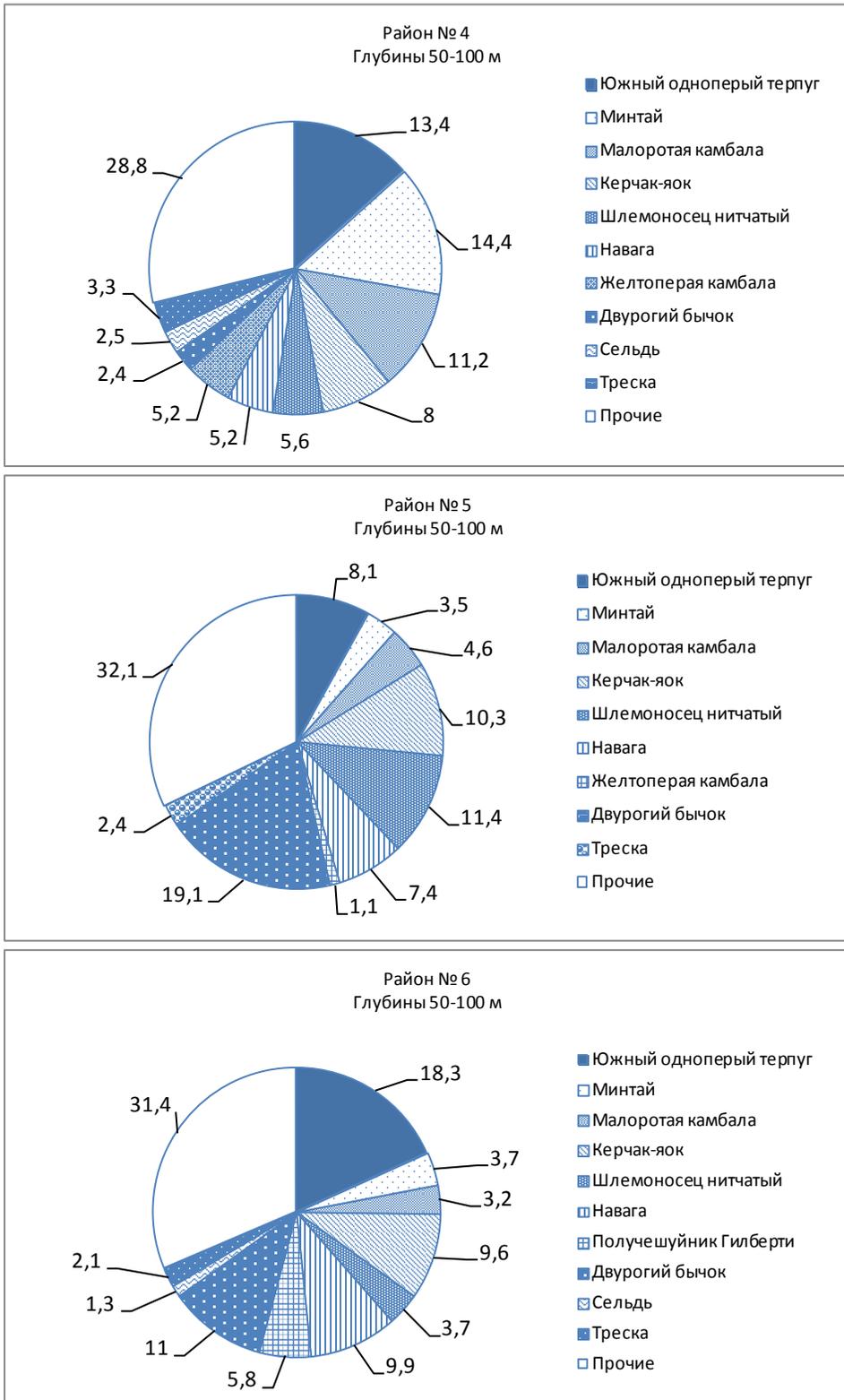


Рис. 3
Fig. 3

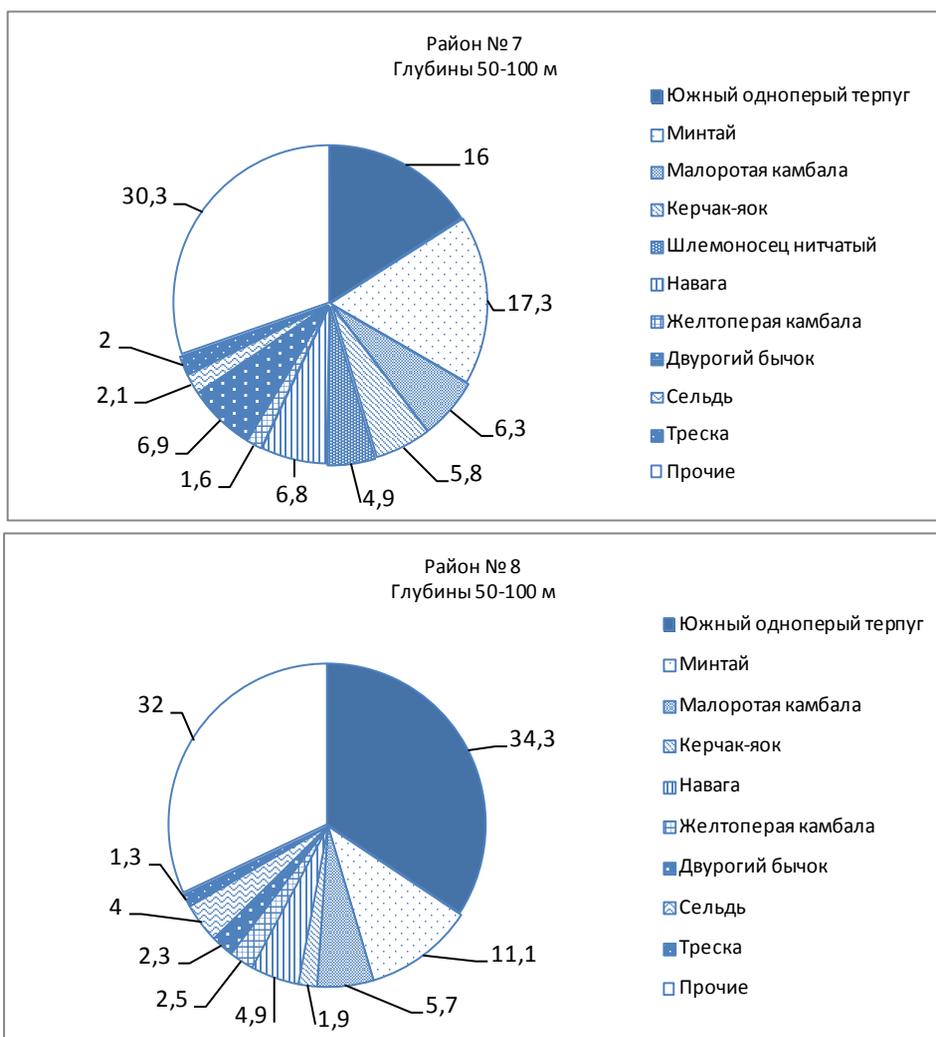


Рис. 3. Распределение по биомассе первых 10 видов рыб на глубинах 50–100 м, %

Fig. 3. Distribution by biomass for the top-ten fish species in bottom biotopes at the depth of 50–100 m in Peter the Great Bay, %

В числе доминирующих видов в районах 4, 7, 8 находится минтай *Theragra chalcogramma* (соответственно 14,4 %, 17,3 и 11,1 %). Причинами его высоких биомасс в этих районах являются открытость их вод, а также расположение в 7-м районе одного из центров воспроизводства минтая северной части Японского моря [Шунтов и др., 1993; Нуждин, 1998]. Стоит отметить, что связь с открытыми водами Японского моря наблюдается и в районе 6, однако доля минтая здесь составляет всего 3,7 %. Скорее всего, это связано с удаленностью этого района от центра воспроизводства минтая, а, возможно, также и с ослаблением влияния холодного Приморского течения.

Резко снижается количество видов из семейства камбаловых на глубинах 50–100 м. В 5 районах с такими глубинами насчитывается всего по 2 вида — малоротая *Glyptocephalus stelleri* и желтоперая *Limanda aspera* камбалы, но среднегодовое биомасса первой по районам 4–8 довольно высокая, особенно в восточных (4, 7, 8) районах залива по сравнению с западными (5, 6): соответственно 11,2 %, 6,3, 5,7 и 4,6, 3,2 %. Это связано с тем, что восточные районы зал. Петра Великого являются центрами воспроизводства большинства промысловых видов камбал [Моисеев, 1946].

Несомненно, значительна роль рогатковых в западных районах (глубины 50–100 м) с благоприятными условиями их обитания [Панченко, 1998; Панченко, Пущина, 2004].

В каждом районе насчитывается по несколько видов (керчаки яок *Myoxocephalus jaok* и снежный *Myoxocephalus brandti*, шлемоносец нитчатый *Gymnocanthus pistilliger*, двурогий бычок *Enophrys diceraus*). К примеру, у двурогого бычка в Посьетском районе доля биомассы составила 11 % среди ранжированных 10 видов, а в сумме биомасса рогатковых достигает значительных величин (рис. 3).

Глубины 100–200 м расположены только в районах 6 (западная часть зал. Петра Великого) и 7 (восточная часть). Здесь даже на первый взгляд бросается в глаза большое различие между ними как в соотношении видов, так и в величинах среднегодовалых биомасс каждого вида и всех рыб (рис. 4). Среднегодовалая биомасса всех видов рыб невелика по причине небольших площадей этих районов (0,0357 и 0,1333 тыс. км²) (см. таблицу) и равна соответственно 0,10 и 0,86 тыс. т. Лидирующее место в Посьетском районе занимает шлемоносец охотский *Gymnocanthus detrisus* с высокой среднегодовой биомассой, составляющей 32,1 % биомассы всех рыб. В Центральном районе не менее значительную роль играет южный одноперый терпуг (43,7 %) (рис. 4).

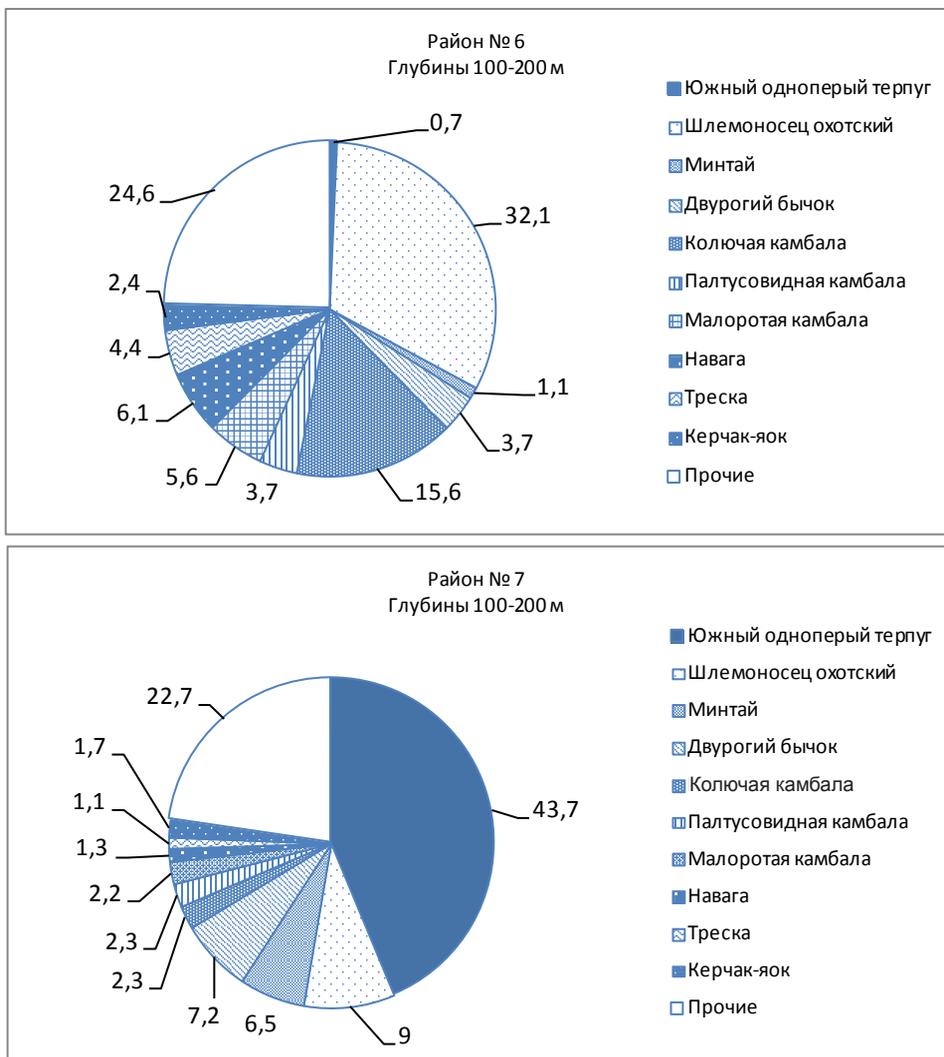


Рис. 4. Распределение по биомассе 10 первых видов рыб на глубинах 100–200 м, %

Fig. 4. Distribution by biomass for the top-ten fish species in bottom biotopes at the depth of 100–200 m in Peter the Great Bay, %

По видам и по их соотношению между собой у камбаловых отмечены наряду с малоротом Стеллера еще 2 не упомянутых на других глубинах вида — колючая

Acanthopsetta nadechnyi и палтусовидная *Hippoglossoides dubius*. Распределение камбал сильно различается в 6 и 7 районах. Общая биомасса камбал в районе 6 гораздо выше, чем в районе 7. Особенно выделяется в этом смысле колючая камбала, среднеголетняя биомасса которой стоит на втором месте после шлемоносца охотского и составляет 15,6 % в ряду первых 10 видов. В районе 7 все три вида камбал (колючая, палтусовидная, малорот Стеллера) составляют всего 6,8 %, их общая среднеголетняя биомасса равномерно распределяется между ними: 2,3 %, 2,3 и 2,2 % (рис. 4). Желтоперая камбала на этих глубинах отсутствует. В действительности на примере этих 2 районов довольно легко можно установить связь между соотношением видов и их количественными величинами с биотопическими характеристиками. Так, район 6 по глубинам менее 50 м занимает площадь в 196 раз большую, чем район 7 (0,6075 и 0,0031 тыс. км²), который, в свою очередь, в 5,5 раза больше района 6 по глубинам 50–100 м (2,5044 и 0,4587 тыс. км²) (см. таблицу, рис. 1). Приуроченность большинства видов рыб к определенным глубинам показана многими авторами [Моисеев, 1946; Вдовин, 1996, 2005; Панченко, 1998; Барабанщиков, Магомедов, 2002; Панченко, Пущина, 2004; Колпаков, 2018].

Батиметрическое распределение рыб тесно связано с другими факторами, которые влияют на величину среднеголетних биомасс. Так, в приэстуарных районах с пониженной соленостью концентрируются такие виды, как красноперка мелкочешуйная, корюшки, в мелководных районах с заиленными грунтами — японская камбала. Обитание южного одноперого терпуга связывается со скалистыми грунтами в период нереста и с песчанистыми и с зарослями растительности — в период нагула [Вдовин, 1998].

При сравнении среднеголетних биомасс и составу доминирующих видов рыб западной и восточной частей зал. Петра Великого отмечается влияние холодного Приморского течения, которое вызывает увеличение среднеголетних биомасс в восточных районах пелагических и придонно-пелагических видов — минтая и терпуга, а в западных, где влияние этого течения ослаблено, — увеличение среднеголетних биомасс отмечается у относительно малоподвижных керчаковых и камбаловых (см. рис. 3, 4).

Д.В. Измятинский [2001], рассматривая состав и биомассу рыб сублиторали зал. Петра Великого, связывает распределение рыб с тремя факторами среды: соленостью, температурой воды и глубинами. Доминирующими видами у него были камбала японская, терпуг южный одноперый и камбала желтополосая *Pseudopleuronectes herzensteini*. Эти данные по сублиторали зал. Петра Великого и Уссурийского залива [Измятинский, 2000] согласуются и с нашими результатами ранжирования по среднеголетним биомассам рыб по глубинам, где японская камбала была доминирующей во всех биостатистических районах с глубинами менее 50 м.

Выводы

Таким образом, основная среднеголетняя биомасса лидирующих видов: южного одноперого терпуга — была сосредоточена на глубинах 50–100 (8,1 до 34,3 %) и 100–200 м (до 43,7 %), камбалы японской — на глубинах менее 50 м (от 15,8 до 25,0 %). Навага обитает повсеместно, и ее биомасса складывается по всем диапазонам глубин: до 50 м (1,1–1,6 %), на 50–100 (5,2–9,9 %) и 100–200 м (2,5–6,8 %).

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность доктору биологических наук, главному специалисту Тихоокеанского филиала ВНИРО (ТИНРО) Вячеславу Петровичу Шунтову за ценные советы.

Финансирование работы

Исследование не имеет спонсорской поддержки.

Соблюдение этических стандартов

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

Информация о вкладе авторов

Л.Н. Ким — написание статьи, Д.М. Ким — рисунки и первичная обработка материала.

Список литературы

- Аксютин З.М.** Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1968. — 288 с.
- Барабанщиков Е.И., Магомедов Р.А.** Состав и некоторые черты биологии рыб эстуарной зоны рек южного Приморья // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 131. — С. 179–200.
- Вдовин А.Н.** Биология и динамика численности южного одноперого терпуга (*Pleurogrammus azonus*) // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 123. — С. 16–45.
- Вдовин А.Н.** Изучение состояния запасов основных промысловых рыб в водах Приморья // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 141. — С. 74–102.
- Вдовин А.Н.** Состав и биомасса рыб Амурского залива // Изв. ТИНРО. — 1996. — Т. 119. — С. 72–88.
- Гавренков Ю.И.** Биология, морфология и состояние дальневосточных краснопёрок рода *Tribolodon* южного Приморья // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 123. — С. 74–81.
- Гаврилов Г.М., Пушкарева Н.Ф., Стрельцов М.С.** Состав и биомасса донных и придонных рыб экономической зоны СССР Японского моря // Изменчивость состава ихтиофауны, урожайности поколений и методы прогнозирования запасов рыб в северной части Тихого океана. — Владивосток : ТИНРО, 1988. — С. 37–55.
- Измятинский Д.В.** Количественные оценки ихтиофауны Уссурийского залива // Изв. ТИНРО. — 2000. — Т. 127. — С. 149–160.
- Измятинский Д.В.** Характеристика ихтиофауны верхней сублиторали залива Петра Великого (Японское море) // Вопр. ихтиол. — 2001. — Т. 41, № 6. — С. 761–765.
- Калчугин П.В.** Многолетняя динамика биомассы и доминирующие виды комплекса донных рыб в заливе Петра Великого // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, № 1. — С. 44–61. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-44-61.
- Ким Л.Н., Измятинский Д.В.** Среднемноголетняя биомасса и доминирующие виды рыб в донных и придонных биотопах залива Петра Великого // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, № 3. — С. 577–594. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-577-594.
- Колпаков Н.В.** Эстуарные экосистемы северо-западной части Японского моря: структурно-функциональная организация и биоресурсы : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2018. — 428 с.
- Макрофауна бентали залива Петра Великого (Японское море): таблицы встречаемости, численности и биомассы. 1978–2009** / В.П. Шунтов, И.В. Волвенко, В.В. Кулик, Л.Н. Бочаров ; под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2014. — 307 с.
- Моисеев П.А.** Некоторые данные по биологии и промыслу камбал залива Петра Великого // Изв. ТИНРО. — 1946. — Т. 22. — С. 75–184.
- Надточий В.А., Будникова Л.Л., Безруков Л.Г.** Макрозообентос залива Петра Великого (Японское море): состав, распределение, ресурсы // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 140. — С. 170–195.
- Нуждин В.А.** Минтай северо-западной части Японского моря — особенности биологии, размножения, промысел // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 123. — С. 53–73.
- Панченко В.В.** Распределение бычков рода *Muohoscephalus* (Cottidae) в заливе Петра Великого Японского моря в летний период // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 123. — С. 89–99.
- Панченко В.В., Пущина О.И.** Биологическая характеристика керчаков рода *Muohoscephalus* (Cottidae) зал. Петра Великого Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 138. — С. 120–153.
- Пущина О.И.** Питание и суточные рационы трех видов камбал залива Петра Великого (Японское море) в летний период // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 123. — С. 185–190.
- Соломатов С.Ф., Калчугин П.В.** Современное состояние ресурсов рыб в зал. Петра Великого (Японское море) // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Тр. СахНИРО. — 2013. — Т. 14. — С. 36–45.

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., Темных О.С. Среднемоделетняя биомасса и доминирующие виды рыб в донных и придонных биотопах Охотского моря. Сообщение 1. Состав и количественное соотношение видов на шельфе разных районов моря // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 193. — С. 3–19. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-193-3-19.

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.

Barabanshchikov, E.I. and Magomedov, R.A., Composition and some features of biology of fishes in estuarine zones of southern Primorye rivers, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 131, pp. 179–200.

Vdovin, A.N., Life cycle and stock dynamics of Atka mackerel (*Pleurogrammus azonus*), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 123, pp. 16–45.

Vdovin, A.N., Studies of the stocks condition of the basic commercial fishes in the waters of Primorye, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 141, pp. 74–102.

Vdovin, A.N., Species composition and abundance of fishes in Amursky Bay, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1996, vol. 119, pp. 72–88.

Gavrenkov, Yu.I., Biology, morphology and stock state of the Far Eastern redfin Tribolodon in the south Primorye, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 123, pp. 74–81.

Gavrilov, G.M., Pushkareva, N.F., and Streltsov, M.S., The composition and biomass of demersal fish in the USSR economic zone of the Sea of Japan, in *Izmenchivost' sostava ikhtiofauny, urozhainosti 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. 37–55.

Izmyatinsky, D.V., Quantitative estimates of fishes in the Ussuri Bay, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2000, vol. 127, pp. 149–160.

Izmyatinsky, D.V., Characteristics of the fish fauna of the upper sublittoral of the Peter the Great Gulf (Sea of Japan), *Vopr. Ikhtiol.*, 2001, vol. 41, no. 6, pp. 761–765.

Kalchugin, P.V., Long-term dynamics of biomass and dominant species of the bottom fish complex in Peter the Great Bay, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 1, pp. 44–61. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-44-61

Kim, L.N. and Izmyatinsky, D.V., Long-term mean biomass and dominant fish species in the bottom and near-bottom biotopes of Peter the Great Bay, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 3, pp. 577–594. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-577-594

Kolpakov, N.V., *Estuarные экосистемы северо-западной части Японского моря: структурно-функциональная организация и биоресурсы* (Estuarine Ecosystems of the Northwestern Sea of Japan: Structural and Functional Organization and Bioresources), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2018.

Shuntov, V.P., Volvenko, I.V., Kulik, V.V., and Bocharov, L.N., *Макрофауна бентали залива Петра Великого (Японское море): таблицы встречаемости, численности и биомассы. 1978–2009* (Benthic Macrofauna of Peter the Great Bay (Japan/East Sea): Occurrence, Abundance, and Biomass. 1978–2009), Shuntov, V.P. and Bocharov, L.N., eds., Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2014.

Moiseev, P.A., Some facts of biology and fishery of the flattish of Peter the Great Bay, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1946, vol. 22, pp. 75–184.

Nadtochy, V.A., Budnikova, L.L., and Bezrukov, R.G., Macrozoobenthos of Peter the Great Bay (Japan Sea): composition, distribution, stocks, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 140, pp. 170–195.

Nuzdin, V.A., Walleye pollock of the north-western Japan Sea — peculiarities of biology, reproduction and fisheries, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 123, pp. 53–73.

Panchenko, V.V., Distribution of bullheads of the genus *Myoxocephalus* (Cottidae) in Peter the Great Bay, Japan Sea, during the summer period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 123, pp. 89–99.

Panchenko, V.V. and Pushchina, O.I., Biological characteristic of sculpins of genus *Myoxocephalus* (Cottidae) of Peter the Great Bay (Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 138, pp. 120–153.

Pushchina, O.I., Feeding and daily rations of three flounder species in Peter the Great Bay (the Japan Sea) in summer, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 123, pp. 185–190.

Solomatov, S.F. and Kalchugin P.V., The present state of fish resources in Peter the Great Bay (Japan Sea), *Biologiya, sostoyaniye zapasov i usloviya obitaniya gidrobiontov v Sakhalino-Kuril'skom regione i sopredel'nykh kvatoriyakh* (Biology, Status of Stocks, and Condition of Habitat of Aquatic Organisms in the Sakhalin-Kuril Region and Adjacent Waters), *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 14, pp. 36–45.

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. and Temnykh, O.S., Long-term average biomass and dominant fish species in the bottom biotopes of the Okhotsk Sea. Part 1. Composition and quantitative ratio of species on shelves in different areas of the Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 193, pp. 3–19. doi 10.26428/1606-9919-2018-193-3-19

Поступила в редакцию 1.09.2021 г.

После доработки 20.10.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 551.589.1



С.Ю. Глебова*

Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИПРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4СИБИРСКИЙ АНТИЦИКЛОН КАК ВАЖНЫЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ
ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ
РЕГИОНЕ В ЗИМНИЙ, ВЕСЕННИЙ И ЛЕТНИЙ СЕЗОНЫ

Рассматривается влияние Сибирского антициклона (его долготное положение в январе-марте) на характер циклонической деятельности над дальневосточными морями и Тихим океаном зимой, весной и летом. Показано, что при сдвиге антициклона на восток количество сезонных циклонов над регионом, как правило, снижается, но сами они имеют высокую интенсивность; при западном положении антициклона повторяемость циклонов зимой, весной и летом увеличивается, а их активность ослабевает. Отмечается, что влияние Сибирского антициклона на циклоны весной и летом имеет не прямой, а опосредованный характер, через Дальневосточную депрессию, параметры которой коррелируют как с долготой центра антициклона, так и с циклоническими показателями (количеством и интенсивностью весенних и летних циклонов).

Ключевые слова: Сибирский антициклон, долгота, количество циклонов, средняя интенсивность циклонов, Дальневосточная депрессия, корреляционные связи.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-879-894.

Glebova S.Yu. Siberian High as an important factor for development of cyclonic activity in the Far Eastern region in winter, spring and summer seasons // *Izv. TINRO*. — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 879–894.

Influence of the Siberian High longitudinal position on cyclonic activity over the Far Eastern Seas and the Pacific Ocean in winter, spring and summer is considered. Eastward shift of this atmospheric center causes general decreasing of number of cyclones over the region, but their intensity increases; on the contrary: cyclones are more frequent but weaker when the Siberian High is located in western position. The Siberian High, being a winter center, cannot influence directly on spring and summer cyclones, but it influences on formation of the Far Eastern Low, which intensity correlates with number and intensity of spring and summer cyclones.

Key words: Siberian High, longitudinal position, number of cyclones, intensity of cyclones, Far- Eastern Low, correlation.

Введение

Исследования по изучению системы общей циркуляции атмосферы всегда актуальны и представляют значительный интерес для климатологов. К важнейшим звеньям циркуляции, безусловно, можно отнести центры действия атмосферы (ЦДА)

* Глебова Светлана Юрьевна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: svetlana.glebova@tinro-center.ru.

Glebova Svetlana Yu., Ph.D., leading researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: svetlana.glebova@tinro-center.ru.

и циклоническую деятельность, взаимодействие которых не только отражает общие динамические процессы в атмосфере, но и влияет на многие особенности погоды и климата в различных районах.

На Дальнем Востоке одним из основных центров действия, определяющих в холодный период года циркуляцию и погоду над материком и океаном, является Сибирский антициклон, роль которого в формировании климатических особенностей в регионе ранее уже отмечалась [Стехновский, 1962; Ильинский, 1965; Дмитриев, Иванов, 1976; Дашко и др., 1997; Бабкин и др., 2005; и мн. др.]. Этот сезонный максимум образуется в осенне-зимний период над выхоленной поверхностью континента. Состояние антициклона во многом определяет конфигурация высотной фронтальной зоны (ВФЗ). При слабом возмущении ВФЗ и преобладании в тропосфере зонального переноса антициклон ослаблен и смещен на восток; при развитом высотном гребне над Сибирью и ложбине над океаном антициклон располагается на западе [Ильинский, 1962; Калачикова, 1968]. По мнению В.И. Бабкина с соавторами [2005], именно долгота Сибирского антициклона, играя весьма существенную роль в формировании особенностей атмосферного режима зимой, относится к разряду наиболее надежных характеристик для описания характера циркуляционных синоптических процессов в Северном полушарии.

В настоящей статье рассмотрено влияние Сибирского антициклона на развитие циклонической деятельности в Дальневосточном регионе. Выполнена оценка корреляционной связи положения ЦДА с количеством и интенсивностью приземных циклонов, проходящих над дальневосточными морями и северной частью Тихого океана в зимние месяцы, а также с состоянием Дальневосточной депрессии весной и летом и характеристиками циклонической деятельности в эти же сезоны.

Поскольку с выходом циклонов в районы промысла всегда связано ухудшение погодных условий, что может отрицательно сказаться на работе добывающего флота, заблаговременная информация о предполагаемом характере циклоничности в различных районах в период предстоящей путины (по состоянию зимних атмосферных процессов) может быть весьма полезной для прогнозирования.

Материалы и методы

Исходными данными для анализа динамики центров действия атмосферы послужили среднедекадные карты приземного давления, которые строились по ежедневным японским синоптическим приземным картам Японского метеорологического агентства (JMA) за 00 h по Гринвичу за период 1992–2020 гг.

Район 30–70° с.ш. 100° в.д.–160° з.д. был разбит на квадраты 10x10°, в узлах которых снимали значения приземного давления и осредняли их для каждых десяти дней месяца. Десятидневки характеризуют некую усредненную синоптическую ситуацию в распределении барических систем, позволяя тем самым получить информацию о положении (долгота, широта) и интенсивности (давление в центре) основных центров действия атмосферы, которые хорошо выявляются на подобных средних картах. В настоящей работе долгота центра Сибирского антициклона определялась по положению окружности с максимальным значением давления, а долгота Дальневосточной депрессии — по положению окружности с минимальным показателем давления. Параметры ЦДА, снятые с декадных карт, в дальнейшем осредняли по месяцам и сезонам, что дает возможность получить информацию о состоянии климатических центров в каждом конкретном сезоне.

Оценка циклонической деятельности проводилась методом построения карт траекторий циклонов за каждый месяц года для района 30–60° с.ш. 130° в.д.–160° з.д., включающего в себя дальневосточные моря (Японское, Охотское, Берингово), курильский район и северную часть Тихого океана. Для этого на специальные бланки наносились положения центров циклонов (рядом с которыми записывалось квадратное число замкнутых изобар), проходивших над районом в течение каждого месяца.

Методика подсчета количества циклонов была следующей:

— район исследования разбивали на квадраты $5 \times 5^\circ$ и затем суммировали число центров циклонов (N), прошедших через каждый квадрат в течение месяца (фактически определялось число циклоно-дней, но в дальнейшем в качестве синонимов будут использоваться термины «число», «количество», «повторяемость» циклонов);

— по картам распределения количества циклонов определяли оси и очаги наибольшей их повторяемости за каждый месяц (подобный способ расчета количества циклонов был предложен В.Ф. Ворониной [Хен, Воронина, 1986]).

Для исследования были выбраны шесть районов: выделенный регион ($30-60^\circ$ с.ш. 130° в.д.– 160° з.д.); *Берингово море* ($50-65^\circ$ с.ш. 160° в.д.– 160° з.д.); *Охотское море* ($45-60^\circ$ с.ш. $140-160^\circ$ в.д.); *Японское море* ($35-50^\circ$ с.ш. $130-145^\circ$ в.д.); *Курильский район* ($40-50^\circ$ с.ш. $140-160^\circ$ в.д.); *северная часть Тихого океана* ($40-50^\circ$ с.ш. 170° в.д.– 170° з.д.), для каждого из них отдельно определяли число циклонов, проходивших над ними в течение каждого месяца. Количество циклонов зимой определялось для периода 1992–2020 гг., весной и летом — для периода 1995–2020 гг.

Важнейшей характеристикой любого циклонического образования является его интенсивность, выраженная в индексе циклоничности, которая отражает кинетическую энергию массы воздуха, вовлеченного в циклоническую активность, и является даже более информативной характеристикой, чем давление в центре циклона [Тунеголовцев, 2007; Поднебесных, 2010]. В нашем случае в качестве такого показателя был выбран индекс циклоничности (K) А.В. Куницына [1956], который определялся для тех же 5 -градусных квадратов по числу замкнутых изобар (n), очерчивающих каждый циклон (на японских синоптических картах изобары проведены через 4 гПа), возведенный в квадратную степень (n^2). Эта величина пропорциональна кинетической энергии массы воздуха, вовлеченной в циклоническую циркуляцию, и позволяет характеризовать энергетическую активность циклонов в каждом «локальном» квадрате в течение месяца, для которого была составлена сборно-кинематическая карта. Для оценки интенсивности циклоничности в регионе и каждом выделенном районе методом поквadratного суммирования подсчитывался общий индекс циклоничности $K = \sum n^2$.

Для определения средней интенсивности циклонов в каждом квадрате вычислялось отношение суммы индекса циклоничности к числу (N) циклонов ($\sum K/N$). Подробно методика расчета описана ранее [Глебова, 2012].

Месячные значения количества и средней интенсивности циклонов суммировали для трех рассматриваемых сезонов: зима (январь–март), весна (апрель–июнь), лето (июль–сентябрь), и затем формировали многолетние ряды данных для каждого района за периоды 1992–2020 гг. (циклоны зимой) и 1995–2020 гг. (циклоны весной и летом).

Для лучшей сравнимости результатов и исключения краткопериодной изменчивости все ряды сглажены осреднением по 5 -летним периодам.

Количественная оценка степени связи изменений долготы центра Сибирского антициклона с характеристиками циклонической деятельности и Дальневосточной депрессии проводилась методом корреляционного анализа. Для определения значимости связи для 25 -летнего ряда наблюдений было установлено пороговое значение коэффициента корреляции, соответствующее $R = 0,42$ при $p = 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Согласно представлениям О.К. Ильинского [1965] характер синоптических процессов на Дальнем Востоке в холодные сезоны года определяется двумя связанными между собой факторами: положением и интенсивностью Сибирского антициклона и циклонической деятельностью. Полученные нами количественные оценки связи между этими факторами представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Как следует из данных табл. 1, динамика числа циклонов во всех районах коррелирует отрицательно с изменением положения антициклона, но статистически

Коэффициенты корреляции межгодовых изменений долготы Сибирского антициклона и количества и интенсивности зимних циклонов в разных районах региона

Table 1

Coefficients of correlation between interannual variations of the Siberian High center longitude and number and intensity of winter cyclones, by areas of the Far-Eastern region

	Весь регион	Берингово море	Тихий океан	Охотское море	Японское море	Курилы
<i>Количество циклонов</i>						
Долгота Сибирского антициклона	-0,54	-0,17	-0,36	-0,56	-0,14	-0,27
<i>Средняя интенсивность циклонов</i>						
Долгота Сибирского антициклона	0,79	0,52	0,84	0,55	0,72	0,57

значимой корреляция является только для всего региона и Охотского моря (соответственно $R = -0,54$ и $R = -0,56$). Наоборот, средняя интенсивность циклонов, выраженная в индексах циклоничности, с местоположением центра антициклона связана положительным образом, причем корреляция оказалась значимой для всех без исключения районов. Получается, что зимой важным условием для роста числа циклонов и снижения их активности во всем регионе является отход Сибирского максимума на запад, а при его восточном положении происходит сокращение числа атмосферных вихрей и их усиление (на это ранее обращал внимание и О.К. Ильинский [1965]).

До начала 2010-х гг. повторяемость циклонов в разных районах менялась не очень согласованно и с долготой максимума, и друг с другом. Например, в середине 2000-х гг., когда антициклон находился в крайнем восточном положении, заметное сокращение числа циклонов происходило лишь над северным районом Тихого океана и Беринговым морем, в то время как над Охотским, Японским морями и курильским районом они следовали достаточно часто. В течение 2010-х гг. на фоне стремительного отхода максимума на запад повторяемость циклонов повсеместно возросла до максимальных значений. Зато интенсивность циклонов (индекс циклоничности) во всех районах менялась практически синхронно с долготой центра: «пик» интенсивности пришелся на 2000-е гг. (в Охотском море отмечался в конце этого десятилетия), а самые «слабые» циклоны наблюдались в 1990 и 2010-е гг.

Период формирования, стабилизации и разрушения Сибирского максимума охватывает большую часть года (октябрь-апрель). Поэтому можно предположить, что его состояние в течение зимы сказывается на характере атмосферных процессов и в остальные сезоны.

Разрушение антициклона чаще всего происходит в апреле, когда он ослабевает и распадается на отдельные ядра [Простяков, 1947; Морозова, 2014]. Весной одно из таких ядер иногда устанавливается над Охотским морем, что способствует формированию охотского антициклона. Приходящие к побережью материковые циклоны не могут далее следовать через эту область высокого давления и задерживаются над бассейном р. Амур, где образуется весенне-летний центр действия — Дальневосточная депрессия, которая является «обратимой» по отношению к зимнему Сибирскому антициклону, т.е. формируется в том же районе, но после него. Поэтому не случайно, что межгодовые изменения обоих сезонных ЦДА оказались связаны между собой, причем весной с положением предшествующего антициклона в большей степени (с отрицательным знаком) коррелирует интенсивность депрессии (давление в центре) ($R = -0,64$), а летом — долгота ее центра ($R = 0,54$) (табл. 2).

Если зимой центр Сибирского антициклона находился преимущественно восточнее обычного положения, то весной и летом Дальневосточная депрессия также будет смещена к востоку и северу, а весной будет еще и более глубокой; после западного положения антициклона наблюдается последующее смещение депрессии к западу и югу, и весной ее активность может быть снижена.

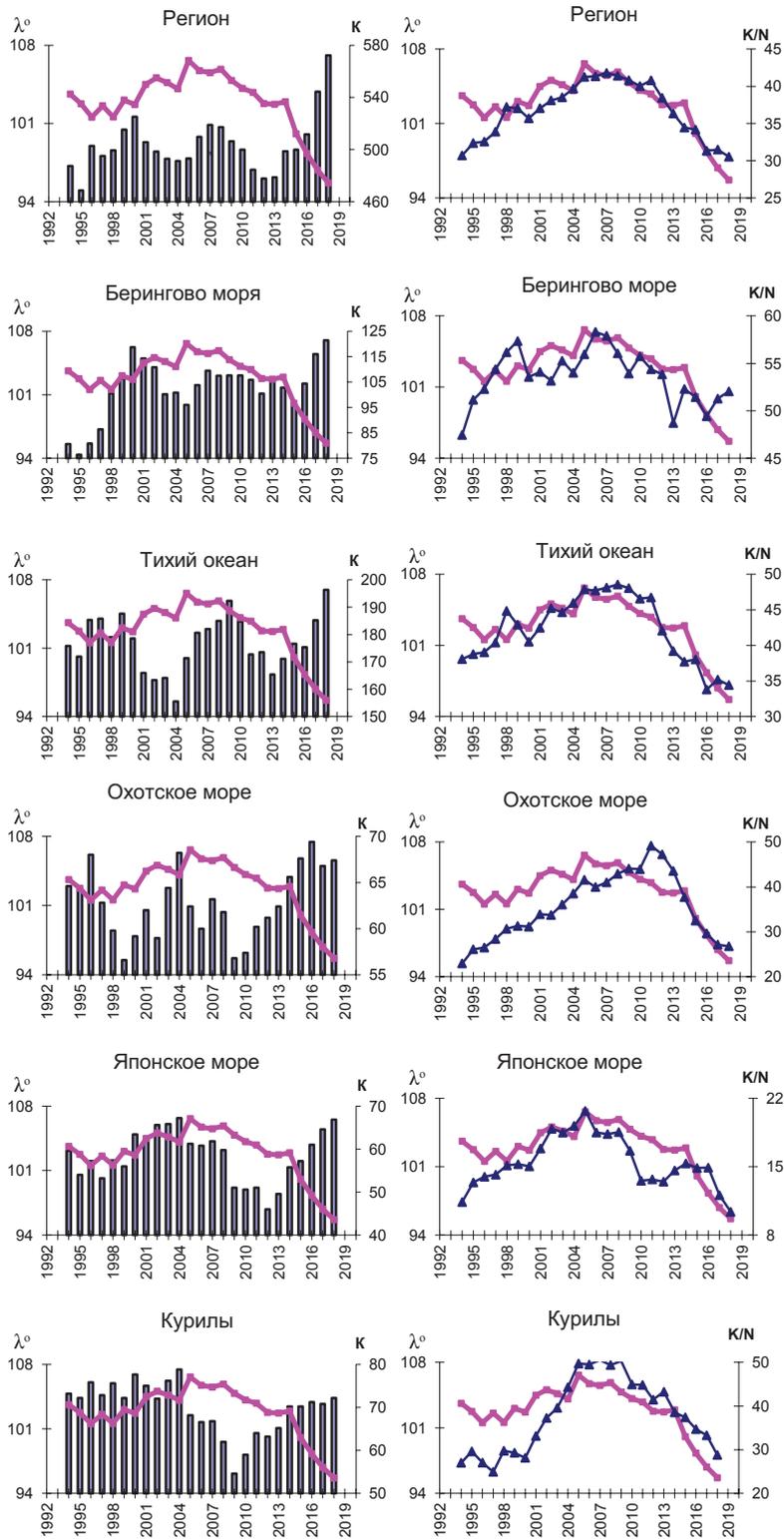


Рис. 1. Многолетний ход долготы центра Сибирского антициклона в сравнении с количеством (**левый столбец**) и средней интенсивностью (**правый столбец**) зимних циклонов в разных районах региона

Fig. 1. Dynamics of the Siberian High center longitude coupled with number (**left panels**) and average intensity (**right panels**) of winter cyclones, by areas of the Far-Eastern region

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между изменениями долготы центра Сибирского антициклона и характеристик Дальневосточной депрессии весной (апрель-июнь) и летом (июль-сентябрь)

Table 2

Coefficients of correlation between interannual variations of the Siberian High center longitude and parameters of the Far-Eastern Low in spring (April-June) and summer (July-September)

	Дальневосточная депрессия весной			Дальневосточная депрессия летом		
	Широта	Долгота	Давление в центре	Широта	Долгота	Давление в центре
Долгота Сибирского антициклона	0,45	0,58	-0,64	0,46	0,54	-0,11

Образование депрессии чаще всего происходит за счет «местных» циклонов, возникающих в этом же районе, но нередко сюда поступают и циклоны из других областей Азии, интенсивность которых имеет большое значение для ее дальнейшего развития. Ранее показано [Погосян, 1947; Полянская, 2011], что часть приходящих атмосферных минимумов бывают неглубокими и быстро заполняются в области депрессии, но некоторые из них следуют далее, на акватории дальневосточных морей, и углубляются. Исходя из этого можно предположить, что депрессия сама способна «регулировать» характер циклогенеза в регионе. Как показывают данные табл. 3 и 4, воздействие депрессии на процесс циклогенеза весной и летом проявляется по-разному. Весной определяющим фактором можно назвать глубину депрессии, поскольку только этот показатель демонстрирует значимую корреляционную связь с интенсивностью циклонов во всех без исключения районах, а с их количеством — в наибольшем числе районов (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между межгодовыми изменениями характеристик Дальневосточной депрессии и динамикой циклонической деятельности весной (апрель-июнь) по районам

Table 3

Coefficients of correlation between interannual variations of the Far-Eastern Low parameters and number and intensity of spring (April-June) cyclones, by areas of the Far-Eastern region

Дальневосточная депрессия	Регион	Берингово море	Тихий океан	Охотское море	Японское море	Курилы
<i>Количество циклонов</i>						
Широта	-0,08	0,21	-0,44	0,37	0,46	0,41
Долгота	-0,28	0,11	-0,63	0,23	0,27	0,23
Давление в центре	0,43	0,67	0,26	0,55	0,27	0,23
<i>Средняя интенсивность циклонов</i>						
Широта	0,15	0,14	0,21	-0,37	-0,38	-0,26
Долгота	0,27	0,23	0,31	-0,22	-0,22	-0,14
Давление в центре	-0,65	-0,51	-0,74	-0,51	-0,44	-0,75

Летом динамика интенсивности циклонов практически во всех районах (за исключением Японского моря) коррелирует с изменениями долготы депрессии, а с повторяемостью циклонов связь не так очевидна, поскольку значимой является лишь для всего региона в целом и Северной Пацифики (табл. 4). Характерно, что именно эти сезонные показатели состояния Дальневосточной депрессии демонстрируют наиболее тесную связь с изменениями положения Сибирского антициклона (см. табл. 2).

Интерпретировать полученные результаты можно следующим образом. В случаях хорошего развития Дальневосточной депрессии весной число циклонов, выходящих в регион, чаще всего сокращается, но при этом они более интенсивные. Такой характер развития процессов отмечался в течение 2000-х гг., когда на протяжении всего десятилетия давление в центре депрессии держалось на самом низком уровне, т.е.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между межгодовыми изменениями характеристик
Дальневосточной депрессии и динамикой циклонической деятельности летом
(июль-сентябрь) по районам

Table 4

Coefficients of correlation between interannual variations of the Far-Eastern Low parameters
and number and intensity of summer (July-September) cyclones, by areas of the Far-Eastern region

Дальневосточная депрессия	Регион	Берингово море	Тихий океан	Охотское море	Японское море	Курилы
<i>Количество циклонов</i>						
Широта	-0,34	0,18	-0,22	-0,52	-0,80	-0,56
Долгота	-0,61	0,05	-0,62	-0,20	0,14	-0,27
Давление в центре	-0,09	-0,20	-0,24	0,60	0,66	0,52
<i>Средняя интенсивность циклонов</i>						
Широта	0,39	0,55	0,10	0,75	0,09	0,75
Долгота	0,60	0,68	0,55	0,51	0,10	0,69
Давление в центре	0,03	-0,06	0,40	-0,63	-0,16	-0,37

ее активность постоянно была повышенной, а число циклонов практически во всех районах быстро сокращалось и к концу десятилетия достигло минимальных значений. При этом индекс циклоничности как показатель интенсивности циклонов везде был максимальным (рис. 2). Слабое развитие депрессии (повышенное давление в ее центре) пришлось на периоды конца 1990-х и 2010-е гг. В эти годы циклоны в регион выходили часто, но индекс циклоничности во всех районах был наиболее низким, что указывает на слабую циклоническую активность. В летние месяцы континент хорошо прогревается, поэтому приходящие в район Дальневосточной депрессии циклоны становятся глубокими, высокими, малоподвижными образованиями, в свою очередь способствующими появлению над дальневосточными морями новых частных циклонов [Ильинский, 1965], поэтому характер циклогенеза над ними в большей степени начинает определяться расположением депрессии по отношению к побережью. Благоприятным условием для частого выхода на акватории дальневосточных морей летних циклонов (как правило, малоинтенсивных) является западное расположение депрессии (как это было в 2000-е и середине 2010-х гг.). И наоборот, из приближенной к побережью депрессии циклоны на акватории морей выходят реже, но бывают наиболее глубокими (на рубеже 2000/2010-х гг.) (рис. 3).

Таким образом, и весной, и летом развитие циклоничности над дальневосточными морями зависит от состояния Дальневосточной депрессии, которое (как это было показано выше) связано с долготным положением Сибирского антициклона в январе-марте. Этим механизмом объясняется связь состояния антициклона с характером весеннего и летнего циклогенеза над регионом, убедиться в котором позволяют результаты корреляционного анализа (табл. 5) и графики на рис. 4 и 5.

И весной, и летом изменения долготы антициклона и количества циклонов коррелируют отрицательно (за исключением лета в Беринговом и Охотском морях), а изменения интенсивности — положительно, со значимыми коэффициентами. Хорошую согласованность между этими показателями демонстрируют и графики на рис. 4 и 5. Эти закономерности подобны обнаруженным при оценке влияния Сибирского максимума на характер зимней циклонической деятельности (см. табл. 1, рис. 1).

Таким образом, при устойчивом расположении Сибирского антициклона в январе-марте на **востоке** Евразии количество зимних, весенних и летних циклонов в регионе сокращается, но возрастает их интенсивность. При **западном** положении антициклона выход циклонов на дальневосточные моря во все сезоны происходит активно, но их интенсивность, как правило, невысокая. Следовательно, энергетические ресурсы циклонов (их интенсивность) во многом зависят от местоположения максимума, по-

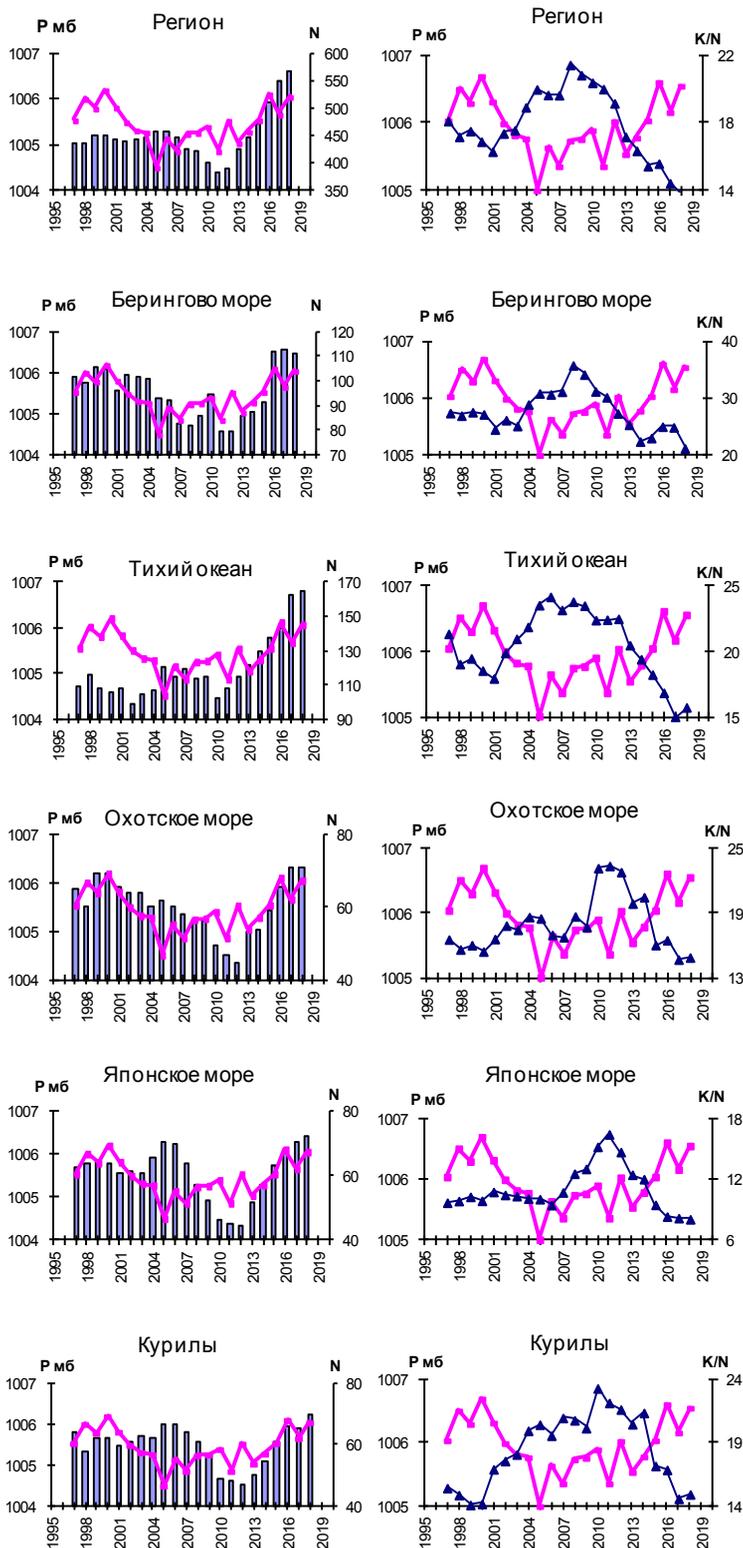


Рис. 2. Многолетний ход интенсивности Дальневосточной депрессии весной по сравнению с количеством (левый столбец) и интенсивностью (правый столбец) весенних циклонов в разных районах региона

Fig. 2. Dynamics of the Far Eastern Low intensity in spring coupled with number (left panels) and intensity (right panels) of spring cyclones, by areas of the Far-Eastern region

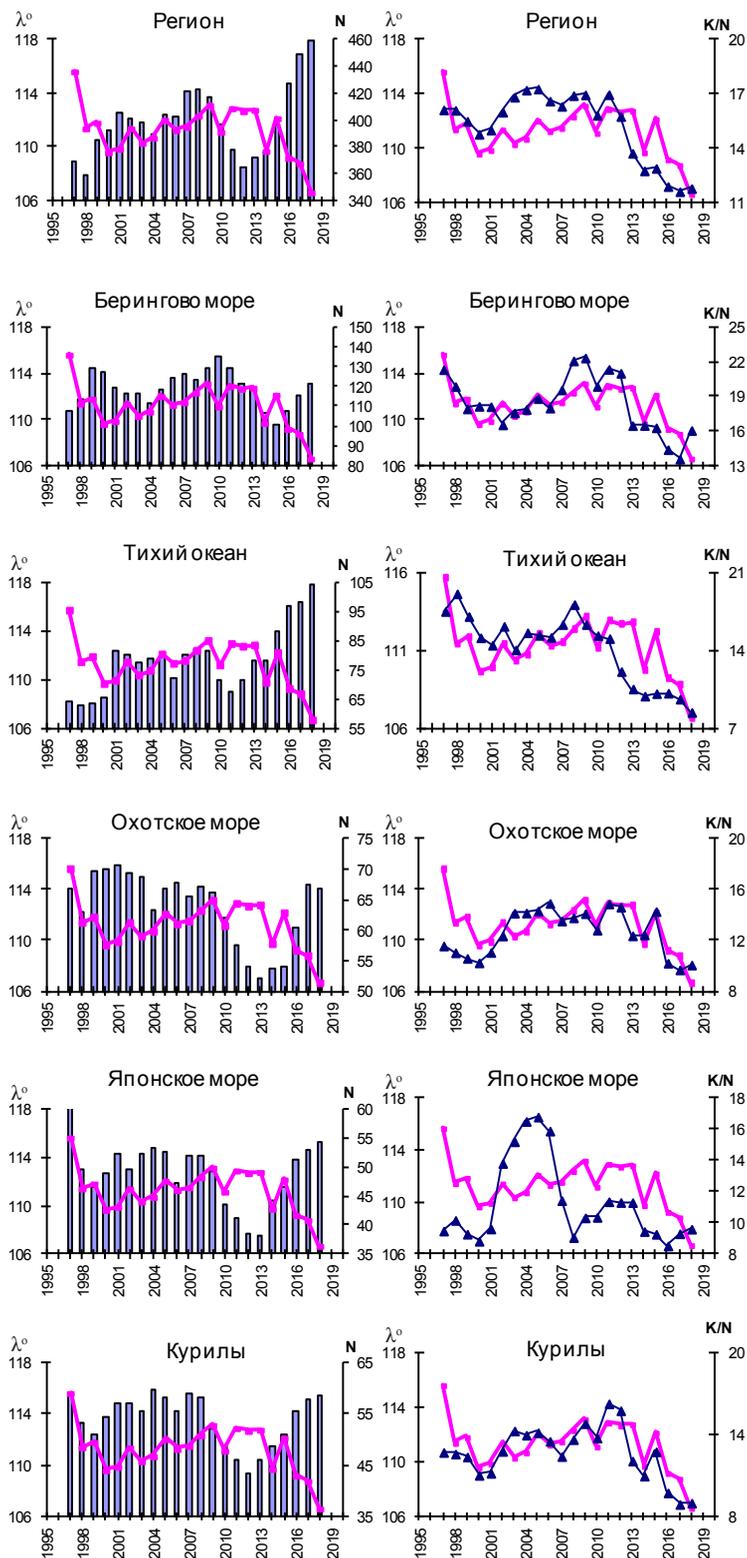


Рис. 3. Многолетний ход долготы Дальневосточной депрессии летом в сравнении с количеством (левый столбец) и интенсивностью (правый столбец) летних циклонов в разных районах региона

Fig. 3. Dynamics of the Far-Eastern Low intensity in summer coupled with number (left panels) and intensity (right panels) of summer cyclones, by areas of the Far-Eastern region

Корреляционная связь межгодовых изменений долготы Сибирского антициклона в январе-марте с динамикой количества и интенсивности циклонов по районам весной и летом

Table 5

Coefficients of correlation between interannual variations of the Siberian High center longitude in January-March and number and intensity of cyclones in spring and summer, by areas of the Far-Eastern region

Динамика циклонов	Регион	Берингово море	Тихий океан	Охотское море	Японское море	Курилы
<i>Долгота Сибирского антициклона зимой — циклоны весной</i>						
Количество	-0,75	-0,59	-0,84	-0,41	-0,32	-0,25
Интенсивность	0,82	0,67	0,85	0,41	0,46	0,56
<i>Долгота Сибирского антициклона зимой — циклоны летом</i>						
Количество	-0,40	0,37	-0,58	0,19	-0,12	-0,02
Интенсивность	0,86	0,60	0,69	0,65	0,53	0,70

скольку значимая корреляционная связь изменений индекса циклоничности и долготы центра антициклона во всех выделенных районах сохраняется на протяжении трех сезонов подряд.

Попытаемся объяснить этот результат исходя из известных представлений об особенностях формирования региональных синоптических процессов.

Зимой характерной особенностью крупномасштабных атмосферных процессов является возникновение над Западной Сибирью высотного гребня, а над Восточной Сибирью и Дальним Востоком — высотной ложбины. Между ними (Забайкалье, бассейн Амура) за счет термических, орографических и циркуляционных факторов складываются условия для накопления массы воздуха и, как следствие, формирования Сибирского антициклона. Местоположение этого ЦДА определяется характером переносов в тропосфере: при развитии над Дальним Востоком зональных процессов антициклон смещен на восток, а при меридиональных процессах занимает западное положение [Ильинский, 1965].

В первом случае (зональные переносы) тропосферные ложбины и гребни слабо выражены и достаточно подвижны. Антициклон, располагаясь вблизи побережья, становится преградой для выхода на акватории дальневосточных морей западных циклонов [Калачикова, 1968]. Сюда чаще начинают поступать южные циклоны, менее численные по сравнению с континентальными, но с хорошим запасом энергии. Проходя над водной поверхностью, они быстро углубляются и превращаются в мощные вихри. Весной антициклон начинает разрушаться и распадаться на отдельные ядра, что способствует формированию над выхоленной поверхностью Охотского моря поля высокого давления (охотского антициклона). В результате этого западные циклоны начинают стационаривать над континентальными районами, и образуется хорошо развитая квазистационарная Дальневосточная депрессия [Ильинский, 1960], положение которой коррелирует с долготой Сибирского максимума. При зональных процессах активность весенне-летних циклонов высокая [Ильинский, 1960], главным образом за счет южных циклонов, нередко тайфунов. Период восточного положения антициклона и выхода в регион во все сезоны наиболее глубоких южных циклонов пришелся на 2000-е гг., хотя в отдельных районах отмечались свои особенности. Например, в Охотском море зимой и весной, а в курильском районе весной и летом пик активности циклонов наблюдался в начале 2010-х гг., т.е. в фазу начала смещения антициклона на запад (рис. 1, 4, 5); в Японское море наиболее интенсивные циклоны весной выходили также в начале 2010-х, а летом — в начале 2000-х гг. Но в целом характер изменения долготы центра максимума и индексов циклоничности во все сезоны был очень схожим (рис. 4, 5).

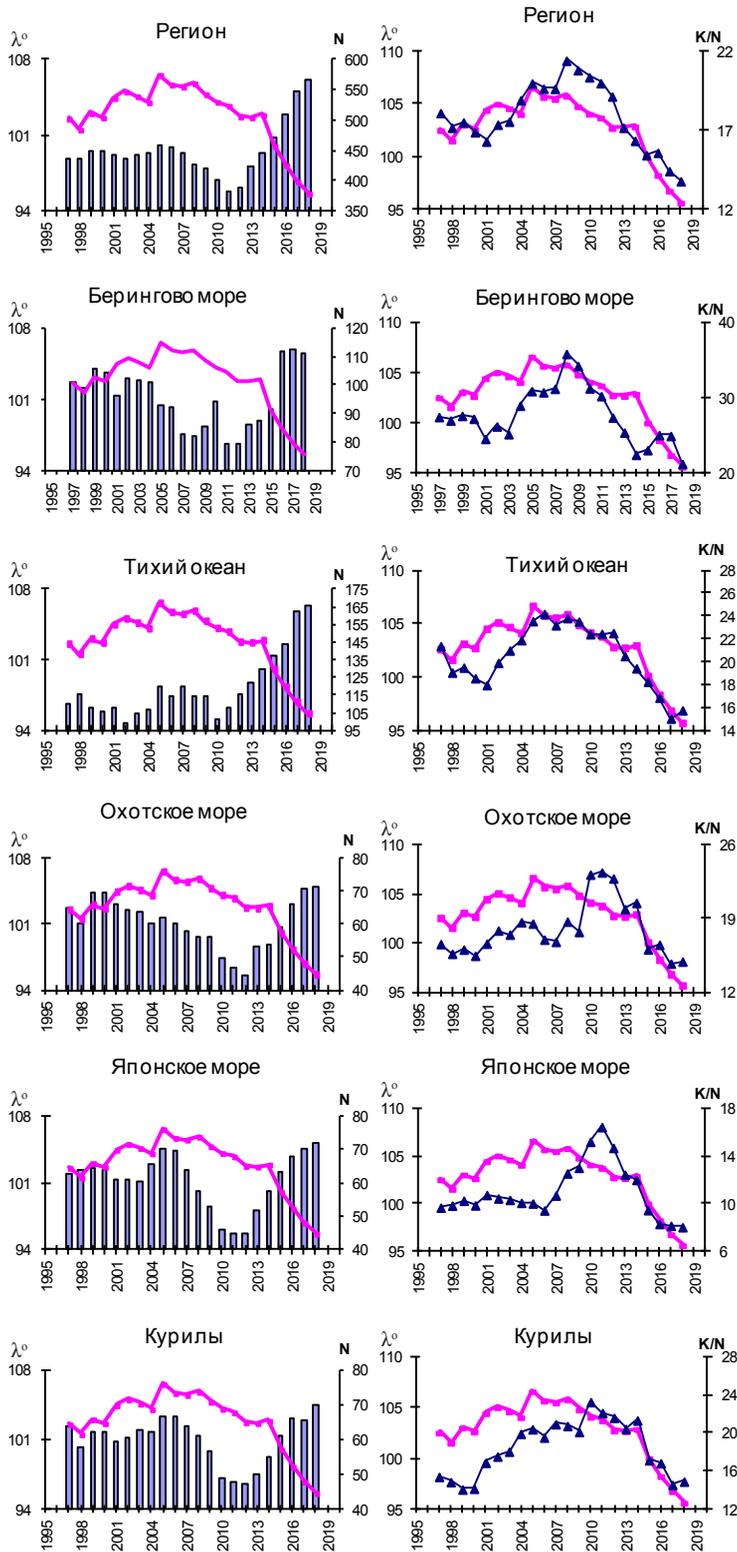


Рис. 4. Динамика долготы центра Сибирского максимума зимой в сочетании с количеством (левый столбец) и интенсивностью (правый столбец) весенних циклонов по районам Дальневосточного региона

Fig. 4. Dynamics of the Siberian High center longitude in winter coupled with number (left panels) and intensity (right panels) of spring cyclones, by areas of the Far-Eastern region

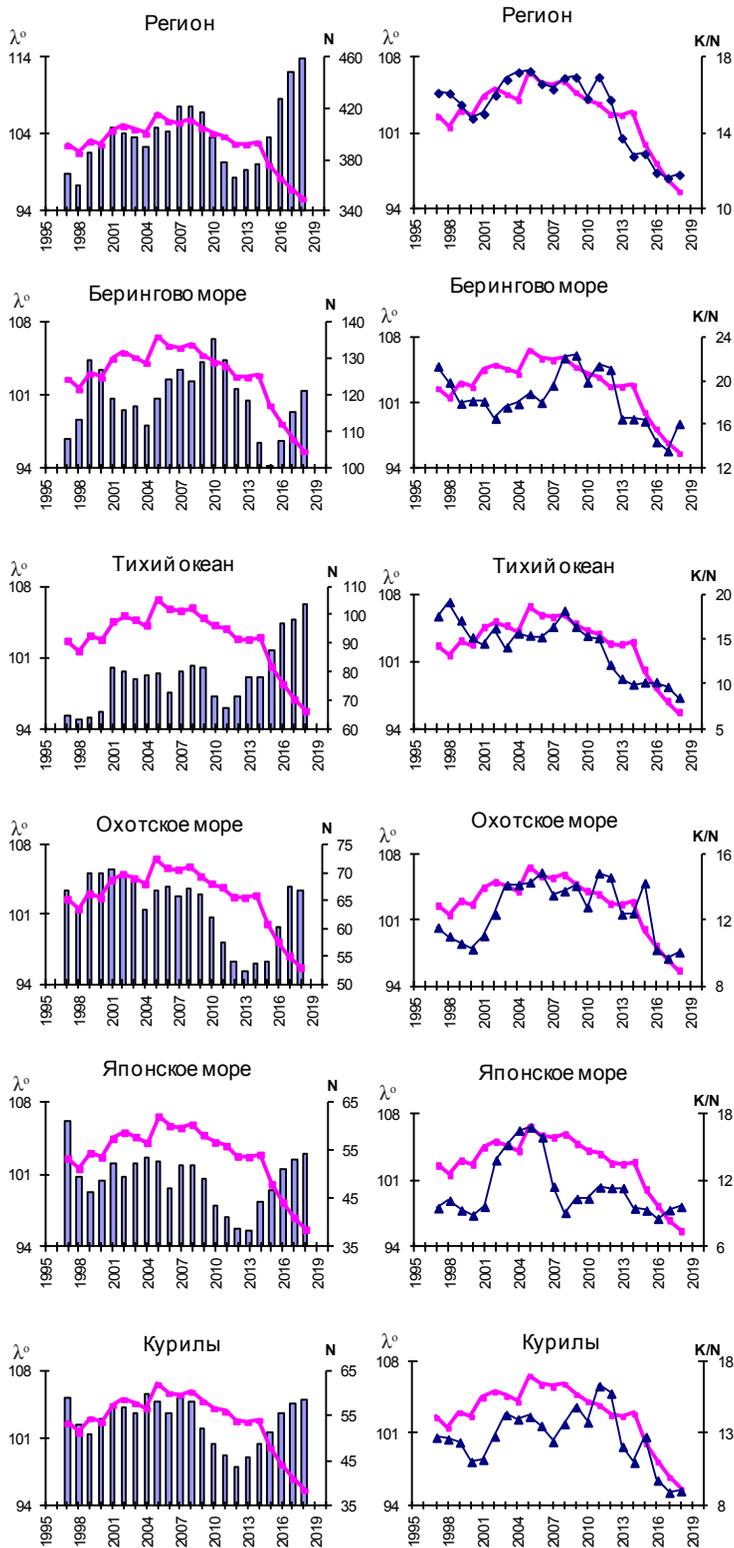


Рис. 5. Динамика долготы центра Сибирского максимума зимой в сочетании с количеством (левый столбец) и интенсивностью (правый столбец) летних циклонов по районам Дальневосточного региона

Fig. 5. Dynamics of the Siberian High center longitude in winter coupled with number (left panels) and intensity (right panels) of summer cyclones, by areas of the Far-Eastern region

В случае преобладающего развития зимой *меридиональных* переносов над дальневосточными морями располагается высотная ложбина, а над Сибирью — хорошо выраженный малоподвижный гребень, под которым устанавливается Сибирский антициклон. В передней части мощного антициклона усиливается адвекция на юг холодного воздуха, что приводит к обострению полярного атмосферного фронта [Ильинский, 1965]. При этом циклогенез над Дальним Востоком развивается бурно главным образом за счет неглубоких западных циклонов со слабым запасом энергии. Подчиняясь ведущему потоку, траектории циклонов имеют преимущественно меридиональную направленность, и весьма часто достигают Охотского моря. Не случайно, что именно в этом районе их количество показало значимую отрицательную связь с долготой центра Сибирского антициклона (см. табл. 1).

Большая продолжительность меридиональных процессов зимой, как правило, увеличивает и продолжительность группы зимних типов атмосферной циркуляции весной [Ильинский, 1960; Савина, Хмелевская, 1969]. Благодаря тому, что высотная ложбина над прибрежными районами еще сохраняется, выход ядер высокого давления на акваторию Охотского моря происходит неактивно, вследствие чего охотский антициклон бывает слабо выраженным. Одновременно над материком, все еще находящимся под влиянием высотного гребня, также формируется депрессия, но и она является «валлой» и, как правило, смещена на юго-запад. Из области этого ЦДА в регион начинают выходить многочисленные западные циклоны, преимущественно неглубокие, и подобная картина сохраняется в последующем летнем сезоне.

За весь рассматриваемый период антициклон отходил к западу дважды. В конце 1990-х гг. смещение было незначительным, и, вероятно, поэтому его влияние на выход сезонных циклонов в разных районах проявлялось неодинаково. Только в Охотском, Японском морях и прикурильском районе высокая повторяемость циклонов в эти годы отмечалась во все сезоны, в то время как в Беринговом море увеличивалось число только весенних и летних циклонов, а над Тихим океаном — зимних. Но во всех без исключения районах интенсивность циклонов была слабой (см. рис. 1, 4, 5). В течение 2010-х гг., когда антициклон отходил на запад стремительными темпами, развитие циклоничности в регионе происходило очень слаженно: повсеместно количество циклонов увеличилось, а их интенсивность во все сезоны была крайне низкой.

Как видно из представленных графиков, в многолетнем плане смещение центра Сибирского максимума в западном или восточном направлении носит постепенный и довольно длительный характер. Поскольку в конце прошлого десятилетия он достиг своего крайнего западного положения, то, скорее всего, в течение 2020-х гг. может начаться его возвратное движение на восток. Исходя из этого следует ожидать, что количество неглубоких полярно-фронтальных циклонов над дальневосточными морями будет сокращаться, а число субтропических вихрей высокой интенсивности — увеличиваться, и это коснется всех сезонов.

Основным принципом долгосрочных синоптических прогнозов является единственность и непрерывность атмосферной среды, когда возникающие возмущения на одном участке передаются и в другие части, с запаздыванием и изменением характера возмущения*. С этой точки зрения, выявленные асинхронные связи могут иметь большое прогностическое значение: по положению Сибирского максимума зимой можно предсказать характер циклогенеза над дальневосточными морями в последующие весенний и летний сезоны. Как правило, изменение характеристик циклонов (их числа и интенсивности) влекут за собой перераспределение различных показателей в атмосфере и верхнем слое океана. Поэтому заблаговременная информация об особенностях циклонической деятельности в ближайшие годы может использоваться, например, для оценки погодно-климатических условий предстоящих путин.

* Статистические методы долгосрочного прогноза погоды. Учебно-методическое пособие для магистров направления «Гидрометеорология». Казань: Казан. гос. ун-т, 2018. 21 с.

Заключение

Выявленные количественные связи наглядно свидетельствуют о большой роли зимнего Сибирского антициклона в формировании синоптических условий в Дальневосточном регионе. Оказалось, что колебание центра антициклона в западном–восточном направлениях влияет на особенности развития циклонической деятельности над дальневосточными морями не только зимой, но и в последующих весеннем и летнем сезонах. При этом зимой влияние максимума на характер циклогенеза происходит напрямую, а весной и летом — опосредованно, через состояние Дальневосточной депрессии (ее интенсивность и расположение), параметры которой показали значимую корреляционную связь с долготой антициклона.

При сдвиге Сибирского антициклона на восток ближе к побережью он становится препятствием для выхода на дальневосточные моря большого количества западных циклонов, а циклоническая деятельность здесь чаще всего развивается за счет более редких циклонов, приходящих с южных широт. Весной и летом, также вблизи побережья, формируется активная Дальневосточная депрессия. Поэтому в периоды восточного положения Сибирского антициклона количество сезонных циклонов над районами региона либо бывает низким, либо имеет тенденцию к снижению, но сами барические минимумы обладают высокой энергией. Подобная ситуация максимального развития циклонов была характерна для 2000-х гг.

При смещении Сибирского максимума (и Дальневосточной депрессии в последующие сезоны) на запад материковые циклоны зимой, весной и летом поступают в регион значительно чаще, но, как правило, имеют невысокую интенсивность. Дрейф антициклона в западном направлении отмечался в конце 1990-х и 2010-е гг., причем в первом случае смещение было незначительным, а во втором — устойчивым и более заметным. Именно в течение 2010-х гг. число циклонов во всех районах Дальнего Востока приблизилось к максимальному значению, а индекс циклоничности (как показатель энергоемкости и интенсивности циклонов) также повсеместно снизился до самых минимальных показателей.

Учитывая, что долготное перемещение центра Сибирского максимума носит долгопериодный характер, можно заблаговременно прогнозировать сезонные особенности циклонической деятельности (а следовательно, и погодный режим) в регионе на ближайшие годы и оценивать, насколько благоприятными могут быть условия в периоды работы рыбодобывающих и научных судов.

Финансирование работы

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

- Бабкин В.И., Воробьев В.Н., Смирнов Н.П.** Сибирский антициклон и его влияние на сток Оби, Енисея и Лены // Метеорол. и гидрол. — 2005. — № 4. — С. 102–108.
- Глебова С. Ю.** Зимний циклогенез над океаном как фактор последующих изменений в атмосферном и термическом режиме дальневосточных морей и СЗТО (со сдвигом один год // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 170. — С. 136–150.
- Дашко Н.А., Варламов С.М., Хан Е.Х., Ким Е.С.** Центры действия атмосферы Азиатско-Тихоокеанского региона и летние особенности погоды на побережье Японского и Охотского морей // Метеорол. и гидрол. — 1997. — № 9. — С. 14–23.
- Дмитриев А.А., Иванов Н.А.** Об экстремальном развитии некоторых центров действия атмосферы и влияние на них сил геофизического и приливного происхождения // Тр. ААНИИ. — 1976. — Т. 330. — С. 130–149.
- Ильинский О.К.** Летняя дальневосточная депрессия // Тр. ДВНИГМИ. — 1960. — Вып. 11. — С. 3–53.
- Ильинский О.К.** Опыт выделения основных форм циркуляции атмосферы над Дальним Востоком // Тр. ДВНИГМИ. — 1965. — Вып. 20. — С. 26–45.

Ильинский О.К. Основные черты летней циркуляции тропосферы над умеренными широтами Восточной Азии // Тр. 1-й науч. конф. по общей циркуляции атмосферы. — М. : Гидрометеоздат, 1962. — С. 175–182.

Калачикова В.С. Синоптические условия формирования и разрушения азиатского антициклона // Тр. ДВНИГМИ. — 1968. — Вып. 26. — С. 83–102.

Куницын А.В. О количественной характеристике циклонической деятельности // Метеорол. и гидрол. — 1956. — № 6. — С. 29–30.

Морозова С.В. Характеристика зимнего Азиатского антициклона на фоне настоящих климатических изменений // Изв. АО РГО. — 2014. — Вып. 1(35). — С. 55–57.

Погосян Х.П. Сезонные колебания общей циркуляции атмосферы : Тр. ЦИП. — Л. : Гидрометеоздат, 1947. — Вып. 1(28). — 87 с.

Поднебесных Н.В. Динамика циклонической и антициклонической активности над Сибирью : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Томск : ИМКЭС СО РАН, 2010. — 22 с.

Полянская Е.А. Синоптические процессы Восточной Сибири и Дальнего Востока : учеб. пособие. — Саратов : СГУ, 2011. — 48 с.

Простяков С.М. Типы синоптических процессов Восточной Азии : моногр. — М. : Гидрометеоздат, 1947. — 193 с.

Савина С.С., Хмелевская Л.В. Изменение циркуляции атмосферы и климата в XX столетии // Природа. — 1969. — № 2. — С. 38–46.

Стехновский Д.И. Барическое поле земного шара : моногр. — М. : Гидрометеоздат, 1962. — 131 с.

Тунеголовец В.П. Циклоническая деятельность над северо-западной частью Тихого океана и дальневосточными морями и оценка ее влияния на деятельный слой // Дальневосточные моря России. Кн. 1 : Океанологические исследования. — М. : Наука, 2007. — С. 60–96.

Хен Г.В., Воронина В.Ф. Межгодовые колебания южной границы холодных шельфовых вод восточной части Берингова моря в связи с крупномасштабной синоптической изменчивостью // Тр. ДВНИГМИ. — 1986. — Вып. 125. — С. 10–20.

References

Babkin, V.I., Vorobyev, V.N., and Smirnov, N.P., The Siberian High and its influence on the discharge of the Ob, Yenisei, and Lena, *Meteorol. Gidrol.*, 2005, no. 4, pp. 102–108.

Glebova, S.Yu., Winter cyclogenesis over the ocean as a factor of subsequent changes in the atmospheric and thermal regime of the Far-Eastern Seas and North-West Pacific (with one year lag), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 170, pp. 136–150.

Dashko, N.A., Varlamov, S.M., Khan, E.H., and Kim, E.S., Centers of action of the atmosphere of the Asia-Pacific region and summer weather features on the coast of the Sea of Japan and the Sea of Okhotsk, *Meteorol. Gidrol.*, 1997, no. 9, pp. 14–23.

Dmitriev, A.A. and Ivanov, N.A., On the extreme development of some atmospheric action centers and the influence of geophysical and tidal forces on them, *Tr. Arkt. Antarkt. Nauchno-Issled. Inst.*, 1976, vol. 330, pp. 130–149.

П'инский, О.К., The summer Far Eastern low-pressure area, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1960, vol. 11, pp. 3–53.

Pyinsky, O.K., The experience of identifying the main forms of atmospheric circulation over the Far East, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1965, vol. 20, pp. 26–45.

Pyinsky, O.K., The main features of the summer circulation of the troposphere over the temperate latitudes of East Asia, in *Tr. I-y nauch. konf. po obshchey tsirkulyatsii atmosfery* (Tr. 1st Scientific conference on the general circulation of the atmosphere), Moscow: Gidrometeoizdat, 1962, pp. 175–182.

Kalachikova, V.S., Synoptic conditions for the formation and destruction of the Asian anticyclone, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1965, vol. 26, pp. 83–102.

Kunitsyn, A.V., On the quantitative characteristics of cyclonic activity, *Meteorol. Gidrol.*, 1956, no. 6, pp. 29–30.

Morozova, S.V., Characteristics of winter Asian anticyclone under current climate changes, *News of the Altai branch of the Russian Geographical Society*, 2014, vol. 1(35), pp. 55–57.

Pogosyan, Kh.P., Seasonal fluctuations of the general atmospheric circulation, *Tr. Tsent. Inst. Prognozov*, Leningrad: Gidrometeoizdat, 1947, vol. 1, no. 28.

Podnebesnykh, N.V., Dynamics of cyclonic and anticyclonic activity over Siberia, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*, Tomsk: Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2010.

Polyanskaya, E.A., *Sinopticheskiye protsessy Vostochnoy Sibiri i Dal'nego Vostoka* (Synoptic processes in Eastern Siberia and the Far East), Saratov: SGU, 2011.

Prostyakov, S.M., *Tipy sinopticheskikh protsessov Vostochnoy Azii* (Types of synoptic processes in East Asia), Moscow: Gidrometeoizdat, 1947.

Savina, S.S. and Khmelevskaya, L.V., Changes in the circulation of the atmosphere and climate in the XX century, *Priroda*, 1969, no. 2, pp. 38–46.

Stekhnovskiy, D.I., *Baricheskoye pole zemnogo shara* (Baric field of the globe), Moscow: Gidrometeoizdat, 1962.

Tunegolovets, V.P., Cyclonic activity over the northwestern part of the Pacific Ocean and the Far Eastern seas and an assessment of its impact on the active layer, in *Dal'nevostochnye morya Rossii. Kn. 1: Okeanologicheskiye issledovaniya* (Far Eastern Seas of Russia, Book 1: Oceanological research), Moscow: Nauka, 2007, pp. 60–96.

Hen, G.V. and Voronina, V.F., Interannual fluctuations of the southern boundary of cold shelf waters in the eastern part of the Bering Sea due to large-scale synoptic variability, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1986, vol. 125, pp. 10–20.

Statisticheskiye metody dolgosrochnogo prognoza pogody (Statistical methods for long-term weather forecasting. Study guide for masters of the direction «Гидрометеорология»), Kazan: Kazan. gos. un-t, 2018.

Поступила в редакцию 9.11.2021 г.

После доработки 26.11.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

АКВАКУЛЬТУРА

УДК 639.446.09

**Г.С. Гаврилова, З.И. Мотора, С.Е. Поздняков***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТОЯНИЯ
ПРИМОРСКОГО ГРЕБЕШКА (*MIZUHOPECTEN YESSOENSIS*)
НА ПЛАНТАЦИЯХ МАРИКУЛЬТУРЫ ПРИМОРЬЯ**

В настоящее время на плантациях марикультуры Приморья отмечается высокая смертность приморского гребешка в возрасте 0+–2+ лет. Патологические изменения и гибель моллюсков связываются с увеличением количества садковых комплексов и высокой плотностью моллюсков на участках. Проведенные исследования показали, что у моллюсков присутствуют как паразиты, вызывающие непосредственно заболевания, так и различные группы комменсалов, оказывающих воздействие на их здоровье. Отмечены представители 8 групп организмов-обработателей (макроводоросли, губки, асцидии, панцирные, двустворчатые и брюхоногие моллюски, полихеты, усоногие раки) и 6 групп патогенов (грибы, жгутиконосцы, ресничные инфузории, турбеллярии, различные стадии альвеолят рода *Perkinsus*, бактерии). Для обеспечения безопасности продукции и разработки профилактических мероприятий необходимы исследования распространенности патогенов на марикультурных участках для выявления их видового состава и количественных показателей, а также оценка паразитофауны посадочного материала, производимого на заводах и собираемого на коллекторных установках. Перевозка молоди моллюсков в пределах прибрежной зоны Приморья и ввоз ее из приграничных стран должны проходить при строгом соблюдении Ветеринарно-санитарного кодекса водных животных и регулируемых документов, действующих на территории Российской Федерации.

Ключевые слова: приморский гребешок, патогенные организмы, болезни объектов марикультуры, смертность, *Perkinsus*, обработатели, ущерб.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-895-909.

Gavrilova G.S., Motora Z.I., Pozdnyakov S.E. Results of examination the state of yesso scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) on plantations of aquaculture in Primorye // *Izv. TINRO*. — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 895–909.

High mortality of yesso scallop at the age of 0+–2+ is detected recently on aquaculture farms in Primorye (Japan Sea). Pathological changes and death of the mollusks are observed more and more frequently with increasing of their density and number of plantations. High values of damage and mortality of mollusks grown in cages are not caused by violation of the

* *Гаврилова Галина Сергеевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, e-mail: galina.gavrilova@tinro-center.ru; Мотора Зоя Ивановна, ведущий специалист, e-mail: motora_dv@mail.ru; Поздняков Сергей Ефимович, доктор биологических наук, советник, e-mail: sergey.pozdnyakov@tinro-center.ru.*

Gavrilova Galina S., D.Biol., principal researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: galina.gavrilova@tinro-center.ru; Motora Zoya I., leading specialist, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: motora_dv@mail.ru; Pozdnyakov Sergey E., D.Biol., counselor, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: sergey.pozdnyakov@tinro-center.ru.

cultivation technology but by influence of pathogenic species. At the eastern coast of Primorye, high mortality of the scallop spat occurs because of their soft tissue detachment from the shells by alveolates of gen. Perkinsus (for instance, up to 78 % of scallops at the age of 5–6 months are damaged in the Moryak-Rybolov Bay). In Peter the Great Bay, 58–80 % of scallops at the age 2+ grown in cages have blackening, stratification and abnormal shape of shells, besides, all mollusks from the Voevoda Bight aged 2+ have large fouling (on average 8 % of their total weight). In the Nakhodka Bay, located between these areas, 60 % of the mollusks suffer both from soft tissue detachment and abnormal shape of their shells. In total, representatives of 14 groups of parasites are found in tissues and on shells of cultivated yesso scallop, including epibionts (macroalgae, sponges, ascidians, shellfish, bivalves and gastropods, polychaetes, barnacles) and pathogens (fungi, flagellates, ciliates, turbellaria, alveolates, bacteria). Some parasites are found on gills of scallops (ciliates *Trichodina* sp. for 22.2 % of mollusks, turbellaria for 37.1 %, flagellates for 100 %), whereas zoosporangia Perkinsus infect mantle, gills and muscle for 55.5 % of mollusks. However, the scallops collected from nature habitats in Peter the Great Bay, have no external signs of infection in the first year of life, the scallops at the age 1+ year have no lesions and changes of the shell shape, with minor exclusion, and only at the age 2+ their shells are damaged for 58–80 % of mollusks. The fouling of shell is not a direct cause of the scallops death, but contributes to their weakening and development of diseases. So far as external damages of shells are highly variable, mixed infection of cultivated mollusks can be assumed.

Key words: scallop, pathogen, epibiont, mortality, Perkinsus, Primorye, Japan Sea.

Введение

Культивирование моллюсков — одно из основных направлений марикультуры Дальнего Востока, играющее существенную роль в развитии прибрежных районов. В последние годы в Приморье увеличилась площадь акваторий, взятых в аренду, наблюдается рост продукции аквакультуры; современные хозяйства переходят на индустриальный (садковый) способ выращивания товарного гребешка *Mizuhopecten yessoensis*, при этом растущие потребности в посадочном материале для создания крупномасштабного производства удовлетворяются не только за счет коллекторного сбора молоди в природе. В Приморье создаются первые заводские модули, закупается молодь моллюсков за рубежом. В 2018–2019 гг. в Приморский край завезено около 1 млрд экз. спата приморского гребешка, выращенного на заводах КНР.

Очевидно, что с увеличением числа средних и крупных садковых установок на марикультурных плантациях Приморья происходят изменения в численности и составе паразитофауны, микроценозах. Известно, что в настоящее время значительную угрозу для современной аквакультуры представляют простейшие организмы из родов *Bonamia*, *Nauplosporidium*, *Perkinsus*, а также бактериальные патогены [Robledo et al., 2018; Villanueva-Fonseca et al., 2020].

Цель работы — получение современной информации о состоянии особей приморского гребешка на плантациях Приморья, их паразитофауны и разработка рекомендаций для научных исследований, которые могут стать основой профилактических мероприятий на рыбоводных участках.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили разновозрастные особи приморского гребешка из выростных садков хозяйств марикультуры в зал. Петра Великого (из двух районов на востоке зал. Находка, из бухт Рифовая и Воевода) и у восточного побережья Приморья (рис. 1). В качестве посадочного материала в зал. Петра Великого использовали собранный в природе спат, в бухте Морьяк-Рыболов (восточное побережье) — молодь, полученную на заводах КНР.

В октябре–ноябре 2020 г. в зал. Петра Великого отобрано и проанализировано 98 особей, из которых 59 гребешков в возрасте 2–2+, 39 — в возрасте 1+. В бухте Морьяк-Рыболов в ноябре 2018 г. промерен и взвешен 181 экз. гребешков в возрасте 0+.

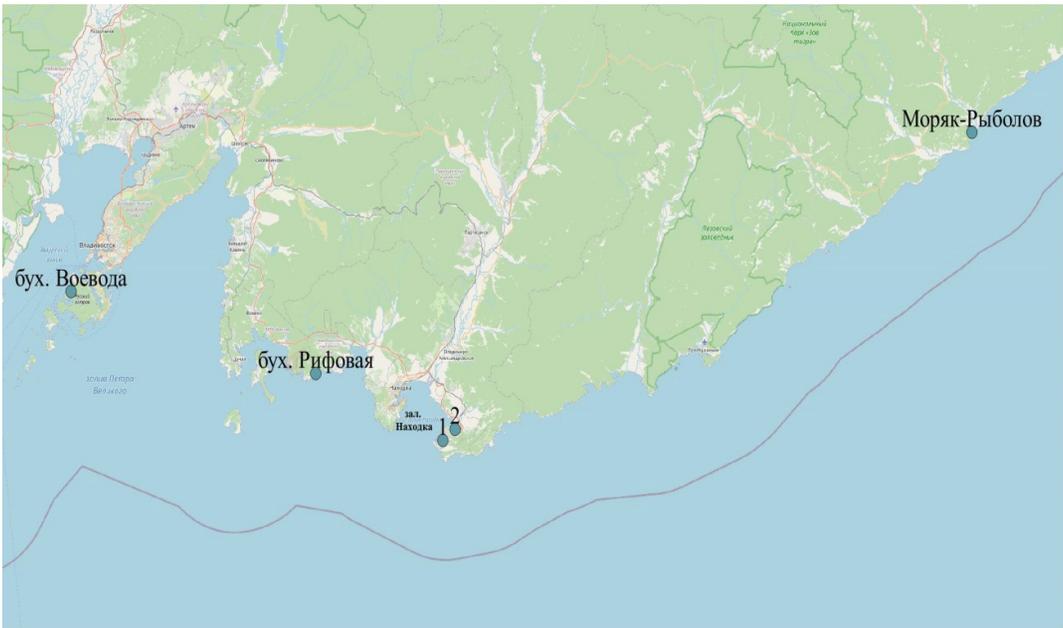


Рис. 1. Карта-схема района отбора проб: 1, 2 — районы отбора проб в зал. Находка
Fig. 1. Scheme of sampling: 1, 2 — samples from the Nakhodka Bay

Высоту (h) и ширину (d) раковины моллюсков измеряли штангенциркулем с точностью до 1 мм, массу тела — на электронных весах с точностью $\pm 0,1$ г. Соотношение h/d рассчитывали для оценки изменения формы раковины, выживаемость — как отношение числа живых моллюсков к их общей численности, выраженное в процентах. Статистическую обработку данных проводили с применением программы MS Excel 2007.

С поверхности раковин гребешков удаляли крупных эпибионтов (асцидий, губок, усонюгих ракообразных, моллюсков) и фиксировали их в 70 %-ном этиловом спирте. Вскрытие моллюсков проводилось в чашках Петри, мантийная жидкость просматривалась под бинокляром МБС-9 для обнаружения крупных паразитов, комменсалов; затем по нативным мазкам изучалось ее содержимое под микроскопом Olympus BX-53 при увеличении от 100 до 400 раз. Соскобы и мазки брались также с жабр, мантии и мускула моллюсков, а сами органы с помощью копрессория изучались под бинокляром [Аниканова и др., 2007]. На внутренней поверхности раковин определяли наличие ходов полихет и образование блистеров. Фотографирование препаратов проводилось на микроскопе Olympus BX-53 камерой DP 73 с выводом изображения на монитор. Всего на наличие паразитов исследовано 98 экз. в возрасте 1+–2+ (выловленные в октябре-ноябре 2020 г.) и 54 экз. (март 2019 г.) спата приморского гребешка.

Результаты и их обсуждение

В зал. Петра Великого в садках на подвесных установках у 58–80 % гребешков в возрасте 2+ лет наблюдалось почернение и расслоение раковины, изменение ее формы. Моллюски в возрасте 1+ года не имели внешних признаков заболеваний в районе № 1 на востоке зал. Находка, тогда как в районе № 2 у 60 % особей наблюдалось отслоение мягких тканей и изменение формы раковины. Уменьшение соотношения h/d до значений 0,96–0,98 (табл. 1) отмечено при значительном искривлении формы раковины у двухлетних моллюсков в зал. Находка в двух районах. В бухте Морьяк-Рыболов наблюдалась массовая (до 78 %) гибель заводской молоди в возрасте 5–6 мес.

Доля моллюсков с поврежденными раковинами и изменениями в мягких тканях

Portion of mollusks with damaged shells and abnormal changes in tissues

Район, дата исследований	Кол-во исследованных особей, экз.	Возраст, годы	Доля зараженных особей, %	Соотношение h/d	
				Зараженные особи	Здоровые особи
Бухта Воевода, 14.10.2020	27	2+	80, изменение формы раковины, массовое обрастание	–	–
Район № 2 (зал. Находка), 21.10.2020	20	1+	60, отслоение мягких тканей, изменение формы раковины	0,98	1,01
Район № 1 (зал. Находка), 21.10.2020	19	1+	0	Нет пораженных особей	1,02
	20	2+	75, почернение и искривление раковины у внутреннего лигамента и кромки	0,96	1,02
Бухта Рифовая, 25.11.2020	12	2+	58, изменение формы раковины, расслоение кромки раковин	0,99	1,0
Бухта Моряк- Рыболов, 28.10.2018	181	0+	45 (28–78), отслоение мягких тканей	–	–

Несмотря на видимые патологические изменения раковин гребешков, основные размерно-массовые характеристики моллюсков в выборках превышали среднестатистические показатели одновозрастных особей, рассчитанные в предыдущие годы для зал. Петра Великого (табл. 2, 3), что, по-видимому, может быть следствием отбора крупного посадочного материала. Средняя высота раковины молодежи, отсаженной в садки в районе № 1, составляла 38,2 мм (диапазон величин — 30–48 мм), в районе № 2 — 37,8 мм (диапазон величин — 25–47 мм). Такие размеры у моллюсков в западных районах зал. Петра Великого чаще отмечались в возрасте одного года, тогда как среди моллюсков первого года жизни (спата) значения высоты раковины лежали в диапазоне 10–25 мм. Средние значения $22,84 \pm 0,36$ мм в ноябре зафиксированы и у молодежи моллюсков первого года жизни, полученной в заводских условиях.

Наиболее характерные признаки у поврежденных моллюсков в возрасте 1+–2+ лет проявлялись в почернении и искривлении раковины, изменении ее формы. Реже наблюдалось поражение мягких тканей. У моллюсков первого года жизни со средней высотой раковины 22,8 мм в бухте Моряк-Рыболов, как правило, происходило отслоение мягких тканей от раковины.

Степень обрастания раковин моллюсков из разных акваторий заметно различалась. Наибольшая масса эбионтов была в бухте Воевода, наименьшая — в бухтах Рифовая и Моряк-Рыболов. На поверхности раковин моллюсков присутствовали усоногие раки *Balanus* sp., хитоны, брюхоногие и двустворчатые моллюски, полихеты, губки, асцидии, макроводоросли и грибы; в соскобах и мазках — инфузории, жгутиконосцы, турбеллярии, зооспорангии и трофозоиты *Perkinsus* spp., бактерии (табл. 4, 5).

Все моллюски из бухты Воевода в возрасте 2+ оказались с большим количеством (в среднем 8 % от общей массы тела) обрастаний на створках (рис. 2).

На поверхности раковин зарегистрированы водоросли (у 11,1 % моллюсков); губки (у 85,0 % моллюсков) (рис. 2, в); сверлящая паразитическая губка *Cliona* sp. (у 3,7 %); асцидии *Ciona intestinalis* (у 77,7 % пораженных особей) (рис. 2, б), а также асцидии других видов (55,5 % пораженных особей); моллюски: панцирные (хитоны)

Таблица 2

Размерно-массовые характеристики приморского гребешка в садковых установках зал. Петра Великого в октябре-ноябре 2020 г.

Table 2

Size-weight parameters of yesso scallop cultivated in cages in Peter the Great Bay in October-November 2020

Район, дата исследований	Кол-во исследованных особей, экз.	Возраст, годы	Средняя высота раковины, мм	Среднее значение общей массы тела, г	Масса мускула, г/выход %	Масса обрастаний, г/ % (от общей массы тела)
Бухта Воевода, 14.10.2020	27	2+	86,70 ± 0,80	105,4 ± 3,5	14,8 ± 0,7/15,9 ± 0,7	8,5/8,0
Район № 2 (зал. Находка), 21.10.2020	20	1+	60,60 ± 1,80	32,9 ± 2,2	3,9 ± 0,2/12,0 ± 0,3	Множество полихет
Район № 1 (зал. Находка), 21.10.2020	19	1+	57,90 ± 1,40	28,3 ± 1,8	3,3 ± 0,3/11,6 ± 0,3	Единично
	20	2+	96,60 ± 2,80	124,5 ± 6,5	17,2 ± 1,0/13,6 ± 0,3	Единично
Бухта Рифовая, 25.11.2020	12	2+	97,60 ± 2,50	123,7 ± 8,2	14,0 ± 1,0/11,2 ± 0,5	Единично
Бухта Моряк-Рыболов, 5.11.2018	181	0+	22,84 ± 0,36	1,5 ± 0,1	—	Единично

Таблица 3

Размерно-массовые характеристики приморского гребешка в зал. Петра Великого в 2002–2008 гг. [по: Гаврилова, Кучерявенко, 2011]

Table 3

Size-weight parameters of yesso scallop in Peter the Great Bay in 2002–2008 [from: Gavrilova, Kucheryavenko, 2011]

Бухта, годы обработки проб	Высота раковины, мм	Общая масса, г
<i>Возраст 1+</i>		
Троицы, 2006	36,9 ± 1,2	—
Воевода, 2002	39,0 ± 1,4	8,9 ± 0,6
Воевода, 2003	42,3 ± 2,9	10,7 ± 1,2
Новик, 2004	45,2 ± 2,0	12,8 ± 1,6
<i>Возраст 2+</i>		
Миноносок, 2002	78,8 ± 1,5	76,6 ± 3,0
Троицы, 2006	64,2 ± 1,5	—
Алеут, 2002	73,0 ± 2,3	90,5
Алеут, 2008	87,5 ± 1,5	98,0
Воевода, 2003	61,9 ± 4,8	41,3 ± 7,8

(3,7 % особей), брюхоногие (3,7 % особей), двустворчатые (59,0 %, из которых тихоокеанская мидия у 55,0 % гребешков); полихеты (род *Polydora*) (у 100 % гребешков); усонogie раки (род *Balanus*) (у 100 % гребешков).

На жабрах моллюсков присутствовали ресничные инфузории *Trichodina* sp. (рис. 3, а) у 22,2 % особей, турбеллярии — у 37,1 % особей; жгутиконосцы — у 100 % гребешков. В мантийной жидкости, соскобах с мантии, жабр и мускула найден зооспорангий *Perkinsus* spp. у 55,5 % моллюсков (рис. 3, б).

У моллюсков в возрасте 2+, отобранных из садков на востоке зал. Находка, масса обрастаний на раковинах была незначительной; присутствовали усонogie раки, трубки-домики полихет, губки, макроводоросли (см. рис. 2, 4). Однако у 60–75 % особей раковины были деформированы и поражены грибами (рис. 5).

Таблица 4

Встречаемость обрастаний на створках раковин приморского гребешка из садков в зал. Петра Великого

Table 4

Frequency of fouling on valves of scallop shells from cages in Peter the Great Bay

Эпibiонты	Доля пораженных особей, %	
	Объем выборки, экз./возраст, годы	
	39/1+	59/2+
Макроводоросли	–	28,80
Губки	25,64	32,20
Сверлящая губка <i>Ciona</i> sp.	–	5,08
Асцидия <i>Ciona intestinalis</i>	–	30,50
Асцидии	–	25,40
Хитоны	–	1,69
Мидия тихоокеанская	–	27,10
Двустворчатые моллюски	–	1,69
Брюхоногие моллюски	–	1,69
Полихеты <i>Polydora</i> spp.	28,20	62,70
Усоногие раки <i>Balanus</i> sp.	33,30	64,40
Грибы	43,50	33,90

Таблица 5

Встречаемость патогенов у разновозрастных особей приморского гребешка при садковом выращивании

Table 5

Occurrence of pathogens infected yesso scallop in cage culture, by scallop ages

Патоген	Локализация патогена	Встречаемость поражений у разновозрастных особей, %		
		0+	1+	2+
		0+	1+	2+
Жгутиконосцы	Жабры	–	51,28	66,00
<i>Trichodina</i> sp.	Жабры	–	23,08	8,47
Турбеллярии	Жабры	–	33,30	20,34
<i>Perkinsus</i> sp.	Жабры, мантия, мускул, мантийная жидкость	100 % (зооспоры)	51,28 (зооспорангий)	20,30 (трофозонты, зооспорангий)
Бактериальная инфекция	Жукул	–	2,56	5,08

В жабрах двухгодовалых гребешков присутствовали ресничные инфузории *Trichodina* sp. (у 55 % особей) и турбеллярии (у 35 %); в мантийной полости и в соскобах из органов — зооспорангии *Perkinsus* spp. (у 100 % вскрытых моллюсков). В мускуле у трех гребешков зарегистрированы оранжевые капсулы, у одного из них — многочисленные капсулы, ткани мускула были лизированы (рис. 6, б).

У гребешков в возрасте 1+ сколько-нибудь значительных обрастаний раковины не отмечено; деформация раковин и отслоение мягких тканей наблюдались на одной из садковых установок у 60 % особей.

На жабрах у 5 % гребешков обнаружены турбеллярии; в мускуле одной особи капсула бледно-оранжевого цвета (рис. 6, а), предположительно бактериального генеза.

Еще на одной акватории (вблизи бухты Рифовая) обрастания раковин гребешков в возрасте 2+ также были незначительны. На жабрах присутствовали жгутиконосцы (у всех исследованных особей) и турбеллярии; в мантии, мускуле и жабрах у всех особей — трофозонты *Perkinsus* spp. (рис. 7).

В бухте Морьяк-Рыболов у гребешков в возрасте 5–6 мес. не было обнаружено обрастаний раковины, но в мягких тканях всех исследованных особей присутствовали

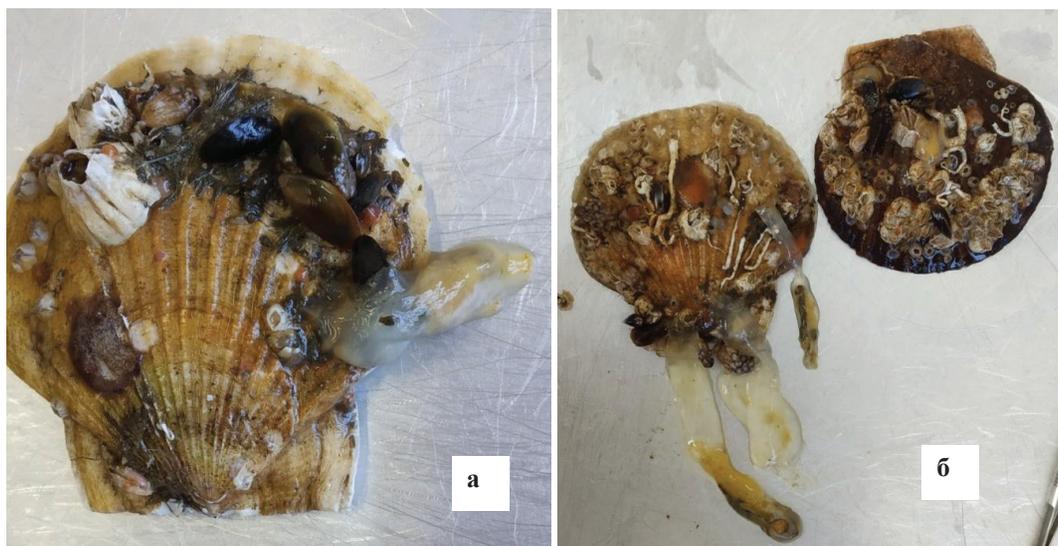


Рис. 2. Обрастания на раковинах приморского гребешка в бухте Воевода (возраст 2+)

Fig. 2. Fouling on shells of yesso scallop at the age 2+ in the Voevoda Bight

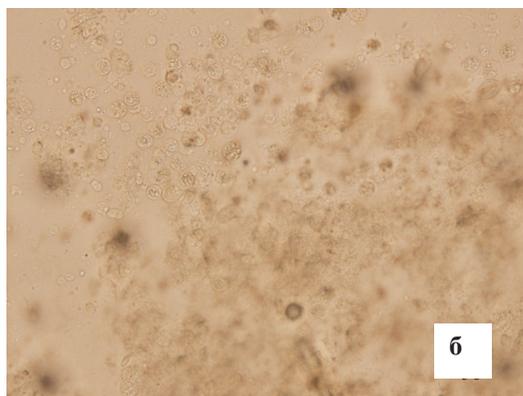
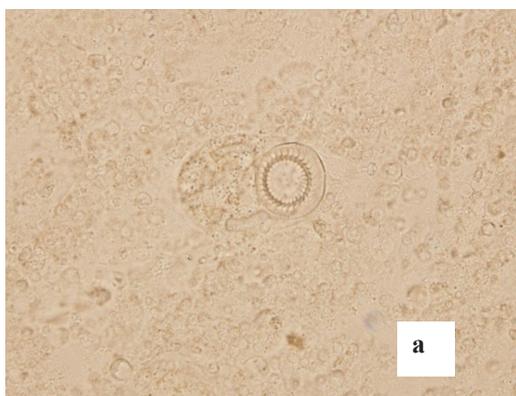


Рис. 3. Ресничные инфузории *Trichodina* sp. (а), зооспорангий *Perkinsus* spp. (б) на жабрах гребешков из бухты Воевода

Fig. 3. Ciliates *Trichodina* sp. (а) and zoosporangium *Perkinsus* spp. (б) on gills of yesso scallop from the Voevoda Bight

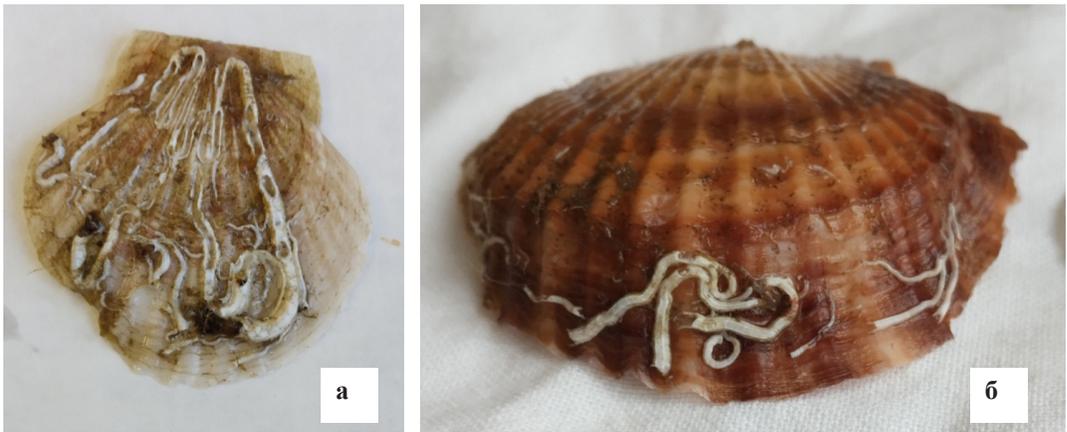


Рис. 4. Обрастания раковин гребешков в зал. Находка
Fig. 4. Fouling on shells of yesso scallop in the Nakhodka Bay

в большом количестве зооспоры *Perkinsus* spp. (рис. 8). Более чем у половины выращиваемой молодежи произошло отслоение мягких тканей от раковины, в дальнейшем на втором году выращивания наблюдалась почти 100 %-ная смертность моллюсков на плантации.

В настоящее время на плантациях марикультуры Приморья отмечается высокая смертность приморского гребешка в возрастной группе 0+–2+ лет. Патологические изменения у моллюсков и их гибель наблюдаются с увеличением количества средних и крупных садковых комплексов в бухтах и заливах. Это не позволяет получать товарную продукцию гребешка в запланированном объеме [Бровкина, Костина, 2020].

У восточного побережья Приморья высокие значения смертности заводской молодежи в результате отслоения мягких тканей от раковины наблюдались при массовом поражении всех органов *Perkinsus* spp. (идентификация патогена произведена под микроскопом с 400-кратным увеличением с учетом имеющихся в литературе фотографий и описаний) [Choi et al., 2005; Petty, 2013*; Choi, Waki, 2016; и др.]. Выживаемость заводского спата гребешка, произведенного на заводах КНР, при садковом подращивании оказалась значительно ниже в сравнении с таковой у молодежи, собранной в природе в южном Приморье [Гаврилова и др., 2019].

В зал. Петра Великого у моллюсков первого года жизни, собранных в природе на коллекторах (посадочный материал для садкового выращивания), внешних признаков зараженности отмечено не было. На втором году выращивания (возраст 1+) поражения и изменения формы раковины отмечены не во всех районах, однако достигали 60 % в одной из двух выборок. В возрасте 2–2+ лет поражение раковин отмечено у 58–80 % особей из всех исследованных акваторий.

Столь высокие значения повреждений и смертности моллюсков в условиях садкового выращивания нехарактерны при нарушениях технологических процессов в марикультуре, что говорит о воздействии патогенных организмов. В изученных образцах главные патогены представлены простейшими рода *Perkinsus* и неопределенными бактериальными агентами. Организмы-обрастатели, присутствующие на поверхности раковин гребешков, не являются непосредственной причиной гибели моллюсков, но способствуют ослаблению гребешков и дальнейшему развитию болезней. Турбеллярии и инфузории на жабрах при незначительной интенсивности не оказывают существенного воздействия на организм хозяина, что уже отмечалось ранее [Курочкин и

* Petty D. *Perkinsus* infections of bivalve molluscs : Fish. Aquat. Sci. Dep. FA178. 2013. <http://edis.ifas.ufl.edu>.



Рис. 5. Деформированные (а, б) и пораженные грибами (в, г, д, е) раковины гребешка из зал. Находка

Fig. 5. Deformed (a, б) and infected by fungi (в, г, д, е) shells of yesso scallop from the Nakhodka Bay



Рис. 6. Поражение мускула гребешка из зал. Находка
Fig. 6. Infectious lesion of muscle for scallop from the Nakhodka Bay

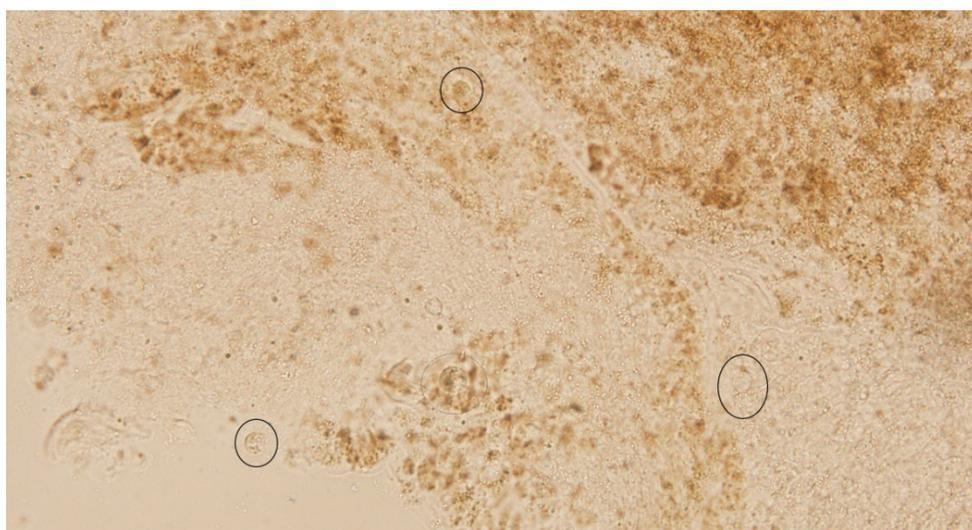


Рис. 7. Трофозоиты *Perkinsus* spp. в жабрах гребешка
Fig. 7. Trophozoites *Perkinsus* in gills of scallop

др., 1986]; в больших количествах они присутствуют только у ослабленных особей. Разнообразие внешних проявлений заболевания позволяет предположить вариант смешанной инфекции на плантациях. Следовательно, к массовой гибели моллюсков приводят не только конкретные возбудители заболеваний (два вида рода *Perkinsus* и ранее отмечались в водах Приморья), но и их совокупность и концентрации. Паразиты рода *Perkinsus* вызывают высокую смертность разных видов моллюсков во всем мире, что приводит к серьезным экономическим потерям [Villalba et al., 2004; Choi, Park, 2010; Choi, Waki, 2016].

По-видимому, возникновению болезней способствует и интенсивность обрастания раковин. Полихеты, проделывая ходы в раковинах, нарушают их структуру, вызывая усиленное выделение перламутра, что приводит к образованию блистеров (иногда значительных размеров), в результате происходит механическое воздействие

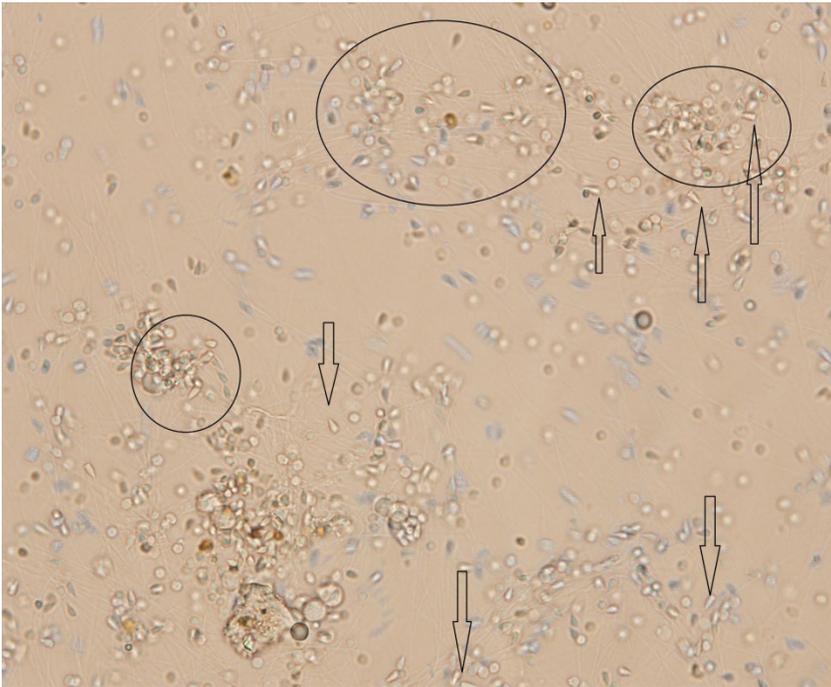


Рис. 8. Зооспоры *Perkinsus* spp. из гребешка бухты Морьяк-Рыболов
Fig. 8. Zoospores *Perkinsus* infected the scallop from the Moryak-Rybolov Bay

на органы моллюсков, приводящее к угнетению их функций и атрофии. В местах прикрепления усоногих раков деформируются края раковин, изменяется их форма, что также сказывается на физиологическом состоянии гребешков. В местах прикрепления баянусов деформированная раковина в большинстве случаев была инфицирована грибами (рис. 9).



Рис. 9. Поражение раковины гребешка в месте прикрепления усоногого рака
Fig. 9. Lesion of scallop shell at the site of *Balanus* attachment

Негативное воздействие патогенов на организм может осуществляться различными механизмами, вызывая интоксикацию, разрушая ткани, нарушая регуляторные механизмы. Размножающиеся патогенные микроорганизмы, продукты их жизнедеятельности негативно влияют на физиологическое состояние организма хозяина. Они, как правило, обладают способностью мигрировать между различными хозяевами, вызывая инфекционное заболевание в условиях скученности. Как уже отмечалось, при

садковом выращивании с высокими плотностями посадки скорость и интенсивность распространения таких патогенов, как *Perkinsus* spp., существенно возрастает [Villalba et al., 2004; Petty, 2013*].

Следует отметить, что паразитические организмы являются обычными членами биоценозов, не существует животных, внутри или на поверхности которых не содержалось бы таких организмов. Большинство из них имеют микроскопические размеры и при низкой интенсивности инвазии не причиняют существенного вреда своим хозяевам, редко влияя на качество сырья и продукции. Они незаметны или малозаметны и выявляются только при проведении специального паразитологического исследования. Поэтому сам по себе факт нахождения в гидробионтах незначительного количества паразитов не может быть причиной массовой гибели моллюсков и основанием для снижения качества продукции. В природных экосистемах болезни гидробионтов являются одним из факторов, способным регулировать численность различных видов, однако отследить их влияние на популяции удается сравнительно редко.

При создании марикультурных хозяйств создаются высокие концентрации гидробионтов в единице объема воды, что приводит к стремительному размножению и распространению патогена среди хозяев и, как следствие, к заболеванию и массовой гибели последних. В таких условиях (скученности, стресса) не только паразитические организмы, но и комменсалы, и свободноживущие инфузории способны влиять на здоровье гидробионтов [Курочкин и др., 1986].

При развитии аквакультуры в регионах важно оценить исходные уровни патогенов в морской среде для обеспечения безопасности продукции; необходимо также знать их биологию, взаимодействие с хозяином и реакцию на изменение условий окружающей среды, что может помочь в управлении рисками. Знание исходного уровня патогенов, передающихся через воду, необходимо и для развития безопасной и устойчивой аквакультуры в будущем, для предотвращения массовой гибели моллюсков. В последние годы во многих регионах акцент в исследованиях был сделан на изучение паразитических простейших и бактериальных агентов, представляющих угрозу для природных и искусственных популяций двустворчатых моллюсков [Coen, Bishop, 2015; Dégremonet et al., 2015; Shinn et al., 2015; Robledo et al., 2018].

В Приморье пока не проводятся работы, связанные с изучением распространения патогенов на плантациях марикультуры, при этом для садкового культивирования моллюсков (прежде всего гребешка) предназначены обширные акватории в несколько десятков тысяч гектаров. С 2018 г. существует практика завоза заводской молодежи моллюсков из-за рубежа без соблюдения всех необходимых карантинных мероприятий. В последние годы существенно увеличились объемы производства марикультуры, что может привести к весомым утратам в случае непринятия мер по безопасности производства. К сожалению, не ведется подготовка специалистов-ихтиопатологов, способных оценить современную санитарно-эпидемиологическую обстановку в хозяйствах марикультуры.

Заключение

Принимая во внимание полученные сведения о состоянии приморского гребешка на плантациях, а также литературные данные, необходимо начать несколько первоочередных научных исследований, по результатам которых мог бы быть сформирован протокол мероприятий для предотвращения распространения наиболее опасных инфекций.

Для понимания современной ситуации в районах расположения садковых установок, где происходит или предполагается выращивание двустворчатых моллюсков, необходим мониторинг распространенности патогенов для выявления их видового со-

* Petty D. Perkinsus infections of bivalve molluscs : Fish. Aquat. Sci. Dep. FA178. 2013. <http://edis.ifas.ufl.edu>.

става и количественных показателей. Экологические риски часто становятся предметом изучения только после того, как уже был нанесен экономический ущерб; в прибрежных районах Приморья существует возможность установить исходный уровень рисков на ранней стадии роста марикультуры двусторчатых моллюсков.

Особое внимание необходимо уделить исследованиям паразитофауны посадочного материала, производимого на заводах и собираемого на коллекторных установках. Загрязненность молоди гребешка должна оцениваться перед рассадкой в садки. Одним из приемов для улучшения качества посадочного материала может стать предварительное выдерживание моллюсков в воде с лекарственными препаратами комплексного действия (от паразитов и инфекций, например, «Антибак», «Антипар» и др.). Экспозиция и дозы препаратов должны быть определены в ходе экспериментальных работ.

Для сохранения продуктивности современных плантаций в качестве одного из приемов может быть рекомендована «многопольная» система выращивания товарных моллюсков, при которой часть акватории рыбоводного участка должна быть свободна от садковых установок. Такие рекомендации потребуют внесения изменений в методику определения минимального объема объектов аквакультуры, подлежащих разведению и содержанию, выращиванию, а также выпуску в водный объект и изъятию из водного объекта в границах рыбоводного участка, так как очевидно, что значительная часть площади РВУ должна быть освобождена от подвесных установок.

Перевозка в пределах прибрежной зоны Приморья и ввоз молоди моллюсков из приграничных стран должны производиться при строгом соблюдении карантинных мероприятий и по возможности в ограниченных объемах; должны быть введены правила, ограничивающие перемещение посадочного материала (спата) и производителей из неблагополучных акваторий. Учитывая уже существующую распространенность заболеваний моллюсков, такие ограничения должны приниматься на региональном уровне без промедления. В этом случае необходимо сформулировать и процедуру оценки санитарно-эпидемиологического статуса рыбоводных участков.

Перевозку посадочного материала приморского гребешка осуществляют в воде и на влажных субстратах, методику профилактической обработки которых соответствующими препаратами также необходимо разработать в ходе экспериментальных исследований. Для многих опасных патогенов, появляющихся в марикультурных хозяйствах и приводящих к гибели значительного количества выращиваемых гидробионтов, до настоящего времени не разработаны (в большинстве случаев и не могут быть разработаны) соответствующие методы лечения. Поэтому профилактика и контроль, препятствующие попаданию патогенов на заводы и плантации, — одна из мер недопущения возникновения эпизоотий.

В Ветеринарно-санитарном кодексе водных животных* указаны критерии для включения болезней водных животных в список, на основании которых составлен перечень болезней международного эпизоотического бюро (МЭБ) и в отношении которых необходим эпизоотический контроль. На территории Российской Федерации действуют и иные регулирующие документы**. Выполнение их требований должно стать неотъемлемой частью уставов марикультурных хозяйств Приморья. Принимая во внимание незначительную осведомленность предпринимателей о проблемах болезней объектов аквакультуры, следует изучить возможность проведения обучающих курсов для специалистов марихозяйств с привлечением представителей Роспотребнадзора РФ по Приморскому краю и научно-исследовательских организаций.

* Aquatic animal health code. 17th edition. World organisation for animal health, 2014. 296 p.

** Ветеринарно-санитарный кодекс водных животных. 12-е изд. Всемирная организация охраны здоровья животных (Oie), 2009. 328 с.; Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 14.12.2015 № 635 «Об утверждении Ветеринарных правил проведения регионализации территории Российской Федерации». 21 с.

Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность старшему преподавателю Дальрыбвтуза Е.П. Бровкиной и начальнику участка марикультуры в зал. Находка Е.А. Костиной за предоставление материала.

Финансирование работы

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Соблюдение этических стандартов

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

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Информация о вкладе авторов

Г.С. Гаврилова, З.И. Мотора — обработка материала, написание статьи и анализ результатов; С.Е. Поздняков — написание статьи и анализ результатов.

Список литературы

Аниканова В.С., Бугмырин С.В., Иешко Е.П. Методы сбора и изучения гельминтов мелких млекопитающих : учеб пособие. — Петрозаводск : КНЦ РАН, 2007. — 145 с.

Бровкина Е.П., Костина Е.А. Характер протекания эпизоотий при садковом выращивании гребешка в Приморье. Перкинсус — вероятная причина возникновения данных заболеваний // Науч. тр. Дальрыбвтуза. — 2020. — Т. 53, вып. 3. — С. 41–52.

Гаврилова Г.С., Кучерявенко А.В. Продуктивность плантаций двустворчатых моллюсков в Приморье : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2011. — 112 с.

Гаврилова Г.С., Сухин И.Ю., Турабжанова И.С. Первый опыт садкового выращивания заводской молоди гребешка (*Mizuhopecten yessoensis*) у восточного побережья Приморья // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 197. — С. 208–218. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-197-208-218.

Курочкин Ю.В., Цимбалюк Е.М., Рыбаков А.В. Паразиты и болезни // Приморский гребешок. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1986. — С. 174–182.

Choi K.-S., Park K.-I. Review on the protozoan parasite *Perkinsus olseni* (Lester and Davis 1981) infection in Asian waters // Coast. Environ. Ecos. Issues East China Sea. — 2010. — P. 269–281.

Choi K.-S., Park K.-I., Cho M.-J., Soudant P. Diagnosis, pathology and taxonomy of *Perkinsus* sp. isolated from the Manila clam *Ruditapes philippinarum* in Korea // J. of Aquaculture. — 2005. — Vol. 18, Iss. 3. — P. 207–214.

Choi K.-S., Waki T. *Perkinsus olseni* (Lester and Davis 1981) infection in the Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) in Korea; species identification, impacts and spatio-temporal distribution // Bull. Jap. Fish. Edu. Agen. — 2016. — № 42. — P. 23–27.

Coen L.D., Bishop M.J. The ecology, evolution, impacts and management of host-parasite interactions of marine molluscs // J. Invertebr. Pathol. — 2015. — Vol. 131. — P. 177–211. DOI: 10.1016/j.jip.2015.08.005.

Dégremont L., Garcia C., Allen S.K.Jr. Genetic improvement for disease resistance in oysters: a review // J. Invertebr. Pathol. — 2015. — Vol. 131. — P. 226–241. DOI: 10.1016/j.jip.2015.05.010.

Robledo J.A.F., Marquis N.D., Countway P.D. et al. Pathogens of marine bivalves in Maine (USA): a historical perspective // Aquaculture. — 2018. — Vol. 493, Iss. 6. — P. 9–17. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.04.042.

Shinn A.P., Pratoomyot J., Bron J.E. et al. Economic costs of protistan and metazoan parasites to global mariculture // Parasitology. — 2015. — Vol. 142. — P. 196–270. DOI: 10.1017/S0031182014001437.

Villalba A., Reece K.S., Ordás M.C. et al. Perkinsosis in molluscs: A review // Aquat. Living Resour. — 2004. — Vol. 17. — P. 411–432. DOI: 10.1051/alr:2004050.

Villanueva-Fonseca L.C., García-Ulloa M., López-Meyer M. et al. *Perkinsus marinus* in the pleasure oyster *Crassostrea corteziensis* cultivated on the southeast coast of the Gulf of California, Mexico // Lat. Am. J. Aquat. Res. — 2020. — Vol. 48, № 4. — P. 529–437.

References

- Anikanova, V.S., Bugmyrin, S.V., and Ieshko, E.P.**, *Metody sbora i izucheniya gel'mintov melkikh mlekovykh zhivotnykh* (Methods for collecting and studying helminths of small mammals), Petrozavodsk: KarNTS RAN, 2007.
- Brovkina, E.P. and Kostina, E.A.**, The nature of the coits of epizootics during cage rearing of scallops in Primorye. Perkinsus is the likely cause of these diseases, *Nauchn. Tr. Dal'rybvtuza*, 2020. — Т. 53, вып. 3. — С. 41–52.
- Gavrilova, G.S. and Kucheryavenko, A.V.**, *Produktivnost' plantatsii dvustvorchatykh mol'lyuskov v Primorye* (Productivity of Bivalve Farms in Primorsky Krai), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2011.
- Gavrilova, S.G., Sukhin, I.Yu., and Turabzhanova, I.S.**, First experience of cage cultivation of hatchery-produced juvenile scallop *Mizuhopecten yessoensis* at eastern coast of Primorye, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 197, pp. 208–218. doi 10.26428/1606-9919-2019-197-208-218.
- Kurochkin, Yu.V., Tsimbalyuk, E.M., and Rybakov, A.V.**, Parasites and diseases, in *Primorskii grebeshok* (Yesso Scallop), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1986, pp. 174–182.
- Choi, K.-S. and Park, K.-I.**, Review on the protozoan parasite *Perkinsus olseni* (Lester and Davis 1981) infection in Asian waters, *Coast. Environ. Ecos. Issues East China Sea*, 2010, pp. 269–281.
- Choi, K.-S., Park, K.-I., Cho, M.-J., and Soudant, P.**, Diagnosis, pathology and taxonomy of *Perkinsus* sp. isolated from the Manila clam *Ruditapes philippinarum* in Korea, *J. of Aquaculture*, 2005, vol. 18, no. 3, pp. 207–214.
- Choi, K.-S. and Waki, T.**, *Perkinsus olseni* (Lester and Davis 1981) infection in the Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) in Korea; species identification, impacts and spatio-temporal distribution, *Bull. Jap. Fish. Edu. Agen.*, 2016, no. 42, pp. 23–27.
- Coen, L.D. and Bishop, M.J.**, The ecology, evolution, impacts and management of host-parasite interactions of marine molluscs, *J. Invertebr. Pathol.*, 2015, vol. 131, pp. 177–211. doi 10.1016/j.jip.2015.08.005
- Dégremont, L., Garcia, C., and Allen, S.K.Jr.**, Genetic improvement for disease resistance in oysters: a review, *J. Invertebr. Pathol.*, 2015, vol. 131, pp. 226–241. doi 10.1016/j.jip.2015.05.010
- Robledo, J.A.F., Marquis, N.D., Countway, P.D., Record, N.R.,^{Irish}, E.L., Schudt, M.M., Kingston, S.E., Bishop, T.J., Messerman, N.A., and Bowden, T.J.**, Pathogens of marine bivalves in Maine (USA): a historical perspective, *Aquaculture*, 2018, vol. 493, no. 6, pp. 9–17. doi 10.1016/j.aquaculture.2018.04.042
- Shinn, A.P., Pratoomyot, J., Bron, J.E., Paladini, G., Brooker, E.E., and Brooker, A.J.**, Economic costs of protistan and metazoan parasites to global mariculture, *Parasitology*, 2015, vol. 142, pp. 196–270. doi 10.1017/S0031182014001437
- Villalba, A., Reece, K.S., Ordás, M.C., Casas, S.M., and Figueras, A.**, Perkinsosis in molluscs: A review, *Aquat. Living Resour.*, 2004, vol. 17, pp. 411–432. doi 10.1051/alr:2004050
- Villanueva-Fonseca, L.C., García-Ulloa, M., López-Meyer, M., Villanueva-Fonseca, B.P., Hernández-Sepúlveda, J.A., Muñoz-Sevilla, N.P., and Góngora-Gómez, A.M.**, *Perkinsus marinus* in the pleasure oyster *Crassostrea corteziensis* cultivated on the southeast coast of the Gulf of California, Mexico, *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 2020, vol. 48, no 4, pp. 529–437.
- Petty, D.**, *Perkinsus* infections of bivalve molluscs, *Fish. Aquat. Sci. Dep.*, FA178, 2013. <http://edis.ifas.ufl.edu>. Cited June 27, 2021.
- Aquatic animal health code*, 17th ed. World organisation for animal health, 2014.
- Veterinarno-sanitarnyy kodeks vodnykh zhivotnykh* (Veterinary and Sanitary Code of Aquatic Animals), 12th ed., World Organization for Animal Health (Oie), 2009.
- Prikaz Ministerstva sel'skogo khozyaystva RF ot 14.12.2015 № 635 "Ob utverzhdenii Veterinarnykh pravil provedeniya regionalizatsii territorii Rossiyskoy Federatsii"* (Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 14, 2015 no. 635 "On Approval of Veterinary Rules for the Regionalization of the Territory of the Russian Federation").

Поступила в редакцию 8.09.2021 г.

После доработки 12.10.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

УДК 639.3/6:664.95:641

**А.В. Жигин^{1,2}, М.В. Сытова¹, Ю.И. Есавкин^{2*}**¹ Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,

107140, г. Москва, ул. Верхняя Красносельская, 17;

² Российский государственный аграрный университет —

МСХА имени К.А. Тимирязева,

127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

АКВАКУЛЬТУРА КАК ИСТОЧНИК ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Проанализированы современное состояние, принципы функционального питания за рубежом и в нашей стране, существующие методы получения продуктов функционального питания животного происхождения. Показано, что опыт получения таких продуктов в аквакультуре, особенно прижизненным методом, минимален. На примере выращивания радужной форели до средней массы 380 г в модельной установке с замкнутым водоиспользованием (УЗВ) показано, что ее мясо содержало 1,28 г омега-3 полиненасыщенных жирных кислот на 100 г продукта, норма потребления которых для взрослого человека составляет 1–3 г в сутки. Введением в корм форели селенсодержащего препарата «Эс-векс» (1 мл/кг корма) удалось повысить ее выживаемость на 11,7 %, рыбопродуктивность — на 17,5 %, содержание селена в мясе — до 20,1 мкг/100 г (на 7,3 мкг больше, чем в контроле), получив экологически чистый и функциональный продукт питания. В соответствии с ГОСТ Р 55577-2013 выращенная рыба является «источником высокого содержания» данных нутриентов.

Ключевые слова: аквакультура, радужная форель, *Oncorhynchus mikiss*, установка с замкнутым водоиспользованием, функциональные продукты питания, селен, омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты, обогащенные рыбные комбикорма.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-910-922.

Zhigin A.V., Sytova M.V., Esavkin Yu.I. Aquaculture as a source of functional food // *Izv. TINRO.* — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 910–922.

* *Жигин Алексей Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, профессор кафедры аквакультуры и пчеловодства, e-mail: azhigin@gmail.com; Сытова Марина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, ученый секретарь, e-mail: nauka@vniro.ru; Есавкин Юрий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры аквакультуры и пчеловодства, e-mail: esavkin@rgau-msha.ru.*

Zhigin Alexey V., D.Agr., principal researcher, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 17, Verkhnyaya Krasnoselskaya Str., Moscow, 107140, Russia; professor, Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya, Moscow, 127550, Russia, e-mail: azhigin@gmail.com; Sytova Marina V., Ph.D., science secretary, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 17, Verkhnyaya Krasnoselskaya Str., Moscow, 107140, Russia, e-mail: nauka@vniro.ru; Yesavkin Yury I., D.Agr., professor, Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya, Moscow, 127550, Russia, e-mail: esavkin@rgau-msha.ru.

Current state of functional nutrition is analyzed. Principles and methods for production of the natural and artificially enriched functional food of animal origin in Russia and other countries are overviewed. Possibility of using the fish reared at fish farms as a raw material for functional nutrition is shown. Experience of such raw materials production in aquaculture is still insufficient, in particular for the *in vivo* enrichment. High-quality raw materials for the functional nutrition can be produced in aquaculture with recirculated water system. Meat of rainbow trout (*Oncorhynchus mikiss* Walbaum) reared up to the weight of 380 g in a model recirculated water system contains on average 1.28 g omega-3 polyunsaturated fatty acids per 100 g, whereas its consumption rate is 1–3 g per day for human adults. Selenium content in the meat of the rainbow trout underyearlings fed during 110 days by the preparation Essex (1 mL/kg of feed) has increased up to 20.1 mg/100 g (7.3 mg above the control) that corresponds to 28.7 and 36.6 % of the daily consumption rate of selenium for man and woman, respectively. This raw material can be used for production of ecologically clean and functional food products in cases of selenium scarcity. Besides, survival rate of the underyearlings increased by 11.7 % and their yield by 17.5 %. Prospects are shown of a new direction in innovative biotechnology toward production of functional food in high-tech industrial aquaculture using a purposeful enrichment of fish meat with specified nutrients.

Key words: aquaculture, rainbow trout, *Oncorhynchus mikiss*, recirculated water system, functional food, selenium, omega-3 polyunsaturated fatty acid, enriched fish compound.

Введение

Аквакультура в нашей стране является динамично развивающимся направлением рыбохозяйственного комплекса, показывающим за последние 5 лет очень высокие темпы роста объемов производства, — 7–15 % в год. Ее дальнейшее развитие планируется осуществлять в рамках общей Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 г., утвержденной распоряжением правительства Российской Федерации от 26 ноября 2019 г. № 2798-р (далее — Стратегия). Данной Стратегией предусмотрено увеличение к 2030 г. объема производства товарной аквакультуры почти в 3 раза, до 618 тыс. т [<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72972854/>].

Вместе с тем успешная реализация поставленных в Стратегии задач тесно связана с дальнейшим устойчивым развитием пищевой и перерабатывающей промышленности на основе наукоемких подходов и инновационных решений принятой ранее в 2012 г. Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 г., где основными направлениями в этой сфере, в частности, были определены:

— создание биокаталитических и биосинтетических технологий производства функциональных продуктов питания с использованием биологически активных добавок иммуномодулирующего, антиоксидантного и биокорректирующего действия, пре- и пробиотиков для предупреждения различных заболеваний и укрепления защитных функций организма, снижения риска воздействия вредных веществ, в том числе для населения, проживающего в зонах экологического неблагополучия;

— разработка научных основ прижизненного формирования заданных качественных и функциональных характеристик сырья животного и растительного происхождения с целью создания дифференцированных технологий его переработки и хранения для обеспечения стабильного качества, хранимоспособности и минимизации потерь целевой продукции;

— производство экологически чистых продуктов питания и экологическая безопасность продовольствия [<https://base.garant.ru/70167828/#ixzz7ASBc74Hu>].

Данные направления научного обеспечения развития пищевой и перерабатывающей промышленности для целей обеспечения профилактики заболеваний, увеличения продолжительности и повышения качества жизни населения остаются актуальными и в настоящее время, найдя свое отражение в проекте новой Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на

период до 2030 г. [<https://barley-malt.ru/wp-content/uploads/2019/11/proekt-strategyy-razvytyja-pyschevoj-y-pererabatyvajuschej-promyshlennosti-rf.pdf>].

Материалы и методы

В настоящей работе использован описательно-аналитический метод исследования, проведен теоретический анализ научной и методической литературы, а также нормативных документов в области создания продуктов функционального питания и перспектив их прижизненного получения в условиях аквакультуры. В целях определения принципиальной возможности прижизненного обогащения мяса радужной форели селеном и изучения влияния добавки в корма селеносодержащего препарата «Эсвекс» на организм сеголеток форели в условиях модельной установки с замкнутым водоиспользованием аквариальной кафедры аквакультуры и пчеловодства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в течение 110 сут проведено их экспериментальное выращивание. Условия проведения опыта для опытной и контрольной групп рыб были одинаковые: плотность посадки — 60 шт./м³, средняя исходная масса — 103,3 г, ихтиомасса — 6,2 кг/м³. Рыбы контрольной группы получали основной рацион: продукционный корм для товарного выращивания форели «ЛимКорм 42/17», рыбам опытной группы к основному рациону добавляли 1 мл/кг корма «Эсвекс». Доза препарата была выбрана исходя из предыдущего опыта его использования при кормлении форели в садках [Есавкин и др., 2007].

По завершении опыта проведено обследование 10 контрольных и 10 опытных экземпляров из каждой группы рыб, выращиваемых с добавлением препарата. Пробы мускулатуры для биохимических исследований брали на уровне спинного плавника. Изучение накопления селена в тканях рыб проводили по общепринятой методике [Голубкина и др., 2002; https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/401377/]. Математическую обработку полученных результатов проводили по Г.Ф. Лакину [1980].

Кроме того, у выращенной ранее в данной установке замкнутого водоиспользования форели, средней массой 380 г, определяли содержание в мясе омега-3 полиненасыщенных жирных кислот на 100 г продукта методом высокоэффективной хроматографии — масс-спектрометрии.

Результаты и их обсуждение

Известно, что организм человека не синтезирует большинство микронутриентов — витаминов, минеральных и биологически активных веществ — и не способен запастись витаминами впрок на долгий срок (за исключением жирорастворимых). Поэтому многие микронутриенты должны поступать в организм регулярно и в количестве, соответствующем физиологической потребности человека, в течение всего года.

В постановлении главного санитарного врача Российской Федерации от 14 июня 2013 г. № 31 «О мерах по профилактике заболеваний, обусловленных дефицитом микронутриентов, развитию производства пищевых продуктов функционального и специализированного назначения» Минпромторгу и Минсельхозу России было рекомендовано обратить внимание на развитие производства пищевых продуктов, обогащенных незаменимыми компонентами, специализированных продуктов детского питания, продуктов функционального назначения, диетических (лечебных и профилактических) пищевых продуктов [<https://docs.cntd.ru/document/499028448>].

Другими словами, одной из задач государственной политики в области здорового питания населения является расширение отечественного производства пищевых продуктов, обогащенных незаменимыми компонентами, в том числе продуктов функционального назначения.

Термины «функциональные продукты», «функциональное, или здоровое, питание» появились в Японии в конце 80-х — начале 90-х гг. XX в., когда была сформулирована теория позитивного питания, согласно которой функциональные продукты должны иметь три основных свойства: необходимую пищевую ценность, приятный вкус и

положительное физиологическое воздействие на организм [Современные подходы..., 2016]. К этому еще можно добавить способность регулировать протекание некоторых процессов в организме, профилактическое воздействие относительно определенных заболеваний, абсолютную безвредность.

В 1989 г. в научной литературе впервые появился термин «functional foods» — «функциональные пищевые продукты» (полное название — «физиологически функциональные пищевые продукты»). Японское правительство признает функциональное питание как альтернативу медикаментозной терапии и определяет его как Food for Specific Health Use (FOSHU) [<http://trid.biz/article/zachem-nuzhno-funkcionalnoe-pitanie>].

В отличие от общепринятого понятия рационального питания, под термином «функциональное питание» японские исследователи подразумевают использование таких продуктов естественного происхождения, которые при систематическом употреблении оказывают позитивное регулирующее действие на определенные системы и органы макроорганизма или их функции, улучшая физическое и психическое здоровье человека.

Концепция функционального питания в Европе начала разрабатываться лишь с середины 1990-х гг. В результате многочисленных дискуссий, проходивших в 1995–1998 гг., был разработан итоговый документ, получивший название «Научная концепция функциональных продуктов питания в Европе» (Scientific Concepts of Functions Food in Europe). В нем было представлено обобщенное мнение европейских специалистов по проблеме функционального питания, включая терминологические, технологические аспекты, перспективы развития этой области пищевой индустрии и некоторые другие вопросы. В заключительной части документа было подчеркнуто, что в пищевой индустрии появилась уникальная возможность улучшить здоровье населения за счет организации производства и вывода на рынок новой категории пищевых продуктов — продуктов функционального питания, обладающих не только питательной в традиционном смысле этого слова активностью, но и способностью улучшать физическое и психическое здоровье и/или снижать риск возникновения заболеваний [<https://www.diabetes-ru.org/files/2018-06-21.pdf>].

Международный совет информации о пище (IFIC) и Международный институт жизни и науки Северной Америки (ILSI) рассматривают функциональные продукты как продукты, которые благодаря содержанию биологически активных веществ оказывают благоприятное влияние на здоровье, помимо основной питательной ценности. В соответствии с этими определениями необогащенные продукты, такие как фрукты и овощи, являются простейшим примером функциональных продуктов питания.

Продукты здорового питания не являются лекарствами и не могут излечивать, но помогают предупредить болезни и старение организма в сложившейся экологической обстановке, полезны они и больным в качестве вспомогательной терапии.

В настоящее время продукты функционального питания составляют не более 3 % всех известных пищевых продуктов. Согласно прогнозам, в ближайшие десятилетия их доля достигнет 30–50 % всего продуктового рынка. Таким образом, можно говорить о том, что производство функциональных продуктов питания является долгосрочной тенденцией, а не кратковременным модным явлением [Современные подходы..., 2016].

В отечественной науке термин «функциональное питание» длительное время не использовался, хотя отдельные аспекты этого научного направления изучались достаточно долго и глубоко. В российскую литературу термин «функциональное питание» вошел только в 1993 г.

Основные термины и определения, касающиеся данной группы продуктов, представлены в ГОСТ Р 52349–2005 «Продукты пищевые функциональные. Термины и определения». В соответствии с ним, в частности, определены следующие понятия.

1. *Функциональный пищевой продукт* — пищевой продукт, предназначенный для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными

группами здорового населения, снижающий риск развития заболеваний, связанных с питанием, сохраняющий и улучшающий здоровье за счет наличия в нем физиологически функциональных пищевых ингредиентов.

2. *Обогащенный пищевой продукт* — функциональный пищевой продукт, получаемый добавлением одного или нескольких физиологически функциональных пищевых ингредиентов к традиционным пищевым продуктам с целью предотвращения возникновения или исправления имеющегося в организме человека дефицита питательных веществ.

3. *Физиологически функциональный пищевой ингредиент* — вещество или комплекс веществ животного, растительного, микробиологического, минерального происхождения или идентичные натуральным, а также живые микроорганизмы, входящие в состав функционального пищевого продукта, обладающие способностью оказывать благоприятный эффект на одну или несколько физиологических функций, процессы обмена веществ в организме человека при систематическом употреблении в количествах, составляющих от 10 до 50 % суточной физиологической потребности [ГОСТ Р 52349–2005].

Сегодня в нашей стране производство функциональных продуктов постепенно увеличивается. Все больше выпускается продуктов, обогащенных витаминами, макро- и микроэлементами и другими необходимыми для здоровья человека веществами.

Объем российского производства функциональных продуктов питания увеличился с 2006 по 2011 г. практически на 160 % в натуральном выражении, при этом рост объема рынка продолжается в пределах 2–3 % в год (см. таблицу). Специалисты компании GranfViewResearch прогнозируют, что до 2025 г. эта категория продуктов в нашей стране будет показывать рост потребления в 7,9 % ежегодно [<https://milknews.ru/longridy/funkcionalniye-produkty.html>].

Объемы продаж и потребления функциональных продуктов питания в России
[<http://foodmarket.spb.ru/current.php?article=1832>]
Sales and consumption of functional food products in Russia
[from: <http://foodmarket.spb.ru/current.php?article=1832>]

Показатель	Год*					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Объем продаж, тыс. т	267,4	275,5	285,5	295,8	306,8	314,0
Прирост, % к предыдущему году	2,2	3,0	3,6	3,6	3,7	2,4
Объем продаж, млрд руб.	101,3	107,6	114,1	120,2	125,9	130,7
Прирост, % к предыдущему году	5,6	6,2	6,0	5,3	4,8	3,8
Потребление, кг/чел.	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2

* Сведения взяты из Euromonitor international.

При этом следует констатировать, что в существующих нормативных документах, так или иначе затрагивающих вопросы функционального питания, практически отсутствуют упоминания о продукции аквакультуры как о возможном сырье или продукте функционального и специализированного назначения.

Вместе с тем создание изделий массового потребления повышенной пищевой и биологической ценности, а также продуктов профилактического и диетического назначения требует расширения и совершенствования сырьевой базы отечественной промышленности [<https://www.oborud.info/news/?t=10921>]. Одним из таких направлений может стать производство нового поколения продукции в условиях аквакультуры.

Одним из уникальных и безопасных видов сырья для получения продуктов функционального питания является рыба — важнейший источник пищи человека. Ее ценность как продукта питания определяется в первую очередь наличием большого количества полноценных белков, содержащих все восемь жизненно необходимых незаменимых аминокислот. Все это делает рыбу незаменимой и особенно ценной в

детском, лечебном и диетическом питании. Исходя из этого, рыбу по содержанию ряда нутриентов можно правомерно отнести к естественным функциональным продуктам питания по приведенной выше аналогии с фруктами и овощами.

Рыбы относятся к натуральному сырью животного происхождения и, как было сказано выше, в своем составе имеют витамины, белки, жиры, минералы и другие компоненты в сбалансированных пропорциях. Их систематическое употребление способствует нормализации и ускорению процесса метаболизма. При этом мясо рыбы не относится к лекарственным средствам и биологически активным добавкам и его употребление исключает последствия передозировки перечисленных выше веществ. Таким образом, выращенная рыба при определенных условиях может считаться натуральным продуктом функционального питания.

Примером может служить радужная форель, которая заслуженно пользуется высоким спросом в крупных промышленных, курортных и туристских центрах. При условии выращивания в экологически чистых условиях форель априори отвечает требованиям продукта функционального питания. Это связано с тем, что, в отличие от многих других видов, культивируемая форель относится к рыбам, мускулатура которых богата жиром. Таким образом, радужная форель — функциональный продукт натурального происхождения, источник омега-3 полиненасыщенных жирных кислот, норма потребления которых для взрослого человека составляет 1–3 г в сутки.

Наши исследования показали, что мясо форели средней массой 380 г, выращенной в модельной УЗВ, содержало в своем составе 1,28 г омега-3 полиненасыщенных жирных кислот на 100 г продукта. Таким образом, выращенная рыба является источником высокого содержания этих нутриентов. Соответственно, для получения суточной нормы их потребления человеку достаточно съесть 100–200 г мяса форели.

Понятно, что далеко не по всем нутриентам рыба является натуральным функциональным продуктом, но она может быть обогащена полезными компонентами двумя способами:

— прижизненным обогащением живых организмов путем их включения в рацион с последующим накоплением в органах и тканях;

— введением нутриентов в полученное рыбное сырье в процессе его переработки.

Анализ доступной информации показывает, что в целом оба направления получения продуктов функционального питания из животного сырья применяются как в мировой, так и в отечественной практике. Однако для этих целей наиболее часто используются мясомолочный скот и молочные продукты, а также птица и ее яйца. При этом прием прижизненного обогащения живого организма менее распространен и предполагает получение сырья с заданным компонентным составом [<https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=863117>].

В настоящее время нет комплексных разработок технологий производства сырья и продуктов животноводства с оптимальной питательной ценностью и оздоравливающими свойствами. Нет и четкой увязанности звеньев во всей продовольственной цепочке: «почва — вода — корма — животное (порода, генотип, система содержания и откорма) — сырье/продукт животноводства (технологическая, химическая и биологическая оценка; экономический анализ) — одобрение со стороны потребителей и здоровье потребителя» [Хорбанчук и др., 2009].

Аналогичные проблемы еще меньше проработаны в аквакультуре. Прижизненное обогащение выращиваемых рыб для получения функциональных продуктов пока не нашло широкого применения, чаще практикуется введение нутриентов в полученное сырье из морских видов рыб в процессе его переработки.

Исследования по получению функциональных продуктов в аквакультуре весьма ограничены, фрагментарны и начаты сравнительно недавно. Вместе с тем стремительно развивающийся сегмент сырьевых ресурсов в виде аквакультуры требует самого пристального внимания ученых и специалистов как потенциальный источник для производства функциональной продукции. Возросший спрос на недорогую прудовую

рыбу и изделия из нее дает возможность задействовать для их производства местные сырьевые ресурсы. В связи с этим особое значение приобретают научно обоснованные подходы к оценке качества рыбного сырья, его технологической пригодности, обеспечение потребительских предпочтений, разработки системы контроля качества сырья и выпускаемой продукции [Шебела, Сарбатова, 2014].

В Воронежском государственном университете инженерных технологий проведены исследования по разработке технологии аналоговых продуктов из прудовых рыб, наиболее распространенных в данном регионе, с заданными свойствами и повышенной пищевой и биологической ценностью (карпа, толстолобика, белого амура и щуки). Было установлено, что в исследуемых образцах их мяса содержание незаменимых аминокислот и витаминов составило 27 % от суточной потребности человека, что доказывает целесообразность создания биологически полноценных и функциональных продуктов питания на основе мышечной ткани этих объектов аквакультуры [Калач, 2011].

На высокую биологическую ценность прудовых растительноядных рыб (белый и пестрый толстолобика, белый амур) указывают и другие исследователи, рекомендуя их для поддержания состояния здоровья различных групп населения, особенно пожилых людей и детей [<https://www.oborud.info/news/?t=10921>].

Перспективным объектом индустриальной аквакультуры является африканский клариевый сом *Clarias gariepinus*. Исходя из установленного его химического состава и функционально-технологических свойств сырья, этот объект аквакультуры перспективен для создания поликомпонентных продуктов функционального назначения диабетического, диетического и геродиетического направлений [Моисеенко, Мукатова, 2019].

Можно согласиться с исследователями из Ульяновского аграрного университета, что в России практически отсутствует практика конструирования продуктов функционального назначения в аквакультуре. Однако теоретические знания об адаптогенах — веществах, способных вызвать состояние неспецифической повышенной сопротивляемости организма, — и механизмах их действия на организм позволяют предположить, что задача конструирования продукта функционального питания в виде живой и свежей рыбы, обогащенной адаптогенами, вполне решается в условиях индустриальной аквакультуры [Романов и др., 2018; Романова и др., 2018].

Следует отметить, что введение в рацион различных биологически активных добавок и других нутриентов (витамины, пробиотики, пребиотики, минеральные вещества и т.д.) в корма для рыб практикуется достаточно широко [Бахарева, 2016; Грозеску, 2016; Гусева, 2019; и др.].

Так, было показано влияние пробиотика «Субтилис» на интерьерные показатели внутренних органов клариевых сомов. Отмечено статистически значимое увеличение сердца, печени, количества внутреннего жира [Артеменков, 2013].

Изучались рост и рыбоводно-физиологические показатели нильской тилляпии при выращивании в бассейнах на комбикормах с добавкой «Метаболит плюс». Было установлено, что ее введение в комбикорм в объеме 1–3 % от массы корма улучшало физиологическое состояние, экстерьерно-интерьерные показатели особей, повышало скорость роста, оплату корма и выход съедобных частей [Пырских, 2017]. С аналогичными целями, а также для повышения стрессоустойчивости и сохранности карпа при транспортировке проводились исследования по использованию комплексного препарата «Виусид-Вет» в кормлении карпа в садках [Мухаметшин, 2019].

Показан положительный эффект использования бактериальных препаратов «Ферм-КМ» и «Простор» в кормлении осетровых рыб для повышения репродуктивных качеств производителей и улучшения рыбоводно-биологических, гематологических, микробиологических и экономических показателей товарного выращивания [Жандалгарова, 2017].

Однако цель этих и других аналогичных исследований не предусматривала разработки методов получения функциональной пищевой рыбной продукции, а заключалась

в улучшении физиологического состояния выращиваемых рыб, повышении скорости их роста и в итоге — повышении рыбопродуктивности.

Исследования должны включать развитие новых технологий производства в аквакультуре, в переработке, обеспечивающих сохранение биоактивных компонентов в готовых продуктах, при сохранении их традиционной формы и сенсорных свойств, а также экономический анализ и маркетинговые исследования [Хорбаньчук и др., 2009].

В плане «конструирования» рыбы как продукта функционального назначения рассматривались перспективы использования пробиотиков «Споротермин» и «Пролам». Их использование было обусловлено необходимостью снижения уровня условно-патогенной микробиоты в органах и тканях рыб вследствие органического загрязнения воды продуктами метаболизма при высокой плотности посадки. При этом в работе не ставилась задача создания функционального продукта узконаправленного действия [Романов и др., 2018; Романова и др., 2018].

С.И. Кононенко с соавторами [2016] считают, что элементы, концентрация которых в воде обычно невелика, должны поступать в организм с пищей. Обычно к ним относят фосфор, цинк, йод, марганец, кобальт, селен и др.

При разработке функциональных продуктов питания необходимо соблюдать следующие принципы: для их обогащения в первую очередь используются те ингредиенты, дефицит которых действительно наблюдается, широко распространен и опасен для здоровья. Для России это витамины С, группы В, минеральные вещества, такие как йод, железо и кальций [<https://www.oborud.info/news/?t=10921>].

В аквакультуре рыбу можно обогащать витаминами А, Е, Н, В₂, С, которые вводятся с кормами. Однако исследований, посвященных использованию витаминов при выращивании рыбы в аквакультуре, сравнительно немного [Ткачева, Тищенко, 2011; Коршунова и др., 2016].

Среди наиболее востребованных в настоящее время функциональных продуктов являются йодобогащенные, так как у населения центральных регионов России широко регистрируется как эндемическая, так и индивидуальная йодная недостаточность, связанная с пищевыми предпочтениями и низким потреблением морской рыбы и нерыбных гидробионтов.

В связи с этим отдельно следует выделить серию исследований по обогащению йодом различных видов выращиваемых рыб, которые были проведены в Саратовском государственном аграрном университете [Тарасов, 2016; Поддубная, 2018; и др.]. Эти работы отличает комплексный подход к изучению проблемы, заключающийся в том, что авторами изучены не только влияние йодсодержащих препаратов на морфологические и рыбоводно-биологические показатели объектов выращивания, но и на пищевое качество полученной рыбоводной продукции, а также на содержание йода в органах и тканях изучаемых особей. В результате была наглядно продемонстрирована возможность прижизненного обогащения рыб столь важным нутриентом, как йод.

Помимо исследований с введением в корма йодсодержащих препаратов, были проведены немногочисленные опыты по влиянию селенсодержащих препаратов на динамику накопления и распределения селена в организме рыб [Есавкин и др., 2007].

Селен представляет собой физиологически важный микроэлемент, незаменимый в питании человека и животных. Правительство Российской Федерации определило дефицит селена наряду с недостаточностью других микроэлементов как значительную угрозу для населения и национальной экономики.

Поскольку функциональные продукты изготавливаются только из экологически чистого сырья высокого качества, выращенная в аквакультуре продукция должна полностью соответствовать указанному требованию, а именно положениям Федерального закона Российской Федерации от 03.08.2018 года № 280-ФЗ «Об органической продукции и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», где содержится четкое определение органических (экологически чистых) продуктов и сформулированы принципы их производства.

Следует отметить, что, несмотря на наличие различных методов осуществления товарной аквакультуры, наиболее гарантированного получения экологически чистой рыбоводной продукции можно добиться, применяя рыбоводные УЗВ. Это объясняется глобальным загрязнением окружающей среды, что в полной мере относится к водным экосистемам, являющимся одними из главных источников пищевых ресурсов. Лимитирующими факторами выступают земельные, водные ресурсы и их экологическое состояние. При эксплуатации циркуляционных установок достигается полная независимость производственного процесса от природно-климатических и экологических условий, а также его непрерывность независимо от времени года [Жигин, 2011, 2018]. Кроме того, выращивание рыбы в УЗВ позволяет уйти от сезонности в производстве, обеспечивая стабильность и ритмичность поставок экологически чистой рыбной продукции, в том числе с заданными функциональными свойствами.

В связи с этим нами в условиях УЗВ проведены исследования, цель которых определить влияние добавки в корма селенсодержащего препарата «Эсвекс» на организм сеголеток радужной форели и установить возможность его накопления в мясе подопытных рыб.

Результаты показали, что введение в комбикорм данного препарата в количестве 1 мл/кг корма не оказало статистически значимого влияния на рыбоводные показатели за исключением выживаемости рыб. В опыте она была выше и составила 86,7 против 75,0 % в контроле, что повлияло на рыбопродуктивность, которая оказалась выше на 17,5 % в опытном бассейне.

Анализ мышечной ткани выращенной форели показал, что в опытной группе содержание селена составило 20,1 мкг/100 г, что на 7,3 мкг больше, чем в контроле (12,8 мкг/100 г).

Сопоставляя эти данные с величиной суточной потребности человека в селене (70 мкг для мужчин и 55 мкг для женщин) можно заключить, что рыба, выращенная в контроле, содержала в мясе 18,3–23,3 % суточной нормы и в соответствии с ГОСТ Р 55577-2013 может быть отнесена к продукту «источник селена», а форель, получавшая в корм селенсодержащую добавку, в зависимости от пола потребителя, близка или соответствует продукту с «высоким содержанием селена», так как этот показатель составлял 28,7–36,6 % от суточной нормы потребления соответственно мужчины и женщины.

Таким образом, благодаря введению в кормовой рацион форели, выращиваемой в УЗВ, селенсодержащего препарата «Эсвекс» в количестве 1 мл/кг корма удалось не только повысить ее выживаемость и рыбопродуктивность, но и увеличить содержание селена в мясе, получив экологически чистый и функциональный продукт питания.

Заключение

В целом проведенные исследования — это первые шаги в создании нового направления инновационной биотехнологии производства экологически чистой рыбы, отвечающей требованиям продукта функционального питания, в высокотехнологичной индустриальной аквакультуре путем получения натуральной продукции, а также целенаправленного прижизненного обогащения мяса рыб заданными нутриентами через введение их в организм со скормливаемым комбикормом.

Разработка таких технологий предполагает создание, помимо стартовых и производственных (финишных) рыбных комбикормов, еще и линейки специализированных комбикормов, обогащенных требуемыми нутриентами с определением сроков их введения в рацион и продолжительности скормливания перед реализацией рыбы. Важной составляющей является подбор видов и пород гидробионтов, препаратов с соответствующими нутриентами, способов обогащения ими комбикормов, подбор оптимальных дозировок, способствующих не только повышению рыбопродуктивности, но и оптимальному уровню обогащения выращиваемого организма в количестве,

соответствующем продукту функционального питания. Требуется проведение медико-биологических исследований по усвоению человеческим организмом полученной рыболовной продукции.

Такие комплексные и многоплановые исследования следует проводить в рамках многопрофильных коллективов, включающих рыбоводов, ветеринаров, технологов рыбопереработки, специалистов в области диетического питания.

Благодарности

Авторы выражают свою признательность лаборантам-исследователям межкафедрального учебно-научного центра биологии и животноводства Тимирязевской академии И.В. Байдарову и В.В. Дернакову за техническое обеспечение проведения научной работы.

Финансирование работы

Результаты настоящего исследования были получены в рамках научно-исследовательских работ, выполняемых высшими учебными заведениями, подведомственными Министерству сельского хозяйства Российской Федерации, за счет средств федерального бюджета по заказу Минсельхоза России в 2020 г.

Соблюдение этических стандартов

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

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Информация о вкладе авторов

А.В. Жигин разработал концепцию исследования, осуществлял руководство над его проведением и принимал участие в аквариальных работах, осуществлял написание текста статьи с последующим редактированием; М.В. Сытова отвечала за сбор и обработку литературных источников и нормативных правовых актов, касающихся темы исследований, участвовала в написании, редактировании и оформлении текста статьи; Ю.И. Есавкин проводил лабораторные и аквариальные исследования, обобщение и статистическую обработку полученных результатов.

Список литературы

Артеменков Д.В. Выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в УЗВ на комбикормах с добавками пробиотика «Субтилис»: дис. ... канд. с.-х. наук. — М., 2013. — 139 с.

Бахарева А.А. Научно-обоснованные методы повышения продуктивности ремонтно-маточных стад осетровых рыб за счет оптимизации технологии кормления и содержания в условиях рыбоводных хозяйств Волго-Каспийского бассейна: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. — Усть-Кинельский, 2016. — 32 с.

Голубкина Н.А., Скальный А.В., Соколов Я.А., Щелкунов Л.Ф. Селен в медицине и экологии: моногр. — М.: КМК, 2002. — 136 с.

Грозеску Ю.Н. Инновационные методы повышения эффективности кормления осетровых рыб на основе использования в рационах нетрадиционного кормового сырья и биологически активных препаратов: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. — Усть-Кинельский, 2016. — 34 с.

Гусева Ю.А. Формирование научных основ использования панкреатического гидролизата соевого белка в питании рыб в промышленных условиях: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. — Саратов, 2019. — 39 с.

Есавкин Ю.И., Панченков Г.Т., Панов В.П., Базутко Н.П. Морфологические и физиолого-биохимические особенности радужной форели, выращиваемой на кормах с добавками селена и токоферола (препарата «Эсвекс») // Мат-лы Междунар. симпоз. «Тепловодная аквакультура и биологическая продуктивность водоемов аридного климата». — Астрахань: АГТУ, 2007. — С. 458–460.

- Жандалгарова А.Д.** Использование бактериальных препаратов «Ферм-км» и «Простор» в кормлении осетровых рыб : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. — Усть-Кинельский, 2017. — 19 с.
- Жигин А.В.** Замкнутые системы в аквакультуре : моногр. — М. : РГАУ-МСХА, 2011. — 664 с.
- Жигин А.В.** Рыбоводные установки в аквакультуре : учеб. пособие. — М. : ЭЙПиСиПаблшинг, 2018. — 296 с.
- Калач Е.В.** Разработка технологии аналоговых продуктов функционального назначения из объектов аквакультуры : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Воронеж, 2011. — 24 с.
- Кононенко С.И., Юрина Н.А., Максим Е.А., Чернышов Е.В.** Инновационные кормовые добавки при выращивании молоди рыб // Изв. Горского ГАУ. — 2016. — Т. 53, № 1. — С. 30–34.
- Коршунова Н.В., Литовченко Е.А., Доровских В.А.** Эколого-гигиеническое изучение растительных адаптогенных продуктов для повышения резистентности организма к условиям низких и высоких температур // Бюл. физиологии и патологии дыхания. — 2016. — Вып. 61. — С. 46–51. DOI: 10.12737/21453.
- Лакин Г.Ф.** Биометрия : учеб. пособие. — М. : Высш. шк., 1980. — 292 с.
- Моисеенко М.С., Мукатова М.Д.** К вопросу разработки технологии продуктов функциональной направленности из объектов аквакультуры // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. — 2019. — № 2. — С. 94–100. DOI: 10.24143/2073-5529-2019-2-94-100.
- Мухаметшин С.С.** Эффективность использования препарата «Виусид-Вет» в кормлении карпа : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. — Саранск, 2019. — 18 с.
- Поддубная И.В.** Научно-практическое обоснование использования йодсодержащих кормовых добавок в товарном рыбоводстве : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. — Усть-Кинельский, 2018. — 37 с.
- Пырников А.С.** Рост и рыбоводно-физиологические показатели тиляпии при выращивании на комбикормах с добавкой «Метаболит плюс» : дис. ... канд. с.-х. наук. — М., 2017. — 162 с.
- Романов В.В., Романова Е.М., Любомирова В.Н., Мухитова М.Э.** Конструирование функционального рыбного продукта в условиях индустриальной аквакультуры // Вестн. Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. — 2018. — № 1(41). — С. 151–156. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-1-151-156.
- Романова Е.М., Романов В.В., Любомирова В.Н. и др.** Инновационные технологии производства продуктов функционального назначения в индустриальной аквакультуре // Рыбоводство и рыб. хоз-во. — 2018. — № 5(148). — С. 54–59.
- Современные подходы в создании функциональных продуктов на мясной основе :** методические указания по выполнению лабораторных работ для направления подготовки 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения» / сост. С.В. Андреева. — Саратов : Саратовский ГАУ, 2016. — 72 с.
- Тарасов П.С.** Продуктивность и товарные качества ленского осетра в установке замкнутого водоснабжения при скармливании добавки «Абиопептид с йодом» : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. — Саранск, 2016. — 19 с.
- Ткачева И.В., Тищенко Н.Н.** Витамины в питании рыб // Тр. Кубанского ГАУ. — 2011. — № 28. — С. 140–142.
- Хорбаньчук Я.О., Юзвик А., Томасик Ц. и др.** Функциональные продукты питания животного происхождения и их значение для здоровья людей // Птица и птицепродукты. — 2009. — № 3. — С. 15–17.
- Шебела К.Ю., Сарбатова Н.Ю.** Особенности технологии производства функциональных продуктов из мяса рыбы // Молодой ученый. — 2014. — № 20(79). — С. 233–235.

References

- Artemenkov, D.V.**, Cultivation of Clarius catfish (*Clarias gariepinus*) in closed water use units on mixed fodders with the addition of the probiotic “Subtilis”, *Cand. Sci. (Agricultural) Dissertation*, Moscow, 2013.
- Bakhareva, A.A.**, Scientifically grounded methods of increasing the productivity of sturgeon replacement broodstock by optimizing the technology of feeding and keeping in the conditions of fish farms in the Volga-Caspian basin, *Extended Abstract of Doctoral (Agricultural) Dissertation*, Ust'-Kinel'skiy, 2016.
- Golubkina, N.A., Skal'nyy, A.V., Sokolov, Ya.A., and Shchelkunov, L.F.**, *Selen v meditsine i ekologii* (Selenium in medicine and ecology), Moscow: KMK, 2002.
- Grosescu, Yu.N.**, Innovative methods to increase the feeding efficiency of sturgeon fish based on the use of unconventional feed raw materials and biologically active preparations in diets, *Extended Abstract of Doctoral (Agricultural) Dissertation*, Ust'-Kinel'skiy, 2016.

Guseva, Yu.A., Formation of scientific foundations for the use of soy protein pancreatic hydrolyzate in fish nutrition in industrial conditions, *Extended Abstract of Doctoral (Agricultural) Dissertation*, Saratov, 2019.

Esavkin, Yu.I., Panchenkov, G.T., Panov, V.P., and Bazutko, N.P., Morphological, physiological and biochemical characteristics of rainbow trout grown on feed with additives of selenium and tocopherol (the drug “Esvex”), in *Mater. Mezhdunar. simpoz. “Teplovodnaya akvakul'tura i biologicheskaya produktivnost' vodoyemov aridnogo klimata”* (Mater. Intern. Symp. “Warm water aquaculture and biological productivity of water bodies in arid climate”), Astrakhan: Astrakhan. Gos. Tekh. Univ., 2007, pp. 458–460.

Zhandalgarova, A.D., The use of bacterial preparations “Ferm-km” and “Prostor” in feeding sturgeon fish, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Agricultural) Dissertation*, Ust'-Kinel'skiy, 2017.

Zhigin, A.V., *Zamknutyie sistemy v akvakul'ture* (Closed systems in aquaculture), Moscow: RGAU-MSKHA, 2011.

Zhigin, A.V., *Rybovodnyie ustanovki v akvakul'ture* (Fish breeding installations in aquaculture), Moscow: EyPiSiPublishing, 2018.

Kalach, E.V., Development of technologies for analog functional products from aquaculture facilities, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Tech.) Dissertation*, Voronezh, 2011.

Kononenko, S.I., Yurina, N.A., Maxim, E.A., and Chernyshov, E.V., Innovative feed additives for growing fish fry, *Izv. Gorskogo Gos. Agr. Univ.*, 2016, Vol. 53, no. 1, pp. 30–34.

Korshunova, N.V., Litovchenko, E.A., and Dorovskikh, V.A., Ecological and hygienic investigation of the adaptogenic herbal products to increase resistance of the organism to conditions of low and high temperatures, *Byul. Fiziologii i patologii dykhaniya*, 2016, no. 61, pp. 46–51. doi 10.12737/21453

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

Moiseenko, M.S. and Mukatova, M.D., On developing technology of products of the functional orientation produced from aquaculture objects, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2019, no. 2, pp. 94–100. doi 10.24143/2073-5529-2019-2-94-100

Mukhametshin, S.S., The effectiveness of using the drug “Viusid-Vet” in feeding carp, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Agricultural) Dissertation*, Saransk, 2019.

Poddubnaya, I.V., Scientific and practical substantiation of the use of iodine-containing feed additives in commercial fish farming, *Extended Abstract of Doctoral (Agricultural) Dissertation*, Ust'-Kinel'skiy, 2018.

Pyrnikov, A.S., Growth and fish-breeding and physiological indicators of tilapia when grown on compound feed with the additive “Metabolite plus”, *Cand. Sci. (Agricultural) Dissertation*, Moscow, 2017.

Romanov, V.V., Romanova, E.M., Lyubomirova, V.N., and Mukhitova, M.E., Construction of functional fish products in the conditions of industrial aquaculture, *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2018, no. 1(41), pp. 151–156. doi 10.18286/1816-4501-2018-1-151-156

Romanova, E.M., Romanov, V.V., Lyubomirova, V.N., Muhitova, M.E., Shadyeva, L.A., Shlenkina, T.M., and Galushko, I.S., Innovative technology for the production of functional foods in the industrial aquaculture, *Rybovod. Rybn. Khoz.*, 2018, no. 5(148), pp. 54–59.

Andreyeva, S.V., *Sovremennyye podkhody v sozdanii funktsional'nykh produktov na myasnoy osnove* (Modern approaches to creating functional meat-based products), Saratov: Saratovskiy GAU, 2016.

Tarasov, P.S., Productivity and commercial qualities of the Lena sturgeon in a closed water supply installation when feeding the additive “Abiopeptide with iodine”, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Agricultural) Dissertation*, Saransk, 2016.

Tkacheva, I.V. and Tishchenko, N.N., Vitamins in fish nutrition, *Tr. Kubanskogo Gos. Agrarnogo Univ.*, 2011, no. 28, pp. 140–142.

Horbanchuk, Ya.O., Yuzvik, A., Tomasik, Ts., Horbanchuk, K., Shimanskaya, E., and Sivets, D., Functional food products of animal origin and their importance for human health, *Ptitsa i ptitseprodukty*, 2009, no. 3, pp. 15–17.

Shebela, K.Yu. and Sarbatova, N.Yu., Features of the technology for the production of functional products from fish meat, *Molodoy uchenyy*, 2014, no. 20(79), pp. 233–235.

Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 26 Noyabrya 2019 g. № 2798-r ob utverzhdenii Strategii razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa RF na period do 2030 g. i plana meropriyatiy po yeye realizatsii (Order of the Government of the Russian Federation of November 26, 2019 no. 2798-r on

the approval of the strategy for the development of the fishery sector of the Russian Federation for the period up to 2030 and an action plan for its implementation. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72972854/>. Cited December 12, 2020.

Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 17 Aprelya 2012 g. № 559-r o Strategii razvitiya pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti RF na period do 2020 g. (Order of the Government of the Russian Federation of April 17, 2012 no. 559-r on the Strategy for the Development of the Food and Processing Industry of the Russian Federation for the Period until 2020. <https://base.garant.ru/70167828/#ixzz7ASBc74Hu>. Cited December 12, 2020.

Proyekt Strategii razvitiya pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda (Draft Strategy for the Development of the Food and Processing Industry of the Russian Federation for the Period up to 2030). <https://barley-malt.ru/wp-content/uploads/2019/11/proekt-strategyy-razvytyja-pyschevoj-y-pererabatyvajuschej-promyshlennosty-rf.pdf>. Cited August 11, 2021.

Metodicheskiye ukazaniya MUK 4.1.033-95 "Khimicheskiye faktory. Opredeleniye selena v produktakh pitaniya" (Methodical instructions MUK 4.1.033-95 "Chemical factors. Determination of selenium in food"). https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/401377/. Cited December 10, 2020.

Postanovleniye Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossiyskoy Federatsii ot 14 Iyunya 2013 g. № 31 g. Moskva "O merakh po profilaktike zabolevaniy, obuslovlennykh defitsitom mikronutriyentov, razvitiyu proizvodstva pishchevykh produktov funktsional'nogo i spetsializirovannogo naznacheniya" (Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of June 14, 2013 no. 31, Moscow "On measures for the prevention of diseases caused by micronutrient deficiencies, the development of the production of functional and specialized foods"). Cited December 11, 2020.

Zachem nuzhno funktsional'noye pitaniye (Why do you need functional nutrition). <http://trid.biz/article/zachem-nuzhno-funkcionalnoe-pitanie>. Cited November 16, 2020.

Isaev, V.A., *Funktsional'nyye produkty pitaniya: opredeleniya i kharakteristika osnovnykh grupp funktsional'nykh ingrediyyentov* (Functional food products: definitions and characteristics of the main groups of functional ingredients). <https://www.diabetes-ru.org/files/2018-06-21.pdf>. Cited December 07, 2020.

Antonova, N., Functional products: how the trend for superfoods took over the world and reached Russia, *News and Analytics of the Dairy Market*, 2019. <https://milknews.ru/longridy/funktsionalniye-produkty.html>. Cited August 11, 2021.

Skobelev, V., *Obzor rossiyskogo rynka funktsional'nykh ingrediyyentov* (Review of the Russian functional ingredients market). <http://foodmarket.spb.ru/current.php?article=1832>. Cited December 06, 2020.

Kononov, K.L., Loseva, A.I., Shulbaeva, M.T., and Pechenik, N.V., Creation of qualitatively new products with desired properties, *Molochnaya SFERA*, 2010, no. 4(34). <https://www.oborud.info/news/?t=10921>. Cited December 25, 2020.

Proizvodstvo funktsional'nykh pishchevykh produktov pitaniya (Production of functional food products). <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=863117>. Cited October 01, 2015.

Поступила в редакцию 6.09.2021 г.

После доработки 21.10.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

УДК 639.31



А.С. Сафронов¹, Е.И. Рачек², С.Е. Зуевский¹,
Д.Ю. Амвросов², О.П. Филиппова^{1*}

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,
107140, г. Москва, ул. Верхняя Красносельская, 17;
² Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ КАЛУГИ, АМУРСКОГО ОСЕТРА И РЕЦИПРОКНЫХ ГИБРИДОВ МЕЖДУ НИМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Полученные от маточного стада Тихоокеанского филиала ВНИРО (ТИНРО) чистые виды: калуга *Huso dauricus*, амурский осетр *Acipenser schrenkii* и реципрокные гибриды между ними — К×АО и АО×К — в течение трех лет параллельно выращивались в бассейнах установки с замкнутым циклом водообеспечения (УЗВ) и на садковом хозяйстве. По интегральному комплексу основных рыбоводных показателей — массе тела сеголеток, выживаемости и кормовым затратам на прирост в садках — лучше всего проявила себя гибридная форма АО×К, а в бассейнах УЗВ — К×АО. Сравнительное выращивание экспериментальных групп амурских осетровых подтвердило технологические преимущества УЗВ, позволяющие получить товарную калугу и гибрид К×АО уже к середине второго года выращивания, а на третьем году выращивания — любой из перечисленных выше объектов. В садковых условиях только калуга и гибрид АО×К достигли товарной массы на третьем году выращивания.

Ключевые слова: амурские осетровые рыбы, реципрокные гибриды, установка замкнутого водоснабжения, садковое выращивание, контролируемые условия, выживаемость, массонакопление, товарное выращивание.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-923-936.

* Сафронов Александр Станиславович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: maricul@vniro.ru; Рачек Евгений Иванович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: evgeniy.rachek@tinro-center.ru; Зуевский Сергей Евгеньевич, ведущий инженер, e-mail: maricul@vniro.ru; Амвросов Дмитрий Юрьевич, начальник Лучегорской научно-исследовательской рыбоводной станции, e-mail: dmitriy.amvrosov@tinro-center.ru; Филиппова Ольга Павловна, старший научный сотрудник, e-mail: maricul@vniro.ru.

Safronov Alexander S., Ph.D., leading researcher, VNIRO, 17, V. Krasnoselskaya, Moscow, 107140, Russia, e-mail: maricul@vniro.ru; Rachek Evgeny I., Ph.D., leading researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: evgeniy.rachek@tinro-center.ru; Zuevsky Sergey E., leading engineer, VNIRO, 17, V. Krasnoselskaya, Moscow, 107140, Russia, e-mail: maricul@vniro.ru; Amvrosov Dmitry Yu., head of fish breeding station, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: dmitriy.amvrosov@tinro-center.ru; Philippova Olga P., senior researcher, VNIRO, 17, V. Krasnoselskaya, Moscow, 107140, Russia, e-mail: maricul@vniro.ru.

Safronov A.S., Rachek E.I., Zuevsky S.E., Amvrosov D.Yu., Philippova O.P. Results of comparative cultivation of kaluga, amur sturgeon and reciprocal hybrids between them with using of various technologies // *Izv. TINRO*. — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 923–936.

Pure species obtained from the breeding stocks of the Pacific branch of VNIRO (Russian Res. Inst. of Fisheries and Oceanography), as kaluga *Huso dauricus* and amur sturgeon *Acipenser schrenckii*, as well as reciprocal hybrids between them $K \times AO$ and $AO \times K$, were grown in parallel in tanks with recirculation aquaculture system (at fish farm near Moscow) and in net cages with heated water (at fish farm in Luchegorsk, not far from Vladivostok) for three years, 2018–2020. Survival, growth rate, feed costs, and cultivation density were determined for the experimental groups of fish on the main biological stages (embryos, larvae, fry, juveniles). Certain differences in survival and growth rate were found between the pure species and hybrids cultivated in different conditions. In the embryonic period, both survival and growth rate were higher for fish in cages, possibly because of long transportation of eggs to Moscow. For other stages, survival of $K \times AO$ was the highest in tanks, with exception of one-year-old fish, whereas survival of kaluga was the lowest at this farm, with exceptions of early juveniles (weight 2–3 g) and two-year-old fish. For Moscow farm, survival in tanks was: kaluga 9.3 %, cross $K \times AO$ 21.7 %, cross $AO \times K$ 26.8 %, amur sturgeon 28.9 %. For Luchegorsk farm, survival in cages was: kaluga 10.5 %, cross $K \times AO$ 11.5 %, amur sturgeon 19.5 %, cross $AO \times K$ 21.2 %. The effect of heterosis was observed for survival in cages, but not in tanks, where the rates for hybrids were between the rates for their parental species. At the third year of cultivation, the greatest weight increments were observed for kaluga and $K \times AO$ in cages and for kaluga and $AO \times K$ in tanks. By the autumn of the third year, the average weight in tanks exceeded this one in cages in 2.0 times for $AO \times K$ and amur sturgeon, in 2.5 times for kaluga, and in 3.0 times for $K \times AO$. Kaluga and hybrid $AO \times K$ had the best growth rate in cages at Luchegorsk farm, but Kaluga and hybrid $K \times AO$ had the highest growth in tanks at Moscow farm. The integral score accounting the main indicators of fish breeding, as body weight of fingerlings, survival and feed cost, for the cage growing was the best for hybrid $AO \times K$ and for the tank growing — for hybrid $K \times AO$. The comparative experiment confirms technological advantages of the sturgeons breeding in tanks. Due to warmer conditions of the growing, commercial product of kaluga and cross $K \times AO$ can be obtained by the middle of the second year of cultivation, and other species reach the commercial weight in the third year. In the case of cage breeding, kaluga and cross $AO \times K$ only reach the commercial weight in the third year of cultivation.

Key words: sturgeon, reciprocal hybrid, recirculation aquaculture system, cultivation in cages, controlled conditions, survival, weight increment, commercial cultivation.

Введение

Обеспечение населения Российской Федерации качественной продукцией из осетровых видов рыб (пищевой икрой и товарной рыбой) с момента полного закрытия промысла происходит только благодаря развитию различных форм товарного осетроводства на рыбоводных предприятиях преимущественно индустриального типа. Одним из способов повышения эффективности выращивания товарных осетровых является межвидовая гибридизация осетровых рыб, направленная на получение наиболее быстрорастущих форм с высокой выживаемостью. Рост и развитие осетровых рыб определяются преимущественно температурой окружающей среды: чем выше температура воды, тем выше пищевая активность и скорость обменных процессов, приводящих к увеличению массы тела. Температурный оптимум накопления массы различается у разных видов, что позволяет путем межвидовой гибридизации получить организмы, хорошо адаптирующиеся к конкретным условиям среды за счет сочетания биологических потенций родительских видов. В связи с этим использование осетровых видов рыб амурского комплекса, достигающих больших размеров и приспособленных к значительным перепадам температуры воды, для получения межвидовых гибридов и выращивания их при стабильно высоких температурах представляется перспективным.

Целью настоящей работы можно считать сравнение продукционных характеристик калуги, амурского осетра и реципрокных гибридов между ними, выращенных до товарной массы в условиях рециркуляционной системы в Московской области (установка с замкнутым циклом водообеспечения — УЗВ) и в садках тепловодного

хозяйства Лучегорской научно-исследовательской рыбоводной станции (НИРС) в Приморском крае для определения наиболее выгодных объектов товарного осетроводства.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбрали традиционных для товарного осетроводства Приморского края калугу (К), амурского осетра (АО) и реципрокных гибридов между ними первого поколения (АО×К — гибрид между самкой амурского осетра и самцом калуги; К×АО — гибрид между самкой калуги и самцом амурского осетра).

Параллельно с обычным циклом выращивания осетровых видов рыб в тепловом хозяйстве Лучегорской НИРС, использующем воду после охлаждения турбин Приморской ГРЭС (на ранних этапах молодь выращивают в бассейнах, по достижении массы 20 г — в садках с проточной водой), часть потомства перевезли в Московскую область, в экспериментальную рециркуляционную установку ВНИРО (УЗВ), где продолжили содержание в бассейнах с искусственным подогревом воды.

В качестве производственных показателей учитывали выживаемость, темп роста и эффективность использования корма на прирост (кормовой коэффициент — КК) у видов и гибридных форм осетровых рыб на разных этапах онтогенеза (эмбриональное и личиночное развитие, выращивание молоди и неполовозрелых рыб до товарной массы 2,5–3,0 кг).

Выживаемость рыб рассчитывали путем определения разницы между начальным и конечным количеством рыб каждого варианта. Для оценки изменения темпа роста взвешивали индивидуально не менее 50 особей каждого варианта на каждом этапе выращивания. Рассчитывали коэффициент массонакопления (Км) и величину относительного прироста на ключевых этапах выращивания [Баранов и др., 1979].

С целью снижения генетического влияния родителей на рост и выживаемость для выращивания в УЗВ и в садковом хозяйстве использовали потомства видов и гибридных форм осетровых рыб амурского комплекса, полученные от одинаковых пар производителей. Получение потомства проводили на Лучегорской НИРС в 2018 г. Для нереста отобрали 2 самок амурского осетра в возрасте 15 лет массой 22,7 и 30,4 кг и 4 самцов в возрасте от 12 до 22 лет массой от 12,2 до 20,8 кг. Калуга была представлена двумя самками в возрасте 19 и 21 года массой 77 и 96 кг и тремя самцами в возрасте от 19 до 22 лет массой от 64 до 78 кг.

Производителей калуги инъецировали в садках площадью 10 м², а производителей амурского осетра — в бассейнах типа ИЦА-2 (2,0×2,0×0,4 м) сурфагоном. Созревание производителей амурских осетровых происходило при температурах 15,7–16,2 °С. Зрелые половые продукты рыбоводного качества не удалось получить только от одного самца калуги.

Инкубацию икры на садковом хозяйстве провели в аппарате «Осетр», задействовав 4 вкладыша для раздельного содержания видов и гибридов осетровых, при колебаниях температуры воды от 16,0 до 19,5 °С. Через сутки инкубации по 100 г оплодотворенной икры чистых видов и гибридных форм передали для проведения параллельного эксперимента в УЗВ ВНИРО, где доинкубацию икры провели в 4 односекционных аппаратах «Осетр» при средней температуре 14 °С.

В дальнейшем условия выращивания амурских осетровых в садковом хозяйстве и в УЗВ различались не только температурой воды (табл. 1), но и размерами и конфигурацией емкостей, в которых проводили выдерживание и выращивание личинок, молоди и товарной рыбы (табл. 2).

Выращивание до сеголеток разделили на 3 этапа согласно технологии получения посадочного материала в садковом хозяйстве Лучегорской НИРС: 1-й этап — выращивание от начала активного питания до первой сортировки (при массе молоди около 2 г) с 24 мая по 24 июня 2018 г., 2-й этап — выращивание молоди до средней массы 20 г (вторая сортировка и пересадка молоди в садки) с 24 июня по 6 августа 2018 г., 3-й этап — выращивание молоди до начала зимнего периода со-

Таблица 1
Температурные условия выращивания группы амурских осетровых рыб
в разных хозяйствах

Table 1
Temperature conditions for growing of the Amur sturgeons at different fish farms

Этап выращивания	Сумма тепла, градусо-дней	
	Садковое хозяйство Лучегорской НИРС (ТИНРО)	УЗВ ВНИРО
Инкубация	125,5	135
Выдерживание личинок	180,0	170
От начала активного питания до 1-й сортировки	858,0	837
От 1-й сортировки до пересадки в садки	1080,0	1076
До начала зимнего периода (возраст сеголеток 0+)	1623,0	1693
До возраста годовиков	899,2	4085
Итого за 1-й год	4765,5	7996
До возраста двухлеток 1+	3600,0	3490
До возраста двухгодовиков	1258,9	3170
Итого за 2-й год	4859,0	6660
До возраста трехлеток 2+	3674,0	2770
Всего за 3 года	13298,5	17426

Таблица 2
Рыбоводные емкости для выращивания группы амурских осетровых рыб
в разных хозяйствах

Table 2
Fish-breeding tanks and cages for growing of Amur sturgeons at different fish farms

Этап выращивания	Садковое хозяйство Лучегорской НИРС (ТИНРО)	УЗВ ВНИРО
Выдерживание личинок	Стеклопластиковые бассейны 2,0×2,0×0,4 м (ИЦА-2)	Полипропиленовые бассейны ∅ 1,1 м и глубиной 0,5 м
От начала активного питания до 1-й сортировки		
От 1-й сортировки до пересадки в садки		
До начала зимнего периода (возраст сеголеток 0+)	Садки из дели 4,0×2,5×1,5 м	Стеклопластиковые бассейны ∅ 2,1 м и глубиной 0,8 м
До возраста годовиков		
Итого за 1-й год		
До возраста двухлеток 1+		Стеклопластиковые бассейны ∅ 4,5 м и глубиной 0,9 м
До возраста двухгодовиков		
Итого за 2-й год	Стеклопластиковые бассейны 2,0×2,0×0,9 м	
До возраста трехлеток 2+		
Всего за 3 года		

держания (с 6 августа по 19 октября 2018 г.). Содержание амурских осетровых рыб в УЗВ ВНИРО отличалось от условий Лучегорской НИРС тем, что «некондиционную» молодь после первой сортировки не уничтожали, продолжая выращивать ее совместно со средне- и крупноразмерными группами, и по достижении 20 г молодь продолжали выращивать в тех же бассейнах, что и более мелкую. В качестве реперных точек в УЗВ были взяты результаты бонитировок, близкие по датам к контрольным точкам на Лучегорской НИРС (24 мая, 20 июня, 8 августа, 18 октября 2018 г.).

При содержании рыбы в осенне-зимний период 2018–2019 гг. в садковом хозяйстве вследствие снижения температуры воды уменьшали интенсивность и рационы кормления. В УЗВ выращивание продолжали при более высокой температуре (температура воды 14,8–18,0 °С).

Температура воды в садках Лучегорской НИРС изменялась в пределах 14,5–29,0 °С (средняя 19,3 °С), а в бассейнах УЗВ — 19,0–22,0 °С (средняя 19,0 °С) при содержании растворенного в воде кислорода в среднем в течение исследованного периода 6–7 мг/л. Однако продолжительность периода активного роста в садках была почти в 2 раза короче, чем в бассейнах УЗВ (табл. 3).

Таблица 3

Температурные характеристики 2-го года выращивания осетровых рыб амурского комплекса в разных хозяйствах

Table 3

Temperature conditions in the 2nd year of the Amur sturgeons cultivation at different fish farms

Тип хозяйства	Продолжительность выращивания, сут		Сумма эффективных для роста температур, градусо-дней
	Общая	Активного роста	
УЗВ	275	275	7733
Садковое	275	170	4380

Выращивание на втором году жизни в садковых условиях разделили на 2 периода: малопродуктивный, с преобладанием низких температур воды, недостаточных для активного роста осетровых видов рыб (ниже 13 °С), по завершении которого рыбы достигают годовалого возраста, и продуктивный, в течение которого идет активный рост рыб до возраста двухлеток (1+). В УЗВ, где температура воды не зависит от климатических условий, в качестве контрольных точек для сравнения использованы данные, близкие к садковым по дате бонитировки (соответственно в мае и ноябре 2019 г.). Как и на первом году, но реже (один раз в месяц) на второй год выращивания проводили анализ распределения рыбы по массе тела для расчета норм кормления и размера кормовых частиц (гранул).

Выращивание амурских осетровых в УЗВ продолжали без сортировки по размеру, каждый вид и гибридная форма содержались в индивидуальном бассейне. Для кормления в УЗВ применяли линейку гранулированных кормов осетровой рецептуры фирмы Aller Aqua (белок 45 %, жир 15 %, перевариваемая энергия 17,5 МДж/кг, Дания), а на последнем этапе — корма ООО НПК «Аграрные технологии» (белок 48 %, жир 16 %, перевариваемая энергия 18,5 МДж/кг, Россия, г. Новосибирск) в соответствии с рационами для гранулированных осетровых кормов [Бурцев и др., 1984; Каталог..., 2012*].

В садках Лучегорской НИРС рыбу в весеннее время рассортировали на две размерные группы, которые содержали раздельно в однотипных садках площадью 10 м². Кормление осетровых рыб в период активного роста осуществляли 4 раза в сутки продукционным кормом производства ТИПРО (белок 38 %, жир 8 %, перевариваемая энергия 17,1 МДж/кг, г. Владивосток). Суточные нормы кормления в зависимости от температуры воды и массы рыбы варьировали от 3,2 до 1,8 %.

Результаты и их обсуждение

Ранние этапы выращивания (инкубация, выдерживание, переход на экзогенное питание)

Выживаемость предличинок после инкубации была немного ниже в условиях УЗВ, за исключением гибридной формы К×АО, что объясняется длительной транспортировкой развивающейся икры (более 12 ч) из садкового хозяйства. Большая продолжительность инкубации связана с более низкой температурой воды в инкубационных аппаратах УЗВ ВНИРО. Выживаемость эмбрионов АО и гибрида АО×К была выше, чем у калуги и гибрида К×АО, на обоих хозяйствах (табл. 4). Относительно низкая выживаемость калуги и гибрида К×АО позволяет предположить, что икра самок калуги, использованная для получения потомства, имела недостаточное рыбоводное качество, например вследствие недоедания производителей в межнерестовый период.

* Каталог: Корма для рыб. Aquafeed: Aller aqua, 2012. 26 с.

Таблица 4

Рыбоводно-биологические показатели выращивания чистых линий и гибридных форм амурских осетровых на Лучегорской НИРС и в УЗВ ВНИРО на ранних этапах онтогенеза

Table 4

Fish-breeding and biological indicators of the Amur sturgeons cultivation at different fish farms for early stages of ontogenesis

Показатель	Садковое хозяйство Лучегорской НИРС (ТИНРО)				УЗВ ВНИРО			
	АО	АО×К	К	К×АО	АО	АО×К	К	К×АО
<i>Инкубация</i>								
Выживаемость личинок после инкубации (35-я стадия), %	73	77	40	40	63	71	36	54
Температура инкубации, °С	16–19				13–14			
Продолжительность этапа инкубации, сут	6–8	5–7			9–11	8–10		
<i>Выдерживание личинок</i>								
Выживаемость личинок до перехода на активное питание, %	90				95,5	97,1	86,2	93,7
Температура выдерживания, °С	19–21				13,5–20,0			
Продолжительность этапа выдерживания, сут	9				7–9			
Плотность посадки на этапе выдерживания, экз./м ²	5000				2760	3270	700	1115

Выживаемость личинок до перехода на активное питание была достаточно высокой во всех вариантах скрещиваний в обоих хозяйствах. Различия в плотности посадки личинок в УЗВ в период выдерживания возникли из-за необходимости раздельного содержания потомства, представленного разным количеством особей, в емкостях стандартного размера. Однако влиянием фактора плотности на выживаемость и рост в этот период, по нашему мнению, можно пренебречь из-за отсутствия пищевой конкуренции между личинками.

Выращивание экспериментальных групп до возраста сеголеток

В течение следующего месяца (первый этап) температурные условия выращивания в обоих хозяйствах были близки, однако коэффициент массонакопления в УЗВ составил почти для всех вариантов несколько большую величину, чем в садковом хозяйстве, особенно для калуги и гибрида К×АО (табл. 5). Выживаемость молоди также была выше во всех вариантах в УЗВ. Более высокий К_м у калуги и гибрида К×АО зависел не только от биологических потенциалов быстрорастущей калуги, но и был связан с меньшей плотностью их посадки в бассейнах УЗВ.

На втором этапе выращивания наименьшую выживаемость в УЗВ имел гибрид АО×К (табл. 5), а наибольшую — амурский осетр и гибрид К×АО. Выживаемость калуги на этом этапе была близка к таковой всех вариантов молоди, выращиваемой в садковых условиях.

Плотность посадки в садках и УЗВ к концу этапа практически выровнялась (300–600 экз./м²), за исключением калуги, плотность посадки которой в бассейнах оставалась наиболее разреженной (80 экз./м²), что стало одной из причин самого быстрого роста этого вида среди рассмотренных экспериментальных групп рыб.

Величина К_м была наибольшей у калуги и гибрида К×АО в УЗВ и у гибрида АО×К в садковых условиях. Величина относительного прироста в УЗВ была выше у калуги и АО×К гибрида, а в садках — у АО, гибрида АО×К и калуги. В УЗВ наименьшую величину относительного прироста на данном этапе имели особи амурского осетра, а в садковых условиях — гибрида К×АО (табл. 5).

Таблица 5

Рыбоводно-биологические показатели выращивания чистых видов и гибридных форм амурских осетровых на Лучегорской НИРС и в УЗВ ВНИРО до сеголеток

Table 5

Fish-breeding and biological indicators of the Amur sturgeons cultivation at different fish farms for fingerlings

Показатель	Садковое хозяйство Лучегорской НИРС (ТИНРО)				УЗВ ВНИРО			
	АО	АО×К	К	К×АО	АО	АО×К	К	К×АО
<i>Первый этап</i>								
Продолжительность этапа, сут	30				26			
Температура, °С	22–24				21–23			
Выживаемость молоди, %	45				57	62	48	60
Средняя масса молоди, г	1,5	2,1	1,7	2,4	2,44 ± 0,10	2,40 ± 0,12	3,14 ± 0,21	3,44 ± 0,18
Км	0,081	0,092	0,086	0,090	0,10	0,10	0,11	0,12
Плотность посадки, тыс. шт./м ²								
– в начале этапа	2,5				2,76	3,27	0,70	1,10
– в конце этапа	1,2				1,57	2,03	0,33	0,70
<i>Второй этап</i>								
Продолжительность этапа, сут	52				54			
Температура, °С	22–26				22–24			
Выживаемость молоди, %	92				98,0	87,0	91,0	98,7
Средняя масса молоди, г	24,6	30,4	25,2	30,5	22,7 ± 1,8	37,1 ± 1,7	66,7 ± 4,1	48,0 ± 3,2
Км	0,102	0,106	0,100	0,103	0,082	0,111	0,144	0,118
Относительный прирост, %	1540	1348	1382	1171	830	1446	2024	1295
Плотность посадки, тыс. шт./м ²								
– в начале этапа	1,2				1,57	2,03	0,33	0,70
– в конце этапа	0,6 (для крупных 0,3)				0,395	0,500	0,085	0,395
<i>Третий этап</i>								
Продолжительность этапа, сут	83				82			
Температура, °С	25–14 (средняя 20)				22–24			
Выживаемость молоди, %	89,2	94,8	98,8	90,0	98,0	98,0	98,7	96,0
Средняя масса молоди, г	101,6 ± 7,4	174,4 ± 9,3	112,4 ± 5,8	141,8 ± 6,6	98,6 ± 2,8	150,3 ± 7,8	256,1 ± 13,0	183,8 ± 7,6
Км	0,063	0,089	0,068	0,075	0,065	0,072	0,084	0,075
Относительный прирост, %	313	474	346	365	334	305	284	283
Cv массы молоди, %	56,4	41,4	39,9	35,9	20	37	36	29
Плотность посадки, экз./м ² (кг/м ³)								
– в начале этапа	110 (1,5)				395 (9,9)	500 (20,6)	85 (6,3)	395 (21,0)
– в конце этапа	95 (6,5)	95 (11,0)	95 (7,1)	95 (8,9)	175 (15,5)	173 (23,4)	102 (23,6)	137 (22,5)

Примечание. Здесь и далее Км — коэффициент массонакопления; Cv — коэффициент вариации изменчивости.

На третьем этапе, несмотря на более низкую температуру воды относительно УЗВ, величины относительного прироста всех групп осетровых, за исключением АО, были

выше в садках (табл. 5). Однако изменчивость по массе тела в УЗВ оказалась существенно меньше (значения C_v ниже), несмотря на большую плотность посадки рыб, что, возможно, связано с различиями в используемых кормах в разных хозяйствах. В поддержку этого утверждения можно привести существенные различия в кормовых коэффициентах, которые для УЗВ в 2–3 раза ниже, чем для садкового выращивания (табл. 6).

Таблица 6
Затраты корма на разных этапах при выращивании осетровых до возраста сеголеток
Table 6
Feed costs of the Amur sturgeons growing to fingerlings, by stages

Этап выращивания*	Кормовой коэффициент							
	Садковое хозяйство Лучегорской НИРС (ТИНРО)				УЗВ ВНИРО			
	АО	К	АО×К	К×АО	АО	К	АО×К	К×АО
От начала активного питания до 1-й сортировки	1,5				0,70	0,50	0,60	0,53
От 1-й сортировки до пересадки в садки	2,2				0,90	0,50	0,65	0,62
До начала зимнего периода	3,46	2,86	2,56	3,38	0,80	0,50	0,63	0,60

* Названия этапов актуальны для условий Лучегорской НИРС, для УЗВ ВНИРО приведены данные, полученные в те же сроки.

Перед зимовкой характер распределения двух видов и двух гибридных форм амурских осетровых по массе тела в садковом хозяйстве не изменился. Максимальную массу имели гибриды АО×К, затем шли гибриды К×АО, калуга и АО (см. табл. 5). В УЗВ калуга по массе опережала другие потомства. Далее в порядке убывания средней массы располагались гибриды К×АО, АО×К и амурский осетр, масса которого оказалась ниже, чем в садках.

Выживаемость сеголеток к концу третьего этапа была достаточно высокой вне зависимости от способа содержания и видовой принадлежности, однако в садковых условиях выживаемость амурского осетра и гибрида К×АО оказалась почти на 10 % ниже, чем в УЗВ.

Выращивание экспериментальных групп до возраста двухлеток

Условия содержания рыб до годовалого возраста при одинаковой продолжительности сильно различались по температуре воды и кормлению.

В садковом хозяйстве температура воды на 5,5 мес. понизилась до величин менее 10 °С, что негативно отразилось на росте всех групп амурских осетровых, особенно низкие значения относительного прироста и K_m отмечены для гибридных форм (табл. 7). При этом изменчивость молоди внутри экспериментальных групп по массе тела у гибридов была ниже, чем у калуги и амурского осетра. Выживаемость калуги и гибрида К×АО в период зимнего голодания была значительно ниже, чем у амурского осетра и гибрида АО×К.

В УЗВ при средней температуре 20 °С и регулярном кормлении скорость роста (коэффициент массонакопления) всех экспериментальных групп рыб была в 4–9 раз больше, чем в садках (а относительный прирост выше в 3–15 раз). При этом изменчивость по массе тела существенно возросла только у гибрида К×АО, который по массе отдельных особей опередил калугу (табл. 7). Выживаемость калуги до годовалого возраста была наименьшей из всех мальков.

К двухлетнему возрасту, несмотря на меньшую величину относительного прироста и K_m в УЗВ, особи калуги и гибрида К×АО достигли средней массы 2,5 кг, которую можно считать приемлемой для реализации в качестве товарной продукции или использования в технологической переработке. Выживаемость этих вариантов также была достаточно высокой (табл. 7). Однако плотность посадки калуги при этом

Таблица 7

Рыбоводно-биологические показатели выращивания чистых видов и гибридных форм амурских осетровых на Лучегорской НИРС и в УЗВ ВНИРО до двухлетнего возраста

Table 7

Fish-breeding and biological indicators of the Amur sturgeons cultivation at different fish farms to the age of two-year-olds

Показатель	Садковое хозяйство Лучегорской НИРС (ТИНРО)				УЗВ ВНИРО			
	АО	АО×К	К	К×АО	АО	АО×К	К	К×АО
<i>Выращивание до возраста годовиков</i>								
Продолжительность этапа, сут	213				202			
Выживаемость, %	91,8	86,6	85,1	94,3	94,3	85,0	80,5	82,5
Средняя масса, г	160,2 ± 10,5	223,8 ± 9,8	203,8 ± 16,0	192,3 ± 10,1	450,0 ± 23,4	660,0 ± 17,3	1250,0 ± 43,2	1270,0 ± 57,3
Мин.-макс., г	60–410	76–408	52–692	52–358	220–700	380–970	760–2350	420–3000
Км	0,011	0,007	0,015	0,008	0,045	0,050	0,065	0,076
Относительный прирост, %	58	28	81	36	174	252	492	538
Сv массы молоди, %	50,7	34,0	61,1	40,9	20,9	21,9	26,4	49,5
Плотность посадки, экз./м ² (кг/м ³)	95 (10,1)	95 (14,2)	95 (12,9)	95 (12,2)	47 (21,2)	43 (28,9)	18 (21,6)	24 (31,4)
<i>Выращивание до возраста двухлеток</i>								
Продолжительность этапа, сут	184				175			
Выживаемость, %	93,4	93,8	89,9	92,1	96	90	96	98
Средняя масса, кг	0,78	1,28	0,95	1,07	1,30 ± 0,06	1,57 ± 0,05	2,80 ± 1,10	2,43 ± 1,50
Мин.-макс., кг	0,30–1,25	0,5–2,3	0,3–1,5	0,4–1,9	0,52–2,20	0,96–3,0	1,1–4,8	0,96–4,84
Км	0,061	0,078	0,064	0,072	0,056	0,050	0,057	0,045
Относительный прирост, %	386	472	366	456	189	138	124	91
Сv массы молоди, %	24,7	26,7	37,2	25,1	33,1	28,7	26,5	45,7
Плотность посадки, экз./м ² (кг/м ³)	31,5 (16,3)	34,1 (29,0)	30,3 (20,3)	24,6 (17,5)	47 (15,2)	43 (26,4)	18 (19,6)	24 (33,5)

была почти в 2 раза ниже, чем у гибридной формы, что давало ей определенные преимущества в росте.

В садковых условиях величина прироста в этот период была значительно выше, чем в УЗВ, особенно у обеих гибридных форм (табл. 7). При этом только гибрид АО×К по средней массе приблизился к показателям самой тугорослой формы для УЗВ — амурскому осетру. Выживаемость во всех вариантах скрещиваний была ниже, чем в УЗВ.

Расход корма при выращивании всех экспериментальных групп в садках был закономерно выше в 2–3 раза, чем в УЗВ, что объясняется различием используемых кормов, меньшей стабильностью температурных условий и большими потерями корма, чем в бассейнах замкнутой системы. Показательно, что в садковых условиях наименее эффективно использовали корм для роста калуга и гибрид К×АО (табл. 8), а в бассейнах УЗВ, наоборот, эти варианты продемонстрировали наименьший КК при лучшем темпе роста.

Затраты корма на разных этапах при выращивании до возраста двухлеток

Feed costs of the Amur sturgeons growing to the age of two-year-olds, by stages

Этап выращивания*	Кормовой коэффициент							
	Садковое хозяйство Лучегорской НИРС (ТИПРО)				УЗВ ВНИРО			
	АО	К	АО×К	К×АО	АО	К	АО×К	К×АО
До возраста годовиков	4,0	2,5	6,3	7,6	1,50	0,97	0,65	0,77
До возраста двухлеток	3,1	4,1	3,0	3,6	0,80	0,50	0,63	0,60

* Названия этапов актуальны для условий Лучегорской НИРС, для УЗВ ВНИРО приведены данные, полученные в те же сроки.

Выращивание экспериментальных групп до возраста трехлеток

Собственно, выращивание вариантов калуга и К×АО в УЗВ можно было прекратить на предыдущем этапе, как достигших товарной массы, однако для изучения гонадогенеза у этих рыб они были оставлены в условиях, аналогичных условиям других двух групп (АО и АО×К).

Как и на этапе выращивания двухлеток, экспериментальные группы рыб в садках на 5 мес. погрузились в зимовку, которая сопровождалась низкими температурами, практически полным отсутствием пищевой активности и, как следствие, низкими значениями прироста и К_м (табл. 9).

В этот же период в УЗВ группы амурского осетра и гибридной формы АО×К достигли средней массы 2,5 кг, т.е. стали пригодными к дальнейшей реализации в качестве товарной рыбы или к технологической переработке. Однако лидирующее положение по ростовым характеристикам сохранилось за гибридами К×АО и АО×К. У калуги К_м на этом этапе был близок аналогичным величинам этих ростовых показателей в садках (табл. 9), а относительный прирост у всех видов и гибридов был выше в садках, чем в УЗВ.

Выращенные в садках трехлетки обеих гибридных форм и калуги достигали средней массы 2,5 кг и максимальной — 4,0 кг, переходя в разряд товарной рыбы. Средняя масса особей амурского осетра составила в этом возрасте только 1,6 кг.

В УЗВ при более низкой плотности посадки распределение по массе тела в экспериментальных группах сохранилось. Лидирует К×АО гибрид, почти в 3 раза превышающий по массе аналогичных особей, выращенных в садках. Далее в порядке убывания следуют калуга, гибрид АО×К и амурский осетр (табл. 9).

Выживаемость всех вариантов в обоих хозяйствах оставалась достаточно высокой (95–98 %).

Интересно, что в садковых условиях наибольшей средней массой тела обладали трехлетки калуги и гибрида АО×К, а в УЗВ — калуга и гибрид К×АО. Вероятно, наблюдаемые различия связаны с температурными условиями выращивания. Чередование теплых и холодных периодов в садковом выращивании и создание постоянного температурного оптимума в УЗВ позволили гибридам по-разному реализовать свой ростовой потенциал.

Другим интересным различием разных технологий выращивания стала сравнительно более низкая изменчивость особей по массе тела внутри каждой экспериментальной группы в УЗВ до годовалого возраста, хотя сортировок в процессе содержания не проводили, и более высокие значения С_в в садковых условиях с сортировками возрастных групп до и после зимовки.

Сравнительный анализ выживаемости и темпа роста видов и гибридных форм у осетровых рыб амурского комплекса в разных условиях позволяет отметить определенные различия между этими группами рыб.

Таблица 9

Рыбоводно-биологические показатели выращивания чистых видов и гибридных форм амурских осетровых на Лучегорской НИРС и в УЗВ ВНИРО до трехлетнего возраста

Table 9

Fish-breeding and biological indicators of the Amur sturgeons cultivation at different fish farms to the age of three -year-olds

Показатель	Садковое хозяйство Лучегорской НИРС (ТИНРО)				УЗВ ВНИРО			
	АО	АО×К	К	К×АО	АО	АО×К	К	К×АО
<i>Выращивание до возраста двухгодовиков</i>								
Продолжительность этапа, сут	184				197			
Выживаемость, %	98,4	98,6	97,7	94,9	98	98	95	96
Средняя масса, кг	0,915 ± 0,025	1,380 ± 0,040	1,240 ± 0,050	1,180 ± 0,042	2,65 ± 0,04	3,44 ± 0,07	4,18 ± 0,15	5,10 ± 0,16
Мин.-макс., кг	0,40–1,40	0,55–2,05	0,35–2,25	0,54–1,80	1,70–3,49	2,20–4,75	1,40–7,10	2,40–8,10
Км	0,008	0,004	0,015	0,006	0,044	0,053	0,031	0,057
Относительный прирост, %	18	8	31	10	104	119	48	110
Св массы молоди, %	16,0	18,6	24,6	20,3	11,4	16,9	31,3	26,1
Плотность посадки, экз./м ² (кг/м ³)	36 (21,9)	36 (33,1)	36 (29,7)	36 (28,3)	7 (19,2)	5 (20,3)	4 (22,5)	4 (21,8)
<i>Выращивание до возраста трехлеток</i>								
Продолжительность этапа, сут	174				147			
Выживаемость, %	95,5	97,2	95,0	93,8	99	98	95	97
Средняя масса, кг	1,570 ± 0,100	2,650 ± 0,073	2,680 ± 0,080	2,510 ± 0,100	3,30 ± 0,11	5,48 ± 0,41	6,60 ± 0,44	7,40 ± 0,31
Мин.-макс., кг	0,75–3,0	1,50–4,20	0,85–4,30	1,30–4,10	1,3–6,5	2,1–10,1	4,3–12,1	4,8–10,5
Км	0,033	0,046	0,054	0,052	0,021	0,052	0,054	0,046
Относительный прирост, %	72	92	116	113	25	59	58	45
Св массы молоди, %	23,2	22,5	28,5	26,4	24,3	35,1	29,8	20,3
Плотность посадки, экз./м ² (кг/м ³)	33 (34,5)	22 (38,8)	22 (39,3)	22 (36,8)	6 (28,86)	5 (23,60)	4 (27,30)	4 (32,40)

Выживаемость одинаковых видов и гибридных форм осетровых была выше в эмбриональный период развития в условиях садкового хозяйства, что, как отмечалось выше, можно объяснить влиянием длительной транспортировки развивающейся икры в УЗВ.

Практически на всех стадиях выращивания, за исключением годовалого возраста, выживаемость гибрида К×АО была выше в УЗВ, в отличие от калуги, которая в УЗВ

имела худшую выживаемость, чем в садковых условиях (исключения — молодь массой 2–3 г и двухлетки) (рис. 1). Полученный результат может быть объяснен большей требовательностью калуги к размерам емкостей, садки имели большую площадь и глубину, чем бассейны, а плотность посадки калуги в обоих хозяйствах была одинаковой и, как правило, ниже, чем у гибрида К×АО.

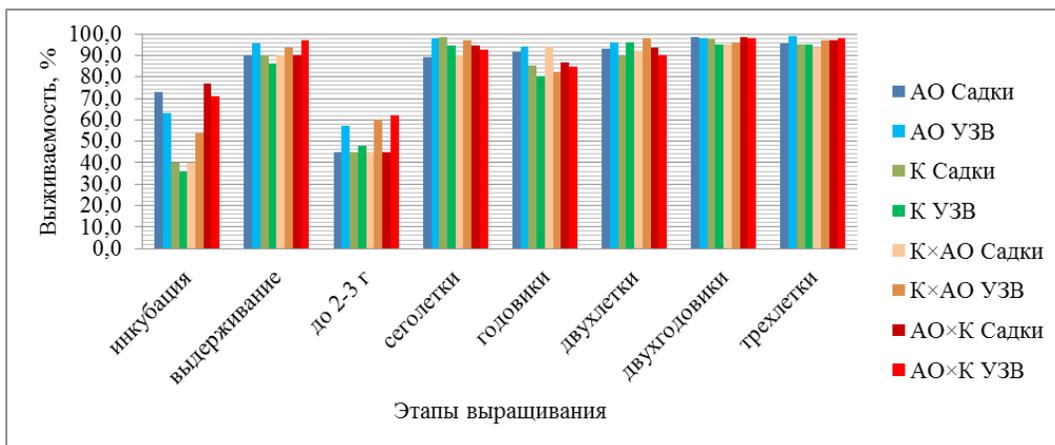


Рис. 1. Выживаемость осетровых рыб амурского комплекса и их гибридов в условиях садкового хозяйства и УЗВ

Fig. 1. Survival of the Amur sturgeons cultivated in cages and tanks with water recirculation

В паре амурский осетр и АО×К выживаемость чистого вида была выше в УЗВ, а гибрида — в садковых условиях (рис. 1).

По мере возрастания жизнеспособности в садковых условиях исследуемые объекты можно расположить, начиная от эмбрионов, в следующей последовательности: худшая выживаемость у калуги — 10,5 %, немного выше у гибрида К×АО — 11,5 %, далее идет амурский осетр — 19,5 %, самая высокая выживаемость у гибрида АО×К — 21,2 %.

В УЗВ по возрастанию выживаемости те же объекты расположились в следующем порядке: калуга (9,3 %), К×АО (21,7 %), АО×К (26,8 %), амурский осетр (28,9 %). Эффект гетерозиса по выживаемости, как в садковых условиях, у гибрида АО×К в УЗВ не отмечен, показатели гибридов четко укладываются между показателями родительских видов.

Темп роста, оцененный через коэффициент массонакопления, также различался для одинаковых видов и гибридных форм в разных условиях содержания. В течение первого года выращивания в садковых условиях преимущество в росте имели гибридные формы АО×К и К×АО, чистые виды заметно отставали (рис. 2).

В УЗВ наибольшим массонакоплением характеризовалась калуга, Км был выше, чем в садковых условиях. Далее в порядке убывания шли гибридные формы К×АО и АО×К. Наименьшее массонакопление было у особей амурского осетра (рис. 2).

К концу второго года выращивания в садках двухгодовики калуги имели наибольшее значение Км, более полно реализовав потенцию роста, чем на первом году выращивания. В УЗВ наибольший Км имели гибриды К×АО и АО×К.

На третьем году выращивания в садковых условиях, как и в бассейнах УЗВ, наибольшее массонакопление отмечено у калуги. Высокий прирост по массе тела имели в УЗВ — гибрид АО×К, а в садках — гибрид К×АО. Массонакопление амурского осетра было выше в садковых условиях, чем в УЗВ.

К осени третьего года выращивания средняя масса особей гибрида АО×К и амурского осетра в УЗВ превысила аналогичную массу в садках в 2,0 раза, калуги — в 2,5 раза, гибридной формы К×АО — в 3,0 раза. Лучшие ростовые данные в садковых условиях были у калуги и гибридной формы АО×К, а в УЗВ — у гибридной формы К×АО и калуги.

Таким образом, среди чистых линий амурских осетровых и их гибридов, выращенных в эксперименте, по интегральному комплексу основных рыбоводных показателей — массе

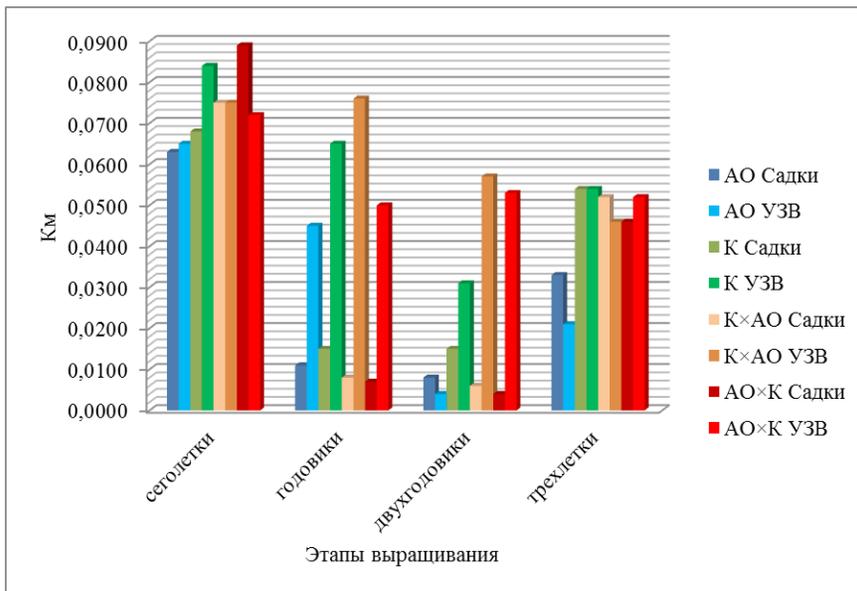


Рис. 2. Изменение величины коэффициента массонакопления (Км) при выращивании осетровых рыб в УЗВ и садковом хозяйстве

Fig. 2. Dynamics of weight accumulation coefficient (Kм) during cultivation of the Amur sturgeons in cages and tanks with water recirculation

тела сеголеток, выживаемости и кормовым затратам на прирост — в садках лучше всего проявила себя гибридная форма АО х К, а в бассейнах УЗВ — К×АО.

Заключение

Различия в выживаемости видов и гибридных форм амурских осетровых рыб наиболее ярко проявляются к концу первого года выращивания их в УЗВ. В садковых условиях более четкие различия по выживаемости между теми же рыбами заметны только после первой зимовки.

Трехлетнее выращивание в УЗВ амурского осетра, калуги и реципрокных гибридов между ними позволяет получить рыбу товарной массой 2,5–3,0 кг. В случае с калугой и гибридной формой К×АО товарная масса достигается большинством особей уже к середине второго года выращивания.

При выращивании в садках только калуга и гибрид АО×К в трехлетнем возрасте достигают необходимой товарной массы.

С учетом выживаемости, темпа роста, плотности посадки и кормовых затрат более перспективно выращивать в садках калугу и форму АО×К, а в УЗВ — обе гибридные формы (К×АО и АО×К).

Благодарности

Авторы благодарны рецензентам за ценные замечания, которые были учтены при подготовке статьи к печати.

Финансирование работы

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования.

Соблюдение этических стандартов

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

использованную в работе литературу оформлены в соответствии с правилами данного издания.

Информация о вкладе авторов

А.С. Сафронов — планирование и проведение экспериментов, сбор, обработка и систематизация полученных данных, редактирование и подготовка окончательного варианта статьи; С.В. Зуевский, О.П. Филиппова — проведение экспериментов, сбор, обработка и систематизация полученных данных, редактирование; Е.И. Рачек — планирование и проведение экспериментов, сбор, обработка и систематизация полученных данных, редактирование и подготовка окончательного варианта статьи; Д.Ю. Амвросов — обеспечение проведения экспериментов, контрольные взвешивания, бонитировки.

Список литературы

Баранов С.А., Резников В.Ф., Стариков Е.А., Толчинский Г.И. Основные уравнения роста биологических объектов // Биологические ресурсы внутренних водоемов СССР. — М. : Наука, 1979. — С. 156–168.

Бурцев И.А., Смольянов И.И., Гершанович А.Д., Николаев А.И. Методические указания по формированию и эксплуатации маточных стад сибирского осетра. — М. : ВНИРО, 1984. — 23 с.

References

Baranov, S.A., Reznikov, V.F., Starikov, E.A., and Tolchinskiy, G.I., Basic equations of the growth of biological objects, in *Biologicheskie resursi vnutrennich vodoemov SSSR* (Biological resources of internal water bodies of the USSR), Moscow: Nauka, 1979, pp. 156–168.

Burtsev, I.A., Smolyanov, I.I., Gershanovich, A.D., and Nikolaev, A.I., *Metodicheskie ukazaniya po formirovaniyu i expluatacii matochnich stad sibirskogo osetra* (Guidelines for the formation and operation of Siberian sturgeon broodstock), Moscow: VNIRO, 1984.

Katalog: Korma dlya ryb (Catalog: Food for fish), Aquafeed: Aller aqua, 2012.

Поступила в редакцию 1.10.2021 г.

После доработки 18.10.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

УДК 639.42.06

**В.С. Жарников***Институт биологических проблем Севера ДВО РАН,
685000, г. Магадан, ул. Портовая, 18**ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ ВИДОВ В ПОЛИКУЛЬТУРЕ
НА РОСТ И МАССУ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ
В ТАУЙСКОЙ ГУБЕ ОХОТСКОГО МОРЯ**

Проведен анализ линейного роста и массы двустворчатых моллюсков, подращиваемых в поликультуре с различным соотношением видов: мидий, мий и маком — 30 : 35 : 35, 50 : 25 : 25 и 70 : 15 : 15 — в садках, прикрепленных к плавучим установкам, расположенным на глубине 1,0–1,5 м от поверхности воды в Тауйской губе Охотского моря. В период с 15 июня по 26 октября максимальная скорость роста раковины у мидий в садках с соотношением видов 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 составила $7,4 \pm 0,3$ и $7,1 \pm 0,5$ мм, а наиболее высокие приросты массы (7,8–8,2 г) отмечены у мии. Различное соотношение видов в поликультуре достоверно влияло на приросты длины и массы у мидий и не оказывало влияния на мий. При соотношении видов 70 : 15 : 15 наблюдался максимальный прирост массы у маком ($1,6 \pm 0,1$ г). Наиболее высокая доля элиминации среди всех видов в поликультуре отмечена у мидий — 7,5–8,8 %, минимальная у макомы — 1,9–2,1 %. Показана эффективность выращивания различных видов двустворчатых моллюсков в поликультуре в северной части Охотского моря.

Ключевые слова: мидии, мии, макомы, скорость роста моллюсков, культивирование, поликультура, подвесные садки, различная пропорция видов.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-937-947.

Zharnikov V.S. Impact of the species ratio in polyculture on growth and weight of bivalve mollusks in the Tauiskaya Guba Bay, Okhotsk Sea // *Izv. TINRO.* — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 937–947.

Linear growth and weight of bivalve mollusks cultivated in polyculture are considered. Cages with three mollusk species, as blue mussel, long-necked clam (mya), and macoma, were hanged at the depth of 1.0–1.5 m in the Tauiskaya Guba Bay, Okhotsk Sea. Several sets of these species with ratio mussel : mya : macoma 30 : 35 : 35, 50 : 25 : 25 and 70 : 15 : 15 were tested in the period from June 15 to October 26. The species ratio of 30 : 35 : 35 and 50 : 25 : 25 provided the highest linear increments for mussels (7.4 ± 0.3 and 7.1 ± 0.5 mm, respectively) and the highest weight increments for mya (7.8–8.2 g). The species ratio of 70 : 15 : 15 was the most favorable for weight growth of macoma (weight increments 1.6 ± 0.1 g). Mussels were distinguished by the largest elimination among all species in the polyculture — 7.5–8.8 %, whereas losses of macoma were the lowest — 1.9–2.1 %. The polyculture is considered as a prospective approach for bivalve mollusks cultivation in the northern Okhotsk Sea.

Key words: mussel, mya, macoma, growth rate, cultivation, polyculture, hanged cage, species ratio.

* Жарников Вячеслав Сергеевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: Izharnikov@mail.ru.

Zharnikov Vyacheslav S., Ph.D., researcher, Institute of Biological Problems of the North FEB RAS, 18, Portovaya Str., Magadan, 685000, Russia, e-mail: Izharnikov@mail.ru.

Введение

По оценкам ФАО ООН в период 2001–2018 гг. мировой объем искусственно выращенных водных животных рос в среднем на 5,3 % в год, а в 2030 г. увеличится еще на 32 %, что превысит показатели мирового рыболовства [<https://doi.org/10.4060/ca9229ru>]. В дальнейшем устойчивое развитие марикультуры зависит в основном от эффективности решения задач рационального природопользования в прибрежных регионах и внедрения мультитрофической аквакультуры, основанной на сбалансированном культивировании видов.

В последние годы наблюдается значительный рост публикаций о переходе к внедрению интегрированной поликультуры [Евдокимов, Евдокимов, 2002; Маслеников, 2007; Михайлова и др., 2014]. Переход к выращиванию морских организмов в поликультуре наблюдается во многих странах Юго-Восточной Азии, Западной Европы, Северной Америки, Новой Зеландии, Австралии и др. Практический опыт этих стран указывает на перспективность данного направления*. В связи с развитием поликультуры перед нами стояла задача определить возможность ее использования для подращивания литоральных двустворчатых моллюсков в северных условиях Охотского моря. Для этого необходимо подобрать виды моллюсков, которые могли бы совместно обитать на искусственном субстрате, при этом не испытывали конкуренции за пищевые ресурсы. Для проведения эксперимента по выращиванию моллюсков в поликультуре в Тауйской губе Охотского моря мы выбрали такие виды, чтобы продукты выделения одного усваивались другим, при этом рационально использовалось созданное искусственное пространство для взаимного существования видов. С этой целью мы использовали моллюска-фильтратора — тихоокеанскую мидию *Mytilus trossulus*, основной рацион питания которой состоит из фито-, зоопланктона [Жарников, 2017], и донных моллюсков дентритофагов — мию дальневосточную *Mya uzenensis* и макому балтийскую *Macoma balthica incospicua*, закапывающихся в грунт и питающихся мелкоалевритовым илом, диатомовыми, бурыми, зелеными водорослями и детритом [Бубнова, 1973; Бергер, 1986]. По нашему мнению, созданный симбиоз видов приведет к снижению конкуренции за пищу у тихоокеанской мидии, увеличению плотности и общей биомассы моллюсков в садке. Тихоокеанская мидия является активным планктонным фильтратором, продукты ее метаболизма — псевдофекалии — будут в садке усваиваться моллюсками-дентритофагами (мией дальневосточной и макомой балтийской). Таким образом, в контейнеры с мидиями дополнительно помещались другие виды двустворчатых моллюсков (*M. uzenensis* и *M. balthica incospicua*).

Цель эксперимента — определить оптимальное соотношение видов: мидий, мий и маком — в поликультуре в садках, при котором проявляются наилучшие результаты культивирования (увеличение скорости линейного роста, массы, уменьшение доли элиминации особей) в сравнении с данными, полученными при выращивании этих видов в монокультуре.

Материалы и методы

В бухте Веселой Тауйской губы Охотского моря с июня по октябрь 2020 г. проводились эксперименты на опытных образцах плавучих установок для оценки эффективности культивирования моллюсков в поликультуре (рис. 1).

Для эксперимента на акватории бухты в июне выставили две плавучие установки с садками. Плавучие установки состояли из наплавов с подвешенными к ним садками и имели вид длинных слегка изогнутых линий.

В июне 2020 г. садки с двустворчатыми моллюсками прикрепили к плавучим установкам. Садки-контейнеры находились на расстоянии 1,5–2,0 м друг от друга

* Объектно-ориентированная модель поликультуры «мидии–макрофиты» в прибрежной зоне Крыма // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. Вып. 20. С. 220–225.

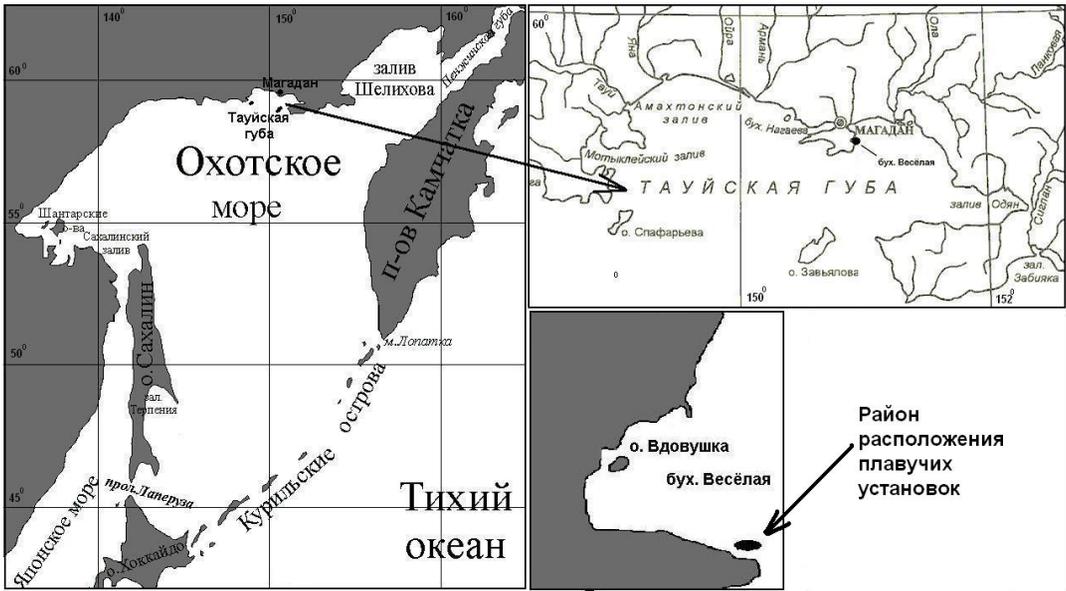


Рис. 1. Карта-схема района исследования в бухте Веселой Тауйской губы Охотского моря
Fig. 1. Scheme of the study area in the Veselaya Bay (Tauiskaya Guba, Okhotsk Sea)

между буйками вдоль плавучей установки. Для обеспечения сохранности моллюсков и контейнеров во время штормовых явлений их разместили на глубину от одного до полутора метров от поверхности воды (рис. 2).



Рис. 2. Опытные образцы плавучих установок, размещенных в бухте Веселой в районе мыса Восточного
Fig. 2. Prototype models of floating installations mounted at Cape Vostochny in the Veselaya Bay

Для проведения эксперимента на литорали нижнего горизонта производился сбор мидий, мий и маком. Предварительно измеренные и промаркированные мидии размерами 30–40 мм в возрасте 4 года, мии 60–70 мм (8–9 лет) и макамы 20–25 мм (6 лет) рассадили в 9 садков, где в каждом находилось 40 экз. мидий, 40 экз. маком и 15 экз. мий. В каждый садок были посажены дополнительно моллюски до достижения плотности 50 кг/м² с различным соотношением видов. Увеличение массы в садках достигалось подсадкой моллюсков того же вида и размера, что и промеренные особи. Таким образом, были сформированы три группы садков с различным соотношением массы каждого вида: мидии 30 %, мии 35, макамы 35 %; три группы садков в соотношении мидии 50 %, мии 25, макамы 25 %; три группы в соотношении мидии 70 %, мии 15, макамы 15 %. Всего в эксперименте было задействовано 360 экз. мидий, 360 экз. маком и 135 экз. мий. Суммарно в эксперименте использовали 855 экз. промаркированных моллюсков.

Небольшое количество мий, участвующих в эксперименте, объясняется сравнительно крупными размерами, большой массой одного среднего экземпляра (50–70 г) и невозможностью поместить их в количестве 40 экз. в садок с биомассой 50 кг/м². Все моллюски помещали в садки размерами 40 × 25 × 25 см.

В октябре садки, задействованные в эксперименте, были изъятые из воды, все ранее промаркированные мидии, мии и макамы вновь измерены и взвешены. В результате рассчитана величина приростов длины и массы особей. Кроме этого, оценена смертность трех видов моллюсков в садках (%).

Статистические сравнения проводили с помощью критерия Стьюдента и дисперсионного анализа. В тексте и на графиках в качестве показателя варьирования признака указана ошибка среднего.

Результаты и их обсуждение

Тихоокеанская мидия M. trossulus широко распространена во всех дальневосточных морях [Кафанов, 1991]. В Тауйской губе — массовый обитатель каменистых и смешанных грунтов литорали, имеет промысловое значение [Регель, 2005] и рассматривается как объект аквакультуры [Архипова, 1998; Жарников, 2015].

За период экспозиции (июнь–октябрь 2020 г.) плавучих установок с прикрепленными садками с различными видами моллюсков — мидии, мии и макамы в количественном соотношении 30 : 35 : 35; 50 : 25 : 25 и 70 : 15 : 15 — средняя величина линейных приростов мидий в первой и второй группе составила соответственно 7,4 ± 0,3 и 7,1 ± 0,5 мм. В садках, где доля мидий достигала 70 %, длина раковины особей увеличилась всего на 6,4 ± 0,4 мм (рис. 3, А). Статистические сравнения по критерию Стьюдента показали, что величина приростов длины раковины у мидий в садках, где их доля составляла 30 и 50 %, достоверно отличалась от приростов особей в садках с долей 70 % с уровнем значимости соответственно $t = 8,400$, $p < 0,001$ и $t = 7,280$, $p < 0,001$ (табл. 1). Следует отметить, что проведенные в бухте Веселой эксперименты в 2016 и 2020 гг. показали, что у тихоокеанских мидий размерами 30,1–40,0 мм в монокультуре за период июнь–октябрь прирост составил соответственно 5,6 ± 0,3 и 5,1 ± 0,5 мм [Жарников, Смирнов, 2020]. Таким образом, в поликультуре средняя величина приростов длины раковины мидий была на 14,3–45,0 % выше, чем в монокультуре.

Максимальные величины относительных приростов длины раковины отмечены у мидий в садках с соотношением видов 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25, где длина раковины мидий увеличилась соответственно на 20,8 и 20,0 %. Минимальные показатели приростов обнаружены у мидий в садках с соотношением видов 70 : 15 : 15 — 18 % (рис. 3, Б).

Приросты массы у мидий также отличались в зависимости от соотношения различных видов в садках. При соотношении видов 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 величина приростов за сезон составила соответственно 2,60 ± 0,30 и 2,30 ± 0,19 г. Минимальные показатели прироста массы (1,6 ± 0,2 г) имели мидии в садках с соотношением

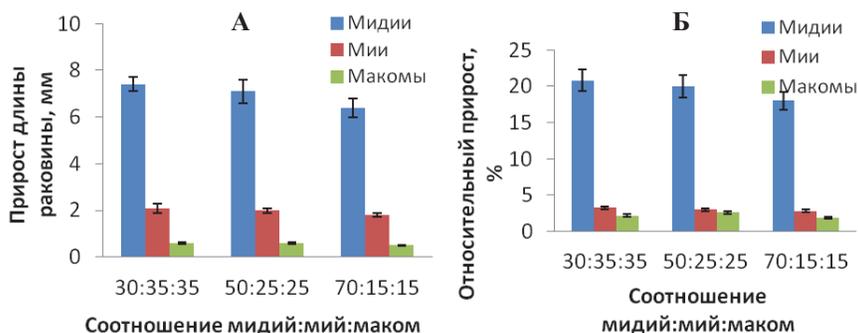


Рис. 3. Абсолютные (А) и относительные (Б) приросты длины мидий, мий и маком в садках с различным соотношением видов. Вертикальные линии — ошибка среднего

Fig. 3. Absolute (A) and relative (Б) gains in length of mussels, mya and macoma in cages with certain species ratio. Whiskers — error of average value

Таблица 1

Результаты сравнения по критерию Стьюдента абсолютных приростов длины раковины мидий, мий и маком в садках с различным соотношением видов

Table 1

Comparison of absolute increments of shell length for mussels, mya and macoma in cages with certain species ratio using Student's *t*-test

Соотношение мидий : мий : маком в садках	30 : 35 : 35	50 : 25 : 25
Мидии 30 : 35 : 35	–	$t = 0,089; p = 0,920$
Мидии 70 : 15 : 15	$t = 8,400; p < 0,001$	$t = 7,280; p < 0,001$
Мии 30 : 35 : 35	–	$t = 0,075; p = 0,060$
Мии 70 : 15 : 15	$t = 6,400; p < 0,001$	$t = 9,120; p < 0,001$
Макомы 30 : 35 : 35	–	$t = 0,071; p = 0,850$
Макомы 70 : 15 : 15	$t = 0,044; p = 0,074$	$t = 0,064; p = 0,090$

70 : 15 : 15, где моллюски занимали значительную часть всей массы в садке — 70 % (рис. 4). Эксперименты, проведенные в бухте Веселой в 2016 и 2020 гг. показали, что в монокультуре у мидии размерами 30,1–40,0 мм в садках показатели прироста массы составили 1,0–1,7 г [Жарников, Смирнов, 2020]. Таким образом, в поликультуре прирост массы мидий был на 35–160 % выше, чем в монокультуре.

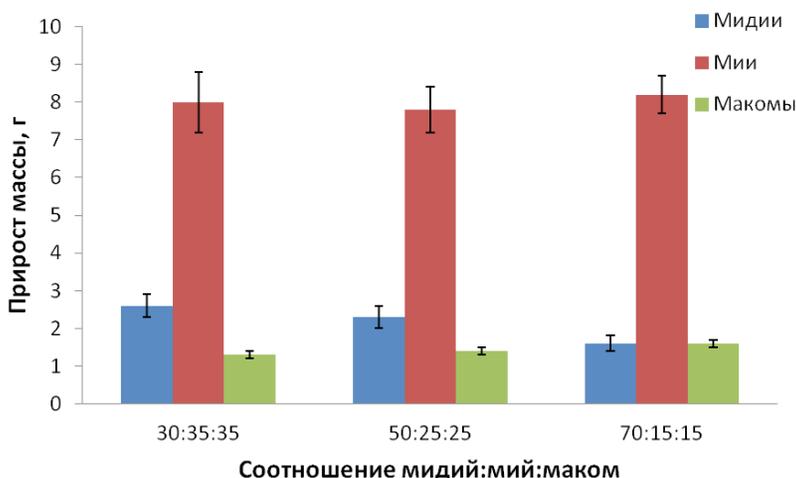


Рис. 4. Прирост массы мидий, мий и маком за сезон роста в садках с различным соотношением видов. Вертикальные линии — ошибка среднего

Fig. 4. Weight increments of mussels, mya and macoma in cages with certain species ratio. Whiskers — error of average value

Статистическое сравнение показало, что величина прироста массы у мидий при соотношении видов 70 : 15 : 15 достоверно отличалась от прироста в садках с другими пропорциями — 30 : 35 : 35 ($t = 8,590$; $p < 0,001$) и 50 : 25 : 25 ($t = 2,210$; $p = 0,020$), используемых в эксперименте. В случаях с пропорциями 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 ($t = 0,079$; $p = 0,08$) величина прироста достоверных отличий не имела (табл. 2).

Таблица 2

Результаты сравнения по критерию Стьюдента приростов массы у мидий, мий и маком в садках с различным соотношением видов

Table 2

Comparison of weight increments of mussels, mya and macoma in cages with certain species ratio using Student's *t*-test

Соотношение мидий : мий : маком в садках	30 : 35 : 35	50 : 25 : 25
Мидии 30 : 35 : 35	–	$t = 0,071$; $p = 0,850$
Мидии 70 : 15 : 15	$t = 8,590$; $p < 0,001$	$t = 0,065$; $p = 0,020$
Мии 30 : 35 : 35	–	$t = 0,079$; $p = 0,080$
Мии 70 : 15 : 15	$t = 0,080$; $p = 0,900$	$t = 0,071$; $p = 0,850$
Макомы 30 : 35 : 35	–	$t = 0,077$; $p = 0,070$
Макомы 70 : 15 : 15	$t = 7,400$; $p < 0,001$	$t = 0,075$; $p = 0,770$

Мия дальневосточная *M. uzenensis* широко распространена в дальневосточных морях от Приморья до Берингова пролива. В Тауйской губе — обычный массовый вид [Регель, 2005]. В северной части Охотского моря является перспективным видом для промысла [Жарников, 2020].

Величина линейных приростов длины раковины мий менялась в зависимости от различного соотношения массы видов (мидий, мий и маком) в садках. За пять месяцев экспозиции моллюсков на плавучих установках при соотношении видов в пропорции 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 длина раковины мии увеличилась соответственно на $2,1 \pm 0,2$ и $2,0 \pm 0,1$ мм. Минимальные приросты ($1,9 \pm 0,1$ мм) у мии отмечены при соотношении видов 70 : 15 : 15 в поликультуре, где мий было всего 15 %. Однако статистический анализ показал, что абсолютные показатели приростов длины раковины мий с различным соотношением видов (30 : 35 : 35; 50 : 25 : 25; 70 : 15 : 15), где их масса в садках составила 35 %, 25 и 15 %, не имели достоверных различий (см. рис. 3, А, табл. 1). Подобные показатели прироста длины ($1,9 \pm 0,2$ мм) раковины мий отмечены и в монокультуре.

Относительные линейные приросты мий в садках с соотношением видов 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 составили соответственно $3,3 \pm 0,2$ и $3,0 \pm 0,2$ %. Низкие показатели относительных линейных приростов — $2,9 \pm 0,3$ % — были в садках при соотношении видов 70 : 15 : 15 (рис. 3, Б).

Мия не отличалась хорошим линейным ростом, однако показатели приростов массы были наиболее высокими по сравнению с другими видами моллюсков. В садках при соотношении видов 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 прирост массы составил $8,0 \pm 0,8$ и $7,8 \pm 0,6$ г, а при 70 : 15 : 15 — $8,2 \pm 0,5$ г. Статистические данные по критерию Стьюдента не выявили различия по величине приростов массы с различным соотношением видов в садках (табл. 2). По данным экспериментов в 2020 г. прирост массы в монокультуре у мий составил $4,8 \pm 0,4$ г. Таким образом, в поликультуре масса раковины мии увеличилась за сезон роста на 62,5–70,8 % по сравнению с массой моллюска в монокультуре.

Макома балтийская *M. balthica inconspiqua*. Подвид распространен от северной части Японского до Чукотского моря, от литорали до глубины 40 м [Кафанов, 1991]. Один из фоновых обитателей песчаной и илисто-песчаной литорали Тауйской губы, потенциальный промысловый объект [Болотин, 2001] и может использоваться в пищевых целях [Жарников, Смирнов, 2019].

Макома отличалась от мидий и мий наиболее низким линейным приростом. Вероятно, у маком размерами 20–25 мм в возрасте 6 лет и более (максимальный возраст моллюсков, встречающихся на литорали Тауйской губы, 13 лет) существенно замедляется линейный рост, поэтому увеличить скорость роста даже в специально созданных наиболее благоприятных условиях обитания на плавучих установках (в садках с мидиями и миями) не удается. В результате при соотношении видов в садке 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25, где их находилось 35 и 25 %, абсолютная величина прироста длины раковины макомы составила 0,6 мм. При соотношении 70 : 15 : 15 (15 %) показатель прироста был еще ниже — $0,50 \pm 0,03$ мм (рис. 3, А). Приросты длины раковины макомы в монокультуре не отличались от таковых в поликультуре и составили $0,60 \pm 0,05$ мм.

Подобные показатели получены при исследовании относительного роста маком. В садках, где находилось 35 и 25 % маком (30 : 35 : 35; 50 : 25 : 25), относительный линейный прирост составил 2,2 % в обоих случаях. Низкие показатели прироста отмечены в садках, где маком было 15 % (70 : 15 : 15), относительный прирост составил $2,0 \pm 0,1$ % (рис. 3, Б).

Среди моллюсков, участвующих в эксперименте, макома имела самые низкие приросты массы. Так, при соотношении видов в садках 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 приросты массы составили $1,3 \pm 0,1$ и $1,4 \pm 0,1$ г. Максимальные показатели приростов массы ($1,6 \pm 0,1$ г) отмечены у макомы в садке с соотношением видов 70 : 15 : 15, когда их было всего 15 % (рис. 4). В монокультуре прирост массы составил всего $0,7 \pm 0,1$ г. Таким образом, прирост массы в поликультуре был на 85,7–128,5 % выше, чем в монокультуре.

Статистическое сравнение по критерию Стьюдента не выявило отличий в абсолютных и относительных приростах массы маком (табл. 1). Так, при соотношении различных видов в садках 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25, где макомы составляли 35 и 25 % от общей массы, величина приростов массы составила соответственно $1,3 \pm 0,1$ и $1,4 \pm 0,1$ г. Максимальные показатели приростов массы маком ($1,6 \pm 0,1$ г) наблюдались при соотношении видов 70 : 15 : 15, когда их было в садках всего 15 % (рис. 4). Вероятно, мидии, являясь более активными фильтраторами, в садке в соотношении (70 : 15 : 15) выделяли больше псевдофекалий, что повлияло на повышение уровня органического вещества и положительно отразилось на массе макомы, питающейся в основном мертвой органикой (детритом).

К концу эксперимента наибольшая элиминация моллюсков была отмечена в садках с соотношением видов 70 : 15 : 15, где преобладали мидии (70 %). Смертность здесь составила у мидий 8,8 %, мий — 4,9 и маком — 2,1 % (рис. 5). Минимальная смертность отмечена в садках, где соотношение видов по массе более равномерно распределено среди моллюсков (30 : 35 : 35). Смертность составила у мидий 7,5 %, мий 4,1 и маком 1,7 %. Доля смертности в садках с соотношением видов 30 : 35 : 35 и 70 : 15 : 15 достоверно различалась только у мидий. На мий и маком доля соотношения разных видов достоверно не оказывала никакого влияния (табл. 3).

Таким образом, проведенный эксперимент выявил зависимость элиминации мидий, мий и маком от количественного соотношения по массе в садках. Полученные данные о приростах моллюсков показали, что соотношения видов 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 стали наиболее оптимальными, при этом смертность моллюсков в эксперименте была минимальной, в то же время у мий и маком соотношение видов в садках не оказывало никакого влияния на смертность (табл. 3).

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что при загрузке садка плотностью 50 кг/м² оптимальное соотношение видов мидий, мий и маком должно быть равно 30 : 35 : 35 или 50 : 25 : 25. В садках, где присутствует большое количество мидий (70 : 15 : 15), приросты длины раковины у всех моллюсков имели минимальные значения. Вероятно, мидии являются более активными фильтраторами и потребляют большое количество пищи, в результате проявляется внутривидовая конкуренция. Разница в приростах длины у мий размерами 60–70 мм и маком длиной 20–25 мм статистически не различалась из-за низкой линейной скорости роста ра-

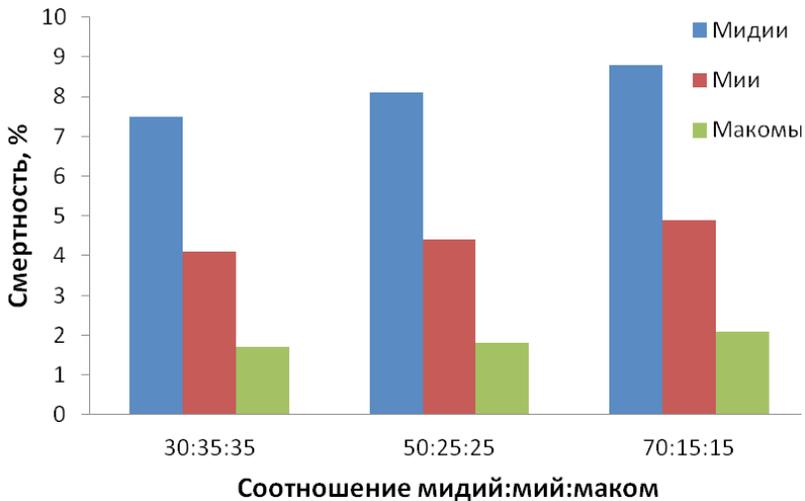


Рис. 5. Смертность двустворчатых моллюсков в садках с разным соотношением видов в поликультуре, %

Fig. 5. Death rate of bivalve mollusks in cages with certain species ratio, %

Таблица 3

Дисперсионный анализ сравнения (%) смертности мидий, мий и маком в садках с различным соотношением видов

Table 3

Dispersion analysis of death rate (%) for mussels, mya and macoma in cages with certain ratio of species

Соотношение мидий : мий : маком в садках	30 : 35 : 35	50 : 25 : 25
Мидии 30 : 35 : 35	–	p = 0,63
Мидии 70 : 15 : 15	p < 0,05	p = 0,03
Мии 30 : 35 : 35	–	p = 0,74
Мии 70 : 15 : 15	p = 0,06	p = 0,55
Макомы 30 : 35 : 35	–	p = 0,71
Макомы 70 : 15 : 15	p = 0,06	p = 0,52

ковин. У моллюсков в возрасте 6–7 лет происходит снижение скорости роста, как на литорали, так и в садках, поэтому статистически у мий и маком разница в величине приростов длины раковины в эксперименте не имела достоверных различий. Однако у маком прирост массы в садках при соотношении 70 : 15 : 15 был достоверно выше, чем в садках 30 : 35 : 35, с уровнем значимости $t = 7,40$, $p < 0,001$.

Несмотря на затяжной нерест моллюсков с июня по август в Тауйской губе, эксперимент показал возможность существенного увеличения массы мягких тканей у двустворчатых моллюсков, помещенных в условия подвешной культуры и стабильного сохранения весовых характеристик вне зависимости от сезонов года. Подобные данные были получены в прибрежной части Белого моря, когда в связи с выметом половых продуктов в июле-августе снижаются весовые характеристики мягких тканей мидий, но это полностью компенсируется за счет достаточного количества пищи в сентябре, когда масса мягких тканей моллюсков в условиях плантации возрастает в 2 раза по сравнению с литоралью [Федоров, 1987].

Анализ данных по приростам массы с учетом смертности различных видов (мидий, мий и маком) показал, как масса моллюсков в садках на плавучих установках (в соотношении 30 : 35 : 35; 50 : 25 : 25; 70 : 15 : 15) увеличивается в поликультуре у мидий на 36,08 % и в монокультуре на 8,80 %, у мий — на 11,37 и 4,76, а у макомы — на 73,57 и 16,80 % (табл. 4).

Прирост общей массы моллюсков с учетом смертности за сезон роста

Seasonal income of the total weight of cultivated mollusks, taking into account the losses for mortality

Вид моллюска	Условия содержания (поли — монокультура)	Масса до экспер., г	Масса после экспер., г	Смертность, %	Прирост массы моллюсков с учетом смертности, %
Мидии	30,1–4,0 мм (поли-)	5,00 ± 0,14	7,16 ± 0,19	8,13	36,08
	30,1–4,0 мм (моно-)	5,10 ± 0,10	6,10 ± 0,16	10,80	8,80
Мии	60,1–7,0 мм (поли-)	51,50 ± 1,80	59,43 ± 2,0	4,46	11,37
	60,1–7,0 мм (моно-)	51,80 ± 1,90	56,60 ± 2,30	4,50	4,76
Макомы	25,1–3,0 мм (поли-)	4,20 ± 0,06	5,60 ± 0,07	1,86	73,57
	25,1–3,0 мм (моно-)	4,10 ± 0,07	4,90 ± 0,09	2,70	16,80

Заключение

Экспериментальные исследования по культивированию двустворчатых моллюсков в поликультуре выявили, что в бухте Веселой при соотношении массы мидий, мий и маком 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 в садках за один сезон роста (июнь-октябрь) масса моллюсков увеличилась с учетом естественной смертности у мидий в среднем на 42,19 %, мий — 11,39 и у макомы — 69,30 %. При соотношении видов 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 величина линейного прироста раковины мидий составила соответственно $7,4 \pm 0,3$ и $7,1 \pm 0,5$ мм, а прирост массы особей — $2,60 \pm 0,30$ и $2,30 \pm 0,19$ г. В целом прирост длины раковины мидий в поликультуре был на 42 %, прирост массы (с учетом смертности) на 27,28 % выше, чем в монокультуре.

На величину приростов длины раковины мий и маком соотношение видов в садках не оказывало достоверного влияния. Однако при соотношении 70 : 15 : 15 показатели приростов массы у маком выше ($1,6 \pm 0,1$ г), чем в садках с пропорцией 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25 — соответственно $1,3 \pm 0,1$ и $1,4 \pm 0,1$ г. Прирост длины раковины в монокультуре у мий составил $1,90 \pm 0,20$ мм, у маком — $0,60 \pm 0,05$ мм и не отличался от роста моллюсков в поликультуре (мии — $2,0 \pm 0,10$; макомы — $0,60 \pm 0,03$ мм). Среди исследуемых моллюсков в поликультуре у мий отмечался самый высокий показатель прироста массы ($8,0 \pm 0,63$ г), он был значительно выше, чем в монокультуре ($4,80 \pm 0,40$ г).

Макома отличалась от мидий и мий низким набором массы как в поликультуре ($1,4 \pm 0,1$), так и в монокультуре ($0,7 \pm 0,1$ г). Наиболее низкая смертность отмечалась у маком (1,7–2,1 %). Вероятно, способность маком обитать в экстремальных условиях на песчаных осушках в устьях рек, где они испытывают межсезонную и суточную динамику температуры воды и изменение солености во время приливо-отливных течений, благоприятно отразилась на хорошей выживаемости в поли- и монокультуре на плавучих установках.

Таким образом, для организации выращивания двустворчатых моллюсков в поликультуре в бухте Веселой Тауйской губы с применением опытных плавучих установок с садками для марикультуры необходимо учитывать оптимальное соотношение различных видов при загрузке садков.

Рекомендуемая пропорция массы мидий, мий и маком должна составлять 30 : 35 : 35 и 50 : 25 : 25. При посадке моллюсков в садок размером 40 x 25 x 25 см с биомассой 50 кг/м² (5 кг/садок) в пропорции 30 : 35 : 35 (1,50 : 1,75 : 1,75 кг) и 50 : 25 : 25 (2,50 : 1,25 : 1,25 кг) получим в конце сезона роста соответственно мидий 2,18 и 3,47 кг, мий 1,95 и 1,38 кг и маком 2,91 и 2,14 кг. Итого 7,04 и 6,99 кг моллюсков в садке. Культивирование мидий, мий и маком в Тауйской губе Охотского моря рекомендуем начинать в начале июня. Установку с мидиями, миями и макомами необходимо размещать на расстоянии 50 м от берега моря при глубине не менее 10 м для предотвращения

засорения двустворчатых моллюсков во время шторма инородными примесями и возможности подтопления плавучих установок на зиму. Применяя оригинальный метод культивирования моллюсков в поликультуре, вовлекаем в хозяйственный оборот неиспользуемые биологические ресурсы литоральных двустворчатых моллюсков Охотского моря. Благодаря оптимальному соотношению видов моллюсков можно получить мидий, мий и маком товарного размера и массы за один сезон роста. Двустворчатые моллюски приобретут товарные качества благодаря очищению от инородных примесей (ил, песок) и увеличению массы мягких тканей на 14,3–128,0 % в сравнении с моллюсками таких же размеров, выращенными в монокультуре.

Благодарности

Автор выражает благодарность за ценные советы, рекомендации и конструктивные замечания сотруднику ВНИРО доктору биологических наук А.А. Смирнову.

Финансирование работы

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «СТАРТ».

Соблюдение этических стандартов

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

Список литературы

- Архипова Е.А.** Экология и гаметогенез тихоокеанской мидии в некоторых районах северо-западной Пацифики : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 1998. — 25 с.
- Бергер В.Я.** Адаптации морских моллюсков к изменениям солености среды : моногр. — Л.: Наука, 1986. — 216 с. (Исслед. фауны морей, Т. 32.)
- Болотин И.А.** Особенности распределения и оценка запасов доминирующих видов двустворчатых моллюсков в литоральной зоне Тауйской губы // Состояние рыбохозяйственных исследований в бассейне северной части Охотского моря : сб. науч. тр. — Магадан : МагаданНИРО, 2001. — Вып. 1. — С. 247–254.
- Бубнова Н.П.** Питание *Macoma baltica* (L.) и *Portlandia arctica* (Gray) и их роль в преобразовании органического вещества осадков : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 1973. — 24 с.
- Евдокимов В.В., Евдокимов А.В.** Взаимодействие гидробионтов в поликультуре при воспроизводстве в контролируемых условиях // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 131. — С. 373–380.
- Жарников В.С.** Влияние условий среды на пространственное распределение *Mya uzenensis* (Bivalvia: Myiidae) в разных районах Тауйской губы Охотского моря // Вестн. КамчатГТУ. — 2020. — № 51. — С. 99–107. DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-99-107.
- Жарников В.С.** Особенности биологии и культивирования тихоокеанской мидии *Mytilus trossulus* (Bivalvia: Mytilidae) в Тауйской губе Охотского моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Петропавловск-Камчатский, 2015. — 24 с.
- Жарников В.С.** Питание мидии *Mytilus trossulus* (Bivalvia: Mytilidae) на литорали бухты Веселая Тауйской губы Охотского моря // Вопр. рыб-ва. — 2017. — Т. 18, № 1. — С. 120–125.
- Жарников В.С., Смирнов А.А.** Культивирование тихоокеанской мидии *Mytilus trossulus* (Bivalvia: Mytilidae) в моно- и поликультуре в северной части Охотского моря // Рыб. хоз-во. — 2020. — № 6. — С. 108–110. DOI: 10.37663/0131-6184-2020-6-108-110.
- Жарников В.С., Смирнов А.А.** Макома *Macoma balthica incospicua* (Bivalvia: Tellinidae) — перспективный промысловый вид в северной части Охотского моря // Рыб. хоз-во. — 2019. — № 6. — С. 38–44.
- Кафанов А.И.** Двустворчатые моллюски шельфов и континентального склона северной Пацифики : аннотированный указатель. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1991. — 200 с.
- Маслеников С.И.** Марикультура в России // Наука в России. — 2007. — № 2. — С. 36–39.
- Михайлова Т.А., Малавенда С.С., Халаман В.В.** Видовой состав водорослей на коллекторах для выращивания мидий в Белом море // Вестн. МГТУ. — 2014. — Т. 17, № 1. — С. 157–164.

Регель К.В. Морские и солоноватоводные беспозвоночные Тауйской губы Охотского моря // Биологическое разнообразие Тауйской губы Охотского моря. — Владивосток : Дальнаука, 2005. — С. 479–544.

Федоров А.Ф. Продукционные возможности мидии (*Mytilus edulis* L.) в марикультуре Мурмана : моногр. — Апатиты : Кф. АН СССР, 1987. — 102 с.

References

Arkhipova, E.A., Ecology and gametogenesis of the Pacific mussel in some areas of the north-western Pacific, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 1998.

Berger, V.Ya., *Issledovaniya fauny morei. T. 32: Adaptatsii morskikh mollyuskov k izmeneniyam solenosti sredy* (Explorations of the Fauna of the Seas, vol. 32: Adaptation of marine molluscs to changes in salinity of the environment), St. Petersburg: Nauka, 1986.

Bolotin, I.A., Peculiarities of the distribution and estimation of the reserves of the dominant species of bivalve mollusks in the littoral zone of the Tauisk Bay, in *Sostoyaniye rybnokhozyaistvennykh issledovaniy v basseine severnoi chasti Okhotskogo morya* (The Status of Fisheries Research in the Northern Sea of Okhotsk), Magadan: MagadanNIRO, 2001, no. 1, pp. 247–254.

Bubnova, N.P., Nutrition of *Masota baltica* (L.) and *Portlandia arctica* (Gray) and their role in the transformation of organic matter in sediments, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow, 1973.

Evdokimov, V.V. and Evdokimov, A.V., Interaction of hydrobionts in polyculture during reproduction under controlled conditions, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 131, pp. 373–380.

Zharnikov, V.S., Environmental conditions influence on spatial distribution of *Mya uzenensis* (Bivalvia: Myidae) in various areas of Taui Bay, the sea of Okhotsk, *Vestn. Kamchatskogo Gos. Tekh. Univ.*, 2020, no. 51, pp. 99–107. doi 10.17217/2079-0333-2020-51-99-107

Zharnikov, V.S., Features of biology and cultivation of the Pacific mussel *Mytilus trossulus* (Bivalvia: Mytilidae) in Taui Bay, Sea of Okhotsk, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Petropavlovsk-Kamchatsky, 2015.

Zharnikov, V.S., A feed of mussel *Mytilus trossulus* (Bivalvia: Mytilidae) on littoral zone Veselaya BAY Taui Gulf the Sea of Okhotsk, *Vopr. Rybolov.*, 2017, vol. 18, no. 1, pp. 120–125

Zharnikov, V.S. and Smirnov, A.A., Cultivation of the pacific mussel *Mytilus trossulus* (Bivalvia: Mytilidae) in mono-and polyculture in the northern part of the Sea of Okhotsk, *Rybn. Khoz.*, 2020, no. 6, pp. 108–110. doi 10.37663/0131-6184-2020-6-108-110

Zharnikov, V.S. and Smirnov, A.A., *Macoma balthica incospicua* (Bivalvia: Tellinidae) as a promising trade species in the northern part of the Sea of Okhotsk, *Rybn. Khoz.*, 2019, no. 6, pp. 38–44.

Kafanov, A.I., *Dvustvorchatyye mollyuski shel'fov i kontinental'nogo sklona severnoy Patsifiki: annotirovannyi ukazatel'* (Bivalve mollusks on the shelf and continental slope of the North Pacific: annotated index), Vladivostok: Dal'nevost. Otd., Akad. Nauk. SSSR, 1991.

Maslenikov, S.I., Mariculture in Russia, *Nauka v Rossii*, 2007, no. 2, pp. 36–39.

Mikhailova, T.A., Malavenda, S.S., and Khalaman, V.V., Species composition of macroalgae in mussel culture farms in the White Sea, *Vestn. Murm. Gos. Tekh. Univ.*, 2014, vol. 17, no. 1, pp. 157–164.

Regel, K.V., Marine and brackish-water invertebrates of the Tauiskaya Bay of the Sea of Okhotsk, in *Biologicheskoye raznoobrazie Tauyskoy guby Okhotskogo morya* (Biological diversity of the Taui Bay of the Sea of Okhotsk), Vladivostok: Dal'nauka, 2005, pp. 479–544.

Fedorov, A.F., Production capabilities of mussels (*Mytilus edulis* L.) in Murman mariculture, Apatity: Kol'sk. Fil. Akad. Nauk SSSR, 1987.

Object-oriented model of polyculture “mussels-macrophytes” in the coastal zone of the Crimea, *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy*, Sevastopol': EKOSI-Gidrofizika, 2014, no. 20, pp. 220–225.

Поступила в редакцию 25.10.2021 г.

После доработки 12.11.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

УДК 639.517



Б.М. Анкешева, Р.Р. Тангатарова, О.В. Пятикопова*
Волжско-Каспийский филиал ВНИРО (КаспНИРХ),
414056, г. Астрахань, ул. Савушкина, 1

**ФОРМИРОВАНИЕ РЕМОНТНО-МАТОЧНОГО СТАДА
АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА
(*CHERAX QUADRICARINATUS*)
В ИНДУСТРИАЛЬНОЙ АКВАКУЛЬТУРЕ**

Одним из перспективных видов аквакультуры является австралийский красноклешневый рак *Cherax quadricarinatus*. Австралийский рак характеризуется высоким темпом роста и неприхотливостью к условиям выдерживания. В процессе культивирования красноклешневых раков в настоящее время используют установки с замкнутым циклом водоснабжения. Выполнено экспериментальное выращивание молоди австралийского красноклешневого рака в установке с замкнутым циклом водоснабжения для формирования ремонтно-маточного стада. Описаны основные этапы биотехники. В ходе эксперимента выявлены основные различия размерно-массовых показателей групп молоди австралийских раков, культивируемых в контролируемых условиях. Описаны необходимые условия при содержании объекта исследования в установке замкнутого водоснабжения и показатели контроля качества среды.

Ключевые слова: австралийский красноклешневый рак, молодь рака, выращивание, ремонтно-маточное стадо, производители, посадочный материал, установка с замкнутым циклом водоснабжения.

DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-948-959.

Ankesheva B.M., Tangatarova R.R., Pyatikopova O.V. Growing of replacement broodstock for australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in industrial aquaculture // Izv. TINRO. — 2021. — Vol. 201, Iss. 4. — P. 948–959.

Australian red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus* is a prospective species for aquaculture distinguished by high growth rate and good survival, in comparison with other cultivated crustaceans (shrimps, crabs). Results of experimental cultivation of this species under closed water supply with formation of the replacement broodstock are presented. The main stages of biotechnology are described. Size and weight properties of cultivated juveniles and indices of environmental quality are registered.

Key words: australian red-claw crayfish, juvenile crayfish, cultivation, replacement broodstock, producer, planting material, closed water supply cycle.

* Анкешева Бибигуль Махаббатовна, специалист, e-mail: kurkembraevab@mail.ru; Тангатарова Ралина Расимовна, специалист, e-mail: ralina.batalova@bk.ru; Пятикопова Ольга Викторовна, кандидат биологических наук, заведующая сектором, e-mail: piatikopova.olga@yandex.ru.

Ankesheva Bibigul M., specialist, Volga-Caspian branch of VNIRO (Kaspnirh), 1, Savushkin Str., Astrakhan, 414056, Russia, e-mail: kurkembraevab@mail.ru; Tangatarova Ralina R., specialist, 1, Savushkin Str., Astrakhan, 414056, Russia, e-mail: ralina.batalova@bk.ru; Pyatikopova Olga V., Ph.D., head of section, 1, Savushkin Str., Astrakhan, 414056, Russia, e-mail: piatikopova.olga@yandex.ru.

Введение

Cherax quadricarinatus — австралийский красноклешневый пресноводный рак из отряда десятиногих раков Decapoda, тропический теплолюбивый вид. Традиционным местообитанием считаются реки на северо-западе штата Квинсленд и северной территории Австралии, был обнаружен также в Папуа-Новой Гвинее. Работы по культивированию данного вида были начаты в 80-е г. прошлого века [Souty-Grosset et al., 2006].

Австралийский красноклешневый рак как объект выращивания завоевывает все большую популярность во многих странах [<http://www.fao.org/publications/sofa/2013/en>]. На территории России этот объект аквакультуры появился относительно недавно. Для его культивирования в России применяют системы установок замкнутого цикла водоснабжения (УЗВ), используемые для выдерживания производителей, получения и выращивания молоди.

В товарной аквакультуре данный вид беспозвоночных привлекателен высоким темпом роста за короткий промежуток времени (3–4 мес.). По сравнению с другими ракообразными *Cherax quadricarinatus* не требователен к высокому качеству воды. Однако для достижения максимальной эффективности культивирования необходимо контролировать и регулировать условия среды. Важнейший фактор жизнеобеспечения гидробионтов — температура [De Bock, López Greco, 2010]. Оптимальная температура воды для выращивания красноклешневого рака составляет 25–30 °С [Xiaoxuan et al., 1995; Meade et al., 2002]. Смертельными температурами для рака являются температуры ниже 10 и выше 36 °С [Lawrence, Jones, 2002].

В большинстве случаев для аквакультуры австралийского красноклешневого рака используются системы земляных прудов.

Помимо традиционного способа выращивания рака в монокультуре существуют также способы товарного выращивания в прудовой поликультуре.

Способ товарного выращивания тропических видов в прудовой поликультуре был предложен А.И. Хорошко и В.Н. Крючковым [Пат. 2709973]. Он предусматривает пространственное разделение тропических ракообразных и тропических рыб внутри одного пруда. Изобретение позволяет увеличить выпуск продукции с единицы площади рыбоводного пруда при экономии водных, энергетических и трудовых ресурсов.

Международная практика показывает, что австралийского красноклешневого рака можно выращивать в земляных прудах как в тропической, так и в умеренных зонах [Sagi et al., 1997]. Тропические раки могут довольно хорошо переносить зимние температуры окружающей среды в открытых земляных прудах в умеренных зонах, если температура воды не опускается ниже 10 °С. Это имеет существенное значение для рентабельности выращивания этого тропического вида в Израиле и в других странах с мягкими зимами.

Биотехника выращивания длиннопалых раков, включающая, в частности, информацию о получении жизнестойкой молоди в контролируемых условиях и вселении ее в водоемы на нагул, наиболее полно описана в работе Е.В. Колмыкова [2004].

Отечественный опыт исследований данного вида раков основан на уточнении контролируемых условий выращивания [Арыстангалиева, 2017; Шокашева, 2018], опытным выращивании прудовым методом [Лагуткина и др., 2016] и обобщении материалов по биологии и основам культивирования [Борисов и др., 2013].

Таким образом, основные работы, раскрывающие особенности и специфику выращивания раков этого вида, посвящены преимущественно уточнению адаптационных возможностей раков к условиям выращивания в различных природно-климатических зонах и при этом носят отрывочный характер.

Следовательно, определение биотехнических нормативов формирования ремонтно-маточного стада данного объекта в промышленных условиях выращивания, с учетом отечественного и международного опыта, требует дополнительных научно-исследовательских работ.

Цель исследования — отработка биотехники формирования ремонтно-маточных групп австралийского красноклешневого рака в системе с установкой замкнутого цикла водоснабжения.

Материалы и методы

Экспериментальные работы проводились на научно-экспериментальном комплексе аквакультуры (НЭКА) «БИОС» Волжско-Каспийского филиала ВНИРО (КаспНИРХ). Для содержания молоди раков использовалась система с установкой замкнутого водоснабжения с техническими характеристиками, представленными в табл. 1.

Таблица 1
Технические характеристики установки замкнутого водоснабжения

Technical characteristics of a closed water supply system

Table 1

Наименование	Кол-во, шт.	Технические характеристики	Примечание
Бассейн	6	Материал ПП, 2x0,75x0,25	Площадь 1 лотка — 1,5 м ²
Блок биологической очистки	1	Материал ПП, 2x0,75x0,35	С системой биофильтрации
Насос	1	До 40 л/мин	Циркуляционный
Лампа УФ	1	—	Для обработки воды
Полупогружной биологический фильтр, м ³	0,03	Плавающий	Для биофильтра
Погружной биологический фильтр, м ³	0,015	Тонущий	Для биофильтра
Терморегулятор	1	500 Вт	—
Система аэрации	1	—	Аэратор в накопительном блоке воды УЗВ
Общий объем воды, м ³	3	—	—
Замена воды в сутки	10 %	—	В системе

Примечание. ПП — полипропилен.

Перед началом работ по выращиванию молоди рака были проведены подготовительные работы по запуску системы замкнутого водоснабжения: осуществляли проведение стартового периода биологической очистки, контроль за гидрохимическими показателями. Были подготовлены укрытия для раков.

При стартовом запуске биофильтра было произведено заселение колониями бактерий, при помощи которых будут осуществляться процессы нитрификации и минерализации, для этого использовали жидкость Tetra Filter Active.

Разноразмерная молодь в качестве посадочного материала привезена из раководческих хозяйств Астраханской области.

Молодь раков была разделена на 2 группы, различающиеся по массе, — 0,6 и 6,0 г.

В ходе исследования 2 раза в неделю проводили контроль за основными гидрохимическими показателями: температурой воды [РД 52.24.496-2018], содержанием в воде кислорода [РД 52.24.419-2005], активной реакцией среды pH [ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97], содержанием в воде аммонийного азота [ПНД Ф 14.1:2:3.1-95], нитритов [РД 52.24.381-2017], нитратов [РД 52.24.380-2017], а также освещенностью и водообменом.

Для снижения хендлинг-стресса эксперимент был разделен на два этапа, контроль биологических показателей объекта исследований проводился в начале и в конце I и II этапов. Для контрольного взвешивания и измерения осуществляли случайную выборку в количестве 30 особей с каждого лотка. По результатам промежуточных данных был определен абсолютный прирост, относительный прирост, среднесуточный прирост [Купинский, 1986, 2019]. Основу рациона питания австралийского красноклешневого рака составляют сбалансированные по качественному составу корма (протеин, жиры, клетчатка, незаменимые жирные кислоты), а также различные компоненты (минераль-

ные добавки, аттрактанты, пигменты, витамины и аминокислоты). Для ежедневного кормления раков, учитывая их пищевые потребности, использовали сухой корм для молоди осетровых Aller Aqua. Дополнительно два раза в неделю к основному корму добавляли живые корма (науплии артемии, листья дуба).

На основе полученных данных по результатам зарубежного и отечественного опыта выращивания красноклешневого рака была сформирована схема экспериментальных работ по формированию его ремонтно-маточного стада (табл. 2).

Таблица 2
Схема по формированию ремонтно-маточного стада красноклешневого рака

Scheme for formation of replacement broodstock for red-claw crayfish

Последовательность работ	Наименование работ
1	Культивирование неполовозрелых особей
2	Массовый отбор
3	Культивирование групп: мелкие, средние, крупные
4	Корректирующий отбор
5	Культивирование групп: зятянутые мелкие, средние, крупные (определение пола)
6	Определение выживаемости
7	Производители

Table 2

Результаты и их обсуждение

Условия выращивания. В период формирования бактериальных сообществ биофильтра диапазон колебаний контролируемых показателей составлял: нитриты — от 0,50 до 0,80 мг/л, нитраты — от 20,0 до 51,0 мг/л, аммонийный азот — от 0,12 до 0,25 мг/л. Температура воды в УЗВ в данный период повысилась с 19,5 до 22,0 °С, значение кислорода составляло 9,0 мг/л, отмечен высокий показатель активной реакции среды — 8,5–8,7 ед. Продолжительность формирования биопленки биофильтра составила 21 день. Окончание формирования биоценоза биофильтра было определено по контролируемым показателям, достигшим технологических норм (табл. 3).

Таблица 3
Технологическая норма и кратковременно допустимые значения циркулирующей воды УЗВ в процессе исследований [Брайнбалле, 2010; Жигин, 2011], мг/л

Technological norm and short-term permissible parameters for circulating water in the experiment [from: Brajnballe, 2010; Zhigin, 2011], mg/L

Показатель	Технологическая норма	Кратковременно допустимые значения
pH	6,8–7,2	6,8–8,5
NO ₂ ⁻	До 0,1–0,2	До 1,0
NO ₃ ⁻	До 60,0	100
*NH ₄ ⁺	0–2,5	–
O ₂	5,0	4,0

* По Брайнбалле [2010].

В период выращивания молоди раков в УЗВ диапазон колебаний контролируемых показателей находился в пределах технологической нормы и составлял: нитриты — от 0,06 до 0,30 мг/л, нитраты — от 0,50 до 6,70 мг/л, аммонийный азот — от 0,02 до 0,19 мг/л, температура воды — от 23 до 27 °С, концентрация растворенного кислорода — от 5,70 до 9,00 мг/л. Отмечен высокий показатель активной реакции среды — 7,8–8,3, поскольку в пробах воды из водоисточника (рукав реки Волга — Бахтемир) данный показатель достигал значения 8,5.

Перед заселением молоди раков в установку замкнутого водоснабжения были проведены профилактическая обработка гидробионтов 3 %-ным раствором поваренной соли с экспозицией 5 мин и адаптация их к новым условиям обитания: выравнивание температурного режима при помощи погружения рыбоводных пакетов в лоток установки, добавление воды из установки в рыбоводный пакет с молодь (см. рисунок).



Подготовка молоди красноклещевого рака для выращивания в установке замкнутого водоснабжения: А — установка замкнутого водоснабжения с выровненным гидрохимическим режимом; Б — молодь раков в транспортировочной таре; В, Д — профилактическая обработка раков; Г — адаптация молоди раков к температурному режиму; Е — запуск молоди раков в УЗВ

Preparation of young red-claw crayfish for cultivation under closed water supply: А — installation of closed water supply with leveled chemical parameters; Б — young crayfish in container for transportation; В, Д — preventive treatment of crayfish; Г — adaptation of young crayfish for temperature regime; Е — launch of young crayfish into the installation

I этап выращивания (90 сут). Молодь раков была разделена на 2 группы, различающиеся по массе — 0,6 и 6,0 г. Изучение морфо-биологических показателей основывалось на сравнении исходных, промежуточных данных и результатов за период подращивания молоди в системе УЗВ. Результаты экспериментального подращивания молоди красноклещевого рака в системе УЗВ с целью формирования ремонтно-маточного стада представлены в табл. 4.

Сравнение биологических показателей в период развития и роста подращиваемой молоди австралийского рака показало закономерное повышение всех изучаемых параметров. Наиболее высокие показатели относительного прироста по массе и длине отмечены у II группы молоди раков.

За весь период исследования выживаемость молоди австралийского красноклещевого рака I и II групп составила соответственно 53,94 и 55,04 %. Главной причиной снижения выживаемости ракообразных является их агрессивное поведение и повышенный уровень каннибализма, поскольку на ранних этапах развития частота линек выше. При организации индустриального подращивания ранней молоди австралийского рака плановый отход в первые 2–3 мес. может составлять до 50 % от изначально посаженного количества молоди [Шокашева, 2018].

На начальном этапе эксперимента у II группы молоди визуально различить самок и самцов не представлялось возможным по причине их незначительных размеров. Половые различия стали хорошо видны у I группы молоди при массе особей 7 г и более. Так, к концу (август) промежуточного этапа подращивания молоди особенно хорошо заметны половые признаки у самцов — красное мягкое пигментированное пятно на неподвижном пальце клешни (проподит). Их доля составила 12 % от общего количества выжившей молоди I группы.

Таблица 4
Основные показатели молоди австралийского красноклешневого рака в системе УЗВ
за период подращивания июнь-август (90 сут)

Table 4
Dynamics of the main properties of young crayfish in the 90-day growing (June-August)

Показатель		Группа молоди рака	
		I	II
Средняя масса, г	Начальная	6,35 ± 0,78	0,60 ± 0,02
	Конечная	14,13 ± 1,50	3,18 ± 0,78
Абсолютный прирост, г		7,78	2,58
Относительный прирост, %		122,5	430,0
Среднесуточный прирост, г		0,097	0,030
Средняя длина, см	Начальная	4,60 ± 0,56	1,35 ± 0,39
	Конечная	8,14 ± 0,67	5,82 ± 0,61
Прирост, см		3,54	4,47
Относительный прирост, %		76,9	331,1
Среднесуточный прирост, см		0,044	0,056
Кол-во, шт.	Начальное	228	972
	Конечное	123	535
Плотность посадки, шт./м ²		76	67
Выживаемость, %		53,94	55,04

Таким образом, подращивание молоди австралийского рака в системе установки замкнутого водоснабжения проходило при оптимальных условиях, гидрохимические показатели воды соответствовали технологическим нормам, выживаемость молоди на данном этапе соответствовала литературным данным [Жигин, 2011; Борисов и др., 2013].

II этап выращивания (90 сут). Дальнейшие исследования были направлены на формирование ремонтно-маточного стада при индустриальном подращивании молоди австралийского красноклешневого рака из особей, не достигших половой зрелости и имеющих половые признаки. Основными параметрами II этапа выращивания являлись размерно-массовые показатели, половые признаки, выживаемость от начала формирования неполовозрелых особей до достижения стадии производителя, условия содержания (в том числе гидрохимические и температурные условия).

В начале II этапа выращивания раков в УЗВ I группа (ср. массой 14,1 г) по результатам сортировки была разделена по половым признакам (положение половых отверстий) для введения в ремонтно-маточное стадо. Отмечено увеличение доли самцов с 12 до 55 % относительно предыдущего этапа выращивания, доля самок составила 45 %.

По результатам массового отбора (по совокупности морфометрических характеристик) II группа молоди раков (ср. массой 3,18 г) была разделена на мелкие — 44 %, средние — 42 и крупные — 14 %. Присутствие явных отличительных половых признаков по положению половых отверстий самцов и самок и красного мягкого пигментированного пятна на неподвижном пальце клешни самцов в данной группе молоди раков не наблюдалось.

Основные биотехнические показатели по результатам сортировки молоди австралийского красноклешневого рака в системе УЗВ I и II групп представлены в табл. 5.

В ходе проведенной через 60 сут выбраковки особей во II группе было выявлено 17 % особей, существенно отстающих в росте и развитии «затянутые». В группе «крупные» у 12 % раков отмечено появление вторичных половых признаков. Раки I группы были разделены на 2 группы (Ia и Ib) по размерно-весовым показателям и рассажены в разные лотки с соотношением полов 1 : 1 (табл. 6).

За весь период II этапа выращивания выживаемость молоди австралийского красноклешневого рака I и II групп составила соответственно 72,3 и 81,8 %.

Таблица 5

Основные биотехнические показатели австралийского красноклешневого рака I и II групп в начале второго этапа выращивания в установке замкнутого водоснабжения

Table 5

Main properties of australian crayfish at the beginning of the second stage of cultivation under closed water supply, for groups I and II

Группа	Характеристика	Средняя масса, г	Средняя длина, см	Доля, %	Кол-во, экз.	Плотность посадки, экз./м ²
I	Самцы	18,70 ± 1,12	11,90 ± 0,26	55	46	13,8
	Самки	16,60 ± 1,10	11,40 ± 0,27	45	37	
II	Мелкие	2,00 ± 0,11	5,20 ± 0,13	44	196	54,8
	Средние	4,60 ± 0,25	7,30 ± 0,15	42	187	52,6
	Крупные	8,90 ± 0,45	9,30 ± 0,19	14	62	54,0

Таблица 6

Основные биотехнические показатели австралийского красноклешневого рака I и II групп в конце второго этапа выращивания в установке замкнутого водоснабжения

Table 6

Main properties of australian crayfish at the end of the second stage of cultivation under closed water supply, for groups I and II

Группа	Характеристика	Средняя масса, г	Средняя длина, см	Кол-во, экз.	Плотность посадки, экз./м ²	
Ia	Самцы	39,42 ± 2,87	16,25 ± 0,36	12	16,0	
	Самки	25,75 ± 2,08	14,22 ± 0,46	12		
Iб	Самцы	21,61 ± 1,14	13,18 ± 0,32	18	24,0	
	Самки	18,06 ± 1,01	11,85 ± 0,26	18		
II	Затянутые	3,11 ± 0,27	6,68 ± 0,22	62	41,33	
	Мелкие	5,41 ± 0,34	7,53 ± 0,22	102	33,33	
	Средние	7,62 ± 0,64	7,77 ± 0,26	98	33,0	
	Крупные	10,16 ± 0,57	10,23 ± 0,23	58	39,33	
	Крупные	Самцы	16,45 ± 0,76	12,00 ± 0,25	22	29,33
		Самки	14,16 ± 0,58	11,30 ± 0,17	22	

При формировании оптимальных условий культивирования молоди и выращивания ремонтно-маточного стада раков, а также контроля за основными гидрологическими и гидрохимическими показателями использовали наработки ряда авторов [Колмыков, 2004; Жигин и др., 2017]. В течение всего периода подращивания молоди и формирования ремонтно-маточного стада австралийского красноклешневого рака в УЗВ значения гидрохимических показателей воды соответствовали установленным требованиям.

Следует также отметить, что одним из факторов, оказывающих большое влияние на благоприятное содержание раков, является плотность посадки. Оптимальные плотности посадки зависят от размера и возраста культивируемых особей. Большинство авторов отмечает, что биологические особенности *Cherax quadricarinatus* не позволяют выращивать его в высокоинтенсивных культурах. Плотность посадки производителей в бассейнах составляет от 6 до 25 особей на квадратный метр [Saoud et al., 2013], молоди (массой 5–10 г) при выращивании в прудах — 5–15 особей на квадратный метр. По данным В.А. Арыстангалиевой [2017] плотность посадки австралийского красноклешневого рака в аквариумах составляет 80 шт./м², выживаемость — 75 %. В исследованиях по выращиванию молоди раков в аквариумах, проводимых Д.И. Шокашевой [2018], плотность посадки была равна 50 шт./м², выживаемость в экспериментальных группах — 52, 50 и 64 %. Поскольку проводимые нами исследования были направлены на формирование ремонтно-маточного стада в промышленных условиях, а также для сведения к минимуму эффекта каннибализма, плотность посадки раков в УЗВ была меньше, в связи с этим данные отличались от данных литературных источников.

По результатам формирования ремонтно-маточного стада, которое проводилось от разновозрастной молодежи 0,6 и 6,0 г, составлена схема технологических этапов, представленная в табл. 7.

Таблица 7

Технологическая схема формирования ремонтно-маточного стада от разновозрастной молодежи австралийского красноклешневого рака в установке замкнутого водоснабжения

Table 7

Technological scheme for growing of replacement broodstock from a multi-sized juveniles of australian red-claw crayfish under closed water supply

№ этапа	Название этапа		Продолжительность этапа, сут	Средняя масса особи, г	Плотность посадки, шт./м ²	Средняя выживаемость, %
1	Подращивание разновозрастной молодежи (начальная/конечная)		90 ± 10	0,6/3,2 6,0/14,1	67 76	55
2	Сортировка по половым признакам и размерно-весовым показателям	Самцы/самки	-	18,7/16,6	13,8	-
		Мелкие		2,0	54,8	
		Средние		4,6	52,6	
		Крупные		8,9	54,0	
3	Содержание разновозрастных групп раков		90 ± 10	По результатам сортировки		-
4	Сортировка по половым признакам и размерно-весовым показателям	Самцы/самки	-	39,4/25,8	16	70–80
		Самцы/самки		21,6/18,1	24	
		Самцы/самки		16,5/14,2	12	
		Затянутые		3,1	17	
		Мелкие		5,4	28	
		Средние		7,6	27	
		Крупные		10,2	16	

Формирование ремонтно-маточного стада австралийского красноклешневого рака — самый продолжительный этап при культивировании вида. При проведении экспериментальных работ было установлено, что на этих этапах достаточно провести 2 сортировки, что в дальнейшем позволит снизить хендлинг-стресс и повысить выживаемость. Сортировка проводилась по размерно-весовым показателям с определением пола по половым признакам (расположению у самцов придатков на коксоподитах пятой пары переопод и половым отверстиям у самок на коксоподитах третьей пары переопод). Суммарная выживаемость от посадочной личинки рака до достижения половой зрелости составила 40 %.

Каждая группа после сортировок содержалась в отдельной емкости в УЗВ при оптимальных гидрохимических параметрах, представленных в табл. 3.

Заключение

По результатам экспериментального выращивания двух групп разновозрастной молодежи австралийского красноклешневого рака в УЗВ было определено, что формирование ремонтно-маточного стада целесообразнее осуществлять от молодежи раков, достигших 5 г и более (I группа), поскольку данная группа за первые 3 мес. выращивания при корректирующем отборе полностью разделилась по половому признаку, а за следующие 3 мес. при индивидуальном отборе проведено уточнение половой принадлежности и деление на 2 размерно-весовые группы.

При выращивании молодежи с начальной массой менее 1 г (II группа) не все особи достигли половой зрелости к концу периода. При этом были определены некоторые аспекты при выращивании молодежи раков от такой начальной массы. При выращивании

до среднего значения массы 3 г данная группа молоди раков не имела значительных размерно-весовых различий. При массовом отборе в начале II этапа молодь была разделена на три размерно-весовые группы, а при корректирующем отборе — на четыре группы, и выделена группа со сформировавшимися половыми признаками.

За период выращивания 2 размерно-весовых групп молоди раков было установлено, что четкое разделение по половым признакам наступает при достижении массы 14 г и более.

По результатам работ по формированию ремонтно-маточного стада австралийского красноклешневого рака, которое проводилось от разноразмерной молоди 0,6 и 6,0 г, была составлена схема технологических этапов, которая может быть использована в производстве товарной продукции при культивировании рака для получения потомства. Дальнейшие исследования будут направлены на сбор материала к технологической схеме и биотехническим показателям по получению и подращиванию молоди рака до массы 5 г в индустриальных условиях.

Благодарности

Авторы выражают благодарность ведущему специалисту, к.б.н. И.Н. Бедрицкой за консультацию и помощь при проведении научно-исследовательских работ, главному специалисту Г.Ш. Сакетовой за осуществление контроля за гидрохимическими показателями воды, главному инженеру С.В. Иванову, отвечающему за техническое обеспечение установок замкнутого цикла водоснабжения, а также свою признательность рецензентам за конструктивную оценку, полезные предложения и ценные замечания по улучшению рукописи.

Финансирование работы

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Соблюдение этических стандартов

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

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Информация о вкладе авторов

Все авторы участвовали в организации и проведении исследования, подборе и анализе литературных данных, обработке материала, а также в обсуждении полученных результатов и подготовке окончательного варианта статьи.

Дополнительная информация

Б.М. Анкешева, ORCID: 0000-0001-7854-3820.

Т.Р. Расимовна, ORCID: 0000-0002-0066-4101.

О.В. Пятикопова, ORCID: 0000-0003-4974-6623.

Список литературы

Арыстангалиева В.А. Разработка технологии выращивания посадочного материала австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) в установке с замкнутым водоиспользованием : автореф. дис. ... канд. сельскохозяйственных наук. — М., 2017. — 24 с.

Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Акимова М.Ю., Паршин-Чудин А.В. Биология и культивирование австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) : моногр. — М. : ВНИРО, 2013. — 48 с.

Брайнбалле Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения. Введение в новые экологические и высокопродуктивные замкнутые рыбоводные системы. — Копенгаген : ФАО, 2010. — 70 с.

Жигин А.В. Замкнутые системы в аквакультуре : моногр. — М. : Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2011. — 664 с.

Жигин А.В., Арыстангалиева В.А., Ковачева Н.П. Влияние температуры воды на рост и выживаемость австралийских красноклешневых раков // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное 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. 86–89.

Колмыков Е.В. Инструкция по разведению речных раков. — Астрахань : КаспНИРХ, 2004. — 30 с.

Купинский С.Б. Продукционные возможности рыбохозяйственных водоемов и объектов рыбоводства : учеб. пособие. — СПб. : Лань, 2019. — 232 с.

Купинский С.Б. Радужная форель — предварительные параметры стандартной модели массонакопления // Индустриальное рыбоводство в замкнутых системах : сб. науч. тр. ВНИИПРХ. — 1986. — Вып. 46. — С. 109–115.

Лагуткина Л.Ю., Мартыанов А.С., Степанов Р.В., Шейхгасанов К.Г. Оптимизация технологии кормления австралийских раков с помощью рецептов экспериментальных кормов // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. — 2016. — № 1. — С. 77–86.

Пат. РФ № 2709973. МПК А01К 61/00 (2006.01). Способ товарного выращивания тропических видов в прудовой поликультуре / А.И. Хорошко, В.Н. Крючков. — Заявл. 30.10.2017; Опубликовано 23.12.2019; Бюл. № 36.

Шокашва Д.И. Рост молоди австралийского рака *Cherax quadricarinatus* в индустриальных условиях в зависимости от температуры среды // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. — 2018. — № 2. — С. 98–103. DOI: 10.24143/2073-5529-2018-2-98-103.

De Bock M.S., López Greco L.S. Sex reversal and growth performance in juvenile females of the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Parastacidae): effect of increasing temperature and androgenic gland extract in the diet // Aquacult. Int. — 2010. — № 18. — P. 231–243. DOI: 10.1007/s10499-008-9239-x.

Lawrence C., Jones C. Chapter Cherax // Biology of Freshwater Crayfish. — Oxford : Blackwell Science, 2002. — P. 635–670.

Meade M.E., Doeller J.E., Kraus D.W., Walls S.A. Effects of temperature and salinity on weight gain, oxygen consumption rate, and growth efficiency in juvenile red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus* // Journal of the World Aquaculture Society. — 2002. — Vol. 33, № 2. — P. 188–198.

Sagi A., Milstein A., Eran Y. et al. Culture of the Australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in Israel. II. Second growout season of overwintered populations // Israeli J. Aquacult. — Bamidgah. — 1997. — Vol. 49. — P. 222–229.

Saoud I.P., Ghanawi J., Thompson K.R., Webster C.D. A Review of the Culture and Diseases of Redclaw Crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868) // Journal of the World Aquaculture Society. — 2013. — Vol. 44, № 1. — P. 1–29. DOI: 10.1111/jwas.12011.

Souty-Grosset C., Holdich D.M., Noel P.Y., Reynolds J.D. Atlas of Crayfish in Europe. — Paris : Museum national d'Histoire naturelle. — 2006. — 187 p.

Xiaoxuan C., Zhixin W., Licai H. Effects of water temperature on ingestion and growth of *Cherax quadricarinatus* // J. Huazhong (Central China) Agricultural University. — 1995. — Vol. 14(5). — P. 477–480.

References

Arystangaliev, V.A., Development of technology for growing planting material of the Australian red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in an installation with closed water use, *Cand. Sci. (Agricultural.) Dissertation*, Moscow, 2017.

Borisov, R.R., Kovacheva, N.P., Akimova, M.Yu., and Parshin-Chudin, A.V., *Biologiya i kul'tivirovaniye avstraliyskogo krasnokleshnevoogo raka Cherax quadricarinatus (von Martens, 1868)* (Biology and cultivation of the Australian red-lobed cancer *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868)), Moscow: VNIRO, 2013.

Brynalle, Ya., *Rukovodstvo po akvakul'ture v ustanovkakh zamknutogo vodosnabzheniya. Vvedeniye v novyye ekologicheskkiye i vysokoproduktivnyye zamknutyie rybovodnyye sistemy* (Guide to aquaculture in closed water supply installations. Introduction to new ecological and highly productive closed fish farming systems), Copenhagen: FAO, 2010.

Zhigin, A.V., *Zamknutyie sistemy v akvakul'ture* (Closed systems in aquaculture), Moscow: Publishing house of the Russian State Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, 2011.

Zhigin A.V., Arystangalieva V.A., and Kovacheva N.P., Influence of water temperature on growth and survival of Australian red claw crayfish, in *Prirodnyye resursy, ikh sovremennoye sostoyaniye, okhrana, promyslovoye i tekhnicheskoye ispol'zovaniye, 8-y Vseros. nauchn.-prakt. konf., posvyashchennaya 75-letiyu rybkhozyaystvennogo obrazovaniya na Kamchatke, Tezisy dokladov* (Natural resources, their current status, protection, commercial and technical use, Proc. 8th All-Russ. Sci.-Pract. Conf., Commem. 75th Anniversary of Fisheries Education in Kamchatka), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatka State Technical University, 2017, part 1, pp. 86–89.

Kolmykov, E.V., *Instruktsiya po razvedeniyu rechnykh rakov* (Instructions for breeding river crayfish), Astrakhan: Kasp. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz., 2004.

Kupinsky, S.B., *Produksionnyye vozmozhnosti rybkhozyaystvennykh vodoyemov i ob'yektov rybovodstva* (Production capabilities of fisheries reservoirs and fish farming facilities), St. Petersburg: Lan, 2019.

Kupinsky, S.B., Rainbow trout — preliminary parameters of the standard model of mass accumulation, in *Sb. nauchn. tr. VNIIPRKH "Industrial'noye rybovodstvo v zamknytykh sistemakh"*, 1986, no. 46, pp. 109–115.

Lagutkina, L.Y., Mart'yanov, A.S., Stepanov, R.V., and Shahveranov, K.G., Optimization of the technology of feeding Australian crayfish through the use of experimental feeds formulas, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2016, no. 1, pp. 77–86.

Khoroshko, A.I. and Kryuchkov, V.N., RF Patent no. 2709973, IPC A01K 61/00 (2006.01), Method rearing of tropical species in pond polyculture, *Byul.*, 2019, no. 36.

Shokasheva, D.I., Growth of Australian crayfish (*Cherax quadricarinatus*) juveniles in industrial conditions depending on the environment temperature, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2018, no. 2, pp. 98–103. doi 10.24143/2073-5529-2018-2-98-103

De Bock, M.S. and López Greco, L.S., Sex reversal and growth performance in juvenile females of the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Parastacidae): effect of increasing temperature and androgenic gland extract in the diet, *Aquacult. Int.*, 2010, no. 18, pp. 231–243. doi 10.1007/s10499-008-9239-x

Lawrence, C. and Jones, C., Chapter Chera, *Biology of Freshwater Crayfish*, Oxford: Blackwell Science, 2002, pp. 635–670.

Meade, M.E., Doeller, J.E., Kraus, D.W., and Walls, S.A., Effects of temperature and salinity on weight gain, oxygen consumption rate, and growth efficiency in juvenile red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus*, *Journal of the World Aquaculture Society*, 2002, vol. 33, no. 2, pp. 188–198.

Sagi, A., Milstein, A., Eran, Y., Joseph, D., Khalaila, I., Abdu, U., Harpaz, S., and Karplus, I., Culture of the Australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in Israel. II. Second growout season of overwintered populations, *Israeli J. Aquacult. — Bamidgeh*, 1997, vol. 49, P. 222–229.

Saoud, I.P., Ghanawi, J., Thompson, K.R., and Webster, C.D., A review of the culture and diseases of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868), *Journal of the World Aquaculture Society*, 2013, vol. 44, no. 1, pp. 1–29. doi 10.1111/jwas.12011

Souty-Grosset, C., Holdich, D.M., Noel, P.Y., and Reynolds, J.D., *Atlas of Crayfish Europe*, Paris: Museum national d'Histoire naturelle, 2006.

Xiaoxuan, C., Zhixin, W., and Licai, H., Effects of water temperature on ingestion and growth of *Cherax quadricarinatus*, *J. Huazhong (Central China) Agricultural University*, 1995, vol. 14(5), pp. 477–480.

Food systems for better nutrition: The state of food and agriculture. Rome: FAO Fisheries and Aquaculture Department, 2013. <http://www.fao.org/publications/sofa/2013/en>. Cited August 27, 2021.

RD 52.24.496-2018. Metodika izmereniy temperatury, prozrachnosti i opredeleniya zapakha vody (RD 52.24.496-2018. Method of measuring temperature, transparency and determination of the smell of water), Rostov-na Donu: Gidrokhimicheskii institut, 2018.

RD 52.24.419-2005. Massovaya kontsentratsiya rastvorennogo kisloroda v vodakh. Metodika vypolneniya izmereniy yodometricheskim metodom (RD 52.24.419-2005. Mass concentration of dissolved oxygen in water. The method of performing measurements by the iodometric method), Rostov-na-Donu: Federal'naya sluzhba Rossii po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy, 2004.

PND F 14.1:2:3:4.121-97. Kolichestvennyy khimicheskii analiz vod. Metodika vypolneniya izmereniy pH v vodakh potentsiometricheskim metodom (PND F 14.1:2:3:4.121-97. Quantitative chemical analysis of waters. Measurement procedure pH in waters by the potentiometric method), Moscow: Federal'nyy tsentr analiza i otsenki tekhnogennogo vozdeystviya, 2016.

PND F 14.1:2:3.1-95. Kolichestvennyy khimicheskii analiz vod. Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii ionov ammoniya v prirodnykh i stochnykh vodakh fotometricheskim metodom s reaktivom

Nessler (PND F 14.1:2:3.1-95. Quantitative chemical analysis of waters. Method of measuring the mass concentration of ammonium ions in natural and wastewater by photometric method with Nessler reagent), Moscow: Federal'nyy tsentr analiza i otsenki tekhnogennogo vozdeystviya, 2017.

RD 52.24.381-2017. Massovaya kontsentratsiya nitritnogo azota v vodakh. Metodika izmereniy fotometricheskim metodom s reaktivom Grissa (RD 52.24.381-2017. Mass concentration of nitrites in waters. The method of performing measurements by the photometric method with the Griss reagent), Rostov-na-Donu: Gidrokhimicheskiy institut, 2017.

RD 52.24.380-2017. Massovaya kontsentratsiya nitratnogo azota v vodakh. Metodika izmereniy fotometricheskim metodom s reaktivom Grissa posle vosstanovleniya v kadmiyevom reduktore (RD 52.24.380-2017. Mass concentration of nitrate nitrogen in waters. Measurement technique by photometric method with Griss reagent after reduction in a cadmium reducer), Rostov-na-Donu: Gidrokhimicheskiy institut, 2017.

Поступила в редакцию 1.10.2021 г.

После доработки 18.11.2021 г.

Принята к публикации 30.11.2021 г.

СТРАНИЦЫ ПАМЯТИ

БУДНИКОВА ЛЮДМИЛА ЛЕОНИДОВНА
24.04.1949–18.10.2021

18 октября 2021 г. после непродолжительной болезни ушла из жизни Людмила Леонидовна Будникова. Не стало светлого, жизнерадостного человека, которого многие знали и любили.

Вся ее трудовая деятельность была связана с морем. По окончании в 1972 г. биолого-почвенного факультета Дальневосточного государственного университета Людмила Леонидовна начала работать в Институте биологии моря ДВО РАН, где за короткий срок стала высококвалифицированным гидробиологом. Она была одним из немногих специалистов в стране по такой сложной для определения группе ракообразных как амфиподы. В 1989 г. защитила кандидатскую диссертацию по теме «Сублиторальные амфиподы подотряда Gammaridea шельфа западного Сахалина». После

защиты диссертации Людмила Леонидовна долгое время была ученым секретарем диссертационного совета института. Ее внимательность и скрупулезность способствовали четкой и слаженной работе совета, а благожелательное отношение и умение помочь запомнили все соискатели и аспиранты, защитившие в этот период свои диссертации.

Придя в 2002 г. в лабораторию гидробиологии ТИНРО уже сложившимся исследователем, Людмила Леонидовна продолжила заниматься донными беспозвоночными, принимала активное участие в комплексных научных экспедициях ТИНРО в Японском, Охотском и Беринговом морях. Высокий квалификационный уровень, знание фауны и стремление научить младшее поколение тонкостям гидробиологических исследований всегда были отличительной чертой Людмилы Леонидовны. Ее вклад в оценку кормовых ресурсов донных рыб дальневосточных морей бесспорен. Это подтверждает большое количество (более 60) научных статей, а также выступления на симпозиумах и конференциях. Многие из опубликованных ею с коллегами статей, посвященных количественным и качественным характеристикам бентоса дальневосточных морей, не потеряли своей актуальности и в настоящее время.

С 2012 г. основное направление деятельности Людмилы Леонидовны связано с исследованием состояния ресурсов беспозвоночных в прибрежной зоне Приморья. За это время научной группой с ее участием были обоснованы запасы некоторых видов ракообразных, что позволило ввести их в число промысловых объектов.

Людмила Леонидовна всегда занимала активную жизненную позицию по многим вопросам, будь то состояние городской среды или отношение к бездомным животным. Ее обостренное чувство сострадания не позволяло пройти мимо брошенных животных, она всегда старалась им помочь: пристроить, вылечить или просто покормить.

Оборвалась жизнь интересного, деятельного и энергичного человека. Утрата эта невосполнима. Друзья и коллеги навсегда сохраняют память об этой прекрасной женщине, любившей жизнь во всех ее проявлениях.

СОДЕРЖАНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ	755
Клепиковский Р.Н., Ившин В.А., Трофимов А.Г. Сравнительный анализ распределения массовых видов китообразных и рыб в Баренцевом море	755
Кузнецова Н.А., Горбатенко К.М. Питание сайки, минтая и других пелагических рыб и их пищевая обеспеченность в Чукотском море в августе-сентябре 2019 г.	765
Горбатенко К.М., Мельников И.В., Бензик А.Н., Метревели В.Е. Донно-пелагические связи гидробионтов в различных водных массах Чукотского моря по данным $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$	784
Савин А.Б. Сайка (<i>Boreogadus saida</i> , Gadidae) Чукотского моря и прилегающих вод	810
Новиков М.А., Горбачева Е.А., Лаптева А.М. Содержание мышьяка в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным)	833
БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ	845
Зеленников О.В., Багинский Д.В., Погодин В.П. Уникальный случай обнаружения большого числа сиамских близнецов молоди горбуши	845
Буслов А.В., Овсянникова С.Л. Рост тихоокеанской трески <i>Gadus macrocephalus</i> на первом году жизни	849
Ким Л.Н., Ким Д.М. Среднепогодные данные по биомассе и составу видов рыб в разных диапазонах глубин залива Петра Великого	866
УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ	879
Глебова С.Ю. Сибирский антициклон как важный фактор развития циклонической деятельности в Дальневосточном регионе в зимний, весенний и летний сезоны	879
АКВАКУЛЬТУРА	895
Гаврилова Г.С., Мотора З.И., Поздняков С.Е. Результаты исследований состояния приморского гребешка (<i>Mizuhopecten yessoensis</i>) на плантациях марикультуры Приморья	895
Жигин А.В., Сытова М.В., Есавкин Ю.И. Аквакультура как источник функциональных продуктов питания	910
Сафронов А.С., Рачек Е.И., Зуевский С.Е., Амвросов Д.Ю., Филиппова О.П. Результаты сравнительного выращивания калуги, амурского осетра и реципрокных гибридов между ними с использованием различных технологий	923
Жарников В.С. Влияние соотношения видов в поликультуре на рост и массу двустворчатых моллюсков в Тауйской губе Охотского моря	937
Анкешева Б.М., Тангатарова Р.Р., Пятикопова О.В. Формирование ремонтно-маточного стада австралийского красноклешневого рака (<i>Cherax quadricarinatus</i>) в индустриальной аквакультуре	948
СТРАНИЦЫ ПАМЯТИ	960
Будникова Людмила Леонидовна (24.04.1949–18.10.2021)	960

CONTENTS

<i>ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ</i>	755
Klepikovsky R.N., Ivshin V.A., Trofimov A.G. Comparative analysis on distribution of common cetacean and fish species in the Barents Sea	755
Kuznetsova N.A., Gorbatenko K.M. Feeding of arctic cod, walleye pollock, and other pelagic fish and their food supply in the Chukchi Sea in August-September, 2019	765
Gorbatenko K.M., Melnikov I.V., Benzik A.N., Metreveli V.E. Benthic-pelagic relations of aquatic organisms in various water masses of the Chukchi Sea by the data of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$	784
Savin A.B. Arctic cod (<i>Boreogadus saida</i> , Gadidae) in the Chukchi Sea and adjacent waters	810
Novikov M.A., Gorbacheva E.A., Lapteva A.M. Arsenic content in commercial fish of the Barents Sea (according to long-term data)	833
<i>BIOLOGICAL RESOURCES</i>	845
Zelennikov O.V., Baginskiy D.V., Pogodin V.P. A unique case of finding a large number of conjoined twins of juvenile pink salmon	845
Buslov A.V., Ovsyannikova S.L. Growth of pacific cod <i>Gadus macrocephalus</i> in the first year of life	849
Kim L.N., Kim D.M. Long-term data on biomass and species composition of fish by depth ranges in Peter the Great Bay	866
<i>ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES</i>	879
Glebova S.Yu. Siberian High as an important factor for development of cyclonic activity in the Far Eastern region in winter, spring and summer seasons	879
<i>AQUACULTURE</i>	895
Gavrilova G.S., Motora Z.I., Pozdnyakov S.E. Results of examination the state of yesso scallop (<i>Mizuhopecten yessoensis</i>) on plantations of aquaculture in Primorye	895
Zhigin A.V., Sytova M.V., Esavkin Yu.I. Aquaculture as a source of functional food	910
Safonov A.S., Rachek E.I., Zuevsky S.E., Amvrosov D.Yu., Philippova O.P. Results of comparative cultivation of kaluga, amur sturgeon and reciprocal hybrids between them with using of various technologies	923
Zharnikov V.S. Impact of the species ratio in polyculture on growth and weight of bivalve mollusks in the Tauiskaya Guba Bay, Okhotsk Sea	937
Ankesheva B.M., Tangatarova R.R., Pyatikopova O.V. Growing of replacement broodstock for australian red-claw crayfish (<i>Cherax quadricarinatus</i>) in industrial aquaculture	948
<i>SCROLLS OF MEMORY</i>	960
Budnikova Lyudmila Leonidovna (24.04.1949–18.10.2021)	960

Редакционная коллегия и редакция журнала «Известия ТИНРО» выражают признательность и благодарность рецензентам, которые в 2020 г. помогли отобрать лучшие рукописи для публикации. Мы ценим эту поддержку и надеемся на дальнейшее сотрудничество.

С нами работали:

Акулин Валерий Николаевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Алехнович Анатолий Васильевич, канд. биол. наук, НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам
Андреев Андрей Григорьевич, д-р геогр. наук, ТОИ ДВО РАН
Анжина Галина Ивановна, канд. физ-мат. наук, ДВНИГМИ
Антонов Николай Парамонович, д-р биол. наук, ВНИРО
Асеева Надежда Леонидовна, канд. биол. наук, ТИНРО
Астафьев Сергей Эдуардович, канд. техн. наук, ВНИРО
Барабанщиков Евгений Иванович, канд. биол. наук, ТИНРО
Бегун Андрей Аркадьевич, канд. биол. наук, ННЦМБ ДВО РАН
Бобырев Александр Евгеньевич, д-р биол. наук, МГУ им. Ломоносова
Богдановская Татьяна Владиславовна, канд. геогр. наук, ООО «РЭА-консалтинг»
Болтнев Александр Иванович, д-р биол. наук, ВНИРО
Борисовец Евгений Эммануилович, канд. биол. наук, ТИНРО
Бугаев Александр Викторович, д-р биол. наук, КамчатНИРО
Бугаев Виктор Федорович, д-р биол. наук, КамчатНИРО
Буторина Тамара Евгеньевна, д-р биол. наук, Дальрыбвтуз
Валова Вера Николаевна, канд. биол. наук, ТИНРО
Волвенко Игорь Валентинович, д-р биол. наук, ТИНРО
Волков Анатолий Федорович, д-р биол. наук, ТИНРО
Волкова Марина Александровна, канд. геогр. наук, Томский гос. ун-т
Вражкин Александр Николаевич, канд. техн. наук, ДВНИГМИ
Глебов Игорь Иванович, канд. биол. наук, ТИНРО
Глебова Светлана Юрьевна, канд. геогр. наук, ТИНРО
Голубь Елена Владиславовна, канд. биол. наук, ТИНРО
Горбатенко Валентина Петровна, д-р геогр. наук, Томский политехн. ун-т
Гордеев Илья Иванович, канд. биол. наук, ВНИРО
Датский Андрей Валерьевич, канд. биол. наук, ВНИРО
Дворецкий Владимир Геннадьевич, канд. биол. наук, ММБИ
Долганов Владимир Николаевич, д-р биол. наук, ННЦМБ ДВО РАН
Дружинина Анна Сергеевна, канд. биол. наук, Север. (Арктич.) фед. ун-т
Дулупова Елена Петровна, д-р биол. наук, ТИНРО
Дьяков Юрий Петрович, д-р биол. наук, КамчатНИРО
Жарников Вячеслав Сергеевич, канд. биол. наук, Ин-т биол. проблем Севера ДВО РАН
Жигин Алексей Васильевич, д-р с.-х. наук, ВНИРО
Заволокин Александр Владимирович, д-р биол. наук, NPFC (Япония)
Иванов Олег Альбертович, д-р биол. наук, ТИНРО
Измятинский Денис Владимирович, канд. биол. наук, ТИНРО
Каев Александр Михайлович, д-р биол. наук, СахНИРО
Калинина Галина Георгиевна, канд. биол. наук, Дальрыбвтуз
Карамушко Лариса Ивановна, д-р биол. наук, ММБИ
Карпенко Владимир Илларионович, д-р биол. наук, Камчатский ГТУ
Карпинский Михаил Георгиевич, д-р биол. наук, ВНИРО
Кияшко Сергей Ильич, канд. биол. наук, ННЦМБ ДВО РАН
Колпаков Николай Викторович, д-р биол. наук, СахНИРО
Кособокова Ксения Николаевна, канд. биол. наук, ИО РАН
Котельникова (Вафина) Лилия Хаматовна, канд. техн. наук, ВНИРО
Коцюк Денис Владимирович, канд. биол. наук, ХабаровскНИРО
Криксунов Евгений Аркадьевич, д-р биол. наук, МГУ им. Ломоносова

Кужевская Ирина Валерьевна, канд. геогр. наук, Томский гос. ун-т
Кузнецов Юрий Николаевич, канд. техн. наук, ТИНРО
Кулик Владимир Владимирович, канд. биол. наук, ТИНРО
Литовка Денис Игоревич, канд. биол. наук, Чукотское правительство
Лучин Владимир Александрович, д-р геогр. наук, ТОИ ДВО РАН
Мазникова Ольга Александровна, канд. биол. наук, ВНИРО
Марченко Сергей Леонидович, канд. биол. наук, ВНИРО
Матвеев Владимир Иванович, канд. геогр. наук, ТИНРО
Мельников Игорь Владимирович, канд. биол. наук, ТИНРО
Михайлов Андрей Игоревич, канд. биол. наук, ВНИРО
Михайлова Оксана Геннадьевна, канд. биол. наук, КамчатНИРО
Паренский Валерий Александрович, канд. биол. наук, ННЦМБ ДВО РАН
Пахомов Евгений Александрович, канд. биол. наук, Ун-т Британской Колумбии (Канада)
Пивненко Татьяна Николаевна, д-р биол. наук, Дальрыбвтуз
Пичугин Михаил Юрьевич, д-р биол. наук, МГУ им. Ломоносова
Пугачев Олег Николаевич, д-р биол. наук, ЗИН РАН
Радченко Владимир Иванович, канд. биол. наук, НРАФС
Раков Владимир Александрович, д-р биол. наук, ТОИ ДВО РАН
Розенштейн Михаил Михайлович, д-р техн. наук, Калининградский ГТУ
Ростов Игорь Дмитриевич, канд. геогр. наук, ТОИ ДВО РАН
Русяев Сергей Михайлович, канд. биол. наук, МагаданНИРО
Савельев Павел Александрович, канд. биол. наук, ННЦМБ ДВО РАН
Савин Андрей Борисович, канд. биол. наук, ТИНРО
Свиридов Владимир Владимирович, канд. биол. наук, ХабаровскНИРО
Селин Николай Иванович, канд. биол. наук, ННЦМБ ДВО РАН
Симоконь Михаил Васильевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Слизкин Алексей Гаврилович, канд. биол. наук, ТИНРО
Слуцкая Татьяна Ноевна, д-р техн. наук, ТИНРО
Терентьев Дмитрий Анатольевич, канд. биол. наук, КамчатНИРО
Токранов Алексей Михайлович, д-р биол. наук, Камчатский филиал ТИГ ДВО РАН
Тырин Дмитрий Владимирович, д-р с.-х. наук, ВНИРО
Фигуркин Александр Леонидович, канд. геогр. наук, ТИНРО
Хен Геннадий Васильевич, канд. геогр. наук, ТИНРО
Христофорова Надежда Константиновна, д-р биол. наук, ДВФУ
Черниенко Игорь Сергеевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Черняев Андрей Павлович, канд. хим. наук, ДВФУ
Шевляков Евгений Александрович, канд. биол. наук, ТИНРО
Шейна Татьяна Александровна, канд. биол. наук, Пермский ГНИИ
Шулькин Владимир Маркович, д-р геогр. наук, ТИГ ДВО РАН
Шунтов Вячеслав Петрович, д-р биол. наук, ТИНРО
Freshwater Cameron, д-р биол. наук, Fisheries and Oceans Canada

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 30.11.2021 г. Формат 70x108/16.
Печ. л. 13,0. Уч.-изд. л. 12,1. Тираж 80 экз.
Заказ № 12. Цена 600 р.
Выход тома в свет 17.12.2021 г.

Отпечатано в издательстве ТИПРО
690091, Владивосток, ул. Западная, 10