

ISSN 2079-0333

**ВЕСТНИК
Камчатского
государственного
технического
университета**



**Научный
журнал**

Основан в 2002 г.

16+

ВЫПУСК

63

2023

Издательство



КамчатГТУ

Петропавловск-Камчатский

ISSN 2079-0333

**ВЕСТНИК
Камчатского
государственного
технического
университета**



**Научный
журнал**

Основан в 2002 г.

Bulletin of Kamchatka State Technical University

**Журнал включен в действующий Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК РФ).
Информация о включении журнала представлена на официальном сайте ВАК
(<http://vak.ed.gov.ru>)**

**Journal is included in List of peer-reviewed publications (State Commission
for Academic Degrees and Titles of the Russian Federation).
Information is available on the official website of State Commission
for Academic Degrees and Titles (<http://vak.ed.gov.ru>)**

**Журнал размещается
в Научной электронной библиотеке (договор № 22-02/2011 R от 01.02.2011),
в международной информационной системе по водным наукам и рыболовству ASFIS
(Aquatic Sciences and Fisheries Information System) (соглашение от 17.05.2011)**

**Journal is indexed in Scientific electronic library (contract № 22-02/2011 R of 01.02.2011),
in Aquatic Sciences and Fisheries International Information System ASFIS
(agreement on 17.05.2011)**

ВЫПУСК

63

2023

Петропавловск-Камчатский

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Клочкова Т.А.** (главный редактор) доктор биологических наук, доктор философии биологии (Ph.D.), профессор кафедры экологии и природопользования Камчатского государственного технического университета
- Царенко С.Н.** (научный редактор, технический раздел) доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры технологических машин и оборудования Камчатского государственного технического университета
- Ольхина О.В.** (ответственный секретарь) заведующий издательством Камчатского государственного технического университета
- Белавина О.А.** (технический секретарь) кандидат химических наук, заведующий сектором патентования и научно-квалификационной деятельности отдела науки и инноваций Камчатского государственного технического университета
- Артемова Е.Н.** доктор технических наук, профессор кафедры технологии продуктов питания и организации ресторанного дела Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева
- Богданов В.Д.** доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии продуктов питания Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета
- Васильев М.В.** кандидат технических наук, капитан 1 ранга, начальник военного учебного центра при Камчатском государственном техническом университете
- Водичар Г.М.** кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Голохваст К.С.** доктор биологических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАО, директор Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий Российской академии наук
- Йогсукура Н.** доктор философии биологии (Ph.D.), профессор, директор Морской станции Ошоро, научно-исследовательский центр по изучению северной биосферы Университета Хоккайдо (Япония)
- Кадникова И.А.** доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории безопасности и качества морского растительного сырья Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра
- Ким Г.Х.** доктор философии биологии (Ph.D.), профессор, заведующий лабораторией альгологии Национального университета Конджу (Республика Корея)
- Климова А.В.** кандидат биологических наук, заведующий сектором коллективного использования научного оборудования научно-образовательного центра «Экология и природопользование» Камчатского государственного технического университета
- Клочкова Н.Г.** доктор биологических наук, главный научный сотрудник Камчатского филиала Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Лобков Е.Г.** доктор биологических наук, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
- Максимова С. Н.** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии продуктов питания Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета
- Манаков Ю.А.** доктор биологических наук, заместитель директора по научной деятельности Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий Российской академии наук
- Потапов В.В.** доктор технических наук, главный научный сотрудник Научно-исследовательского геотехнологического центра Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Седова Н.А.** доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
- Сенкевич Ю.И.** доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Токранов А.М.** доктор биологических наук, главный научный сотрудник Камчатского филиала Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Усов А.И.** доктор химических наук, главный научный сотрудник Института органической химии имени Н.Д. Зелинского Российской академии наук
- Швецов В.А.** доктор химических наук, доцент, профессор кафедры энергетических установок и электрооборудования судов Камчатского государственного технического университета

EDITORIAL BOARD

Klochkova T.A. (Editor-in-Chief)	Doctor of Biological Sciences, Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Professor of Ecology and Nature Management Chair, Kamchatka State Technical University
Tzarenko S.N. (Scientific Editor, technical sciences)	Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Technical Machines and Equipment Chair, Kamchatka State Technical University
Olkhina O.V. (Executive Secretary)	Head of Publishing House, Kamchatka State Technical University
Belavina O.A. (Technical Secretary)	Candidate of Chemical Sciences, Head of the Patenting and Scientific Qualification Activity Sector of Science and Innovation Department, Kamchatka State Technical University
Artemova E.N.	Doctor of Technical Sciences, Professor of Food Technology and Organization of Restaurant Business Chair, Orel State University named after I.S. Turgenev
Bogdanov V.D.	Doctor of Technical Sciences, Professor of Food Technology Chair, Far Eastern State Technical Fisheries University
Vasilev M.V.	Candidate of Technical Sciences, Captain 1st rank, Head of Military Training Center of Kamchatka State Technical University
Vodinchar G.M.	Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Leading Scientific Researcher of Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
Golokhvast K.S.	Doctor of Biological Sciences, Professor of Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of Russian Academy of Education, Director of Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of Russian Academy of Sciences
Yotsukura N.	Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Professor, Director of Oshoro Marine Station, Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University (Japan)
Kadnikova I.A.	Doctor of Technical Sciences, Leading Scientific Researcher of Pacific Scientific Research Fisheries Center
Kim G.H.	Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Professor, Head of Phycology Laboratory, Kongju National University (South Korea)
Klimova A.V.	Candidate of Biological Sciences, Head of Sector of Collective Use of Scientific Equipment of the Scientific and Educational Center "Ecology and Nature Management", Kamchatka State Technical University
Klochkova N.G.	Doctor of Biological Sciences, Chief Scientific Researcher of Kamchatka Branch of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
Lobkov E.G.	Doctor of Biological Sciences, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair, Kamchatka State Technical University
Maksimova S.N.	Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Food Technology Chair of Far Eastern State Technical Fisheries University
Manakov Yu.A.	Doctor of Biological Sciences, Director Deputy for Scientific work of Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of Russian Academy of Sciences
Potapov V.V.	Doctor of Technical Sciences, Chief Scientific Researcher of Research Geotechnological Center of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
Sedova N.A.	Doctor of Biological Sciences, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair, Kamchatka State Technical University
Senkevich Y.I.	Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Scientific Researcher of Institute of Cosmophysical Research and Radio Waves Propagation of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
Tokranov A.M.	Doctor of Biological Sciences, Chief Scientific Researcher of Kamchatka Branch of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
Usov A.I.	Doctor of Chemical Sciences, Chief Scientific Researcher of N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry of Russian Academy of Sciences
Shvetsov V.A.	Doctor of Chemical Sciences, Professor of Power Plants and Electrical Equipment of Ships Chair, Kamchatka State Technical University

Содержание

РАЗДЕЛ I. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Барабашина С.И., Глухарев А.Ю., Дубровин С.Ю.

Влияние муки из виноградных косточек на качество паштета из креветок с растительными компонентами для геродиетического питания6

РАЗДЕЛ II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Санамян Н.П., Коробок А.В., Санамян К.Э.

Качественная оценка последствий влияния вредоносного цветения водорослей осенью 2020 года у побережья Юго-Восточной Камчатки (Северо-Западная Пацифика) на мелководные бентосные сообщества22

Григорьев С.С., Седова Н.А.

Пищевые отношения между пелагическими личинками рыб и планктонными организмами в прикамчатских водах.....45

Дьяков Ю.П., Бугаев А.В.

О промысловой эксплуатации биологических ресурсов в водах Камчатского края66

Коростелев С.Г.

Мониторинг промысла синего краба (*Paralithodes platypus* Brandt) в горле залива Шелихова в январе 2018 года78

Маркина Ж.В., Огнистая А.В., Зинов А.А.

Влияние тяжелых металлов на динамику численности и фотосинтетический аппарат *Alexandrium affine* (Dinophyta).....87

Крюков В.И., Жучков С.А., Лазарева Т.Н., Киреева О.С., Поповичева Н.Н.

Влияние КВЧ-излучения на частоту микроядер и ядерных аномалий в эритроцитах личинок амфибий101

Правила направления, рецензирования и опубликования рукописей статей.....113

Правила оформления рукописей статей.....117

Алфавитный указатель статей, опубликованных в журнале «Вестник КамчатГТУ» в 2022 году (№ 59–62).....123

Contents

SECTION I. TECHNICAL SCIENCES

Barabashina S.I., Glukharev A.Yu., Dubrovin S.Y. The effects of grape seed flour on the quality of shrimp pate with the addition of herbal ingredients for the nutrition of the elderly	6
--	---

SECTION II. BIOLOGICAL SCIENCES

Sanamyan N.P., Korobok A.V., Sanamyan K.E. Qualitative assessment of algae harmful bloom impact in autumn 2020 off the coast of South-Eastern Kamchatka (North-West Pacific) on shallow-water benthic communities	22
Grigorev S.S., Sedova N.A. Nutritional relationships between fish pelagic larvae and planktonic organisms in adjacent Kamchatka waters	45
Dyakov Yu.P., Bugaev A.V. On commercial exploitation of biological resources in waters of Kamchatka Territory	66
Korostelev S.G. Monitoring of the blue crab fishery (<i>Paralithodes platypus</i> Brandt) in the throat of Shelikhov Bay in January 2018	78
Markina Zh.V., Ognistaya A.V., Zinov A.A. Influence of heavy metals on population dynamics and photosynthetic apparatus of <i>Alexandrium affine</i> (Dinophyta)	87
Kryukov V.I., Zhuchkov S.A., Lazareva T.N., Kireeva O.S., Popovicheva N.N. Influence of ehf radiation on frequency of micronuclei and nuclear anomalies in amphibian larva erythrocytes	101
Regulations for manuscript preparation, review and publication.....	113
Manuscripts guidelines	117
Author index of articles published in the journal “Bulletin of Kamchatka State Technical University” in 2022 (№ 59–62).....	123

ВЛИЯНИЕ МУКИ ИЗ ВИНОГРАДНЫХ КОСТОЧЕК НА КАЧЕСТВО ПАШТЕТА ИЗ КРЕВЕТОК С РАСТИТЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ДЛЯ ГЕРОДИЕТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

Барабашина С.И., Глухарев А.Ю., Дубровин С.Ю.

Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13.

В данной работе было изучено влияние различных концентраций (от 2 до 10% от общей массы) муки из виноградных косточек (МВК) на качество паштета из креветок с растительными компонентами для геродиетического питания с целью установления ее приемлемой дозировки в рецептуре. Результаты показали, что внесение МВК увеличивает содержание белка, жира, углеводов и золы, повышает кислотность, снижает содержание влаги, изменяет цвет (от светло-желтого до темно-коричневого), увеличивает усилие вдавливания (пенетрации), твердость, липкость, адгезию, вязкость и пережевываемость, уменьшает когезию продукта. Органолептическая оценка показала, что добавление МВК в количестве 5% от общей массы и выше снижает уровень качества продукта. Установлена практическая возможность использования МВК в рецептуре паштета в количестве до 5% от общей массы для приготовления продукта с повышенной пищевой ценностью и с сохранением его потребительских характеристик.

Ключевые слова: геродиетическое питание, мука из виноградных косточек, паштет.

THE EFFECTS OF GRAPE SEED FLOUR ON THE QUALITY OF SHRIMP PATE WITH THE ADDITION OF HERBAL INGREDIENTS FOR THE NUTRITION OF THE ELDERLY

Barabashina S.I., Glukharev A.Yu., Dubrovin S.Y.

Murmansk State Technical University, Murmansk, Sportivnaya Str. 13.

In this work, the influence of various concentrations (from 2 to 10% of the total mass) of grape seed flour (GSF) on the quality characteristics of shrimp pate with the addition of herbal ingredients for the nutrition of the elderly was studied in order to establish its acceptable amount in the recipe. The results showed that introduction of GSF in the product, the content of protein, fat, carbohydrates and ash increased, acidity increased, and the moisture content decreased, changed the color of the product from light yellow to dark brown, increases the penetration force and the hardness, viscosity, adhesiveness, gumminess and chewiness and reduces cohesiveness. The organoleptic evaluation showed that the addition of GSF in an amount of 5% of the total mass and above reduces the quality level of the product. The practical possibility of using GSF in the recipe of pate in an amount of less than 5% of the total mass for the preparation of a product with increased nutritional value and with the preservation of its consumer characteristics has been established.

Key words: nutrition for the elderly, grape seed flour, pate.

ВВЕДЕНИЕ

Демографическая ситуация в мире за последние десятилетия показывает, что наряду с сокращением рождаемости наблюдается заметный рост части населения пожилого возраста (люди 61–74 лет). По данным Организации Объединенных Наций (ООН), в 2017 г. количество людей старше 60 лет в мире составляло 962 миллиона, а по прогнозам к 2050 г. их число будет достигать около 2 миллиардов [United Nations..., 2017].

Россия, как и большинство стран мира, находится в демографическом тренде глобального старения населения. По оценкам на начало 2021 г. процент пожилых людей в возрасте 65 лет и старше составлял 15,8% от населения России, увеличившись за год на 0,3% (15,5% на начало 2020 г.) и на 3% по сравнению с 2012 г. (12,8%) [Щербакова, 2021]. Такой рост является результатом работы служб здравоохранения, обусловлен научными достижениями в практической медицине и ее доступностью, повышением уровня и качества жизни людей [Ваганова-Наймушина, 2017]. Однако несмотря на это, люди пожилого возраста до сих пор сталкиваются с проблемой рационального питания и являются наиболее незащищенными в отношении продовольственной безопасности. Вдобавок возрастная деградация алиментарно-зависимых и алиментарно-влияющих функций организма значительно ухудшает их здоровье. В связи с этим сохранение и улучшение здоровья этого контингента населения имеет социальное, экономическое и политическое значение и, безусловно, является приоритетной задачей многих стран мира [Касьянов и др., 2001].

Пожилым людям свойственны многие специфические потребности в питании [Tanvir, Naboubi, 2010]. В связи

со снижением физической активности, ухудшением состояния здоровья и дефицитом питательных веществ пожилые люди нуждаются в продуктах питания, обогащенных биологически активными компонентами, способствующими увеличению продолжительности жизни человека, сохранению его здоровья и бодрости [García et al., 2019]. Представляется особо актуальным использование в пищевых продуктах для людей пожилого возраста веществ, обладающих геропротекторным действием. Одними из таких веществ являются естественные антиоксиданты, которые способны замедлять старение человека и тормозить развитие перекисидации в организме. Обогащение продуктов естественными антиоксидантами позволит придать им функциональные свойства, а также обеспечит стабильность компонентов продукта в процессе хранения [Дзахмишева, Дзахмишева, 2014; Jędrusek-Golińska et al., 2020].

В данном контексте представляют особый интерес биоактивные полифенолы, обладающие многими полезными для здоровья человека свойствами, такими как антиоксидантные, противовоспалительные, антиканцерогенные, оказывающие благотворное воздействие на многие органы (сердце, печень, почки, мозг и др.). Одним из перспективных источников таких соединений являются косточки винограда (*Vitis vinifera*). Косточки составляют до 6% от массы ягоды, при этом, учитывая мировое производство свежего винограда – 40 млн т в год, – получится, что масса косточек винограда может достигать около 0,4–2,4 млн т в год, что достаточно, чтобы оправдать их использование в качестве сырья для пищевой промышленности [Heuzé, Tran, 2017; Orprea et al., 2022]. Стоит отметить, что в Российской Федерации урожай винограда находится на довольно высоком уровне – 752–760 тыс. т в год,

что при должном подходе может дать 45,1–45,6 тыс. т косточек в год [Информационное агентство ТАСС, 2022].

Виноградные косточки являются побочным продуктом промышленной переработки винограда на сок или виноматериалы и обладают высокой биологической ценностью и большим потенциалом как вторичное сырье для дальнейшей переработки [Лукин и др., 2017]. Они содержат липиды (8,41–11,66%), растительные белки (16,1–16,9%), углеводы (59,66–66,73%), пищевые волокна (31,30–50,50%), полифенолы и другие важные вещества, такие как незаменимые макро- и микроэлементы, витамины, провитамины и органические кислоты [Kim et al., 2014; Oprea et al., 2022]. Виноградные косточки содержат две трети экстрагируемых флавоноидов винограда, включая в себя самые высокие концентрации наиболее распространенных флавоноидов (катехины, эпикатехин, эпигаллокатехины и др.). Общее количество флавоноидов в виноградных косточках варьируется от 6 280 до 12 000 мг/100 г в зависимости от сорта винограда [Kim et al., 2014]. Виноградные косточки могут использоваться в качестве корма для скота, а также для производства виноградного масла и муки. Муку из виноградных косточек (МВК) можно использовать в качестве физиологически функционального пищевого ингредиента в составе различных продуктов питания, которые приносят пользу здоровью потребителей [Решетник, Максимюк, 2015; Kurt, 2016; Наумова и др., 2019; Садыгова и др., 2020]. Функциональная значимость МВК также подтверждается проведенными экспериментами на здоровых крысах, результаты которых показали, что такая мука обладает высокими антиоксидантными и противовоспалительными свойствами, замедляет старение и продлевает продол-

жительность жизни за счет уменьшения повреждений органов, снижения системного метаболизма и облегчения окислительного стресса и воспаления [Charradi et al., 2018; Jebari et al., 2022].

Учитывая вышеизложенное, использование МВК в различных технологиях пищевой продукции вызывает интерес у исследователей и производителей как новый метод решения проблемы утилизации отходов и помимо этого – как способ обогащения продукта ценными веществами. Однако учитывая специфические особенности такой муки (горький вкус, кислый запах, устойчивый аромат после жевания и проглатывания), необходимо определить ее приемлемую дозировку, а именно – комплексно изучить ее влияние на качество пищевых продуктов.

Добавление МВК в многокомпонентные продукты на основе животного и растительного сырья, в частности паштеты, наиболее предпочтительно в связи с имеющимися трудностями при пережевывании пищи и затрудненном глотании, возникающими у пожилых людей. Паштеты представляют собой вязкопластичную однородную массу мажущейся консистенции, состоящую из измельченного мяса сельскохозяйственных и промысловых животных и птиц, субпродуктов, рыбного сырья с добавлением яиц, молока и различных растительных ингредиентов. Данная категория пищевых продуктов обычно пользуется стабильным спросом у населения России, что позволяет производителям постоянно расширять их ассортимент, задействуя различные виды пищевого сырья и добавок, используя новые технологии [Степанова, Байдалинова, 2020].

Таким образом, целью данной работы является установление возможности использования МВК в рецептуре паштета из креветок с растительными компонентами

и определение ее рекомендуемой дозировки с учетом влияния на органолептические, физико-химические и структурно-механические показатели и пищевую ценность продукта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования в настоящей работе являлась технология консервированных паштетов на основе фарша из креветки с растительными компонентами.

Предметами исследования в данной работе являлись: креветки свежемороженые очищенные (*Penaeus vannamei*), хранившиеся до исследования при температуре не выше минус 23°C в течение трех месяцев; МВК (торговая марка «Коноплянка», производитель ООО «Коноплекс Продукты Питания»), отвечающая требованиям ТУ 10.41.42-002-05930330-2020; образцы паштетов из мяса креветок с растительными компонентами, полученные с добавлением МВК.

Химический состав МВК, согласно литературным данным [Наумова и др., 2019; Oprea et al., 2022], представлен в таблице 1.

Пищевая ценность МВК, выпускаемой ООО «Коноплекс Продукты Питания», согласно данным с этикетки, представлена в таблице 2.

Для проведения исследования было изготовлено четыре образца паштетов с различной дозировкой МВК (от 2 до 10% от общей массы) и один контрольный образец без добавления муки. Рецептуры образцов паштетов приведены в таблице 3. Стоит отметить, что применение конопляного масла в рецептуре новых видов паштетов позволит дополнительно обогатить продукт антиоксидантами, каротином, фитостеролами, фосфолипидами, минеральными веществами (кальцием, магнием, серой, калием, железом, цинком, фосфором), витаминами (А, В₁, В₂, В₃, В₆, С, Д и Е), а также ненасыщенными жирными кислотами, что особенно ценно для людей пожилого возраста [Журавлева и др., 2012].

Таблица 1. Химический состав МВК

Table 1. Chemical composition of GSF

Содержание макронутриентов, г/100 г						Содержание минеральных веществ, мг/100 г								Ссылка на литературу
Влага	Белок	Жир	Зола	Сырая клетчатка	Сахароза	К	Mg	Ca	Fe	Zn	Cu	P	Mn	
9,20	16,32	5,92	3,03	83,01	11,31	360,23	397,81	405,89	0,78	0,73	0,96	–	–	[Oprea et al., 2022]
10,40	19,90	11,30	4,20	70,30	–	–	201,76	713,70	26,95	2,06	1,41	388,30	3,10	[Наумова и др., 2019]

Таблица 2. Пищевая ценность МВК, выпускаемой ООО «Коноплекс Продукты Питания»

Table 2. Nutritional value of GSF produced by Konoplex Food Products LTD

Массовая доля, г/100 г продукта			Энергетическая ценность, ккал/100 г продукта	Список микроэлементов	Список витаминов
белка	жира	углеводов			
13,0	9,0	70,0	410,0	Na, Mg, P, K, Fe, Cu, Ca, Mn, Zn, Se, F	А, С, Е, РР, группы В

Таблица 3. Рецептурный состав образцов паштетов

Table 3. Recipe composition of pate samples

Наименование ингредиента	Номер рецептуры				
	1	2	3	4	Контроль
	Количество, % от общей массы				
Креветка белоногая (<i>Litopenaeus vannamei</i>) очищ.	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Кабачки очищенные	19,0	18,0	16,0	14,0	20,0
Морковь красная очищенная	5,0	4,0	4,0	3,5	5,5
Шпинат	5,0	4,0	4,0	3,5	5,5
Сухое обезжиренное молоко	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
МВК	2,0	5,0	7,0	10,0	–
Соль поваренная	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Гуаровая камедь (E412)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Конопляное масло	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Образцы паштетов готовили следующим образом. Свежемороженую очищенную белоногую креветку размораживали, тщательно промывали холодной водопроводной водой, а затем измельчали с помощью мясорубки Arach ATS8 1Ф (Arach Cook Line, Италия). Кабачки и морковь нарезали кружочками и бланшировали паром (100°C) в течение 15–20 минут. Затем бланшированную морковь и кабачок нарезали на небольшие кусочки (размер кусочков 1×1,5 см). Далее в фарш из креветки добавляли кабачки, морковь, шпинат, сухое молоко, МВК, соль, гуаровую камедь и конопляное масло, смешивали и измельчали в куттере Arach ACT4 (Arach Cook Line, Италия) в течение 1–2 минут до получения однородной массы. Полученный фарш был расфасован в стеклянные банки объемом 100 см³, банки подвергались тепловой обработке в воде (пастеризации)

в соответствии с режимом $\frac{15-70-20}{85^{\circ}\text{C}}$

в автоклаве Н-2 ИТА 60. По окончании процесса тепловой обработки образцы протирали насухо и хранили в холодильнике при температуре около 4°C. Контрольный образец (без использования МВК) был приготовлен аналогичным образом.

Отбор проб для исследований осуществляли в соответствии с ГОСТ 8756.0-70.

Химический состав образцов определяли в соответствии со следующими методами. Содержание влаги определяли методом высушивания образца в сушильном шкафу при температуре (103 ± 2)°C до постоянной массы в соответствии с ГОСТ 26808-2017, жира – методом экстракции в аппарате Со-кслета в соответствии с ГОСТ 26829-86; белка – методом Кьельдаля по [Волченко и др., 2020]; золы – методом сжигания образца в муфельной печи при температуре (550 ± 10)°C до получения светло-серого остатка по [Волченко и др., 2020]. Содержание углеводов (в пересчете на глюкозу) определяли феррицианидным методом по ГОСТ 31470-2012. Общую (титруемую) кислотность (в пересчете на винную кислоту) определяли методом кислотно-основного титрования по ГОСТ 27082-2014.

Для расчета энергетической ценности продукта использовали следующую формулу (1) [Артюхова С. А. и др., 2010]:

$$K = B \cdot \mathcal{E}_b \cdot K_b + Ж \cdot \mathcal{E}_ж \cdot K_ж + У \cdot \mathcal{E}_у \cdot K_y, \quad (1)$$

где K – энергетическая ценность (калорийность) в пересчете на 100 г продукта, кДж или ккал;

Б, Ж и У – среднее содержание белка, жира и углеводов в продукте, г/100 г;

Э_б, Э_ж и Э_у – энергетическая ценность белка (17,1 кДж, или 4,1 ккал), жира (38,9 кДж, или 9,3 ккал) и углеводов (17,1 кДж, или 4,1 ккал);

К_б, К_ж и К_у – коэффициенты усвояемости белка (0,96), жира (0,91) и углеводов (0,98).

Оценка реологических (структурно-механических) свойств исследуемых образцов проводилась при помощи анализатора текстуры FRTS-50N (IMADA CO., LTD, Япония) в соответствии с методикой, приведенной в руководстве по эксплуатации прибора. Усилие вдавливания (в Ньютонах) дискового индентора (FR FR-НА-20J диаметром 20 мм) в исследуемый образец фиксировалось датчиком давления и определялось как максимальное усилие, необходимое для проталкивания индентора на глубину 5 мм при постоянной скорости погружения (2 мм/с) и комнатной температуре (23–25°C). Обработка результатов измерения проводилась с использованием программного обеспечения Force Recorder Professional (FRTS ver.).

Органолептическую оценку образцов определяли по ГОСТ 26664-85 с использованием метода балльных шкал. Для исследуемой продукции была разработана пятибалльная шкала органолептической оценки с учетом коэффициентов значимости по следующим органолептическим показателям: внешний вид, цвет, вкус, запах и консистенция (табл. 4). Обработка результатов балльной шкалы заключалась в расчете среднего балла и среднего балла с учетом коэффициента значимости по каждому показателю [Волченко и др., 2020]. Уровень качества (q) рассчитывали по формуле (2):

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i - B_{\min}) \cdot K_{\text{зн. } i} \cdot 100}{\sum_{i=1}^n K_{\text{зн. } i} \cdot (B_{\max} - B_{\min})}, \quad (2)$$

где B_i – средний балл по i -му показателю;

B_{\min} и B_{\max} – соответственно минимально и максимально возможные баллы по одному показателю;

$K_{\text{зн. } i}$ – коэффициент значимости для i -го показателя.

Таблица 4. Балльная шкала органолептической оценки образцов паштетов из креветок с растительными компонентами

Table 4. Scoring scale for organoleptic evaluation of samples of shrimp pate with the addition of herbal ingredients

Показатель	Балл	Характеристика и норма	Коэффициент значимости
Внешний вид	5	Однородная, тонко измельченная, равномерно перемешанная масса. Допускаются включения частиц шпината и моркови	0,2
	4	Слегка неоднородная, тонко измельченная масса. Наличие в массе комочков	
	3	Существенно неоднородная масса с часто встречающимися комочками; наблюдаются признаки начинающегося расслоения	
	1–2	Неоднородная, с твердыми включениями – неизмельченные куски, неравномерно перемешанная масса; существенное расслоение	
Цвет	5	Однородный, светло-бежевый, соответствующий цвету измельченного сырья	0,1
	4	Слегка неоднородный, светло-бежевый, соответствующий цвету измельченного сырья	
	3	Существенно неоднородный, светло-коричневый	
	1–2	Неоднородный, темно-коричневый, не соответствующий цвету измельченного сырья	

Окончание табл. 4

The end of the Table 4

Показатель	Балл	Характеристика и норма	Коэффициент значимости
Вкус	5	Приятный, гармоничный вкус рыборастворительных паштетных консервов, свойственный использованному сырью, без постороннего привкуса	0,3
	4	Приятный вкус консервов несколько ослаблен за счет преобладающего вкуса муки и растительного масла, без посторонних привкусов	
	3	Ощущается слабый посторонний привкус, приятный вкус консервов выражен слабо	
	1–2	Консервы имеют неприятный или посторонний вкус, имеется послевкусие	
Запах	5	Приятный, насыщенный, гармоничный, свойственный рыборастворительным паштетным консервам и использованному сырью	0,2
	4	Приятный, слегка ослабленный аромат консервов	
	3	Слабовыраженный, отсутствие приятного аромата консервов, слегка ощущается слабый посторонний запах	
	1–2	Неприятный запах, не свойственный рыборастворительным паштетным консервам, или выраженный посторонний запах	
Консистенция	5	Нежная, мажущая	0,2
	4	Слегка жестковатая, мажущая	
	3	Существенно жесткая или слишком слабая, слегка рассыпчатая, слегка водянистая	
	1–2	Твердая, трудно пережевываемая или наоборот – рассыпчатая, водянистая	

Экспериментальная часть работы была выполнена на базах научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) кафедры технологий пищевых производств (ТПП) и НИЛ «Химия и технология морских биоресурсов» ФГАОУ ВО «Мурманский государственный технический университет» (МГТУ). Изготовление опытных образцов паштетов проводили на оборудовании учебно-экспериментального цеха кафедры ТПП МГТУ. Все эксперименты проводились в трехкратной повторности. Результаты выражались в виде среднего значения и стандартного отклонения. Статистический анализ проводился с использованием программы Microsoft Office Excel 2007. Уровень значимости был установлен на уровне $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты химического анализа

Добавление в рецептуру продуктов питания новых ингредиентов напрямую

влияет на их химический состав, в том числе энергетическую ценность. Поэтому на первом этапе исследований мы изучили влияние различных концентраций МВК на изменение основных химических показателей (белки, жиры, углеводы и др.) образцов паштетов, а также энергетическую ценность. При изучении химического состава образцов были получены следующие результаты, представленные в таблице 5. Выявлено, что добавление МВК в количестве от 2 до 10% от общей массы снизило содержание влаги на 1,78–10,07%, увеличило содержание жира на 1,19–3,93%, белка – на 0,53–3,54%, золы – на 0,10–0,41% и углеводов – на 0,17–0,41% в образцах паштетов. Уменьшение содержания влаги в образцах можно объяснить тем, что МВК вводили в рецептуру взамен части кабачков, которые содержат около 95% воды. Увеличение содержания жира, золы и углеводов также может быть связано с более высоким содержанием этих веществ в МВК по сравнению с кабачком.

Таблица 5. Изменение химического состава образцов паштетов в зависимости от дозировки МВК в рецептуре
Table 5. Changes in the chemical composition of pate samples according to the dosage of GSF in the recipe

Содержание МВК, % от общей массы	Массовая доля, %					Общая кислотность, мг/100 г	Энергетическая ценность 100 г продукта, ккал / кДж
	белка*	жира	углеводов	зола	влаги		
0	7,96 ± 0,01	15,68 ± 1,35	4,62 ± 0,35	1,66 ± 0,02	67,66 ± 0,85	–	182,59 / 763,15
2	8,49 ± 0,14	16,87 ± 0,76	4,79 ± 0,44	1,76 ± 0,05	65,88 ± 1,26	35,53 ± 0,96	195,32 / 816,33
5	9,08 ± 0,28	17,04 ± 0,14	4,83 ± 0,83	1,84 ± 0,01	63,35 ± 0,69	61,33 ± 1,78	199,36 / 833,20
7	9,59 ± 0,01	18,06 ± 0,54	4,93 ± 0,95	1,94 ± 0,01	63,25 ± 0,04	70,99 ± 1,09	210,40 / 879,35
10	11,15 ± 0,61	19,61 ± 0,68	5,03 ± 0,96	2,07 ± 0,02	57,59 ± 0,83	89,53 ± 1,00	230,14 / 961,86

* Массовую долю белка рассчитывали как общий азот · 6,25, где 6,25 – стандартный коэффициент пересчета количества азота в образце на белковые вещества

* The mass protein fraction was calculated as total nitrogen · 6.25, where 6.25 is the standard coefficient of sample nitrogen conversion into protein substances

Содержание белка в образцах с МВК было выше, чем в контроле, что указывает на то, что МВК может использоваться в качестве ценного источника белка в продуктах питания и вводиться частично как замена сырья животного происхождения. Виноградные косточки содержат органические кислоты, в основном это винная и лимонная кислоты, поэтому добавление МВК в образцы паштетов будет влиять на общую кислотность продукта. Результаты эксперимента позволили установить, что общая кислотность образцов паштетов увеличивается с 35,53 до 89,53 мг/100 г продукта при добавлении в рецептуру различных дозировок МВК (2–10% от общей массы). Образец, который содержал наибольшее количество добавленной МВК (10% от общей массы), имел самое высокое значение общей кислотности – 89,53 мг/100 г продукта. В дальнейшей работе авторы предполагают продолжить исследования химического состава данного продукта с МВК для оценки содержания в нем пищевых волокон и флавоноидов, играющих значимую роль для здоровья пожилых людей.

Изучение структурно-механических свойств

На втором этапе исследований была проведена оценка структурно-механических

свойств образцов паштетов с использованием анализатора текстуры IMADA FRTS-50N.

Результаты показали, что с увеличением дозировки МВК в рецептуре продукта от 2 до 10% от общей массы увеличивается усилие вдавливания дискового индентора в поверхность образцов паштетов от 4,74 до 25,48 Н (рис. 1). С использованием программного обеспечения Force Recorder Professional (FRTS ver.) были получены кривые, демонстрирующие изменение реологических свойств образцов паштетов при анализе профиля текстуры в зависимости от дозировки МВК в рецептуре (см. рис. 2), и рассчитаны твердость, вязкость, когезия, адгезия, липкость и пережевываемость продукта (см. табл. 6). Как видно из результатов, при увеличении дозировки МВК в рецептуре паштета растут значения показателей твердости продукта от $1,709 \cdot 10^4$ до $1,302 \cdot 10^5$ Н/м², липкости – от $7,798 \cdot 10^3$ до $3,033 \cdot 10^4$ Н/м², адгезии – от $7,232 \cdot 10^1$ до $1,750 \cdot 10^2$ Дж/м³, вязкости – от $6,557 \cdot 10^3$ до $4,075 \cdot 10^4$ Н/м² и пережевываемости – от $6,620 \cdot 10^3$ до $5,649 \cdot 10^4$ Н/м², и одновременно с этим уменьшается когезия от 0,3836 до 0,3129.

Полученные результаты позволяют оценить возможность употребления исследуемых образцов паштетов людьми пожилого возраста в соответствии с требованиями

национального стандарта Японии «Питание для лиц с затрудненным глотанием», разработанного японским агентством по делам потребителей на основе измерения твердости, адгезии и когезии продукта [Consumer Affairs Agency, 2018]. Согласно данному стандарту образец паштета без добавления МВК (контроль) отвечает критериям III: твердость – от $3 \cdot 10^2$ до $2 \cdot 10^4$ Н/м², адгезия – $1,5 \cdot 10^3$ Дж/м³ или менее (полностью или частично неоднородные продукты питания), что позволяет использовать его для питания лиц с затрудненным глотанием [Consumer Affairs Agency, 2018]. Образцы паштетов с добавлением МВК не соответствуют требованиям данного стандарта из-за превышения допустимых значений твердости (более $2 \cdot 10^4$ Н/м²).

Консистенция паштетообразных продуктов должна быть нежной и мажущей, чтобы облегчить работу пищеварительной системы людей старших возрастных категорий и компенсировать недостаточ-

ность функций их жевательного аппарата. Добавление МВК в состав рецептуры паштета делает его консистенцию более плотной и твердой, что может оказать негативное влияние на органолептическую оценку продукта при его употреблении пожилыми людьми. Такие изменения текстуры продукта в первую очередь связаны с увеличением содержания сухих веществ в системе, за счет чего повышается твердость образцов. И с другой стороны, наблюдаемые различия в реологических свойствах образцов паштетов с МВК по сравнению с контролем, вероятно, могут быть обусловлены пищевыми волокнами, входящими в состав МВК (см. табл. 1) [Наумова и др., 2019; Orrea et al., 2022]. Известно, что пектин, протопектин, целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин могут вызывать увеличение твердости и повышение упругости продуктов [Курочкин, Родин, 2020; Gracileide de Alencar et al., 2022].

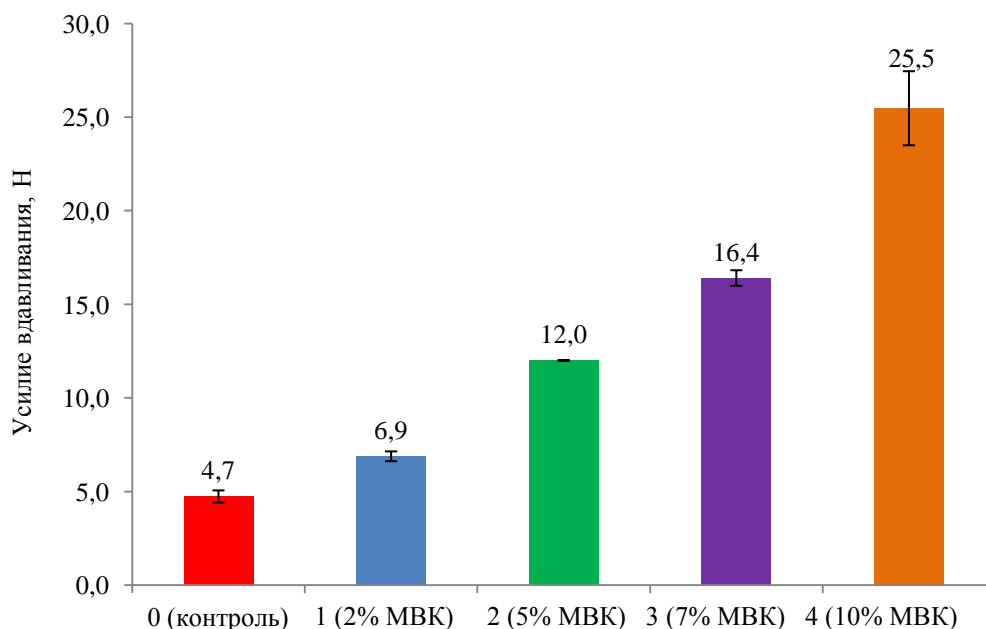


Рис. 1. Изменение усилия вдавливания дискового индентора в поверхность образца паштета в зависимости от дозировки МВК в рецептуре

Fig. 1. Changing the penetration force of the disk indenter into the surface of the pate sample according to the dosage of GSF in the recipe

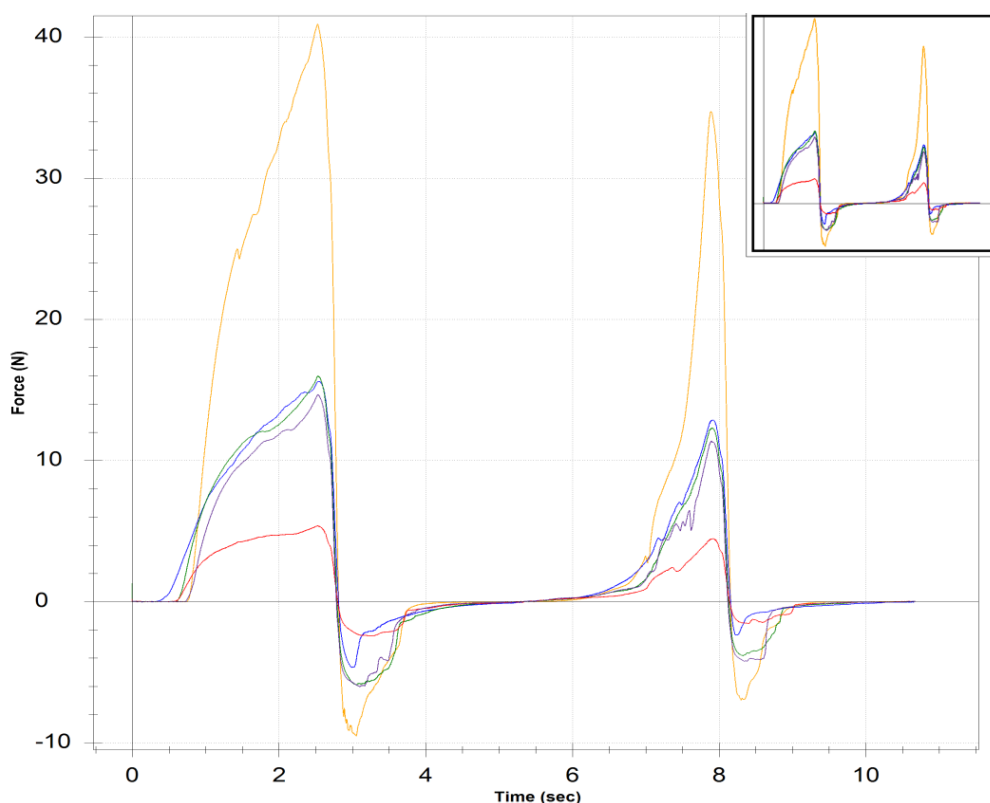


Рис. 2. Кривые изменения реологических свойств образцов паштетов в зависимости от дозировки MBK в рецептуре продукта (— контроль; — 2% MBK; — 5% MBK; — 7% MBK; — 10% MBK)

Fig. 2. Graphs of changes in the rheological properties of pate samples depending on the dosage of GSF in the product formulation (— control; — 2% GSF; — 5% GSF; — 7% GSF; — 10% GSF)

Таблица 6. Изменение реологических свойств образцов паштетов в зависимости от дозировки MBK в рецептуре

Table 6. Changes in the rheological properties of pate samples according to the dosage of GSF in the recipe

Показатель	Единица измерения	Содержание MBK, % от общей массы				
		0	2	5	7	10
Твердость	Н/м ²	$1,709 \cdot 10^4$	$4,968 \cdot 10^4$	$5,089 \cdot 10^4$	$4,669 \cdot 10^4$	$1,302 \cdot 10^5$
Липкость	Н/м ²	$7,798 \cdot 10^3$	$1,486 \cdot 10^4$	$1,884 \cdot 10^4$	$1,925 \cdot 10^4$	$3,033 \cdot 10^4$
Когезия	—	0,3836	0,3765	0,3322	0,3438	0,3129
Адгезия	Дж/м ³	$7,232 \cdot 10^1$	$8,514 \cdot 10^1$	$1,548 \cdot 10^2$	$1,379 \cdot 10^2$	$1,750 \cdot 10^2$
Вязкость	Н/м ²	$6,557 \cdot 10^3$	$1,870 \cdot 10^4$	$1,690 \cdot 10^4$	$1,605 \cdot 10^4$	$4,075 \cdot 10^4$
Пережевываемость	Н/м ²	$6,620 \cdot 10^3$	$2,111 \cdot 10^4$	$1,707 \cdot 10^4$	$1,618 \cdot 10^4$	$5,649 \cdot 10^4$

Стоит отметить, что несмотря на то что большие дозировки MBK определенно делают текстуру паштета несоответствующей для питания пожилых людей, можно добиться необходимых реологических характеристик продукта путем подбора оптимальных рецептурных композиций и режимов тепловой обработки, не теряя при этом пользу для здоровья.

Далее будет показано, как добавление MBK в образцы паштетов влияет на органолептическую оценку продукта.

Органолептическая оценка

На последнем этапе исследований проводилась органолептическая оценка образцов паштетов по разработанной балльной

шкале (см. табл. 4). Группой дегустаторов было проанализировано влияние добавления МВК на органолептические показатели продукта (внешний вид, цвет, вкус, запах и консистенцию) (рис. 3). Наибольшие баллы по результатам органолептической оценки получили образцы под номерами 0 и 1 с массовой долей МВК 0 и 2% соответственно.

На основании проведенной органолептической оценки по формуле (2) были рассчитаны уровни качества продукции, представленные на диаграмме (рис. 4). Наивысший уровень качества получили паштеты, изготовленные по рецептуре № 1, – уровень качества данных образцов равен 93,4%, однако разница с контрольным образцом была незначительна (0,1%). Было выявлено, что добавление МВК на уровне 2% от общей массы позволяет сохранить органолептические показатели продукта на высоком уровне, а добавление МВК на уровне 5% от общей массы и выше (7 и 10% от общей массы) способствует снижению вкусовых характеристик продукта. Снижение уровня качества было связано с более твердой консистенцией опытных образцов, наличием хруста, ощущением частиц МВК при пережевывании продукта и специфическим вкусом, что негативно воспринималось участниками дегустации. Стоит отметить, что на вкус продукта, вероятно, повлияли дубильные вещества (танины), входящие в состав МВК, которые обычно характеризуются горечью и терпкостью [Kurt, 2016; Orrea et al., 2022]. Высокое содержание танинов в МВК (от 71,52 до 72,28 мг эпикатехина/г сухого веса) было подтверждено исследованиями, проведенными западными учеными [Muncasiu et al., 2018]. Учитывая, что добавление МВК в рецептуру паштета в количестве более 5% от общей массы оказывает негативное влияние на

формирование вкусовых характеристик продукта, установлено, что наиболее предпочтительным является массовая доля МВК в рецептуре до 5% благодаря сохранению органолептических показателей продукта на высоком уровне.

Цвет является одним из ключевых факторов, влияющим на намерение потребителя купить пищевую продукцию. Было обнаружено, что МВК изменяет цветовые характеристики паштета (см. рис. 5), причем при увеличении дозировки МВК цвет образцов становится коричневым. Так, образец паштета без добавления МВК (контроль) обладал светло-желтым цветом, образец с добавлением 2% МВК – светло-коричневым цветом, образец с добавлением 5% МВК – коричнево-бежевым цветом, образец с добавлением 7% МВК – красно-коричневым цветом, образец с добавлением 10% МВК – темно-коричневым цветом. Наблюдаемое изменение цвета происходит из-за того, что МВК содержит естественные красящие пигменты – антоцианы (полифенольные соединения природного происхождения), которые, вероятно, обуславливают коричневый оттенок опытных образцов по сравнению с контролем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предполагаемая рецептура паштета предназначена для лиц пожилого возраста, численность которых постепенно возрастает во всем мире. Эта демографическая группа с ее уникальными физиологическими и пищевыми особенностями требует расширения ассортимента специализированных пищевых продуктов для удовлетворения потребностей пожилых людей в энергии и питательных веществах. В этом исследовании было продемонстрировано, что побочный продукт виноделия – МВК – может иметь потенциальное

применение в качестве натуральной добавки в паштете из креветок с добавлением растительных компонентов для повышения ценности продукта с точки зрения здоровья. Стоит отметить, что результаты данного исследования носят предварительный характер, но предполагают, что продукты, обогащенные МВК, могут использоваться в питании пожилых людей при установлении необходимой дозировки, не оказывающей негативное влияние на органолептические, физико-химические и структурно-механические показатели.

гают, что продукты, обогащенные МВК, могут использоваться в питании пожилых людей при установлении необходимой дозировки, не оказывающей негативное влияние на органолептические, физико-химические и структурно-механические показатели.

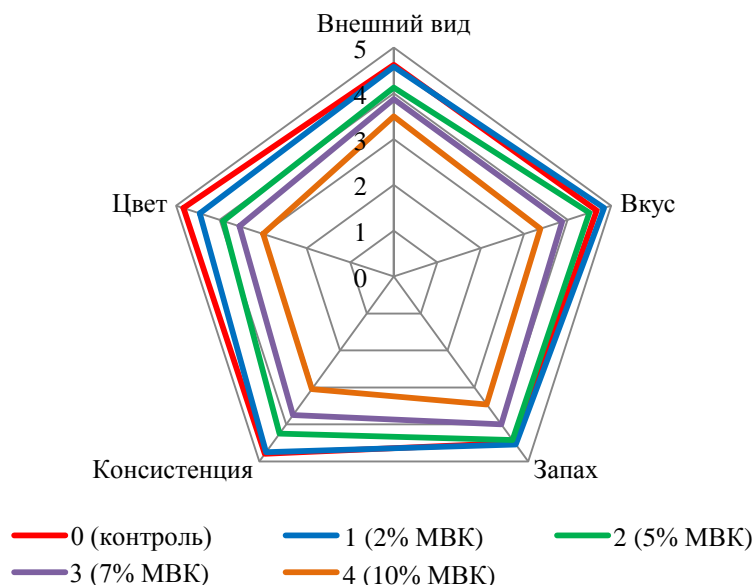


Рис. 3. Профилограмма органолептической оценки образцов паштетов

Fig. 3. Profile diagram of organoleptic evaluation of pate samples

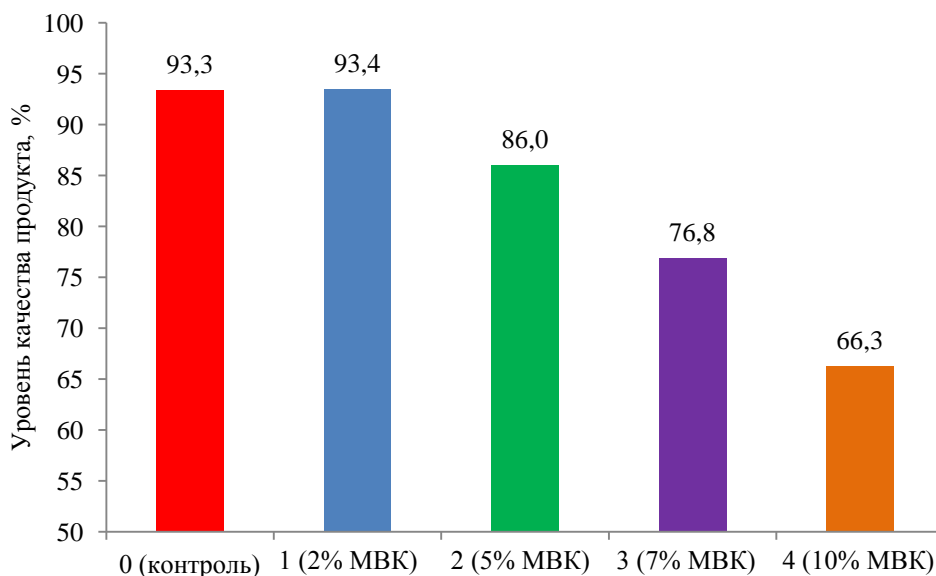


Рис. 4. Изменение уровня качества образцов паштетов в зависимости от дозировки МВК в рецептуре

Fig. 4. Changing the quality level of pate samples according to the dosage of GSF in the recipe

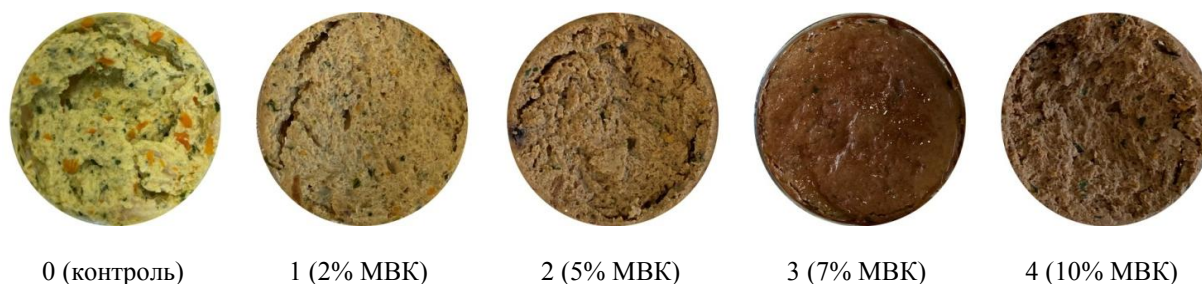


Рис. 5. Изменение цвета образцов паштетов в зависимости от дозировки МВК в рецептуре

Fig. 5. Changing the color of pate samples according to the dosage of GSF in the recipe

В результате проведенных исследований было установлено, что добавление МВК в паштет снизило содержание влаги, увеличило содержание жира, белка, золы и углеводов в продукте и увеличило кислотность. Значения таких реологических показателей продукта, как усилие вдавливания индентора, твердость, вязкость, адгезия, липкость и пережевываемость повышались с увеличением содержания МВК в рецептуре в результате увеличения сухих веществ и наличия пищевых волокон, присущих данной муке, а значения когезии понижались. Использование МВК в рецептуре продукта в количестве 2% от общей массы не вызывает снижения уровня качества, рассчитанного на основе органолептической оценки. Более высокие уровни МВК (в количестве от 5 и до 10% от общей массы) снижали органолептические свойства продукта. Цвет паштета изменялся – становился более темным относительно количества добавленной в продукт МВК, что может быть связано с полифенольными соединениями, входящими в ее состав. Результаты данных исследований показали, что можно рекомендовать добавление МВК в паштет из креветок с растительными компонентами в количестве до 5% от общей массы. Однако необходимы дальнейшие исследования для улучшения органолептических и структурно-механических харак-

теристик разрабатываемого продукта. Поэтому на следующем этапе предполагается продолжить исследования по оптимизации рецептурного состава (по количеству основных и вспомогательных ингредиентов) и совершенствованию технологии приготовления, определению показателей пищевой и биологической ценности продукта.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в Научно-исследовательской лаборатории «Химия и технология морских биоресурсов», созданной при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-03-2021-088/4 от 29.09.2021).

ЛИТЕРАТУРА

- Артюхова С.А., Баранов В.В., Бражная Н.Э. и др. 2010. Технология рыбы и рыбных продуктов. Учебник для вузов. Москва: Колос. 1063 с.
- Ваганова-Наймушина Л.А. 2017. Особенности состояния здоровья лиц пожилого возраста и социально-медицинская работа. *Вестник Шадринского государственного педагогического университета*. № 2 (34). С. 6–11.
- Волченко В.И., Николаенко О.А., Шокина Ю.В. 2020. Методы исследования рыбы и рыбных продуктов. Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Санкт-Петербург: Лань. 148 с.
- Дзахмишева З.А., Дзахмишева И.Ш. 2014. Функциональные пищевые продукты геродиети-

- ческого назначения. *Фундаментальные исследования*. № 9–9. С. 2048–2051.
- Журавлёва Л.А., Журавлёв А.П., Терехов М.Б. 2012. Конопляное масло и его использование в хлебопечении. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. № 4. С. 66–69.
- Информационное агентство ТАСС. 2022. Урожай винограда в России в 2022 году составит 760 тыс. тонн. URL: <https://tass.ru/ekonomika/16416815> (дата обращения: 06.12.2022).
- Касьянов Г.И., Запорожский А.А., Юдина С.Б. 2001. Технология продуктов питания для людей пожилого и преклонного возраста. Ростов-на-Дону: Издательский центр «МарТ». 192 с.
- Курочкин А.А., Родин М.Н. 2020. Применение виноградных косточек в качестве сырья для композитных смесей. *Инновационная техника и технология*. № 3 (24). С. 11–16.
- Лукин А.А., Зинин А.В., Мигуля И.Ю. 2017. Перспективы применения муки из виноградной косточки в технологии производства продуктов питания. *Вестник современных исследований*. № 10–1 (13). С. 84–86.
- Наумова Н.Л., Лукин А.А., Сергеев А.А. 2019. Влияние муки из виноградных косточек на качество колбасного хлеба. *Современная наука и инновации*. № 1. С. 154–160. DOI: 10.33236/2307-910X-2019-25-1-153-159.
- Решетник Е.И., Максимюк В.А. 2015. Перспективы использования муки из винограда «Амурский» для получения функционального творожного продукта. *Национальная ассоциация ученых (НАУ)*. № 3–3 (8). С. 80–82.
- Садыгова М.К., Кириллова Т.В., Григорик М.Р. 2020. Разработка рецептуры капкейков с повышенными антиоксидантными свойствами. *Сборник статей Международной научно-практической конференции «Инновационная траектория развития современной науки: становление, развитие, прогнозы»* (Петрозаводск, 02 февраля 2020 года). Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.). С. 158–161.
- Степанова К.А., Байдалинова Л.С. 2020. Анализ рынка мясных паштетов и пути повышения их биологической ценности. *Материалы VIII Международного Балтийского морского форума*: в 6 т. Т. 4. Калининград: Калининградский государственный технический университет. С. 141–148.
- Щербакова Е.М. 2021. Демографические итоги I полугодия 2021 года в России (часть I). *Демоскоп Weekly*. № 911–912. URL: <http://demoscope.ru/weekly/2021/0911/barom01.php> (дата обращения: 06.12.2022).
- Charradi K., Mahmoudi M., Bedhiafi T. et al. 2018. Safety evaluation, anti-oxidative and anti-inflammatory effects of subchronically dietary supplemented high dosing grape seed powder (GSP) to healthy rat. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. Vol. 107. P. 534–546. DOI: 10.1016/j.biopha.2018.08.031.
- Consumer Affairs Agency. 2018. Criteria for Labeling Permission for “Foods for Special Dietary Uses”. URL: https://www.caa.go.jp/en/policy/food_labeling (дата обращения: 06.12.2022).
- García J., Méndez D., Álvarez M. et al. 2019. Design of novel functional food products enriched with bioactive extracts from holothurians for meeting the nutritional needs of the elderly. *LWT – Food Science and Technology*. Vol. 109. P. 55–62. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.03.097.
- Gracileide de Alencar M., Perreira de Quadros C., Luiz Lima Pedrosa Luna A. et al. 2022. Grape skin flour obtained from wine processing as an antioxidant in beef burgers. *Meat Science*. Vol. 194. DOI: 10.1016/j.meatsci.2022.108963.
- Heuzé V., Tran G. 2017. Grape Seeds and Grape Seed Oil Meal. Feedipedia, a Programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. 2017. URL: <https://www.feedipedia.org/node/692>.
- Jebari K., Charradi K., Mahmoudi M. et al. 2022. Grape seed flour (GSF) extends longevity by improving multi-organ dysfunction and age-associated oxidative stress and inflammation in healthy rat. *The Journals of Gerontology: Series A. Biological sciences and medical sciences*. Vol. 77 (3). P. 443–451. DOI: 10.1093/geron/ glab259.
- Jędrusek-Golińska A., Górecka D., Buchowski M. et al. 2020. Recent progress in the use of functional foods for older adults: A narrative review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Vol. 19. P. 835–856. DOI: 10.1111/1541-4337.12530.
- Kim H., Bartley G.E., Arvik T. et al. 2014. Dietary supplementation of chardonnay grape seed flour reduces plasma cholesterol concentration, hepatic steatosis, and abdominal fat content in high-fat diet-induced obese hamsters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 62 (8). P. 1919–1925. DOI: 10.1021/jf404832s
- Kurt Ş. 2016. The Effects of Grape Seed Flour on the Quality of Turkish Dry Fermented Sausage (Sucuk) during Ripening and Refrigerated Storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. Vol. 36 (3). P. 300–308. DOI: 10.5851/kosfa.2016.36.3.300.

- Muncaciu M.L., Marin F.Z., Pop N. et al. 2018. Functional Tannins in Grape Pomace Flours of Feteasca Neagra and Italian Riesling. *Revista de Chimie*. Vol. 69 (9). P. 2372–2376.
- Oprea O.B., Popa M.E., Apostol L., Gaceu L. 2022. Research on the Potential Use of Grape Seed Flour in the Bakery Industry. *Foods*. Vol. 11. 1589. DOI: 10.3390/foods11111589.
- Tanvir A., Haboubi N. 2010. Assessment and management of nutrition in older people and its importance to health. *Clinical Interventions in Aging*. Vol. 5. P. 207–216. DOI: 10.2147/cia.s9664.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2017. World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper № ESA/P/WP/248. 53 p.
- REFERENCES**
- Artyukhova S.A., Baranov V.V., Brazhnaya N.E. et al. 2010. Technology of fish and fish products. A textbook for universities. Moscow: Kolos Publ. 1063 p. (in Russian).
- Vaganova-Naymushina L.A. 2017. Features of the health status of the elderly and socio-medical work. *Bulletin of the Shadrinsk State Pedagogical University (Bulletin of the Shadrinsk State Pedagogical University)*. №. 2 (34). P. 6–11 (in Russian).
- Volchenko V.I., Nikolaenko O.A., Shokina Yu.V. 2020. Research methods for fish and fish products. A manual for graduate students. 2nd ed., reprint. And an additional. St. Petersburg: Lan Publ. 148 p. (in Russian).
- Dzakhmishcheva Z.A., Dzakhmishcheva I.Sh. 2014. Appointment gerodiyeticheskys functional foodstuff. *Fundamental'nye issledovaniya (Fundamental research)*. №. 9–9. P. 2048–2051 (in Russian).
- Zhuravleva L.A., Zhuravlev A.P., Terekhov M.B. 2012. Hemp oil and its use in baking. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Bulletin of the Altai State Agrarian University)*. № 4. P. 66–69 (in Russian).
- Information agency TASS. 2022. The grape harvest in Russia in 2022 will be 760 thousand tons. URL: <https://tass.ru/ekonomika/16416815> (date of access: 12/06/2022) (in Russian).
- Kasyanov G.I., Zaporizhsky A.A., Yudina S.B. 2001. Food Technology for the Elderly People. Rostov-on-Don: Publishing Center “Mart”. 192 p. (in Russian).
- Kurochkin A.A., Rodin M.N. 2020. Application of grape seeds as raw materials for composite mixtures. *Innovacionnaja tehnika i tehnologi (Innovative Technique and Technology)*. №. 3 (24). P. 11–16 (in Russian).
- Lukin A.A., Zinin A.V., Migulya I.Yu. 2017. Prospects for the use of grape seed flour in food production technology. *Vestnik sovremennyh issledovaniy (Bulletin of Modern Research)*. № 10–1 (13). P. 84–86 (in Russian).
- Naumova N.L., Lukin A.A., Sergeyev A.A. 2019. Influence of grape seed flour on the quality of sausage bread. *Sovremennaja nauka i innovacii (Modern Science and Innovations)*. № 1. P. 154–160. DOI: 10.33236/2307-910X-2019-25-1-153-159 (in Russian).
- Reshetnik E.I., Maksimiyuk V.A. 2015. Prospects use of flour from grapes “Amur” for obtain functional curd product. *Nacional'naja asociaciya uchenyh (National Association of Scientists (NAS))*. № 3–3 (8). P. 80–82 (in Russian).
- Sadigova M.K., Kirillova T.V., Grigorik M.R. 2020. Development of a recipe for cupcakes with enhanced antioxidant properties. *Collection of articles of the International scientific and practical conference “Innovative trajectory of the development of modern science: formation, development, forecasts”* (Petrozavodsk, February 02, 2020). Publisher: International Center for Scientific Partnership “New Science” (IP Ivanovskaya I.I.) (Petrozavodsk). P. 158–161 (in Russian).
- Stepanova K.A., Baydalinova L.S. 2020. Analysis of the meat pate market and ways to increase their biological value. *Materials of the VIII International Baltic Sea Forum: in 6 volumes. Vol. 4*. Kaliningrad: Kaliningrad State Technical University Publ. P. 141–148 (in Russian).
- Shcherbakova E.M. 2021. Demographic results of the first half of 2021 in Russia (part I). *Demoscope Weekly*. № 911–912. URL: <http://demoscope.ru/weekly/2021/0911/barom01.php> (date of the application: 06.12.2022) (in Russian).
- Charradi K., Mahmoudi M., Bedhiafi T. et al. 2018. Safety evaluation, anti-oxidative and anti-inflammatory effects of subchronically dietary supplemented high dosing grape seed powder (GSP) to healthy rat. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. Vol. 107. P. 534–546. DOI: 10.1016/j.biopha.2018.08.031.
- Consumer Affairs Agency. 2018. Criteria for Labeling Permission for “Foods for Special Dietary Uses”. URL: https://www.caa.go.jp/en/policy/food_labeling (date of the application: 06.12.2022).
- García J., Méndez D., Álvarez M. et al. 2019. Design of novel functional food products enriched with bioactive extracts from holothurians for meeting the nutritional needs of the elderly. *LWT – Food*

- Science and Technology*. Vol. 109. P. 55–62. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.03.097.
- Gracileide de Alencar M., Perreira de Quadros C., Luiz Lima Pedrosa Luna A. et al. 2022. Grape skin flour obtained from wine processing as an antioxidant in beef burgers. *Meat Science*. Vol. 194. DOI: 10.1016/j.meatsci.2022.108963.
- Heuzé V., Tran G. 2017. Grape Seeds and Grape Seed Oil Meal. Feedipedia, a Programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. 2017. URL: <https://www.feedipedia.org/node/692>.
- Jebari K., Charradi K., Mahmoudi M. et al. 2022. Grape seed flour (GSF) extends longevity by improving multi-organ dysfunction and age-associated oxidative stress and inflammation in healthy rat. *The Journals of Gerontology: Series A. Biological sciences and medical sciences*. Vol. 77 (3). P. 443–451. DOI: 10.1093/gerona/glab259.
- Jędrusek-Golińska A., Górecka D., Buchowski M. et al. 2020. Recent progress in the use of functional foods for older adults: A narrative review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Vol. 19. P. 835–856. DOI: 10.1111/1541-4337.12530.
- Kim H., Bartley G.E., Arvik T. et al. 2014. Dietary supplementation of chardonnay grape seed flour reduces plasma cholesterol concentration, hepatic steatosis, and abdominal fat content in high-fat diet-induced obese hamsters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 62 (8). P. 1919–1925. DOI: 10.1021/jf404832s
- Kurt Ş. 2016. The Effects of Grape Seed Flour on the Quality of Turkish Dry Fermented Sausage (*Sucuk*) during Ripening and Refrigerated Storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. Vol. 36 (3). P. 300–308. DOI: 10.5851/kosfa.2016.36.3.300.
- Muncaciu M.L., Marin F.Z., Pop N. et al. 2018. Functional Tannins in Grape Pomace Flours of Feteasca Neagra and Italian Riesling. *Revista de Chimie*. Vol. 69 (9). P. 2372–2376.
- Oprea O.B., Popa M.E., Apostol L., Gaceu L. 2022. Research on the Potential Use of Grape Seed Flour in the Bakery Industry. *Foods*. Vol. 11. 1589. DOI: 10.3390/foods11111589.
- Tanvir A., Haboubi N. 2010. Assessment and management of nutrition in older people and its importance to health. *Clinical Interventions in Aging*. Vol. 5. P. 207–216. DOI: 10.2147/cia.s9664.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2017. World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper № ESA/P/WP/248. 53 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Барабашина София Игоревна – Мурманский государственный технический университет; 183010, Россия, Мурманск; аспирант кафедры «Технологий пищевых производств»; BarabashinaSI@yandex.ru. SPIN-код: 7444-7244, Author ID: 1104411.

Barabashina Sofia Igorevna – Murmansk State Technical University; 183010, Russia, Murmansk; PhD student of the Department of Food Production Technology; BarabashinaSI@yandex.ru. SPIN-code: 7444-7244, Author ID: 1104411.

Глухарев Андрей Юрьевич – Мурманский государственный технический университет; 183010, Россия, Мурманск; младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Химия и технология морских биоресурсов»; GlukharevAYu@yandex.ru. SPIN-код: 8485-0558, Author ID: 1102651; Scopus ID: 57386272100.

Glukharev Andrei Yurievich – Murmansk State Technical University; 183010, Russia, Murmansk; Junior Research Fellow of Laboratory of Chemistry and Technology of Marine Bioresources; GlukharevAYu@yandex.ru. SPIN-code: 8485-0558, Author ID: 1102651; Scopus ID: 57386272100.

Дубровин Сергей Юлианович – Мурманский государственный технический университет; 183010, Россия, Мурманск; кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Технологии пищевых производств»; DubrovinSYu@mstu.edu.ru. SPIN-код: 3805-9598, Author ID: 315340.

Dubrovin Sergey Yulianovich – Murmansk State Technical University; 183010, Russia, Murmansk; Candidate of Technical Sciences, Docent, Professor of the Department of Food Production Technology; DubrovinSYu@mstu.edu.ru. SPIN-code: 3805-9598, Author ID: 315340.

УДК 504.5:582.252"2020"(265.52)

DOI: 10.17217/2079-0333-2023-63-22-44

**КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ВЛИЯНИЯ
ВРЕДОНОСНОГО ЦВЕТЕНИЯ ВОДОРОСЛЕЙ ОСЕНЬЮ 2020 ГОДА
У ПОБЕРЕЖЬЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ПАЦИФИКА)
НА МЕЛКОВОДНЫЕ БЕНТОСНЫЕ СООБЩЕСТВА**

Санамян Н.П.¹, Коробок А.В.², Санамян К.Э.¹

¹ Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, 6.

² Камчатское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Молчанова, 12.

Изложены результаты двух лет наблюдений с помощью легководолазного снаряжения и подводной фототехники за состоянием бентосных сообществ после экологической катастрофы, произошедшей у берегов Камчатки в результате вредоносного цветения микроводорослей осенью 2020 г. Это явление сопровождалось гибелью донных организмов. В результате в зоне верхней сублиторали произошло сильное обеднение донной фауны: исчезли многие виды и даже целые группы животных, погибла большая часть губок, около половины видов актиний, моллюсков, иглокожих, асцидий, а численность оставшихся видов сократилась в разной степени. Однако численность некоторых групп ракообразных значительно выросла.

Ключевые слова: бентос, биоразнообразие, замор, «красный прилив», массовая вегетация микроводорослей, обеднение фауны, экологическая катастрофа.

**QUALITATIVE ASSESSMENT OF ALGAE HARMFUL BLOOM IMPACT
IN AUTUMN 2020 OFF THE COAST OF SOUTH-EASTERN KAMCHATKA
(NORTH-WEST PACIFIC) ON SHALLOW-WATER BENTHIC COMMUNITIES**

Sanamyan N.P.¹, Korobok A.V.², Sanamyan K.E.¹

¹ Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Partizanskaya Str. 6.

² Kamchatka Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Petropavlovsk-Kamchatsky, Molchanov Str. 12.

The results of monitoring of the benthic communities' state during two years after the ecological catastrophe caused by an outbreak of planktonic microalgae off the coast of Kamchatka in autumn 2020 were presented. The consequences of this phenomenon led to the mass extinction of bottom organisms. As a result, in the zone of the upper sublittoral, a strong depletion of the benthic fauna occurred, not only many species, but also entire groups of animals fell out of its composition: most of the sponges and about a half of species of sea anemones, mollusks, echinoderms, ascidians have disappeared. However, the quantity of some groups of Crustacea has increased significantly.

Key words: benthos, biodiversity, death, "red tide", mass vegetation of microalgae, depletion of fauna, ecological catastrophe.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия все чаще регистрируется такое явление, как вредоносное цветение водорослей (ВЦВ). Популяционный взрыв численности микроводорослей – «цветение воды» – может значительно снизить уровень кислорода в природных водах, убивая морскую жизнь и усугубляя заморные явления появлением в воде в результате бактериального разложения оседающей органики сероводорода и аммиака [Коновалова, 1995]. Кроме того, вспышки численности морских динофитовых и диатомовых водорослей могут быть вызваны видами, продуцирующими фитотоксины [Коновалова, 1998; Коновалова, Могильникова, 2006]. Случаи массовой гибели гидробионтов в результате действия «красных приливов» зарегистрированы в последние годы в некоторых районах северной части Тихого океана [Jurgens et al., 2015; Sakamoto et al., 2021]. На тихоокеанском побережье России цветение фитопланктона происходит регулярно, но случаи ВЦВ были редки [Orlova et al., 2022]. Однако осенью 2020 г. в результате сильных положительных температурных аномалий, превышавших норму на 3–6°C, и других факторов у берегов Камчатки произошла вспышка численности фитопланктона. По спутниковым снимкам оценка концентрации хлорофилла *a* показала превышение фоновых значений в 5–8 раз [Bondur et al., 2021]. Это продолжительное (около двух месяцев) и интенсивное явление, вызванное активным размножением динофлагеллят нескольких видов рода *Karenia*, с доминированием *Karenia selliformis* Haywood, Steidinger et Mac Kenzie, 2004, сопровождалось массовой гибелью донных животных [Orlova et al., 2022]. Наблюдения, проведенные нами в 2021 г., показали, что в результате ВЦВ у юго-восточного побережья Камчатки осенью 2020 г.

бентосным сообществам в верхней сублиторальной зоне (обследованные глубины 6–18 м) нанесен катастрофический урон [Токранов и др., 2021], в то время как на литорали разрушительного влияния этого события не наблюдалось [Данилин и др., 2021].

За предыдущие более 20 лет наших наблюдений (с 1999 по 2020 г.) и изучения бентосных сообществ в верхней сублиторали (до глубины 35 м), осуществлявшихся с помощью легководолазного снаряжения и подводной фототехники, крупных замороз у берегов Юго-Восточной Камчатки мы не наблюдали. Однако ранее они были отмечены, как и случаи ВЦВ. Так, с 1984 по 1987 г. у восточных берегов Камчатки было зарегистрировано несколько «красных приливов», вызванных токсичными видами динофлагеллят рода *Alexandrium*: «в июле – августе 1984 г. при температуре воды у поверхности 14–15°C и нарастающей токсичности моллюсков (мидий) наблюдалось покраснение воды в Авачинской губе. Анализ показал высокую биомассу *A. tamarense* f. *tamarense* и *A. acatenella* (до 8 г/м³), при доминировании диатомеи *Skeletonema costatum*, которая, как известно, при обильном развитии стимулирует рост большинства видов жгутиковых водорослей. Сильный «красный прилив», вызванный *A. tamarense* f. *excavata*, наблюдался в Олюторском заливе Берингова моря у берегов в июле 1986 г. и сопровождался гибелью животных (ластоногих, рыб, птиц). Кратковременное, но интенсивное «цветение» *A. tamarense* f. *tamarense* было отмечено в центральной части Авачинской губы в июле 1987 г.» [Коновалова, 1995, с. 42]. Наиболее интенсивные заморы в верхней сублиторали были зафиксированы летом (с 25 июля по 15 августа) 1985 г. на юге Камчатки [Сидоров, Бурдин, 1986]. Тогда были исследованы с применением водолазных методов прибрежные сообщества как юго-западного

(м. Сивучий – м. Лопатка), так и восточного побережья Камчатки (м. Лопатка – п-ов Кроноцкий), а также о-вов Шумшу и Атласова (самые северные в Курильской гряде) до глубины 40 м. За исключением района о. Атласова (Алайд), где температура воды не превышала 2–3°C, в других районах, с температурой поверхностных вод достигавшей 12–16°C, были обнаружены «обширные заморные явления, отрицательно сказавшиеся в первую очередь на фауне закрытых бухт, хорошо прогреваемых мелководий с плотными зарослями бурых водорослей» [Сидоров, Бурдин, 1986, с. 115]. В частности, у юго-западного побережья Камчатки на дне было обнаружено «большое количество останков раковин моллюсков, заполненных черным илистым песком с запахом сероводорода» [Сидоров, Бурдин, 1986, с. 110]. У северо-восточного побережья о-ва Шумшу вода характеризовалась большим содержанием органики и интенсивным выделением сероводорода, а литораль «с раковинами погибших моллюсков и баянусов на ней была сплошь покрыта черной пленкой серного сульфида железа» [Сидоров, Бурдин, 1986, с. 112]. У юго-восточного побережья Камчатки от м. Лопатка до о-ва Уташуд в бух. Вестник отмечена низкая прозрачность вод из-за большого количества взвеси на глубинах 5–30 м. У восточного побережья Камчатки на большей части Кроноцкого залива (от бух. Ольга до пос. Жупаново) заморная зона распространялась от берега до глубин 25 м, а прозрачность воды у дна снижалась до нуля. Отобранные на ощупь образцы створок погибших моллюсков и панцирей колючих крабов имели сильный запах сероводорода; при минимальной видимости (менее 0,5 м) «были отмечены черная взвесь в придонном слое, раковины погибших моллюсков и останки плоских ежей. Живые *E. parva* найдены только на значительном удалении от берега (около

2 миль) за изобатой 25 м» [Сидоров, Бурдин, 1986, с. 114]. Замор обнаружен был и в бух. Моржовой (южная часть Кроноцкого залива): много погибших крабов и двустворчатых моллюсков, «а толща воды заполнена органической взвесью (видимость менее 0,5 м) в придонном слое» [Сидоров, Бурдин, 1986, с. 115]. Авторы связывали заморные явления в прибрежье Камчатки и Командорских о-вов с периодической эксплозивной активностью вулканов Курило-Камчатской дуги. Однако В.В. Ошурков опровергает эту гипотезу [Ошурков, 2000, с. 169] на основе своих многолетних исследований сукцессий эпибентосных сообществ в верхней сублиторали. Согласно его работам, восстановительные сукцессии протекают крайне медленно, но за десятилетия восстановившиеся сообщества инкрустирующих кораллиновых водорослей с развившимися фильтраторами и седиментаторами (губки, книдарии, двустворчатые моллюски, мшанки, асцидии), которые мы наблюдали в последние 20 лет, пришли в устойчивое состояние. Однако такие сообщества «не адаптированы к частым изменениям среды» и «устойчивы во времени лишь при отсутствии катастрофических пертурбаций» [Ошурков, 2000, с. 176].

Результаты биологических исследований бентоса в Авачинской губе за период 1982–1985 гг. изложены в сборнике «Гидробиологические исследования в Авачинской губе» [1989], и приведен список видов, определенных на тот момент. На основе литературных и собственных данных авторы делают вывод о значительном обеднении макробентоса Авачинской губы и связывают это с усилением антропогенного воздействия на сообщества этой закрытой бухты с активной хозяйственной деятельностью на ее берегах [Ошурков и др., 1989]. Так, за 50-летний период значительные изменения претерпели структура и распределение донных сообществ:

«более половины группировок бентоса, описанных ранее как биоценозы, в губе отсутствует» [Ошурков и др., 1989, с. 11]. В западном и приустьевом районах бухты отмечено наибольшее разнообразие донной фауны. Оно соответствует таковому на открытом побережье и в других бухтах Восточной Камчатки [Виноградов, 1949]. Ранее [Коновалова, 1995] отмечалось, что ВЦВ, в том числе с участием динофлагеллят рода *Alexandrium*, начиналось с закрытых бухт, и также предполагалось, что этому способствовало поступление минеральных и органических веществ в результате хозяйственной деятельности человека. Однако ВЦВ в 2020 г., причиной которого у берегов Камчатки впервые стали динофлагелляты рода *Karenia* [Orlova et al., 2022], и заморы на дне в результате его воздействия начинались на открытых берегах и позже проникали в закрытые бухты.

В данной работе мы постарались оценить потери, нанесенные морским беспозвоночным в зоне верхней сублиторали у юго-восточного побережья Камчатки в результате массовой вегетации одноклеточных водорослей осенью 2020 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работы осуществлялись с помощью легководолазной техники и с использованием подводной фототехники. В исследуемом районе совершено около 700 погружений, большая часть из которых проведена до 2020 г., в 2021 и 2022 гг. проведено по 40–50 погружений (рис. 1). Точки погружений в 2021 и 2022 гг. не перекрывают все точки погружений, проведенных в 1999–2020 гг., из-за различного объема исследований. Но указанный предыдущий опыт, при отсутствии количественных исследований, позволил судить о составе, стабильности и обилии видов в донных сообществах на основе прямых

наблюдений. Наблюдения проводились и визуально оценивались одним и тем же лицом, поэтому в одних и тех же местах автор мог оценить разницу в видовом составе гидробионтов и в их ориентировочной относительной численности и биомассе на определенных участках дна до и после ВЦВ. Такие прямые наблюдения позволяют обследовать большие площади дна и, при отсутствии ресурсов для масштабных количественных исследований, получить достоверные сведения по составу гидробионтов и состоянию донных сообществ.

Для настоящего исследования были использованы полевые записи, сборы гидробионтов, более 8 тыс. фото- и видеоматериалов бентосных сообществ верхней сублиторали (до глубины 35 м) за более чем 20 лет наблюдений (с 1999 по 2022 гг.), которые позволили составить список видов (или групп видов, обозначенных как «spp.») морских беспозвоночных и оценить изменения в составе донных сообществ в зоне верхней сублиторали в определенных местах Авачинского залива до и после вредоносного цветения микроводорослей осенью 2020 г. Подводная фотосъемка была осуществлена фотоаппаратами Nikon F90 в фотобоксе Sea and Sea с двумя вспышками Sea and Sea YS 120, Nikon D800 в боксе Nauticam с двумя вспышками Inon D2000 и Olympus OMD em1 mark2 в боксе Nauticam с двумя вспышками Inon D2000.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Виды, зарегистрированные нами в районе исследований до 2020 г., перечислены в таблице; обозначено, были они найдены или нет в 2021 и 2022 гг. в типичных для них местах обитания. Из 165 указанных видов (или групп видов), в 2021 г. зарегистрировано 87, а в 2022 г. – 93 вида. Таким образом, разнообразие видов в данном районе снизилось почти в два раза (рис. 2).

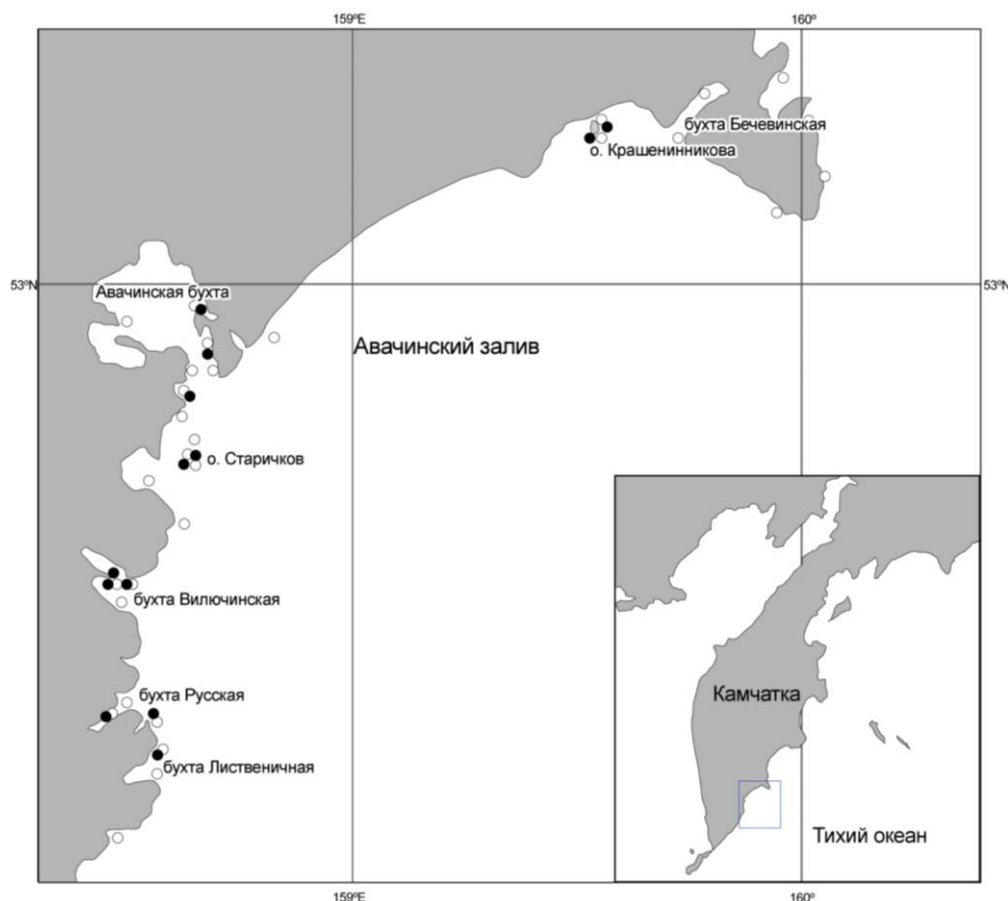


Рис. 1. Карта района исследований; белыми кружками обозначены места погружений до 2020 г., черными кружками – места погружений в 2021 и 2022 гг.

Fig. 1. A map of study area; dive sites before 2020 are marked with white circles, scuba diving sites in 2021 and 2022 are marked with black circles

Таблица. Список видов (или групп видов, обозначенных «spp.»), отмеченных нами в Авачинском заливе, и ориентировочная оценка их встречаемости до замора 2020 г. и после него (в 2021 и 2022 гг.)

Table. List of species (or groups of species listed as “spp.”) observed in the Avacha Bay and approximate estimate of their occurrence before ecological catastrophe in 2020 and after it (in 2021 and 2022)

Вид	Тип: Класс: Отряд	До 2020	2021	2022
<i>Clathrina</i> sp.	Porifera: Calcarea: Clatrinida	+	–	+
<i>Leucandra</i> sp.	Porifera: Calcarea: Leucosolenida	+	–	–
<i>Leucosolenia</i> sp.	Porifera: Calcarea: Leucosolenida	+	–	+
<i>Sycandra utriculus</i>	Porifera: Calcarea: Leucosolenida	+	–	–
<i>Sycetussa nemurensis</i>	Porifera: Calcarea: Leucosolenida	+	–	+
<i>Oscarella kamchatkensis</i>	Porifera: Homoscleromorpha: Homosclerophorida	+++	–	–
<i>Halisarca</i> sp.	Porifera: Demospongiae: Chondrillida	+++	+	+++
<i>Aplysilla</i> cf. <i>sulfurea</i>	Porifera: Demospongiae: Dendroceratida	++	–	+
<i>Haliclona cinerea</i>	Porifera: Demospongiae: Haplosclerida	+++	–	–
<i>Haliclona gracilis</i>	Porifera: Demospongiae: Haplosclerida	++	–	–
<i>Amphilectus digitatus</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida	+++	–	–
<i>Hymedesmia</i> aff. <i>procumbens</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida	++	+	–
<i>Hymenancora orientalis</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida	+++	+	++
<i>Lissodendoryx amaknakensis</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida	+++	–	–
<i>Myxilla incrustans</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida	++	–	–

Продолжение табл.

Continuation of the table

Вид	Тип: Класс: Отряд	До 2020	2021	2022
<i>Polymastia laganoides</i>	Porifera: Demospongiae: Polymastiida	+	–	–
<i>Halichondria panicea</i>	Porifera: Demospongiae: Suberitida	+++	–	+
<i>Halichondria sitiens</i>	Porifera: Demospongiae: Suberitida	+	–	–
<i>Hymeniacidon assimilis</i>	Porifera: Demospongiae: Suberitida	+	–	+
<i>Suberites montiniger</i>	Porifera: Demospongiae: Suberitida	+	–	–
<i>Paraedwardsia malakhovi</i>	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	+	–	–
<i>Actinostola</i> sp.	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	++	–	–
<i>Stomphia coccinea</i>	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	+++	–	–
<i>Anthopleura orientalis</i>	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	+++	+++	+++
<i>Aulactinia stella</i>	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	++	+	+
<i>Aulactinia vladimiri</i>	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	+	–	+
<i>Cnidopus japonicus</i>	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	+++	–	–
<i>Cribrinopsis albopunctata</i>	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	++	–	–
<i>Cribrinopsis olegi</i>	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	++	+	–
<i>Urticina grebelnyi</i>	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	++	+	+
<i>Urticina timuri</i>	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	++	–	–
<i>Charisea saxicola</i>	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	++	+	–
<i>Halcampoides</i> sp.	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	++	+	+
Halcampidae gen. sp.	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	+	–	–
<i>Metridium farcimen</i>	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	+++	++	++
<i>Metridium senile fimbriatum</i>	Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria	+++	++	+++
<i>Sideractis</i> sp.	Cnidaria: Anthozoa: Corallimorpharia	++	–	–
<i>Gersemia rubiformis</i>	Cnidaria: Anthozoa: Alcyonacea	++	+	+
Hydrozoa spp.	Cnidaria: Hydrozoa	+++	+	++
<i>Haliclystus stejnegeri</i>	Cnidaria: Staurozoa: Stauromedusae	++	+++	++
<i>Aurelia labiata</i>	Cnidaria: Scyphozoa: Discomedusae	+++	–	+
<i>Cyanea capillata</i>	Cnidaria: Scyphozoa: Discomedusae	+	–	–
<i>Hiatella arctica</i>	Mollusca: Bivalvia: Adapedonta	+++	+	+++
<i>Modiolus modiolus</i>	Mollusca: Bivalvia: Mytilida	++	+	+
<i>Mytilus trossulus</i>	Mollusca: Bivalvia: Mytilida	+++	++	+++
<i>Pododesmus macrochisma</i>	Mollusca: Bivalvia: Pectinida	+	–	–
<i>Boreochiton beringensis</i>	Mollusca: Polyplacophora: Chitonida	+++	+	++
<i>Tonicella submarmorea</i>	Mollusca: Polyplacophora: Chitonida	+	+	+
<i>Amicula vestita</i>	Mollusca: Polyplacophora: Chitonida	+	–	–
<i>Cryptochiton stelleri</i>	Mollusca: Polyplacophora: Chitonida	++	+	–
<i>Placiphorella borealis</i>	Mollusca: Polyplacophora: Chitonida	+	–	–
<i>Lottia scutum</i>	Mollusca: Gastropoda: Patellogastropoda	+++	+	+
<i>Margarites helycinus</i>	Mollusca: Gastropoda: Trochida	+++	–	–
<i>Littorina sitkana</i>	Mollusca: Gastropoda: Littorinimorpha	+++	+	+
<i>Cryptonatica janthostoma</i>	Mollusca: Gastropoda: Littorinimorpha	++	–	+
<i>Fusitriton oregonensis</i>	Mollusca: Gastropoda: Littorinimorpha	+++	+	+
Velutinidae spp.	Mollusca: Gastropoda: Littorinimorpha	++	+	+
<i>Nucella</i> sp.	Mollusca: Gastropoda: Neogastropoda	+++	–	+
Neogastropoda spp.	Mollusca: Gastropoda	+++	–	–
<i>Berthella californica</i>	Mollusca: Gastropoda: Pleurobranchida	++	–	–
<i>Dirona pellucida</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia	++	–	+
<i>Tritonia tetraquetra</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia	++	+	–
<i>Dendronotus dalli</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia	++	+	+
<i>Dendronotus kalikal</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia	+	–	–
<i>Dendronotus kamchaticus</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia	+	–	–
<i>Dendronotus robilliardi</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia	++	+++	+++
<i>Dendronotus zakuro</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia	+	+	+
<i>Nudibranchus rupium</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia	+	–	–

Продолжение табл.

Continuation of the table

Вид	Тип: Класс: Отряд	До 2020	2021	2022
<i>Apata pricei komandorica</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia	++	++	++
<i>Occidenthella athadona</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia	++	++	++
<i>Himatina trophina</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia	++	++	++
<i>Aeolidia papillosa</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia	++	++	++
<i>Acanthodoris pilosa</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida	++	–	–
<i>Adalaria olgae</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida	+	–	–
<i>Adalaria slavi</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida	++	–	+
<i>Akiodoris lutescens</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida	+	–	–
<i>Onchimira cavifera</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida	++	–	–
<i>Cadlina kamchatica</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida	++	–	–
<i>Colga minichevi</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida	+++	–	–
<i>Diaulula boreopacifica</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida	++	–	–
<i>Onchidoris bilamellata</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida	++	+	–
<i>Onchidoris macropompa</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida	++	+	+
<i>Onchidoris muricata</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida	+	–	+
<i>Enteroctopus dofleini</i>	Mollusca: Cephalopoda: Octopoda	+	–	–
<i>Schizobranchia insignis</i>	Annelida: Polychaeta: Sabellida	++	++	++
<i>Potamilla</i> sp.	Annelida: Polychaeta: Sabellida	+	+	+
<i>Myxicola infundibulum</i>	Annelida: Polychaeta: Sabellida	++	+	+
<i>Crucigera zygophora</i>	Annelida: Polychaeta: Sabellida	++	+	++
<i>Spirorbinae</i> gen. sp.	Annelida: Polychaeta: Sabellida	+++	++	+++
<i>Arctonoe vittata</i>	Annelida: Polychaeta: Phyllodocida	++	+	+
<i>Hermilepidonotus robustus</i>	Annelida: Polychaeta: Phyllodocida	+	–	–
Phyllodocidae spp.	Annelida: Polychaeta: Phyllodocida	+++	+	+
<i>Phoronis</i> sp.	Phoronida	++	+++	+++
Terebratulida spp.	Brachiopoda: Rhynchonellata	++	+	+
<i>Carbasea carbasea</i>	Bryozoa: Gymnolaemata: Cheilostomatida	++	–	+
<i>Myriapora orientalis</i>	Bryozoa: Gymnolaemata: Cheilostomatida	++	+	+
Bryozoa spp.	Bryozoa	+++	+	++
<i>Balanus crenatus</i>	Arthropoda: Thecostraca: Balanomorpha	++	+++	+++
<i>Balanus rostratus</i>	Arthropoda: Thecostraca: Balanomorpha	++	+	+
<i>Solidobalanus hesperius</i>	Arthropoda: Thecostraca: Balanomorpha	+	+	+
<i>Caprella</i> sp.	Arthropoda: Malacostraca: Amphipoda	+++	+++	+++
Amphipoda spp.	Arthropoda: Malacostraca	+++	+++	+++
Isopoda spp.	Arthropoda: Malacostraca	+++	+++	+++
<i>Eualus fabricii</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	++	–	–
<i>Heptacarpus camtschaticus</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	+	–	–
<i>Lebbeus grandimanus</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	++	–	–
<i>Lebbeus groenlandicus</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	++	?	?
<i>Lebbeus polaris</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	++	–	–
<i>Pandalus goniurus</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	++	–	–
<i>Spirontocaris ochotensis</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	+++	–	–
<i>Telmessus cheiragonus</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	++	+	+
<i>Chionoecetes opilio</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	++	++	++
<i>Oregonia gracilis</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	+++	++	++
<i>Paralitodes brevipes</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	++	+	+
<i>Paralitodes camtschatica</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	++	+	+
<i>Dermaturus mandtii</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	++	++	++
<i>Hapalogaster grebnitzkii</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	++	++	++
<i>Elassochirus gilli</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	+++	+++	+++
<i>Pagurus middendorffi</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	+++	+++	+++
<i>Pagurus trigonoherus</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda	+++	+++	+++
<i>Asterias rathbuni</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida	+++	+	+

Окончание табл.

The end of the Table

Вид	Тип: Класс: Отряд	До 2020	2021	2022
<i>Evasterias echinosoma</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida	++	+	+
<i>Evasterias retifera</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida	+++	+	+
<i>Leptasterias alaskensis asiatica</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida	+++	+	+
<i>Leptasterias arctica</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida	+++	–	–
<i>Leptasterias camtschatica</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida	+	+	–
<i>Lethasterias nanimensis chelifera</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida	++	+	++
<i>Stephanasterias albula</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida	++	–	–
<i>Crossaster papposus</i>	Echinodermata: Asteroidea: Velatida	++	–	–
<i>Pteraster octaster</i>	Echinodermata: Asteroidea: Velatida	++	–	–
<i>Pteraster tessellatus</i>	Echinodermata: Asteroidea: Velatida	++	–	–
<i>Solaster endeca</i>	Echinodermata: Asteroidea: Velatida	++	–	+
<i>Henricia lineata</i>	Echinodermata: Asteroidea: Spinulosida	++	–	–
<i>Henricia tumida</i>	Echinodermata: Asteroidea: Spinulosida	++	+	–
<i>Ophiopholis aculeata</i>	Echinodermata: Ophiuroidea: Ophiurida	+++	+	++
<i>Gorgonocephalus eucnemis</i>	Echinodermata: Ophiuroidea: Euryalida	+	–	–
<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i>	Echinodermata: Echinoidea: Camarodonta	++	++	++
<i>Strongylocentrotus pallidus</i>	Echinodermata: Echinoidea: Camarodonta	++	+	+
<i>Strongylocentrotus polyacanthus</i>	Echinodermata: Echinoidea: Camarodonta	+++	++	++
<i>Echinarachnius parma</i>	Echinodermata: Echinoidea: Echinolampadacea	+++	+	+
<i>Cucumaria djakonovi</i>	Echinodermata: Holothuroidea: Dendrochirotida	+++	+	+
<i>Cucumaria vegae</i>	Echinodermata: Holothuroidea: Dendrochirotida	+++	+	–
<i>Eupentacta fraudatrix</i>	Echinodermata: Holothuroidea: Dendrochirotida	+++	–	–
<i>Psolus phantapus</i>	Echinodermata: Holothuroidea: Dendrochirotida	++	++	++
<i>Psolus sp.</i>	Echinodermata: Holothuroidea: Dendrochirotida	++	+	–
<i>Chiridota sp.</i>	Echinodermata: Holothuroidea: Apodida	+	–	–
<i>Botryllus flavus</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia	+++	–	–
<i>Dendrodoa aggregata</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia	+++	+	+
<i>Halocynthia aurantium</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia	++	–	–
<i>Molgula retortiformis</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia	++	–	–
<i>Styela clavata</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia	++	+	+
<i>Styela coriacea</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia	++	–	–
<i>Ascidia callosa</i>	Tunicata: Ascidiacea: Phlebobranchia	+	–	–
<i>Placentela crystallina</i>	Tunicata: Ascidiacea: Phlebobranchia	++	++	++
<i>Aplidiopsis pannosum</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia	++	++	++
<i>Aplidium dissectum</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia	+++	+	++
<i>Aplidium eborinum</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia	+++	+	–
<i>Aplidium macreron</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia	++	–	–
<i>Aplidium spitzbergense</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia	+++	+	++
<i>Holozoa okhotensis</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia	+	+	+
<i>Synoicum jordani</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia	++	+	+
<i>Synoicum turgens</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia	++	+	+
<i>Didemnum gemmparum</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia	+++	–	+
<i>Didemnum sp.</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia	++	–	+
<i>Diplosoma sp.</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia	++	–	–

Примечание: «+» – есть единичные или редкие находки; «++» – обычно встречается; «+++» – встречается часто (для 2021 и 2022 гг. – численность вида практически не пострадала или восстановилась в типичных местах обитания); «?» – места, в которых ранее был зарегистрирован данный вид, после 2020 г. не обследовались.

Note: “+” – single or rare records; “++” – common records; “+++” – numerous records (for 2021 and 2022 – the number of the specimens was practically not affected or recovered in typical habitats); “?” – places where the species was previously recorded but which were not surveyed after 2020.

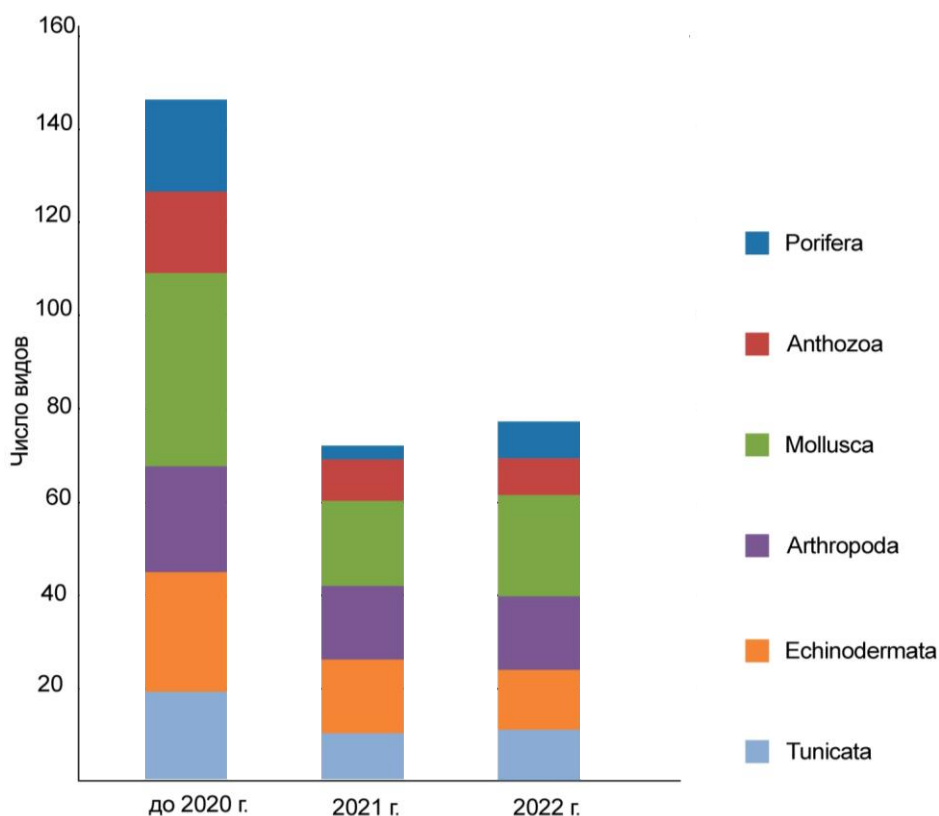


Рис. 2. Количество видов основных таксонов, найденных до замора 2020 г. и в последующие два года
 Fig. 2. Number of species of major taxa found before the ecological catastrophe in 2020 and next two years

Из 20 видов губок (Porifera), пять из которых – известковые (Calcarea), а 14 – демоспонгии (Demospongiae), в 2021 г. обнаружены единичные мелкие экземпляры только трех видов демоспонгий, а в 2022 г. – пяти видов демоспонгий и трех видов известковых губок. Постоянно встречавшаяся ранее беспикульная губка класса Homoscleromorpha, *Oscarella kamchatkensis* Ereskovsky, Sanamyan et Vishnyakov, 2009, описанная из Авачинского залива, исчезла полностью. Число видов губок сократилось в 2,5 раза (демоспонгий почти в три раза), а как важный компонент сообществ на твердых субстратах, являющийся местом обитания или питания для многих донных организмов, губки исчезли практически полностью (рис. 3, а, б), кроме мелких экземпляров известковых губок (начавших заметное восстановление только в 2022 г.) и некоторых корковых видов демоспонгий, из которых только один вид, *Halisarca* sp., разросся на

второй после замора год достаточно, чтоб считать его численность практически восстановившейся. То есть после практически тотальной гибели всех губок в результате воздействия ВЦВ осенью 2020 г. *Halisarca* sp. показала самую высокую скорость восстановления. Именно фрагменты тонких корковых губок, распространенных по всему Авачинскому заливу до 2020 г., смогли уцелеть в некоторых местах на валунах и возобновить рост первыми. Так, красная корковая губка *Hymananora orientalis* (Koltun, 1959), восстанавливающиеся единичные экземпляры которой (площадью не более 1 кв. дм) в 2021 г. были найдены только в закрытой бух. Безымянной внутри Авачинской губы (рис. 3, в), в 2022 г. встречалась уже гораздо чаще, в том числе и на открытом побережье, разрастаясь на поверхности валунов в довольно крупные экземпляры (до нескольких кв. дм).

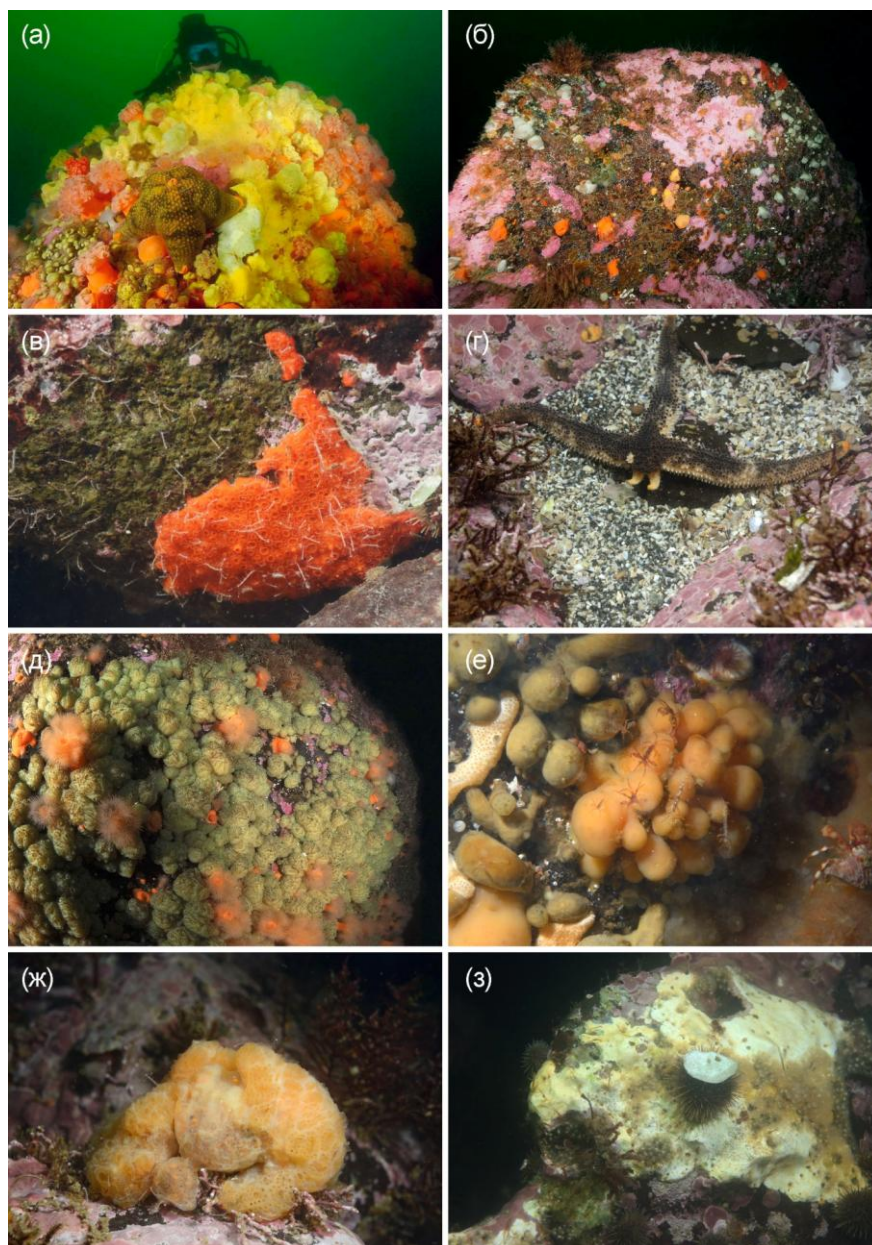


Рис. 3. Гидробионты прикамчатских вод: *a* – зрелое сообщество на валуне, представленное большим количеством фильтраторов и седиментаторов (губки, асцидии, кишечнополостные), на переднем плане – морская звезда *Pteraster tessellatus* Ives, 1888 питается на губках *Halichondria panicea*, снято в 2018 г.; *b* – тот же валун, снятый в 2021 г. (тотальная гибель губок и значительные потери среди кишечнополостных); *v* – губка *Hymenancora orientalis*, слева – темная погибшая часть экземпляра, справа – красный живой фрагмент, снято в 2021 г.; *z* – морская звезда *Lethasterias nanimensis chelifera* в процессе регенерации двух недостающих лучей, снято в 2021 г.; *d* – расправленная колония асцидии *Aplidiopsis pannosum*, снято в начале лета 2022 г.; *e* – колонии асцидий в спящем состоянии, снято в сентябре 2022 г.; *ж* – отрождающаяся колония асцидии *Aplidium* sp., снято весной 2021 г.; *з* – отбеленные участки инкрустирующих кораллиновых водорослей, которые, вероятно, раньше были покрыты губками. Автор фото: *a, b, d* – А.В. Коробок; *v, z, e – з* – Н.П. Санамян

Fig. 3. Marine hydrobionts of Kamchatka waters: *a* – a mature community on a boulder, represented by a large number of filter and sediment feeders (sponges, ascidians, cnidarians); in the foreground, the starfish *Pteraster tessellatus* Ives, 1888 feeds on the sponges of *Halichondria panicea*, a photo was made in 2018; *b* – the same boulder, photo taken in 2021 (total death of sponges and significant loss of cnidarians); *v* – the sponge *Hymenancora orientalis*, on the left is the dark dead part of the specimen, on the right is red living fragment, photo was made in 2021; *z* – sea star *Lethasterias nanimensis chelifera* in the process of regeneration of two missing arms, photo was made in 2021; *d* – inflated colony of ascidian *Aplidiopsis pannosum*, photo was made at the beginning of summer 2022; *e* – colonial ascidian in a resting stage, photo was made in September 2022; *ж* – surviving colony of ascidian *Aplidium* sp., photo was made in the spring of 2021; *з* – bleached areas of encrusting coralline algae, which were probably covered with sponges earlier. Authors of the photographs: *a, b, d* – A.V. Korobok; *v, z, e – з* – N.P. Sanamyann

В 2022 г. впервые за два года после замора в щели на вертикальной поверхности скалы найден небольшой (15–20 см длиной и до 5 см шириной) экземпляр ранее самого массового, ландшафтообразующего вида губок *Halichondria panicea* (Pallas, 1766). Других, столь же значимых ранее в сообществах, крупных губок, как, например, *Amphilectus digitatus* (Miklucho-Maclay, 1870), *Muxilla incrustans* (Johnston, 1842), *Polymastia laganoides* Lambe, 1895, пока не обнаружено.

Из 17 видов морских анемонов (актиний и кораллиморфарий) в 2021 г. найдено восемь, а в 2022 г. – семь видов; то есть количество видов, как и у губок, сократилось почти в 2,5 раза. Из сохранившихся видов меньше всего пострадала популяция обычного на литорали и в сублиторали закапывающегося вида актиний *Anthopleura orientalis* Averincev, 1967. Эти актинии отличаются, по нашим наблюдениям, высокой толерантностью к колебаниям абиотических факторов: могут многие месяцы выживать во влажном песке вне воды, а в литоральных ваннах в отлив переносить значительный прогрев или распреснение воды. Не вызывает опасений и судьба двух видов рода *Metridium* – *M. farcimen* (Brandt, 1835) и *M. senile fimbriatum* (Verrill, 1865): оба вида ранее являлись массовыми и после замора встречены почти везде, хотя в 2021 г. были представлены большей частью мелкими и очень мелкими молодыми экземплярами, а там, где раньше были густые поселения крупных *M. farcimen*, с некоторыми экземплярами высотой до 1 метра, в 2021 г. встречались только отдельные экземпляры не более 30 см высотой. Этим актиниям свойствен такой вид бесполого размножения, как педальная лацерация, то есть отделение фрагментов от края подошвы и нижней части тела, из которых затем образуются самостоятельные актинии. Вероятно, столь эффективная способность к регене-

рации помогает метридиумам быстро восстанавливать потери. В 2022 г. численность этих видов стала в целом значительной, и можно говорить о постепенном восстановлении популяции.

Сильно уменьшилась численность актинии *Urticina grebelniyi* Sanamyan et Sanamyan, 2006 – наиболее крупного вида семейства Actiniidae в регионе, отдельные представители которого достигали 50 см в высоту и 30–40 см в размахе щупалец [Санамян, Санамян, 2008]. Среднеразмерные экземпляры (10–20 см в высоту и диаметре щупальцевой короны) *U. grebelniyi* выжили, видимо, за счет отделения слизи и регенерации покровов, что было видно по осенним фотографиям 2020 г., на которых зажатые актинии этого вида выглядели как бы линяющими. Многочисленная группа этих актиний (сотни экземпляров) была найдена в 2022 г. в кутовой части длинной (фьордового типа) бух. Русской рядом с береговым стоком (небольшой водопад). Как отмечено Орловой с соавторами [Orlova et al., 2022], во время ВЦВ осенью 2020 г. динофлагелляты *Karenia* spp. не были обнаружены на участках, подверженных речному стоку, где преобладали диатомовые водоросли, и некоторые закрытые бухты меньше пострадали от замора [Токранов и др., 2021]. Остальные уцелевшие виды актиний были встречены в 2021 и 2022 гг. в единичных экземплярах. Полностью исчез самый массовый вид *Cnidopus japonicus* (Verrill, 1869) – эти актинии обитали в регионе практически повсеместно на твердом субстрате, а после замора за два года исследований мы не встретили ни одного экземпляра. Другие, ранее обычные актинии, такие как *Cribrinopsis albopunctata* Sanamyan et Sanamyan, 2006; *Urticina timuri* Sanamyan et Sanamyan, 2020; *Stomphia coccinea* (Müller, 1776); *Actinostola* sp., пока не обнаружены вовсе, не говоря уже

о более редких видах. *Sideractis* sp. – единственный представитель кораллиморфарий, обитавший глубже 20 м, за два года после замора также еще не обнаружен.

Восьмилучевые кораллы у Юго-Восточной Камчатки представлены альционией *Gersemia rubiformis* (Ehrenberg, 1834) – ранее это был обычный, а местами массовый вид. В результате экологической катастрофы 2020 г. многолетние колонии этого вида погибли, и в 2021 г. встречались только редкие новые (молодые) мелкие экземпляры: весной размером 1–2 см, к концу лета – до 3–4 см в диаметре распущенной колонии, доросшие за два года до нескольких сантиметров. Ставромедузы *Haliclystus stejnegeri* Kishinouye, 1899, напротив, в 2021 г. дали вспышку численности, встречалось много крупных экземпляров; вид характерен для литорали и обитает в верхней сублиторали до глубины 8 м. Гидроиды сильно пострадали от замора, но вымерли не тотально и восстанавливаются: местами на валунах они образуют заросли из нескольких видов семейства Sertulariidae, есть и мелкие Campanulariidae и другие более мелкие представители; поверхности валунов так активно покрываются сеточками гидроризы, что побеги с гидрантами еще не сформированы на значительных площадях. В местах, где до замора было много одиночных гидроидов *Monocoryne bracteata* (Fraser, 1941), весной 2021 г. удалось найти один половозрелый экземпляр крупного размера (длиной до 8 см); позже на подводных фотографиях с этого места рассмотрели густую поросль мелких нитевидных молодых (без гонофоров) гидроидов этого вида – вероятных потомков немногих сохранившихся взрослых экземпляров. Представителей другого крупного одиночного гидроида *Candelabrum phrygium* (Fabricius, 1780) не найдено после замора 2020 г. Весной 2021 г. отмечено обилие

гидромедуз *Tiaropsis multicirrata* (M. Sars, 1835) и *Eutonina indicans* (Romanes, 1876); около дна встречаются крупные гидроидные медузы *Staurostoma mertensii* (Brandt, 1834) и *Catablema multicirratum* Kishinouye, 1910. Раньше во многих местах на глубине около 10 м ежегодно наблюдался плотный слой крупных сцифоидных медуз *Aurelia labiata* Chamisso et Eysenhardt, 1821, но за два года после замора 2020 г. такого явления больше не замечено, встречались только отдельные редкие экземпляры этого вида.

Мидии (*Mytilus trossulus* A. Gould, 1850), самые массовые двустворчатые моллюски, почти не пострадали в литоральной зоне [Данилин и др., 2021], а в сублиторали вымирание было значительным, исчезли крупные экземпляры. Аналогичная ситуация и с другими видами двустворчатых моллюсков (*Bivalvia*). В 2021 г. щетки мелких мидий находили в бухтах Вилючинской и Лиственичной (в южной части Авачинского залива), а в 2022 г. уже во многих местах встречались друзды небольших (до 2–3 см) мидий и одиночные модиолусы *Modiolus modiolus* (Linnaeus, 1758) таких же размеров; в обрастаниях появилось много мелких сифонов *Hiatella arctica* (Linnaeus, 1767).

Сильно пострадали брюхоногие моллюски (*Gastropoda*): из 32 видов (из них 23 вида голожаберных моллюсков), в 2021 г. обнаружено 14 (10 голожаберных), а в 2022 г. – 17 (11 голожаберных). Таким образом, количество видов сократилось почти в два раза. Численность моллюсков уцелевших видов сократилась катастрофично: ранее массовый вид морских блюдечек *Lottia scutum* (Rathke, 1833) после замора стал малочисленным, а мелкие *Margarites helycinus* (Phipps, 1774), столь же обычные ранее, не были найдены вовсе. После замора на валунах изредка встречаются крупные брюхоногие моллюски

Fusitriton oregonensis (Redfield, 1846) и более мелкие *Nucella* sp., бывшие ранее вполне многочисленными. Другие представители отряда Neogastropoda не были найдены, а множество их освободившихся раковин, от мелких до крупных, теперь заняты отшельниками. Обитающие на рыхлых грунтах брюхоногие моллюски *Cryptonatica janthostoma* (Deshayes, 1839), вероятно, тоже пострадали от замора, так как крупных экземпляров встречено мало, но довольно много мелких (с раковиной до 1 см), что свидетельствует о начале восстановления их численности. Выжили и успешно размножаются голожаберные моллюски, питающиеся на гидроидах, такие как *Dendronotus dalli* Bergh, 1879, *D. robilliardi* Korshunova et al., *D. zakuro* Martynov, 2020, *Dirona pellucida* Volodchenko, 1941, *Apata pricei komandorica* Korshunova et al., 2017, *Himatina trophina* (Bergh, 1894), *Occidenthella athadona* (Bergh, 1875). Крупные голожаберные моллюски *Tritonia tetraquetra* (Pallas, 1788), единично встречавшиеся после замора еще весной и в начале лета в 2021 г., в 2022 г. совсем исчезли, видимо, из-за подорванной кормовой базы, так как исчезли крупные колонии восьмилучевых кораллов *Gersemia rubiformis*, которыми они в основном питались. В 2022 г. исчезли крупные панцирные моллюски *Cryptochiton stelleri* (Middendorff, 1847), встречавшиеся в 2021 г. единично после замора 2020 г., когда отмечалась массовая гибель хитонов разных видов. Более мелкие хитоны семейства Tonicellidae в 2021 г. встречались очень редко, но в 2022 г. стали попадаться чаще, однако былой численности еще не достигли. В целом из пяти основных видов хитонов в 2021 г. найдены три вида, а в 2022 г. – два вида, то есть видовое разнообразие сократилось в два раза. Распространенный в регионе представитель голо-

воногих моллюсков, осьминог *Enteroctopus dofleini* (Wülker, 1910), постоянно встречавшийся в выбросах осенью 2020 г. после замора, за два года после этого ни разу не встретился дайверам, хотя раньше нередко встречались среднеразмерные и крупные экземпляры, а ювенильные можно было часто найти под камнями.

Колонии сидячих многощетинковых червей *Schizobranchia insignis* Bush, 1905 семейства Sabellidae практически не пострадали: в октябре 2020 г. они были спрятаны в трубках-домиках и почти из них не высывались, а в 2021 и 2022 гг. – из всех трубок были видны венчики перистых щупалец этих многощетинковых червей. Другие представители этого семейства, *Muxicola infundibulum* (Montagu, 1808), также уцелели, и после замора встречаются крупные экземпляры. Другие сидячие многощетинковые черви, *Crucigera zygophora* (Johnson, 1901) семейства Serpulidae, тоже выжили в своих известковых трубках, а в 2022 г. на валунах местами наблюдается много мелких экземпляров этого вида. Мелкие Spirogbinae, хотя и понесли потери из-за замора, судя по множеству пустых трубок, отмеченных нами в 2021 г., быстро размножились и массово покрыли освободившиеся поверхности камней и валунов. Под камнями найдены свободноживущие многощетинковые черви *Glycera capitata* Örsted, 1842, а на уцелевших крупных морских звездах обнаружены комменсалы *Arctonoe vittata* (Grube, 1855). Увеличилась численность форонид *Phoronis* sp. – они повсеместно распространились на опустевших валунах. Активно распространяются колонии инкрустирующих мшанок (на некоторых колониях в 2021 г. были видны зарастающие следы повреждений), однако кустистые формы почти пропали: только местами на глубине около 20 м сохранились колонии *Muriapora orientalis*

(Kluge, 1929) с живыми концами веточек (колонии этой мшанки, растущие на валунах, служат убежищем и субстратом для множества беспозвоночных животных). Лишь в 2022 г. найдена одна колония кустистой мшанки *Carbacea carbacea* (Ellis et Solander, 1786), которая раньше часто встречалась.

Весной 2021 г. наблюдалось очень большое количество бокоплавов (Amphipoda) – видимо, последствия ВЦВ не привели к значительной смертности этих ракообразных, а обилие детрита, образовавшегося в результате гибели гидробионтов, наоборот, привело к вспышке их численности из-за увеличения кормовой базы. Было отмечено большое количество морских козочек *Caprella* sp. необычно крупных размеров, длиной до 5 см – возможно, в отсутствие пресса хищников эти оседлые ракообразные смогли достичь максимальных размеров за осенне-весенний период; они обильно заселили субстрат и поверхности других гидробионтов, многие с потомством. Также стало много раков-отшельников: снижение пресса хищников и обилие освободившихся от погибших моллюсков раковин гастропод способствовали уменьшению конкуренции за них и увеличению численности этих ракообразных. Несмотря на то, что много старых поселений баянусов (разные виды усоногих раков семейства Balanidae) погибло в результате замора 2020 г. – на валунах остались иногда довольно большие площади, покрытые остатками подошвы их известковых домиков, – сейчас очевидно восстановление популяции баянусов: весной 2021 г. твердый субстрат был густо покрыт очень мелкими домиками их молоди, диаметром около 1 мм, которые в 2022 г. выросли примерно до 1 см в диаметре. Численность крабов-декораторов *Oregonia gracilis* Dana, 1851, крабов-стригунов *Chionocetes opilio* (Fabricius, 1788), волосатых

крабов *Telmessus cheiragonus* (Tilesius, 1815) и мелких крабоидов – *Dermaturus mandtii* Brandt, 1850 и подкаменщиков *Haplogaster grebnitzkii* Schalfeew, 1892 – снизилась несущественно; реже стали встречаться ювенильные и взрослые экземпляры камчатского *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) и колючего *Paralithodes brevipes* (Milne Edwardset Lucas, 1841) крабов. Таким образом, ракообразные, по видимому, в целом не сильно пострадали от замора 2020 г., а бокоплав и морские козочки даже значительно увеличили численность. Исключение составляют мелкие донные креветки, которые практически исчезли. Некоторые их виды обитали на актиниях или около них, но после 2020 г. эти виды актиний исчезли или стали более редкими; а из почти десятка разнообразных видов мелких креветок за два года после замора мы не зафиксировали ни одного экземпляра.

Из 14 видов морских звезд, в 2021 г. найдено семь, а в 2022 г. – шесть видов, то есть количество видов сократилось в два раза, а численность уцелевших – снизилась многократно. После замора теперь чаще встречаются *Asterias rathbuni* (Verrill, 1909), особенно молодые и ювенильные экземпляры. Кроме них попадаются *Evasterias echinosoma* Fisher, 1926, *E. retifera* Djakonov, 1938 и *Lethasterias nanimensis chelifera* (Verrill, 1914). У некоторых экземпляров были потеряны 1–2 луча, и весной 2021 г. у морских звезд часто можно было видеть отрастающие недостающие лучи (рис. 3, 2). Ранее многочисленные некрупные виды морских звезд рода *Leptasterias* после замора встречались единично в некоторых погружениях. Единичные экземпляры *Henricia tumida* Verrill, 1909, найденные в 2021 г., в 2022 г. больше не находили. Питающиеся губками виды *Henricia*, как и живородящие морские звезды рода *Pteraster*, видимо, полностью исчезли из-за

отсутствия кормовой базы. На глубине 12 м встречен один экземпляр (первый за два года после замора) многолучевой морской звезды *Solaster endeca* (Linnaeus, 1771). Под камнями и в полостях твердого субстрата встречаются офиуры *Ophiopholis aculeata* (Linnaeus, 1767) – их численность сильно подорвана замором, приведшим к гибели не только самих офиур, но и организмов, служивших им укрытиями, таких как губки и кустистые мшанки. Но все же в 2022 г. эти офиуры стали чаще встречаться, чем в 2021 г., и их «руки», торчащие из разных щелей, стали чаще попадаться на глаза. Крупные морские ежи исчезли полностью, особенно пострадали плоские морские ежи *Echinarachnius parma* (Lamarck, 1816) – только немного мелких экземпляров попадалось в пробах на песчаном грунте. Однако круглые морские ежи рода *Strongylocentrotus* – обычны и даже массовые во многих местах, но крупных экземпляров нет, до 4 см в диаметре. Из голотурий хорошо пережили замор только зарывающиеся в песок *Psolus phantapus* (Strussenfelt, 1765) – есть как очень крупные, так и мелкие молодые экземпляры. Из других видов, обитающих на твердом субстрате, были найдены лишь единичные экземпляры трех видов: *Cucumaria djakonovi* Baranova, 1980, *Cucumaria vegae* Théel, 1886 и крупный красный псолус *Psolus* sp.

Из 19 видов асцидий, в 2021 г. было найдено 10 видов, а в 2022 г. – 11, то есть после замора 2020 г. количество видов сократилось почти в два раза. Колониальные асцидии двух видов практически не пострадали. Так, асцидии *Placentela crystallina* Redikorzev, 1913 весной и в начале лета завершают период размножения и распространения путем фрагментации колоний и остальную часть года находятся в «спящем» состоянии: на субстрате остается

нижняя часть колонии, из которой весной следующего года развиваются новые зооиды. Вероятно, благодаря тому, что колонии этого вида, находящиеся к осени в неактивном состоянии, не отреагировали на воздействие замора в октябре 2020 г., их численность не была подорвана, и весной следующего года это был самый распространенный вид колониальных асцидий (и асцидий вообще). Другой вид, *Aplidiopsis pannosum* (Ritter, 1899), также к осени переходит в спящее состояние: колонии сжимаются, превращаясь в почти бесструктурные гладкие или гранулированные комочки – вероятно, это сезонная реакция, связанная с переходом в спящее состояние на осень – зиму (рис. 3, д, е). Такая особенность биологии, видимо, позволила этому виду, как и *P. crystallina*, пережить замор 2020 г. без потерь – на валунах встречаются очень крупные сплошные обрастания *A. pannosum* площадью более 1 кв. м (рис. 3, д). Возможно, и некоторые виды рода *Aplidium* или других близких родов семейства Polyclinidae могут переходить в такое же «спящее» состояние в осенне-зимний период, и те экземпляры, которые успели это сделать до заморных явлений, вызванных вредоносным цветением микроводорослей, смогли выжить и отродиться весной (рис. 3, ж). Определить достоверно видовую принадлежность колоний в «спящем» состоянии по морфологии невозможно из-за отсутствия нормально развитых зооидов, возможно только применение генетических методов. Исчез самый массовый вид колониальных асцидий, недавно описанный из Авачинского залива, *Aplidium eborinum* Sanamyan et Sanamyan, 2011. Но разрастаются небольшие колонии других типичных для региона асцидий: *Aplidium dissectum* Sanamyan et Sanamyan, 2011, *Aplidium spitzbergenense* Hartmeyer, 1903, *Holozoa okhotensis*

Sanamyan, 2022 и *Synoicum turgens* Phipps, 1774, которые пострадали, но в 2021 г. начали восстанавливаться из стагнирующих остатков колоний. В 2022 г. стал активно разрастаться один вид семейства Didemniidae – *Didemnum gemmiparum* Romanov, 1976, не отмеченный нами в 2021 г., поэтому есть надежда, что его численность восстановится до прежнего уровня. Редкими стали одиночные асцидии в тех местах, где они раньше встречались массово, такие как *Styela clavata* (Pallas, 1774) (сейчас попадаются их единичные экземпляры) или *Dendrodoa aggregata* (Rathke, 1806) (встречаются малочисленные группы обычно мелких экземпляров). В отсутствие губок колониальные асцидии являются теперь доминирующей группой обрастателей наряду с колониями гидроидов.

В отличие от прошлых лет, донные рыбы теперь редко попадают: можно увидеть единичные экземпляры взрослых рыб или мальков бычков (Cottidae) и липарид (Liparidae). Рыбы-лягушки *Aptocyclus ventricosus* (Pallas, 1769), напротив, успешно отнерестились в прибрежье весной: неоднократно встречались взрослые живые и погибшие после нереста экземпляры и, как обычно, большое количество мальков. На активно перемещающихся рыб, таких как терпуги, широколобый окунь, минтай, треска, камбалы, так же как и на морских млекопитающих, замор практически не повлиял [Токранов и др., 2021; Токранов, 2022].

Опубликованный более 30 лет назад в сборнике «Гидробиологические исследования в Авачинской губе» [1989] список содержит 298 видов донных беспозвоночных, из которых наибольшее количество видов определено в классах полихет (63 вида) и ракообразных (89 видов), более половины из которых – амфиподы (43 вида) и изоподы (4 вида), которые в нашем исследовании до видов не определены

и представлены группой. В наших исследованиях большее внимание уделялось другим группам, которые раньше были плохо изучены (губки, актинии, голожаберные моллюски, асцидии) и теперь представлены большим числом видов, чем ранее. Другие опубликованные результаты исследований бентосных сообществ в Авачинском заливе и соседних районах содержат менее детализированные списки видов, а чаще – таксонов высокого уровня [Виноградов, 1949; Кузнецов, 1963; Ошурков, 2000]. Поэтому прежние списки видов оказалось трудно соотнести с настоящими, и в своей оценке состояния биоты мы опирались только на свои данные.

Весной 2021 г., после осеннего замора 2020 г. в результате ВЦВ, жизнь на дне в зоне верхней сублиторали катастрофически обеднела, и по видовому разнообразию, и по биомассе; валуны, лишившиеся обычных обрастателей, выглядели «облысевшими», покрытыми розовой глазурью инкрустирующих кораллиновых водорослей и «пушком» форонид, с редкими пучками колоний гидроидов и полчищами бокоплавов. Водоросли-макрофиты при этом не пострадали [Токранов и др., 2021], на дне наблюдался мощный слой диатомовых водорослей (отдельные клетки можно разглядеть при увеличении макрофотографий). Особенно неожиданным оказалось практически полное исчезновение губок. Эти данные основаны на прямых наблюдениях по большой площади дна и поэтому являются более убедительными, чем данные, которые могли бы быть получены в ходе разбора количественных проб, берущихся с небольших участков дна, ограниченных рамкой. Среди причин тотальной гибели губок одной из важных может быть их механическое загрязнение органическими остатками, поскольку, как отмечает В.В. Ошурков, «многие виды губок

отсутствуют или погибают в местообитаниях с интенсивным выпадением твердых осадков, поэтому по обилию и разнообразию этих животных можно судить об интенсивности седиментарных процессов в различных морских акваториях» [Ошурков, 2000, с. 106]. Крупные и ранее массовые виды губок, такие как *Halichondria panicea*, *Amphilectus digitatus*, являлись важным компонентом сообществ на твердых субстратах и местом обитания или питания для многих донных организмов, и их исчезновение существенно влияет на видовой и количественный состав гидробионтов. Освободившиеся от губок и других обрастателей поверхности камней и валунов, которые видны по отбеленным участкам инкрустирующих кораллиновых водорослей (рис. 3, з) или незаросшим ими очертаниям мест прикрепления погибших гидробионтов, были покрыты розовыми точками (около 1 мм) молодых кораллиновых водорослей и такими же мелкими белыми домиками баянусов, вспышка численности которых, вероятно, произошла из-за того, что вымерли их активные соскабливатели – хитоны, морские блюдечки и др.

В 2022 г. ситуация по биоразнообразию практически не улучшилась: те, кто выжил, заселяют камни, а большинство выбывших видов пока не найдены. Более того, некоторые виды, встречавшиеся в 2021 г., в следующем году исчезли, видимо, из-за подорванной кормовой базы, например, крупные голожаберные моллюски *Tritonia tetraquetra*, питающиеся в основном мягкими кораллами *Gersemia rubiformis*, или морские звезды *Henricia tumida*, питающиеся губками и встречавшиеся в 2021 г. единично; исчезли также криптохитоны *Cryptochiton stelleri*, встречавшиеся в 2021 г. единично в некоторых погружениях. На валунах по-прежнему остаются отбеленные участки инкрусти-

рующих кораллиновых водорослей – незаросшие следы, где росли погибшие губки и другие обрастатели. Но, в соответствии с начальными этапами сукцессии [Ошурков, 2000], камни и валуны очень активно заселяются спирорбинами, баянусами, корковыми мшанками и гидроидами – быстрорастущими прикрепленными организмами. В местах, где каланы выедают морских ежей, разрослись бурые водоросли – образовались молодые ламинариевые «леса» со слоевищами водорослей до 1 м длиной и довольно чистыми, еще без заметных обрастаний, ризоидами.

По итогу двух лет мы видим, что в результате ВЦВ биоразнообразию в исследованном районе нанесен колоссальный ущерб: двукратное сокращение видового состава морских беспозвоночных, сокращение численности большинства оставшихся видов можно оценить по оголившимся валунам до 80–90%; начавшееся заселение освободившегося субстрата указывает на вспышку численности немногих видов, характерных для первичной стадии сукцессии. Хотя в 2022 г. исчезло еще несколько видов, встреченных в начале 2021 г., в целом уже виден тренд на постепенное восстановление биоразнообразия, как в отношении количества видов (рис. 2), так и в увеличении численности и биомассы оставшихся организмов (судя по активному зарастанию поверхности валунов). Вероятно, теперь биота пройдет через «игольное ушко», и выжившие ее представители заселят освободившееся пространство, потеряв, однако, в видовом и внутривидовом (генетическом) разнообразии. Исходя из этого, можно предположить, что в районах, не подвергающихся катастрофическим воздействиям ВЦВ, разнообразие гидробионтов должно быть выше, по крайней мере, в группах, показавших высокую чувствительность к такому воздействию.

У берегов Камчатки в результате ВЦВ погибло большое количество актиний, исчезло более половины их видов, в том числе самый массовый *Cnidopus japonicus*, разноцветные экземпляры которого довольно густо покрывали твердый субстрат в зоне верхней сублиторали практически во всех местах обитания. Этот вид отличается широкая внутривидовая изменчивость окраски: в прикамчатских водах встречались желтые, зеленые, бежевые, коричневые и красные экземпляры, однотонные и с различным сочетанием нерегулярно расположенных пятен на колюмне. Но еще большее разнообразие в расцветке экземпляров этого вида, от почти белой до практически черной, включая все варианты окраски камчатских экземпляров, мы наблюдали у о. Матуа (средние Курильские о-ва), исследованного нами в течение двух экспедиций в 2016 и 2017 гг. Некоторые другие виды также показывают большую изменчивость в окраске островных популяций по сравнению с камчатскими. Например, в прикамчатских водах обитали только однотонные актинии *Urticina timuri* в двух вариантах окраски – темный (коричневый) и светлый (бежево-оранжевый), тогда как у Командорских и Курильских о-вов, кроме этих вариантов, встречалась зеленая и различные сочетания пятнистой окраски колюмна [Санамян, Санамян, 2008, 2020б; Sanamyan, Sanamyan, 2006]. У роющей актинии *Paraedwardsia malakhovi* Sanamyan et Sanamyan, 2021 в камчатской популяции встречался только один тип окраски, а у о. Матуа найдены различные яркие формы [Sanamyan, Sanamyan, 2021]. Такое разнообразие внутривидовых вариаций в окраске и, вероятно, генетическое разнообразие популяции *C. japonicus* и других актиний острова Матуа, по сравнению с камчатской популяцией, можно объяснить отсутствием заморных явлений на

удаленных от материкового стока мелких островах. Они постоянно омываются холодными течениями: температура в верхней сублиторали, по нашим данным, у о. Матуа в августе 2016 и 2017 гг. была 2–7°C; по данным Л.А. Зенкевича [Зенкевич, 1963] также температура в районе Средних Курил в этот период на глубине 10 м ограничена изотермой 8°C. В то же время у побережья Камчатки, как и у других берегов, где имеется поступление питательных веществ в виде материкового стока, возможны прогрев воды, превышающий норму, застойные явления и бурное размножение фитопланктона, в том числе и ВЦВ, могут время от времени происходить заморные явления, вызывая массовую гибель гидробионтов, приводящую к обеднению фауны. Видовое разнообразие некоторых (исследованных) групп беспозвоночных также выше у о. Матуа, чем было до последнего ВЦВ у берегов Камчатки: определено 24 вида губок в верхней сублиторали у о. Матуа против 20 у Юго-Восточной Камчатки, 19 видов (9 семейств) актиний против 16 (7 семейств) и 8 видов (7 родов) голотурий против 6 (4 рода) соответственно [Санамян и др., 2017а; Панина и др., 2017; Санамян, Санамян, 2020а, 2020б]. Таким образом, можно предположить, что виды, которые мы находим на Средних Курилах и которых нет в настоящее время в соседних районах, когда-то ранее могли встречаться в них (в Приморье, у Камчатки), но вымерли вследствие случившихся и ранее из-за «красных приливов» заморы, приводивших к обеднению фауны. Об этом же говорит разорванность ареалов некоторых видов, встречающихся на Средних Курилах и Командорских или Алеутских островах, но достоверно отсутствующих на юго-восточном побережье Камчатки. Так, например, актинии *Paraisanthus tamarae* Sanamyan et Sanamyan, 1998 семейства

Isanthidae и *Acricoactis brachyacontis* Larson, 2016 семейства Acricoactinidae и гидроид *Similiclava nivea* Calder, Choong et McDaniel, 2015 семейства Similiclavidae, ранее описанные с Командорских, Алеутских островов и из Британской Колумбии (соответственно), найдены нами у о. Матуа, но отсутствуют в прикамчатских водах, так же как и эти три семейства [Санамян, Санамян, 2020б, 2020в; Санамян и др., 2017б]. С другой стороны, к местам материкового стока приспособились другие виды, особенно некоторые крупные фильтраторы и сестонофаги, такие как актинии метридиумы (массовые в прибрежье Камчатки и Приморья) или крупные одиночные асцидии, которых нет в районе Средних Курил [Санамян и др., 2016].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После заморных явлений, произошедших в результате ВЦВ осенью 2020 г., в верхней сублиторали в прибрежье Юго-Восточной Камчатки произошло обеднение фауны как по биомассе, так и по количеству видов – почти двукратное сокращение видового разнообразия. Выжившие организмы при наличии кормовой базы восстанавливают численность, а некоторые группы даже увеличили: из ракообразных – бокоплавы и морские козочки, благодаря увеличению органической взвеси и детрита и снижению пресса хищников, а отшельники – также из-за снижения конкуренции за освобожденные раковины гастропод.

Из уцелевших после замора 2020 г. видов менее половины показывают частую или обычную встречаемость (см. табл.) и не вызывают опасений за их выживание. Но более половины уцелевших видов встречались единично или редко – их дальнейшая выживаемость еще под вопро-

сом, и в любом случае их внутривидовое разнообразие будет снижено.

На освободившемся субстрате идут начальные стадии сукцессии: поверхности заселяются за счет пелагических личинок и спор быстрорастущими сессильными (прикрепленными) видами, такими как спирорбины, баянусы, кораллиновые багрянки и другие водоросли. Корковые мшанки и гидроиды заполняют освобожденные места, путем педальной лацерации распространяются метридиумы. Распространяются вагильные (двигающиеся) организмы, питающиеся на них или ими – моллюски, ракообразные, иглокожие.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую благодарность коллективу ООО «Подводсервис» за многолетнее сотрудничество и обеспечение выходов в море и водолазных работ, участникам 20-й и 21-й Камчатско-Курильской экспедиции Минобороны России и Русского географического общества и Экспедиционному научному центру Министерства обороны за помощь в проведении полевых работ на о. Матуа, А.В. Мартынову за определение голожаберных моллюсков и анонимным рецензентам за исправления и рекомендации.

Работа выполнялась в рамках программы исследований «Мониторинг качественных и количественных показателей биоты прибрежной зоны Юго-Восточной Камчатки для оценки динамики восстановления морских сообществ, включая выяснение причин гибели морских млекопитающих на побережье Камчатского п-ова в 2022 году».

ЛИТЕРАТУРА

Виноградов К.А. 1949. Зоогеографический очерк прибрежной морской фауны Юго-Восточной

- Камчатки. *Зоологический журнал*. Т. 28. № 1. С. 99–101.
- Гидробиологические исследования в Авачинской губе. 1989. Отв. ред. О.Г. Кусакин. Владивосток: ДВО АН СССР. 136 с.
- Данилин Д.Д., Будникова Л.Л., Сахаровский С.И. и др. 2021. Предварительные результаты обследования литоральной зоны Южно-Камчатского природного парка. *Материалы международной научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей»*, посвященной 120-летию со дня рождения известного камчатского учёного-ихтиолога, одного из организаторов регулярных исследований биологии и состояния запасов морских промысловых рыб у берегов Камчатки, почётного гражданина Петропавловска-Камчатского к.б.н. И.А. Полутова. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 184–189.
- Зенкевич Л.А. 1963. Биология морей СССР. Москва: АН СССР. 440 с.
- Коновалова Г.В. 1995. Красные приливы у Восточной Камчатки: Атлас-справочник. Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камшат». 56 с.
- Коновалова Г.В. 1998. Динофлагелляты (Dinophyta) дальневосточных морей России и сопредельных акваторий Тихого океана. Владивосток: Дальнаука. 300 с.
- Коновалова Н.В., Могильникова Т.А. 2006. Токсичный фитопланктон и содержание биотоксинов в тканях гребешка. *Фундаментальные исследования*. № 9. С. 100–103.
- Кузнецов А.П. 1963. Фауна донных беспозвоночных прикамчатских вод Тихого океана и северных Курильских островов. Москва: АН СССР. 272 с.
- Ошурков В.В. 2000. Сукцессии и динамика эпибентосных сообществ верхней сублиторали бореальных вод. Владивосток: Дальнаука. 206 с.
- Ошурков В.В., Бажин А.Г., Буяновский А.И. и др. 1989. Видовой состав и распределение сообществ бентоса в Авачинской губе (Восточная Камчатка). Гидробиологические исследования в Авачинской губе. Владивосток: ДВО АН СССР. С. 4–14.
- Панина Е.Г., Степанов В.Г., Санамян Н.П., Санамян К.Э. 2017. Морские ежи и голотурии острова Матуа (Курильские острова). *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 41. С. 62–71.
- Санамян Н.П., Санамян К.Э. 2008. Мелководные актинии (Cnidaria: Actiniaria) юго-восточного побережья Камчатки. *Зоология беспозвоночных*. Т. 5. № 2. С. 155–172.
- Санамян К.Э., Санамян Н.П. 2020а. Губки (тип Porifera). Флора и фауна острова Матуа (средние Курильские острова). Атлас-определитель. Т. 1. Море. Череповец: ООО «Интрон». С. 8–57.
- Санамян Н.П., Санамян К.Э. 2020б. Актинии (коралловые полипы отряда Actiniaria). Флора и фауна острова Матуа (средние Курильские острова). Атлас-определитель. Т. 1. Море. Череповец: ООО «Интрон». С. 58–97.
- Санамян К.Э., Санамян Н.П. 2020в. Медузы и гидроиды (книдарии классов Scyphozoa, Staurozoa и Hydrozoa). Флора и фауна острова Матуа (средние Курильские острова). Атлас-определитель. Т. 1. Море. Череповец: ООО «Интрон». С. 108–135.
- Санамян Н.П., Санамян К.Э., Панина Е.Г. 2016. Предварительные данные о фауне актиний (Cnidaria: Actiniaria) прибрежных вод о. Матуа (Курильские о-ва). *Материалы международной научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей»*, посвященной 25-летию организации Камчатского института экологии и природопользования ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 356–358.
- Санамян К.Э., Санамян Н.П., Панина Е.Г. 2017а. Первые сведения о фауне губок (тип Porifera) прибрежных вод острова Матуа (средние Курильские острова). *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 41. С. 72–82.
- Санамян Н.П., Санамян К.Э., Панина Е.Г. 2017б. Новое семейство для фауны актиний (Cnidaria: Actiniaria) российских вод (о. Матуа, Курильские острова). *Материалы международной научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей»*, посвященной 70-летию со дня рождения доктора биологических наук П.А. Хоментовского. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 473–475.
- Сидоров К.С., Бурдин А.М. 1986. Исследование кормовых ресурсов камчатской популяции калана. Научно-исследовательские работы по морским млекопитающим северной части Тихого океана в 1984/85 г. Москва: ВНИРО. С. 107–116.
- Токранов А.М. 2022. Состав прибрежной ихтиофауны юго-восточной Камчатки после вредоносного цветения водорослей осенью 2020 г. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 59. С. 38–48. DOI: 10.17217/2079-0333-2022-59-38-48
- Токранов А.М., Данилин Д.Д., Жигадлова Г.Г. и др. 2021. Оценка воздействия возникшей

осенью 2020 г. у берегов Камчатки неблагоприятной экологической обстановки на представителей различных групп гидробионтов. *Труды Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)» Том II (III): Сборник*. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС». С. 93–96.

Bondur V.G., Zamshina V.V., Chvertkova O.I. 2021. Space Study of a Red Tide-Related Environmental Disaster near Kamchatka Peninsula in September – October 2020. *Doklady Rossiiskoi Akademii Nauk. Nauki o Zemle*. Vol. 497. № 1. P. 83–90.

Jurgens L.J., Rogers-Bennett L., Riamondi P.T. et al. 2015. Patterns of Mass Mortality among Rocky Shore Invertebrates across 100 km of Northeastern Pacific Coastline. *PLoS ONE*. Vol. 10. № 6. e0126280.

Orlova T.Y., Aleksanin A.I., Lepskaya T.V. et al. 2022. A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020. *Harmful Algae*. Vol. 120. Art. № 102337.

Sakamoto S., Lim W.A., Lu D. et al. 2021. Harmful algal blooms and associated fisheries damage in East Asia: current status and trends in China, Japan, Korea and Russia. *Harmful Algae*. Vol. 102. Art. № 101787.

Sanamyan N.P., Sanamyan K.E. 2006. The genera *Urticina* and *Cribrinopsis* (Anthozoa: Actiniaria) from the North-Western Pacific. *Journal of Natural History*. Vol. 40. № 7–8. P. 359–393.

Sanamyan N.P., Sanamyan K.E. 2021. *Paraedwardsia malakhovi*, a new burrowing sea anemone (Actiniaria: Edwardsiidae) from Kamchatka and Kuril Islands. *Invertebrate Zoology*. Vol. 18. № 3. P. 332–344.

REFERENCES

Vinogradov K.A. 1949. Zoogeographic sketch of the coastal marine fauna of South-Eastern Kamchatka. *Zoologicheskij zhurnal (Zoological journal)*. T. 28. № 1. P. 99–101 (in Russian).

Hydrobiological research in Avacha Bay. 1989. (Editor-in-chief O.G. Kusakin). Vladivostok: FEB AN USSR. 136 p. (in Russian).

Danilin D.D., Budnikova L.L., Sakharovsky S.I. et al. 2021. Preliminary results of the survey of the littoral zone of the South Kamchatka Natural Park. *Proceedings of International scientific conference “Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters”*, dedicated to the 120th anniversary of the famous Kamchatka ichthyologist, one of the organizers of regular researches of biology

and state of sea commercial fishes near coasts of Kamchatka. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress Publ. P. 184–189 (in Russian).

Zenkevich L.A. 1963. Biology of the seas of the USSR. Moscow: AN SSSR. 440 p. (in Russian).

Konovalova G.V. 1995. Red tides near Eastern Kamchatka (Atlas-reference book). Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamshat Publ. 56 p. (in Russian).

Konovalova G.V. 1998. Dinoflagellates (Dinophyta) of the Far Eastern seas of Russia and adjacent waters of the Pacific Ocean. Vladivostok: Dalnauka Publ. 300 p. (in Russian).

Konovalova N.V., Mogilnikova T.A. 2006. Toxic phytoplankton and biotoxin content in scallop tissues. *Fundamental'nye issledovaniya (Fundamental Research)*. № 9. P. 100–103 (in Russian).

Kuznetsov A.P. 1963. Fauna of benthic invertebrates of the Kamchatka waters of the Pacific Ocean and the northern Kuril Islands. Moscow: AN USSR. 272 p. (in Russian).

Oshurkov V.V. 2000. Successions and dynamic of epibenthic communities from the boreal upper subtidal zone. Vladivostok: Dalnauka Publ. 206 p. (in Russian).

Oshurkov V.V., Bazhin A.G., Buyanovsky A.I. et al. 1989. Species composition and distribution of benthic communities in Avacha Bay (Eastern Kamchatka). Hydrobiological research in Avacha Bay. Vladivostok: FEB AN USSR. P. 4–14 (in Russian).

Panina E.G., Stepanov V.G., Sanamyan N.P., Sanamyan K.E. 2017. Sea urchins and sea cucumbers from Matua Island (Kuril Islands). *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 41. P. 62–71 (in Russian).

Sanamyan N.P., Sanamyan K.E. 2008. Shallow water anemones (Cnidaria: Actiniaria) from southeastern coast of Kamchatka. *Zoologiya bespozvonochnyh (Invertebrate Zoology)*. T. 5. № 2. P. 155–172 (in Russian).

Sanamyan K.E., Sanamyan N.P. 2020a. Sponges (Porifera). Flora and fauna of Matua Island (middle Kuril Islands). The field guide. Vol. 1. Sea. Cherepovets: ООО “Intron”. P. 8–57 (in Russian).

Sanamyan N.P., Sanamyan K.E. 2020b. Sea anemones (coral polyps of the order Actiniaria). Flora and fauna of Matua Island (middle Kuril Islands). The field guide. Vol. 1. Sea. Cherepovets: ООО “Intron”. P. 58–97 (in Russian).

Sanamyan K.E., Sanamyan N.P. 2020b. Jellyfish and hydroids (cnidarians of the classes Scyphozoa, Staurozoa and Hydrozoa). Flora and fauna of Matua Island (middle Kuril Islands). The field

- guide. Vol. 1. Sea. Cherepovets: OOO "Intron". P. 108–135 (in Russian).
- Sanamyan N.P., Sanamyan K.E., Panina E.G. 2016. Preliminary data on the fauna of sea anemones (Cnidaria: Actiniaria) of Matua Island (Kuril Islands). *Proceedings of the International Scientific Conference "Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters"* dedicated to the 25th anniversary of Kamchatka Research Institute of Ecology and Management FEB RAS. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress Publ. P. 356–358 (in Russian).
- Sanamyan K.E., Sanamyan N.P., Panina E.G. 2017a. First information on the fauna of sponges (Porifera) of coastal waters Matua Island (middle Kuril Islands). *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 41. P. 72–82 (in Russian).
- Sanamyan N.P., Sanamyan K.E., Panina E.G. 2017b. The new family of Actiniaria (Cnidaria) in Russian waters (Matua Island of Kuril Islands). *Proceedings of the International Scientific Conference "Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters"*, dedicated to the 70th anniversary of P.A. Komentovskiy's birthday. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress Publ. P. 473–475 (in Russian).
- Sidorov K.S., Burdin A.M. 1986. Study of food resources of the Kamchatka sea otter population. Research work on marine mammals of the northern part of the Pacific Ocean in 1984/85. Moscow: VNIRO. P. 107–116 (in Russian).
- Tokranov A.M. 2022. Composition of the coastal ichthyofauna of the South-Eastern Kamchatka after harmful algal bloom in autumn 2020. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Issue 59. P. 38–48. DOI: 10.17217/2079-0333-2022-59-38-48 (in Russian).
- Tokranov A.M., Danilin D.D., Zhigadlova G.G. et al. 2021. Evaluation of the affect of negative ecological situation arisen near coasts of Kamchatka in autumn 2020 to different groups of hydrobionts. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Marine Research and Education (MARESEDU-2021)"* Vol. II (III): Collection. Tver: OOO "PolyPRESS". P. 93–96 (in Russian).
- Bondur V.G., Zamshina V.V., Chvertkova O.I. 2021. Space Study of a Red Tide-Related Environmental Disaster near Kamchatka Peninsula in September – October 2020. *Doklady Rossiiskoi Akademii Nauk. Nauki o Zemle*. Vol. 497. № 1. P. 83–90.
- Jurgens L.J., Rogers-Bennett L., Riamondi P.T. et al. 2015. Patterns of Mass Mortality among Rocky Shore Invertebrates across 100 km of North-eastern Pacific Coastline. *PLoS ONE*. Vol. 10. № 6. e0126280.
- Orlova T.Y., Aleksanin A.I., Lepskaya T.V. et al. 2022. A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020. *Harmful Algae*. Vol. 120. Art. № 102337.
- Sakamoto S., Lim W.A., Lu D. et al. 2021. Harmful algal blooms and associated fisheries damage in East Asia: current status and trends in China, Japan, Korea and Russia. *Harmful Algae*. Vol. 102. Art. № 101787.
- Sanamyan N.P., Sanamyan K.E. 2006. The genera *Urticina* and *Cribrinopsis* (Anthozoa: Actiniaria) from the North-Western Pacific. *Journal of Natural History*. Vol. 40. № 7–8. P. 359–393.
- Sanamyan N.P., Sanamyan K.E. 2021. *Paraedwardsia malakhovi*, a new burrowing sea anemone (Actiniaria: Edwardsiidae) from Kamchatka and Kuril Islands. *Invertebrate Zoology*. Vol. 18. № 3. P. 332–344.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Санамян Надежда Павловна – Камчатский филиал Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник; actiniaria@sanamyan.com. SPIN-код: 9152-0973, Author ID: 84633; Scopus ID: 35616434400; ORCID: 0000-0002-9987-0668.

Sanamyan Nadezhda Pavlovna – Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences; Leading Researcher; actiniaria@sanamyan.com. SPIN-код: 9152-0973, Author ID: 84633; Scopus ID: 35616434400; ORCID: 0000-0002-9987-0668.

Коробок Александр Валерьевич – Камчатское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; 683023, Россия, Петропавловск-Камчатский; начальник отдела; alex_korobok@mail.ru.

Korobok Alexander Valeryevich – Kamchatka Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring; 683023, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Head of Department; alex_korobok@mail.ru.

Санамян Карэн Эдуардович – Камчатский филиал Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; старший научный сотрудник; ascidiacea@sanamyan.com. SPIN-код: 5218-4438, Author ID: 79998; Scopus ID: 6602501578; ORCID: 0000-0002-7460-3985.

Sanamyan Karen Eduardovich – Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Senior Researcher; ascidiacea@sanamyan.com. SPIN-код: 5218-4438, Author ID: 79998; Scopus ID: 6602501578; ORCID: 0000-0002-7460-3985.

ПИЩЕВЫЕ ОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ПЕЛАГИЧЕСКИМИ ЛИЧИНКАМИ РЫБ И ПЛАНКТОННЫМИ ОРГАНИЗМАМИ В ПРИКАМЧАТСКИХ ВОДАХ

Григорьев С.С.¹, Седова Н.А.²

¹ Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, 6.

² Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35.

По материалам икhtiопланктонных съемок рассмотрены пищевые отношения между личинками рыб и организмами зоопланктона в морских водах вблизи полуострова Камчатка, а также изменения рациона питания личинок рыб в прикамчатских водах. В весенний период наиболее подходящими кормовыми организмами для мелких личинок рыб будут личинки полихет, науплии Cirripedia и Calanoida, мелкие формы веслоногих, мелкие ракушковые раки и моллюски, молодь бокоплавов. В начале лета доступны также личинки полихет, науплии усонюгих и веслоногих раков, мелкие формы Cladocera и Calanoida. Для более крупных личинок основные кормовые организмы – фурцилии и калиптописы эвфаузиид, мелкие личинки Decapoda. Во второй половине лета подросшим личинкам многих рыб доступны более крупные формы в основном этих же организмов. Показана связь между распределением личинок морских рыб и организмов зоопланктона. Составлен список доступных кормовых организмов для личинок рыб во время пелагического развития. Выделены три основные трофические группировки личинок рыб.

Ключевые слова: зоопланктон, копеподы, кормовые организмы, личинки рыб, науплии, питание.

NUTRITIONAL RELATIONSHIPS BETWEEN FISH PELAGIC LARVAE AND PLANKTONIC ORGANISMS IN ADJACENT KAMCHATKA WATERS

Grigorev S.S.¹, Sedova N.A.²

¹ Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Partizanskaya Str. 6.

² Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya Str. 35.

The nutritional relations between fish larvae and zooplankton organisms in marine waters off Kamchatka Peninsula based on the ichthyoplankton samples as well as changes in the diet of fish larvae in Kamchatka waters are considered. In spring, the most suitable food organisms for small fish larvae are polychaeta larvae, Cirripedia and Calanoida nauplii, small forms of copepods, mollusks, juveniles of amphipods. In early summer larvae of Polychaeta, nauplii of Cirripedia and Calanoida, small forms of Cladocera and Copepoda are also available. The main forage organisms for larger larvae are furcilia and calyptopis of euphausiids, small larvae of Decapoda. In the second half of summer, larger forms, mainly of the same organisms, are available for late larvae of many fishes. The relationship between the distribution of marine fish larvae and zooplankton organisms is shown. A list of available food organisms for fish larvae during pelagic development has been compiled. Three main trophic groups have been proposed.

Key words: zooplankton, copepods, food organisms, fish larvae, nauplii, nutrition.

ВВЕДЕНИЕ

Воды северо-западной части Тихого океана имеют высокую продуктивность, которую обеспечивают относительная мелководность, обширная шельфовая зона, смешение теплых и холодных вод, круговые течения по краям мощных потоков и на границах теплых и холодных вод. Обильное развитие кормовой базы этого региона создает условия для массового развития многих промысловых рыб. Формирование численности поколений во многом зависит от условий выживания на ранних стадиях развития. Согласно гипотезе критического периода [Hjort, 1926], смертность рыб в начале экзогенного периода особенно велика, и судьба годового класса зависит от присутствия кормовых объектов в достаточном количестве. Условия обитания в личиночный период, и в частности обеспеченность пищей, влияют на урожайность поколений рыб [Никольский, 1949]. Замечено, что когда продукция икры и личинок рыб и продукция зоопланктона совпадают во времени, наблюдаются значительные пополнения рыбных запасов [Павлов, 2010].

Для изучения динамики численности отдельных видов ихтиофауны все большее значение приобретает экосистемный подход [Augerot, 2005]. Раннее развитие морских рыб происходит вместе с другими организмами в планктонном сообществе. От состояния последнего во многом зависит выживаемость личинок рыб, которая определяется, прежде всего, обеспеченностью пищей в виде мелких планктонных организмов, конкуренцией в питании с другими гидробионтами и хищничеством рыб и макропланктона.

При проведении ихтиопланктонных исследований по общепринятой методике [Расс, 1965; Рекомендации по сбору..., 1987] из ихтиопланктонных проб выбирают толь-

ко икринки и личинки рыб, которые составляют обычно лишь незначительную часть улова ихтиопланктонной сети. Основное же содержание улова – обильный зоопланктон – как правило, выбрасывают. Принято считать, что зоопланктон, улавливаемый ихтиопланктонной сетью, не представляет интереса для гидробиологических исследований, так как мелкие организмы проходят через ячейку шагом 0,5 мм. Наши предыдущие исследования показали, что размер ячеек ихтиопланктонной сети позволяет улавливать основную массу организмов зоопланктона длиной от 1,2 мм и более, то есть основные кормовые объекты молоди рыб [Григорьев, 2004; Григорьев, Седова, 2004]. При большой плотности мелких организмов по уловам ихтиопланктонной сети можно судить о наличии в планктоне более мелких организмов: ракушковых раков, мелких копепод, науплиусов и калиптописов эвфаузиид, личинок иглокожих, науплиусов усоногих раков, крупных форм ветвистоусых, аппендикулярий, личинок двустворчатых и брюхоногих моллюсков [Grigorev, Sedova, 2003]. Сравнение уловов ихтиопланктонной сети с уловами сети Джеди (БСД) показало, что ихтиопланктонная сеть улавливает кормовой зоопланктон не хуже, а в некоторых случаях даже лучше [Седова, Григорьев, 2005, 2006].

Доступность пищи определяется не столько длиной кормовых организмов, сколько толщиной их тела. По мере роста личинок доля более крупных организмов в рационе увеличивается, что может быть связано с увеличением энергетических потребностей личинок. Размеры жертвы связаны с морфологией личинок, особенно с размером рта, который функционирует как «фильтр» для определения размера добычи [Hunter, 1981].

Цель работы – изучить пищевые отношения между личинками рыб и организмами

зоопланктона в морских водах вблизи полуострова Камчатка. Для этого требовалось выявить связь между качественным составом зоопланктона и спектром питания личинок рыб, а также определить доступность кормовых организмов для личинок морских рыб при переходе на внешнее питание во время пелагического развития.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для изучения пищевых отношений личинок рыб и планктонных организмов послужили сборы планктона, выполненные по научной программе КамчатНИРО в восточной части Охотского моря весной 2001, 2002 и летом 1999, 2001, 2002, 2013, 2015, 2016 гг., осенью 1999 г., а также в тихоокеанских водах у восточного побережья Камчатки и северных Куриль-

ских островов весной 2002 г. (рис. 1). Над глубинами 12–1 700 м использовали икhtiопланктонную коническую сеть ИКС-80 с диаметром входного отверстия 80 см и шагом ячеи 0,56 мм. Выполняли вертикальный тотальный лов в слое 500–0 м и от дна до поверхности при меньших глубинах. Как исключение проводили ловы и на других горизонтах. Иногда этой же сетью во время траловых съемок выполняли станции в местах тралений (при-траловые станции). Все расчеты, основанные на результатах ловов сети ИКС-80, традиционно проводили без учета коэффициента уловистости этой сети. Пробы фиксировали 4%-ным формалином и доставляли на берег. Всего для изучения условий среды было обработано 1 129 гидробиологических и икhtiопланктонных проб (табл. 1).

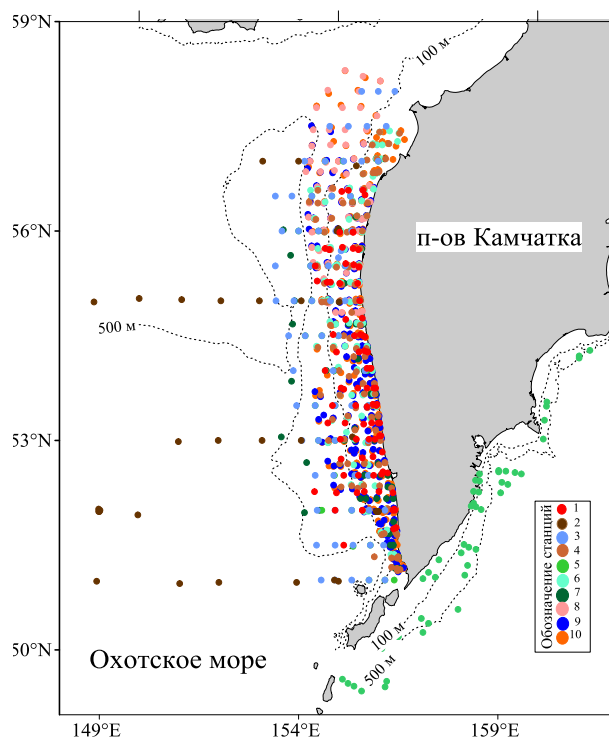


Рис. 1. Схема распределения икhtiопланктонных станций в восточной части Охотского моря в период с 1999 по 2016 гг. Обозначения: 1 – 15 июля – 19 августа 1999 г., 2 – 6–30 сентября 1999 г., 3 – 9–29 апреля 2001 г., 4 – 2 июля – 5 августа 2001 г., 5 – 13–29 апреля 2002 г., 6 – 15 июля – 12 августа 2002 г., 7 – 3 сентября – 10 октября 2003 г., 8 – 31 июля – 11 августа 2013 г., 9 – 6 июня – 2 июля 2015 г., 10 – 2 июня – 2 июля 2016 г.

Fig. 1. Scheme of ichthyoplankton stations distribution in eastern part of Okhotsk Sea from 1999 to 2016. Designations: 1 – 15 July – 19 August 1999, 2 – 6–30 September 1999, 3 – 9–29 April 2001, 4 – 2 July – 5 August 2001, 5 – 13–29 April 2002, 6 – 15 July – 12 August 2002, 7 – 3 September – 10 October 2003, 8 – 31 July – 11 August 2013, 9 – 6 June – 2 July 2015, 10 – 2 June – 2 July 2016

Таблица 1. Материал, использованный для изучения зоопланктона в период раннего пелагического периода развития морских рыб в восточной части Охотского моря

Table 1. Material used to study zooplankton during the early pelagic period of marine fishes development in the eastern part of the Okhotsk Sea

Научное судно	Сроки	Глубина моря, м	Кол-во проб
СРТМ-К «Шурша»	15.07–19.08.1999	15–300	85
СТР «Семигорск»	06–30.09.1999	26–1 450	41
БАТМ «Сероглазка»	09–29.04.2001	30–850	69
СРТМ-К «Пограничник Петров»	02.07–05.08.2001	15–210	107
СТР «Карымский»	13–29.04.2002	30–1 700	83
СТР «Сопочное»	15.07–12.08.2002	15–200	93
СРТМ-К «Панкара»	03.09–10.10.2003	15–845	74
НИС «Проф. Пробатов»	31.07–11.08.2013	12–568	84
НИС «Проф. Кизеветтер»	06.06–2.07.2015	15–559	247
МРТК-316	02.06–02.07.2016	15–569	246
Всего	1999–2016	12–1 700	1 129

Систематическое положение планктонных морских организмов определяли с учетом современной базы данных [World Register of Marine Species]. Для определения видового состава зоопланктона использовали определители для прикамчатских вод и для дальневосточных морей [Бродский и др., 1983; Виноградов и др., 1982; Marchaseva, 1996; Petryashov et al., 2007].

В каждой пробе определяли количественный состав организмов зоопланктона. Зоопланктон разделяли на три размерные группы (фракции): мелкую (организмы длиной тела 0,1–0,5 мм), среднюю (0,6–2 мм) и крупную (более 2 мм). Использовали длину личинок рыб до конца нотохорда (*NL*).

Исходя из доступности кормовых организмов для рыб [Пономарева, 1963], а также основываясь на исследованиях по питанию личинок сайки [Боркин, 2013] и других видов рыб из прикамчатских вод [Максименков, 2007], определен размер кормовых организмов для ранних личинок рыб. Эта величина должна быть от 12 до 40 раз меньше длины тела. По уловам сетей ИКС-80 определен таксономический состав кормовых организмов для личинок рыб разной длины.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При оценке питания гидробионтов нельзя исходить только из данных о количестве пищи. Пищевые отношения – это сложное биологическое явление. Потребляющие животные и потребляемые организмы связаны не простой количественной связью, а взаимопротиворечивыми отношениями добывания и избегания, проявляющимися в самых разнообразных формах адаптаций. Поведение потребителей корма складывается на основе приемов овладения жертвой и одновременно сохранения себя от уничтожения хищниками. Если у потребителей живых организмов в процессе эволюции выработались адаптации к овладению добычей, то у организмов, используемых в пищу, появились приспособления, снижающие выедание. Создается своеобразная система, в которой трофические отношения взаимосвязаны и взаимообусловлены [Константинов, 1986].

Важнейшее значение имеют пищевые взаимоотношения рыб на ранних стадиях развития с другими планктонными организмами. При изучении пищевых отношений обычно рассматривают три направления: 1) активная или пассивная борьба за пищу,

2) внутривидовая и межвидовая конкуренция, 3) отношения хищник – жертва. Такую систему отношений называют «тройф» [Мантейфель, 1961].

Для определения положения вида в экосистеме принято использовать термин «экологическая ниша», который характеризует роль вида в сообществе или адаптации к условиям внешней среды. Факторы окружающей среды, действующие на вид, многообразны. Каждый вид в процессе эволюции выбирает оптимальные условия существования, чтобы занять определенную экологическую нишу. Комплекс факторов, определяющих пищевые отношения, составляет трофическую нишу, которая определяет взаимоотношения вида с его пищей и хищниками [Хлебосолов, 2002].

Особенности питания личинок рыб

Рыбы используют различные способы адаптации к условиям питания. Они могут различаться по характеру питания, длине кишечника, структуре ротового аппарата, и т. д. Личинки большинства видов ведут пелагический образ жизни и питаются мелкими планктонными организмами. Исследования показывают широкую пластичность личинок рыб и приспособленность их к питанию различными водными гидробионтами [Дука, Синюкова, 1976]. Поэтому при оценке состояния кормовой базы личинок рыб важна оценка качественного состава зоопланктона. Статус развития пищеварительной системы личинок первого питания определяет возможность личинок переваривать проглоченную пищу. Например, у лососевых мальков с начала питания уже есть хорошо развитый пищеварительный тракт с функционирующими ферментными системами, которые позволяют переваривать мелкий корм при первом питании. Многие другие личинки рыб не имеют функцио-

нального желудка, а имеют в начале питания только короткий пищеварительный тракт с несколькими функциональными ферментными системами [Lavens, Sorgeloos, 1996]. Отсюда следует, что эти личинки рыб должны полагаться на источник пищи, который: 1) является хотя бы частично и легко усваиваемым (т. е. корм должен содержать большое количество свободных аминокислот и олигопептидов вместо неперевариваемых сложных белковых молекул), 2) содержит ферментные системы, которые позволяют автолиз (т. е. самоуничтожение частицы пищи), и 3) поставляет в избытке все необходимые питательные вещества, необходимые охотящимся личинкам. На рисунке 2 показано обобщенное онтогенетическое развитие пищеварительного тракта на примере минтая.

Замечена избирательность в пищевом поведении личинок рыб разных систематических групп. Живые кормовые организмы удовлетворяют всем необходимым критериям для мелких личинок. Однако для того, чтобы личинка могла проглотить пищу, ее сначала необходимо заметить, а значит, решающее значение имеют органы чувств (глаза, органы обоняния, вкусовые рецепторы, боковая линия). Глаза личинок рыб обычно содержат только колбочки на сетчатке, что приводит к плохой видимости, тогда как глаза молодых рыб также содержат палочки с большим количеством визуальных пигментов на сетчатке [Lavens, Sorgeloos, 1996]. Более того, живые кормовые организмы обычно гораздо лучше заметны, чем неподвижные. Плавательная активность живых пищевых организмов обычно обеспечивает хорошее распределение пищевых продуктов в толще воды, что, в свою очередь, способствует более частым встречам с развивающимися личинками, которые в большинстве случаев имеют низкую подвижность.

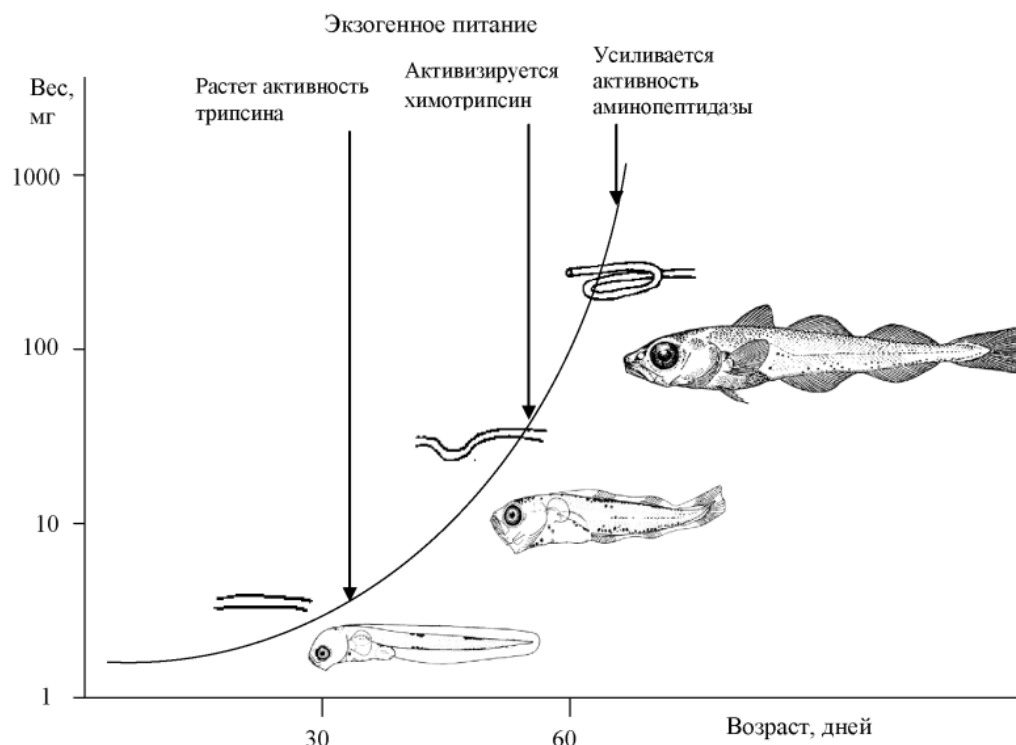


Рис. 2. Обобщенное онтогенетическое развитие пищеварительного тракта у минтая *Gadus chalcogrammus*

Fig. 2. Generalized ontogenetic development of the pollock *Gadus chalcogrammus* digestive tract

Личинки рыб – зоофаги [Дука, Синюкова, 1976]. Кормом для личинок морских рыб служит зоопланктон. В течение первых 10–20 суток жизни рыбы питаются зоопланктонными организмами: инфузориями, коловратками, науплиусами веслоногих и усконогих раков, а также трохофорами моллюсков, личинками полихет, мелкими остракодами и другими мелкими гидробионтами. В начальный личиночный период концентрация кормовых организмов должна быть наиболее высокой. Недостаточная плотность зоопланктона в период развития личинок вызывает их гибель от голода. По мере роста личинки делают-ся более подвижными и потребляют относительно более крупные организмы, концентрация которых может быть меньше, чем мельчайшего начального корма. Состояние кормовой базы личинок, их обеспеченность пищей в этот период в значительной степени определяют их выжива-

ние и, следовательно, численность последующих поколений [Дехник, Синюкова, 1976; Костюченко, Павловская, 1979; Вдович и др., 2007].

Сведений о составе пищи ранних стадий развития рыб, обитающих в морских прикамчатских водах, для большинства видов немного, особенно в начальный период жизни. В основном они касаются наиболее важных для промысла видов: минтая [Максименков, 1991; Горбатенко и др., 2004], сельди [Покровская, 1957; Максименков, 1984], камбал [Максименков, 1994]. В Охотском море определены суточные рационы личинок массовых видов рыб в летне-осенний период 2003–2004 гг. [Давыдова и др., 2007]. Показано, что состав пищи личинок рыб зависит от состава планктона, а проявление избирательности по мере роста личинок определяется размерами, обилием и активностью пищевых организмов [Андреева, Шебанова, 2010].

Пищевой спектр личинок рыб в прикамчатских водах включает более 20 разноразмерных планктеров. Представители мелкой фракции зоопланктона используются рыбами на личиночной и мальковой стадиях. Независимо от видовой принадлежности, общими для всех рыб кормовыми объектами являются веслоногие ракообразные *Pseudocalanus minutus* (Krøyer, 1845) и *Oithona similis* Claus, 1866 [Давыдова и др., 2007].

Сложившееся мнение, что основу питания личинок минтая длиной 4–6 мм составляет фитопланктон [Горбатенко и др., 2004], представляется ошибочным. Для питания фитопланктоном требуется соответственно развитый кишечник, чего у ранних личинок нет. Даже типичный фитопланктофаг, белый толстолобик, *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844), в личиночный период развития питается зоопланктоном [Yi, 2006]. Ранние личинки рыб вместе с зоопланктоном могут случайно захватывать микроскопические водоросли, но основу питания растительные клетки составлять не могут [Пономарев, Шадрин, 2014]. Основную пищу личинок минтая составляет зоопланктон. По мере роста пищевой спектр личинок изменяется от мелких к более крупным объектам. Есть сведения, что личинки минтая переходят на питание крупным зоопланктоном уже при достижении длины 20–30 мм [Горбатенко и др., 2004]. Личинки минтая размером 31 мм могут потреблять жертву длиной 6 мм [Чучукало и др., 1999; Кузнецова, 2004].

В юго-восточной части Берингова моря во всех наблюдениях за питанием личинок минтая и концентрацией кормовых организмов процент питающихся личинок находился в широком диапазоне. Результаты показывают, что личинки могут успешно начать питание при обычных концентрациях планктона в море. Скорость пере-

варивания личинок минтая в начале питания науплиусов копепод составляет в среднем пять часов. При увеличении концентрации науплиусов повышается количество питающихся личинок [Paul, 1983].

В начальный период развития личинки сельди питаются мелкими формами зоопланктона: копеподами I–II стадии *Copepoda*, личинками *Cirripedia*, ветвистоусыми рачками *Podon leuckartii* (G.O. Sars, 1862) и яйцами копепод и эвфаузиид. Мальки сельди питаются копеподами, изоподами, мизидами, личинками эвфаузиид и десятиногих раков [Максименков, 1984; Кузнецова, 2004].

Большое значение имеют копеподы для молоди мойвы, содержание их уменьшается по мере роста рыб. Среди копепод в Беринговом море в желудках мойвы обычно доминирует *Metridia pacifica* Brodsky, 1950, которая в Охотском море заменяется эндемиком этой акватории *M. okhotsensis* Brodsky, 1950. Однако в некоторые годы в питании в Беринговом море преобладает *Neocalanus cristatus* (Krøyer, 1848), а в Охотском море – *Calanus glacialis* Jaschnov, 1955 [Ефимкин, 2013].

Молодь терпуга Стеллера *Hexagrammos stelleri* Tilesius, 1810 потребляет в небольшом количестве личинок десятиногих раков [Clemens, Wilby, 1961; Barraclough, Fulton, 1968]. В эстуариях рек в пище седловидного бычка *Microcottus sellaris* (Gilbert, 1896) длиной до 2,5 см встречались, кроме прочих организмов, личинки креветок и ювенильные особи (до 21,4%). В пище личинок широколобки *Asprocottus platycephalus* Taliev, 1955 встречаются крабиды длиной около 5 мм, в августе в пище заметную роль играет молодь креветок [Токранов, 1985; Чучукало и др., 1999; Напазаков, Чучукало, 2003; Максименков, 2007]. Молодь желтоперой камбалы *Limanda aspera* (Pallas, 1814) питается личинками

креветок и крабов, эвфаузидами, гарпактицидами, щетинкочелюстными [Николотова, 1977]. В составе пищи молоди сайки *Boreogadus saida* (Lepeschin, 1774) в восточной части Чукотского моря личинки креветок составляли от 0,9 до 8,4% массы тела. Молодь наваги потребляет до 13% массы тела личинок декапод, сеголетки трески – до 20% в придонных слоях (декаподитные стадии креветок и мегалопа крабов) [Кузнецова, 2018].

По данным Е.Н. Андреевой и М.А. Шибановой [2010], спектры питания пестрого полужульничка *Hemilepidotus gilberti* Jordan & Starks, 1904 включают 19 планктеров. В зоопланктоне доминируют преимущественно четыре группы: копеподы, эвфаузииды, щетинкочелюстные и гиперииды. В июле – октябре основными компонентами как по биомассе, так и по частоте встречаемости были веслоногие ракообразные *P. minutus* и *O. similis*. Яйца и науплии копепод располагались на последнем месте. В октябре – декабре в желудках были обнаружены только восемь планктеров. Основу пищевого комка составляли копеподы: *P. minutus* – 37,2%, *O. Similis* – 40,0%.

Состав основных кормовых организмов в прикамчатских водах

В ихтиопланктонных пробах, кроме икринок и личинок рыб, были обнаружены 144 таксона животных, среди которых выделено 9 типов, 17 классов, 16 отрядов, 48 семейств. Наибольшую биомассу зоопланктона на многих станциях образовывали гидромедузы, скопления которых на прибрежных станциях превышали 1 г/м³. Основную массу кормового зоопланктона как для рыб-планктофагов, так и для личинок и молоди прочих рыб составляли копеподы, плотность которых обычно изме-

нялась от 100 до 1 000 мг/м³ (в среднем 205 мг/м³). Они имеют большую питательную ценность, чем другие организмы. Концентрация незаменимых аминокислот также обычно выше у веслоногих ракообразных. Помимо превосходной питательной ценности, эти рачки имеют широкий диапазон размеров тела. В обработанных пробах отмечено 25 идентифицированных видов копепод, принадлежащих к двум отрядам и 18 семействам: Cyclopoida (1 семейство, 1 вид) и Calanoida (17 семейств, 24 вида). Наиболее массовые виды принадлежат к пяти семействам отряда Calanoida: сем. Calanidae: *N. cristatus*, *N. plumchrus* Marukava 1921, *C. glacialis*; сем. Aetideidae: *Aetideus pacificus* Brodsky 1950, *Bradyidius pacificus* Brodsky 1950, *Gaetanus simplex* Brodsky 1950; сем. Eucalanidae: *Eucalanus bungii* Giesbrecht 1982; сем. Acartiidae: *Acartia* spp.; сем. Clausocalanidae: *Pseudocalanus minutus* (Krøyer, 1845).

Максимальные скопления копепод отмечены, главным образом, ближе к внешней границе шельфа (над глубинами 100–200 м). Преобладающими видами копепод по биомассе были: *N. plumchrus*, *N. cristatus*, *C. glacialis*, *E. bungii*, *P. minutus*, *M. okhotsensis*. Средняя численность веслоногих рачков в южной части западнокамчатского шельфа в июле – августе 83,5 экз/м³, средняя биомасса – 151,5 мг/м³; в северной части эти показатели составляли соответственно 37,6 экз/м³ и 90,5 мг/м³. В сентябре биомасса копепод была выше. Распределение биомассы всех видов различных копеподитных стадий представлено на рисунке 3.

Наибольшую биомассу и численность в прикамчатских водах имели представители семейства Calanidae. Весной максимальная биомасса всех видов копепод превышала 2 г/м³, но биомасса мелких форм копепод была невысока (максимум 0,2 г/м³), и науплий копепод не отмечено.

В мелкой фракции копепод (длина планктеров от 0,6 до 1,2 мм) повсеместно основу биомассы в Охотском море составляют *P. minutus* и *O. similis*. Максимальные скопления *P. minutus* приурочены к прибрежным районам, в то время как *O. similis* – скорее к центральным, более глубоководным районам. В водах более мелководных районов в весенний и летний периоды отмечается большое количество неритических форм. В состав этого комплекса входят *Acartia (Acartiura) longiremis* (Lilljeborg, 1853), *A. clausi* Giesbrecht, 1889, *Centropages abdominalis* Sato, 1913, *Tortanus (Boreotortanus) discaudatus* (Thompson I.C. & Scott A. in Herdman, Thompson & Scott, 1897), *Eurytemora pacifica* Sato, 1913, *Epilabidocera longipedata* (Sato, 1913). Остальные виды массовых копепод относятся к крупной фракции кормовых организмов. Обобщенные данные по плотности и биомассе копепод из разных районов восточной части Охотского моря представлены в таблице 2.

Биомасса эвфаузиид обычно составляет около 100 мг/м^3 . Основные их скопления

обнаружены в более мелководных районах, где наибольшая биомасса превышала 1 г/м^3 . Эвфаузииды были представлены, главным образом, фурцилиями двух видов: *Thysanoessa raschii* (M. Sars, 1864) и *T. longipes* Brandt, 1851. Взрослые формы эвфаузиид имеют крупные размеры и недоступны личинкам рыб для питания. В летнее время в местах размножения эвфаузиид обычно присутствует большое количество их яиц и личинок, которые могут служить кормом для ранних и поздних личинок многих рыб.

Амфиподы регулярно встречались в пробах, но их численность редко была значительной. Эти организмы были распространены, преимущественно, в южной части западнокамчатского шельфа. Основными видами амфипод были: *Themisto japonica* (Bovallius, 1887), *T. libellula* (Lichtenstein in Mandt, 1822), *T. pacifica* (Stebbing, 1888), *Hyperoche medusarum* (Krøyer, 1838), *Primno macropa* Guérin-Méneville, 1836 и *Hyperia medusarum* (Müller, 1776). Молодь этих рачков может быть доступной в качестве пищи для крупных личинок рыб.

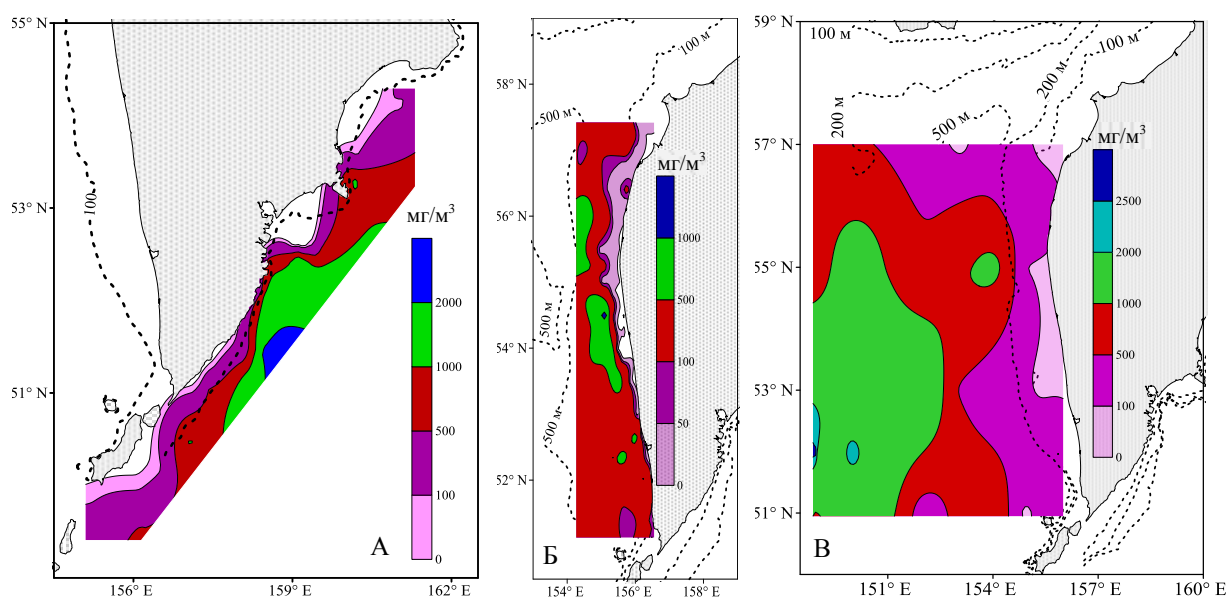


Рис. 3. Распределение биомассы (мг/м^3) всех видов копепод в апреле 2002 г. (А), в июле – августе 2001 г. (Б) и в сентябре 1999 г. (Б)

Fig. 3. Distribution of biomass (mg/m^3) of all copepod species in April 2002 (A), in July – August 2001 (B), and in September 1999 (B)

Таблица 2. Численность (экз/м³) и биомасса (мг/м³) веслоногих рачков в надшельфовой зоне Западной КамчаткиTable 2. Abundance (ind/m³) and biomass (mg/m³) of copepods in the offshore zone of Western Kamchatka

Параметры	Северная часть (севернее 54° с. ш.)		Южная часть (южнее 54° с. ш.)	
	Средние	Крупные	Средние	Крупные
Численность (экз/м ³)				
Среднее значение	4,44	51,18	26,20	81,22
Максимум	17,73	175,20	80,29	129,75
Коэффициент вариации	101,74	72,35	103,10	38,14
Ошибка ср.	0,54	4,46	3,25	3,73
Биомасса (мг/м ³)				
Среднее значение	0,81	120,48	6,38	204,84
Максимум	2,67	288,60	21,23	345,90
Коэффициент вариации	101,92	59,14	108,25	37,72
Ошибка ср.	0,10	8,57	0,83	9,30

Личинки десятиногих раков регулярно встречались в пробах, но значительной биомассы не образовывали. Отмечены представители следующих семейств: Pandalidae, Thoridae, Crangonidae, Atelecyclidae, Majidae, Paguridae, Lithodidae.

Щетинкочелюстные, представленные в пробах несколькими видами, имели частую встречаемость по всему ареалу съемок. Наибольшие скопления этих организмов (более 100 мг/м³) отмечены в южной части западно-камчатского шельфа над относительно большими глубинами. Щетинкочелюстные имеют невысокую пищевую ценность, но при высокой их плотности и бедности рачкового зоопланктона могут иметь небольшое значение для питания крупных личинок рыб.

Доступность кормовых организмов в зависимости от размеров личинок рыб

Личинки рыб в планктоне встречаются в течение всего вегетационного периода, с весны до осени, но наибольшее их количество приходится на летние месяцы. Сроки нереста и раннего развития большинства видов растянуты, так как в море температурная сезонность слабо выражена. Весной, как правило, большинство видов рыб нерестятся, и ихтиопланктон представлен,

главным образом, икрой рыб. Осенью ихтиопланктон беден, так как раннее развитие большинства видов заканчивается.

Большинство рыб с донным нерестом (в основном отряды Scorpaeniformes и Perciformes) нерестятся зимой. Их личинки появляются в планктоне обычно ранней весной. В этот период доступными кормовыми организмами для них, по результатам ихтиопланктонных ловов, могут быть развивающиеся в это время личинки полихет, науплии Cirripedia и Calanoida, мелкие copepody (*A. longiremis*, *P. minutus* и представители отряда Cyclopoida), мелкие ракушковые раки (Ostracoda). Для более крупных личинок весной доступны мелкие моллюски (*Limacina helicina* (Phipps, 1774)), молодь амфипод (Gammaridae, *T. japonica*, *T. pacifica*), мелкие медузы и пр.

Наиболее массовое развитие личинок рыб происходит в летнем планктоне. В начале лета самыми многочисленными бывают личинки минтая *Gadus chalcogrammus* Pallas, 1814, мойвы *Mallotus villosus* (Müller, 1776), некоторых камбал (охотоморской палтусовидной *Hippoglossoides elassodon* Jordan & Gilbert, 1880, северной палтусовидной *H. robustus* Gill & Townsend, 1897, звездчатой *Platichthys stellatus* (Pallas, 1787), четырехбугорчатой *Pleuronectes*

quadrituberculatus Pallas, 1814), белокорого палтуса *Hippoglossus stenolepis* Schmidt, 1904 и других видов. Во второй половине лета соотношение видов личинок в планктоне изменяется. Начинают преобладать личинки камбал (желтоперой *Limanda aspera* (Pallas, 1814), сахалинской *L. sakhalinensis* Hubbs, 1915 и хоботной *L. proboscidea* Gilbert, 1896, многочисленны подросшие личинки минтая, окунеобразных и скорпенооб-

разных рыб. Развитие личинок многих видов рыб растянуто во времени. В ихтиопланктоне могут присутствовать как самые мелкие, так и более крупные личинки. Летнее обильное развитие зоопланктона позволяет обеспечивать кормом развивающихся личинок рыб в достаточном количестве. Доступные в летнее время для питания личинок массовых видов рыб планктонные кормовые организмы приведены в таблицах 3–5.

Таблица 3. Список видов рыб, для личинок которых доступны мелкие формы зоопланктона размером 0,1–0,5 мм в планктоне прикамчатских вод при летнем развитии

Table 3. List of fish species, for the larvae of which small forms of zooplankton 0,1–0,5 mm in size are available in the plankton of Kamchatka waters during summer development

Вид личинок рыб	Длина личинок рыб, мм (NL)	Размер кормовых организмов, мм	Виды доступных кормовых организмов
Июнь – июль			
<i>Mallotus villosus</i>	7–20	0,2–1,6	Polychaeta (larvae), Cirripedia (nauplii), Nemathoda, Crustacea (ova), <i>Evadne nordmanni</i> , <i>Podon leuckarti</i>
<i>Gadus chalcogrammus</i>	4–10	0,1–0,8	
<i>Myoxocephalus jaok</i>	8–10	0,2–0,8	
<i>Hemilepidotus gilberdti</i>	7–10	0,2–0,8	
<i>Gymnocanthus</i> sp.	5–10	0,1–0,8	
<i>Pleurogrammus monopterygius</i>	8–10	0,2–0,8	
<i>Hexagrammos octogrammus</i>	9–15	0,2–1,3	
<i>Stichaeus punctatus</i>	13–15	0,3–1,3	
<i>Leptoclinus maculatus</i>	16–20	0,4–1,6	
<i>Bryozoichthys lysimus</i>	17–20	0,4–1,7	
<i>Ammodytes hexapterus</i>	7–10	0,2–0,8	
<i>Hippoglossoides elassodon</i>	6–10	0,2–0,8	
<i>Hippoglossus stenolepis</i>	8–10	0,2–0,8	
<i>H. robustus</i>	4–10	0,4–2,3	
<i>Platychthis stellatus</i>	2–5	0,1–0,8	
<i>Limanda aspera</i>	3–10	0,2–0,8	
<i>L. proboscidea</i>	3–15	0,2–1,3	
<i>Pleuronectes quadrituberculatus</i>	6–10	0,2–0,8	
<i>Bathymaster signatus</i>	10–20	0,3–1,6	
<i>Podothecus acipenserinus</i>	8–21	0,2–1,8	
<i>Malacocottus zonurus</i>	10–20	0,3–1,7	
<i>Liparis latifrons</i>	10–20	0,3–1,7	
Июль – август			
<i>Gadus chalcogrammus</i>	10–20	0,1–2,1	Polychaeta (larvae), Cirripedia (nauplii) Nemathoda, <i>Evadne nordmanni</i> , <i>Podon leuckarti</i>
<i>Hexagrammos octogrammus</i>	9–40	0,2–2,7	
<i>Myoxocephalus jaok</i>	10–16	0,2–1,3	
<i>Malacocottus zonurus</i>	10–20	0,3–1,7	
<i>Podothecus acipenserinus</i>	8–21	0,2–1,8	
<i>Glyptocephalus stelleri</i>	4–20	0,1–5,0	
<i>Hippoglossoides elassodon</i>	6–10	0,2–1,8	
<i>Pleuronectes quadrituberculatus</i>	6–10	0,2–0,8	
<i>Limanda aspera</i>	3–10	0,1–1,3	
<i>L. sakhalinensis</i>	3–10	0,1–1,3	
<i>L. proboscidea</i>	3–10	0,1–1,3	
<i>Lepidopsetta polyxystra</i>	4–10	0,1–1,4	

Таблица 4. Список видов рыб, для личинок и мальков которых доступны средние формы зоопланктона размером 0,6–2,0 мм в планктоне прикамчатских вод при летнем развитии

Table 4. List of fish species, for the larvae of which small forms of zooplankton 0,6–2,0 mm in size are available in the plankton of Kamchatka waters during summer development

Вид личинок рыб	Длина личинок рыб, мм (NL)	Размер кормовых организмов, мм	Виды кормовых организмов
Июнь – июль			
<i>Oncorhynchus gorbusha</i>	>32	0,8–2,7	<i>Acartia</i> sp., Cirripedia (nauplii),
<i>Mallotus villosus</i>	20–30	0,2–3,3	<i>Themisto japonica</i> , <i>T. pacifica</i> ,
<i>Gadus chalcogrammus</i>	20–30	0,1–2,5	<i>Pagurus</i> spp. (larvae),
<i>Myoxocephalus jaok</i>	10–16	0,2–1,3	<i>Eualus</i> sp. (larvae), <i>Crangon</i>
<i>Hemilepidotus gilberdti</i>	10–15	0,2–1,3	<i>septemspinosa</i> (larvae), <i>C. dalli</i>
<i>Gymnocanthus</i> sp.	5–10	0,1–0,8	(larvae), <i>Neocrangon</i>
<i>Pleurogrammus monopterygius</i>	10–20	0,2–2,5	<i>communis</i> (larvae),
<i>Hexagrammos octogrammus</i>	9–15	0,2–0,9	<i>Mesocrangon intermedia</i>
<i>Stichaeus punctatus</i>	15–22	0,3–1,8	(larvae), <i>Rhynocrangon</i> spp.
<i>Leptoclinus maculatus</i>	20–22	0,4–1,8	(larvae), Gastropoda (larvae),
<i>Lumpenus fabricii</i>	24–30	0,6–2,8	<i>Limacina helicina</i> , <i>Clione</i>
<i>Bryozoichthys lysimus</i>	17–20	0,4–1,7	<i>limacina</i>
<i>Ammodytes hexapterus</i>	10–25	0,2–2,0	
<i>Hippoglossoides elassodon</i>	10–21	0,2–1,8	
<i>Hippoglossus stenolepis</i>	10–24	0,2–2,0	
<i>H. robustus</i>	10–20	0,4–2,3	
<i>Platycthis stellatus</i>	5–10	0,1–0,8	
<i>Limanda aspera</i>	10–15	0,2–1,3	
<i>L. sakhalinensis</i>	10–15	0,2–1,3	
<i>L. proboscidea</i>	10–15	0,2–1,3	
<i>Pleuronectes quadrituberculatus</i>	6–10	0,2–0,8	
<i>Bathymaster signatus</i>	20–40	0,6–3,3	
<i>Podothecus acipenserinus</i>	8–21	0,2–1,8	
<i>Malacocottus zonurus</i>	10–20	0,3–1,7	
<i>Liparis latifrons</i>	10–20	0,3–1,7	
Июль – август			
<i>Mallotus villosus</i>	30–40	0,8–2,7	<i>Acartia</i> sp., Cirripedia
<i>Gadus chalcogrammus</i>	20–30	0,1–2,5	(nauplii), <i>Themisto japonica</i> ,
<i>Hexagrammos octogrammus</i>	15–20	0,2–2,7	<i>T. pacifica</i> , <i>Thysanoessa</i>
<i>Myoxocephalus jaok</i>	10–16	0,2–1,3	<i>inermis</i> (larvae), <i>Pagurus</i> sp.
<i>Malacocottus zonurus</i>	10–20	0,3–1,7	(larvae), <i>Limacina chelicina</i> ,
<i>Podothecus acipenserinus</i>	8–21	0,2–1,8	<i>Clione limacina</i>
<i>Ammodytes hexapterus</i>	10–20	0,8–2,6	
<i>Glyptocephalus stelleri</i>	20–30	0,1–5,0	
<i>Hippoglossoides elassodon</i>	10–21	0,2–1,8	
<i>Pleuronectes quadrituberculatus</i>	6–10	0,2–0,8	
<i>Limanda aspera</i>	10–15	0,1–1,3	
<i>L. sakhalinensis</i>	10–15	0,1–1,3	
<i>L. proboscidea</i>	10–15	0,1–1,3	
<i>Lepidopsetta polyxystra</i>	10–17	0,1–1,4	

Таблица 5. Список видов рыб, для личинок и мальков которых доступны крупные формы зоопланктона размером 2,1–5,5 мм в планктоне прикамчатских вод при летнем развитии

Table 5. List of fish species, for the larvae of which small forms of zooplankton 2,1–5,5 mm in size are available in the plankton of Kamchatka waters during summer development

Вид личинок рыб	Длина личинок рыб, мм (NL)	Размер кормовых организмов, мм	Виды кормовых организмов
Июнь – июль			
<i>Oncorhynchus gorbusha</i>	>32	0,8–2,7	Siphonophora, Appendicularia,
<i>Mallotus villosus</i>	30–40	0,2–3,3	Ostracoda, <i>Themisto japonica</i> ,
<i>Gadus chalcogrammus</i>	20–30	0,1–2,5	<i>Thysanoessa inermis</i> , <i>Hyperoche</i>
<i>Pleurogrammus monopterygius</i>	20–30	0,2–2,5	<i>medusarum</i> , <i>Primno macropa</i> , <i>Scina</i>
<i>Lumpenus fabricii</i>	30–33	0,6–2,8	sp., Gammaridae, Caprellidea,
<i>Ammodytes hexapterus</i>	20–31	0,2–2,6	<i>Pagurus</i> spp., <i>Chionoecetes</i> sp.
<i>H. robustus</i>	20–28	0,4–2,3	(larvae), <i>Erimacrus isenbeckii</i> (larvae),
<i>Bathymaster signatus</i>	10–40	0,3–3,3	<i>Pandalus goniurus</i> (larvae), <i>P. eous</i>
			(larvae), <i>Eualus</i> spp. (larvae),
			Appendicularia, Ostracoda, <i>Clione</i>
			<i>limacina</i> , Gastropoda (larvae)
Июль – август			
<i>Mallotus villosus</i>	30–40	0,8–2,7	Hydrozoa, Siphonophora,
<i>Gadus chalcogrammus</i>	20–30	0,1–2,5	Appendicularia, Polychaeta,
<i>Hexagrammos octogrammus</i>	20–40	0,2–2,7	Ostracoda, Chaethognatha
<i>Ammodytes hexapterus</i>	20–31	0,8–2,6	Gammaridae, gen. sp.,
<i>Glyptocephalus stelleri</i>	30–60	0,1–5,0	<i>Thisanoessa raschii</i> (larvae),
			<i>Th. longipes</i> (larvae), <i>Th. inermis</i> ,
			<i>Pagurus</i> spp. (larvae), Appendicularia,
			Polychaeta, <i>Clionelimacina</i> ,
			Gastropoda (larvae)

Данные уловов зоопланктона ихтиопланктонной сетью показывают, что в весенний период наиболее подходящими кормовыми организмами для мелких личинок рыб будут личинки полихет, науплии Cirripedia и Calanoida, мелкие формы копепод, мелкие Cirripedia и Pteropoda, молодь Amphipoda.

В начале лета доступны также личинки Polychaeta, науплии Cirripedia и Calanoida, мелкие формы Cladocera и Copepoda. Для более крупных личинок основные кормовые организмы – фуруцилии и калиптописы Euphausiacea, мелкие личинки Decapoda и др. Во второй половине лета подросшим личинкам многих рыб доступны более крупные формы в основном этих же организмов. Однако в это время среди личинок рыб доминируют ранние личинки желтоперой камбалы, в том числе личинки, пе-

реходящие на внешнее питание. Сравнение распределения копеподитных стадий различных видов показывает совпадение их скоплений с концентрациями личинок желтоперой камбалы (рис. 4), что дает основания считать копеподитные стадии основным кормом для массовых мелких личинок этой камбалы.

Отношения хищник – жертва и конкуренция в питании

При изучении пищевых отношений между личинками рыб и планктоном наибольшее внимание уделяется составу зоопланктонных организмов, однако личинки рыб могут стать жертвами для хищного зоопланктона. Межвидовая и внутривидовая конкуренция в питании также имеет значение.

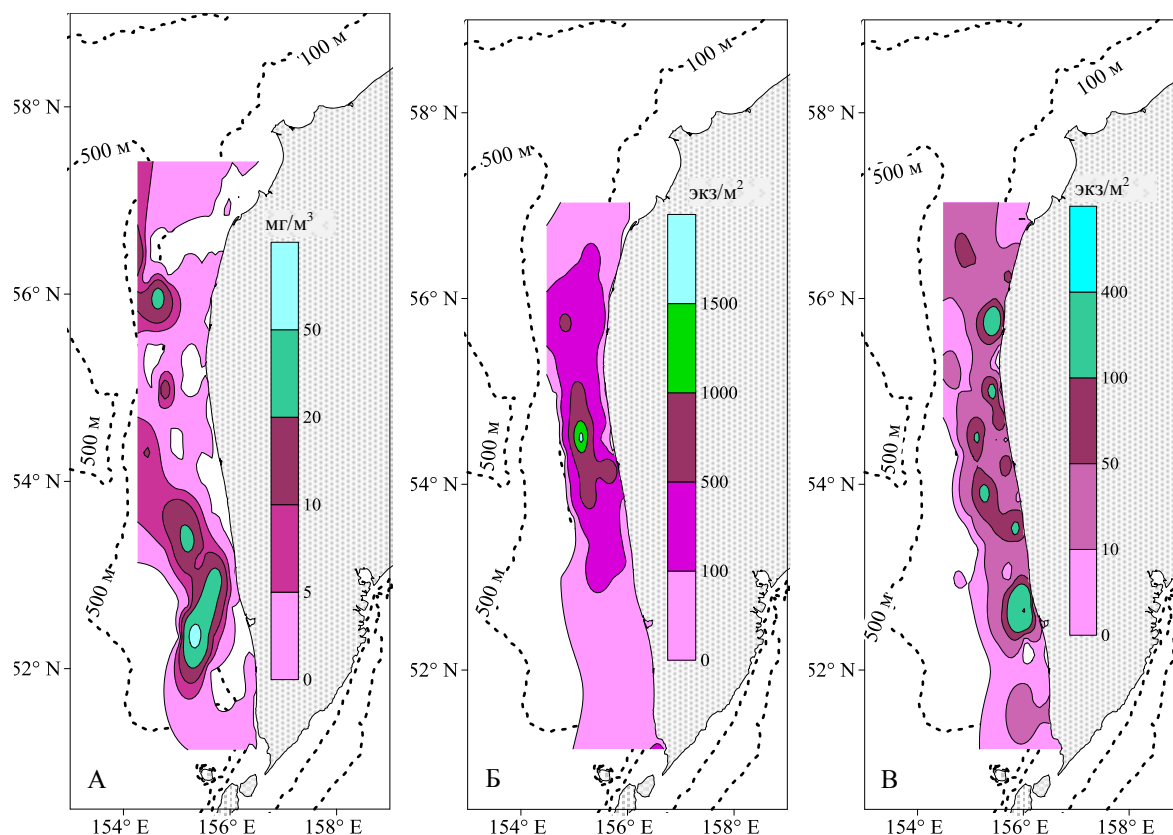


Рис. 4. Распределение биомассы ($\text{мг}/\text{м}^3$) копепоидных стадий всех видов копепод (А) в сравнении с распределением численности ($\text{экз}/\text{м}^2$) икринок (Б) и личинок (Б) желтоперой камбалы *Limanda aspera* на западнокамчатском шельфе в июле – августе 2001 г.

Fig. 4. Distribution of biomass (mg/m^3) of copepodite stages of all copepod species (A) in comparison with the distribution of abundance ($\text{ind.}/\text{m}^2$) of eggs (B) and larvae (B) of the yellowfin flounder *Limanda aspera* in the West-Kamchatka shelf in July – August 2001

Известно, что в морях и океанах на долю хищного планктона может приходиться от 20 до 60% хищных организмов [Гудельмахер и др., 1986]. В пелагиали Охотского моря наблюдается четкая тенденция уменьшения от весны к лету, а затем увеличение к зимнему периоду количества и доли хищного планктона (щетинкочелюстных, амфипод). Весной доля хищного планктона в общей биомассе варьирует в зависимости от района в пределах от 22% летом до 68% зимой [Горбатенко, 1997]. На мелких малоподвижных личинок рыб могут нападать взрослые формы бокоплавов, морские стрелки, старшие личинки некоторых видов десятиногих раков, медузы, взрослые особи некоторых эвфаузиид.

Примером трофических отношений между хищным планктоном (личинками креветок) и личинками рыб могут служить отношения сельди и некоторых прибрежных видов креветок, обитающих в зарослях макрофитов. Личинки сельди вылупляются относительно поздно [Григорьев, 2007], когда личинки многих видов креветок уже переходят на питание зоопланктоном, а поэтому могут конкурировать за кормовые ресурсы с личинками креветок до конца лета.

Сложные пищевые отношения складываются у личинок прибрежных креветок (главным образом, Crangonidae) с личинками прибрежных малоротых камбал – желтоперой *L. aspera* и сахалинской *L. sakhalinensis*.

С июня по август личинки креветок большинства видов начинают питаться мелким зоопланктоном. Икра камбал для них в это время – один из наиболее доступных пищевых объектов. К тому времени, как вылупляются мелкие личинки вышеперечисленных видов камбал, старшие личинки некоторых крупных видов креветок (например, виды рода *Pandalus* и некоторые виды *Eualus*) могут потреблять самых мелких личинок рыб и до конца сентября ими питаются наряду с другими организмами зоопланктона.

Один из важнейших способов адаптации для ослабления трофической конкуренции внутри ихтиопланктонного сообщества прикамчатских вод – это сроки завершения инкубационного периода и перехода на активное питание. Можно выделить три основные трофические группировки рыб по времени перехода на внешнее питание.

1. Личинки, начинающие питаться ранней весной (раннее весеннее развитие) – это личинки шельфовых рыб, нерестящихся в осенне-зимнее время и откладывающих, как правило, донную в виде кладок или придонно-пелагическую икру, или океанических мезопелагических рыб с пелагическим нерестом. Пелагические икринки и личинки этих рыб значительных скоплений в планктоне не образуют. Основную массу таких личинок составляют представители семейств рогатковых (Cottidae), батилаговых (Bathylagidae), некоторые представители сем. тресковых (Gadidae) (сайка *Boreogadus saida* (Lepechin, 1774), навага *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810), большеглазая треска *Gadus macrocephalus* Tilesius, 1810), сем. камбаловых (Pleuronectidae) (стрелозубый палтус *Atheresthes evermanni* Jordan & Starks, 1904, черный палтус *Reinhardtius hippoglossoides* (Walbaum, 1792)), круглоперых (Cyclopteridae) и др.

2. Личинки, начинающие питаться поздней весной или в начале лета (весенне-летнее развитие) – это личинки шельфовых рыб, нерестящихся ранней весной в придонном слое. Личинки этих рыб развиваются в пелагиали ближе к поверхности, весной и в начале лета могут образовывать значительные скопления. Основную массу ихтиопланктона из этой группы рыб составляют личинки большинства камбал (охотоморская палтусовидная камбала *H. elassodon*, северная палтусовидная камбала *H. robustus*, звездчатая камбала *P. stellatus*, четырехбугорчатая камбала *P. quadrituberculatus*), минтая *G. chalcogrammus*, представители семейства морских окуней (Sebastidae), некоторых рогатковых (Cottidae), морских слизней (Liparidae), круглоперых (Cyclopteridae), лисичковых (Agonidae) и др.

3. Личинки, начинающие питаться преимущественно во второй половине лета (летне-осеннее развитие). Несмотря на обилие видов в ихтиопланктоне второй половины лета, основную массу ихтиопланктона из этой группы рыб в прикамчатских водах составляют личинки трех видов камбал: желтоперой *L. aspera*, сахалинской *L. sakhalinensis*, хоботной *L. proboscidea*), мойвы *M. villosus*, нескольких представителей семейства терпуговых (Hexagrammidae) и др.

Данное выделение является условным, так как в море нет четко выраженных сезонных изменений условий среды. Большинство видов рыб имеют растянутые периоды нереста и инкубационного периода, следовательно, переход на внешнее питание растянут во времени. Смещение сроков развития личинок отдельных видов рыб на более позднее время (или расхождение в сроках развития), а также растянутость нереста позволяют уменьшить конкуренцию за наиболее ценную пищу – рачковый зоопланктон.

Имеются сведения, что при биомассе кормовых организмов для личинок рыб около 39 мг/м^3 пищевой фактор не оказывает решающего воздействия на выживаемость [Дука, Синюкова, 1976]. Исследования зоопланктона прикамчатских вод показали, что средняя биомасса основных кормовых организмов для личинок рыб – копепод, в вегетационный период высока, в отдельные годы превышает $2,5 \text{ г/м}^3$, а в летний период превышает 50 мг/л . Таким образом, кормовая база в прикамчатских водах не является лимитирующим фактором выживания личинок рыб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ихтиопланктонных пробах, кроме икринок и личинок рыб, были обнаружены 144 таксона животных. Наиболее массовыми представителями зоопланктона были следующие группы организмов: Chaetognatha, Hydromedusae, Appendicularia, Copepoda, Euphausiacea, Pteropoda, Cirripedia (nauplii), Polychaeta. Основную массу кормового зоопланктона составляли копеподы, плотность которых обычно изменялась от 100 до $1\,000 \text{ мг/м}^3$. Доступными для личинок рыб являются ракообразные длиной менее $5,5 \text{ мм}$, обитающие в пелагиали (главным образом в слое 0–50 м). Поэтому количество кормовых объектов гораздо меньше, чем фаунистический список гидробионтов соответствующего размера, обитающих в данном регионе.

Пелагические личинки рыб используют различные механизмы выхода из межвидовой конкуренции в пищевых отношениях, главными из которых являются размерная, морфологическая и пространственная дифференциация, а также сроки и продолжительность развития. Несколько видов могут использовать ресурс одного и того же типа, если они разделены физи-

чески или во времени. Морфология и образ жизни, в свою очередь, непосредственно связаны с условиями среды. Личинки видов с более ранним выходом в планктон уменьшают за счет этого количество потенциальных врагов и меньше конкурируют с близкородственными видами. Виды с мелкими и крупными личинками меньше конкурируют между собой, чем представители видов, имеющих промежуточные размеры личинок. Соответственно, адаптация крупных и мелких личинок будет несколько выше, и эти популяции почти не будут конкурировать за ресурсы и пространство. Таким образом, происходит экологическая дивергенция видов на личиночной стадии.

В весенний период наиболее подходящими кормовыми организмами для мелких личинок рыб будут личинки полихет, науплии Cirripedia и Calanoida, мелкие формы копепод, мелкие ракушковые раки и моллюски, молодь амфипод. В начале лета доступны также личинки полихет, науплии Cirripedia и Calanoida, мелкие формы Cladocera и Copepoda. Для более крупных личинок основные кормовые организмы – фурцилии и калиптописы эвфаузиид, мелкие личинки Decapoda и др. Наиболее массовое развитие личинок рыб, а следовательно, их питание, приходится на летние месяцы. Причем одни виды переходят на внешнее питание и развиваются преимущественно в весенне-летнее время, другие – во второй половине лета. В это время доступны более крупные формы в основном этих же организмов.

По времени перехода на внешнее питание личинок рыб внутри ихтиопланктонного сообщества можно условно выделить три основные трофические группировки рыб: 1) раннее весеннее развитие, 2) весенне-летнее развитие и 2) летне-осеннее развитие. Расхождение в сроках личи-

ночного развития и растянутость нереста морских рыб позволяет уменьшить конкуренцию личинок за наиболее ценную пищу – рачковый зоопланктон. В прикамчатских водах имеется стабильная кормовая база, которая не является лимитирующим фактором выживания личинок рыб.

ЛИТЕРАТУРА

- Андреева Е.Н., Шебанова М.А. 2010. Видовой состав, распределение и особенности питания личинок и мальков рыб в Охотском море в декабре 2007 г. *Вопросы ихтиологии*. Т. 50. № 1. С. 109–119.
- Боркин И.В. 2013. Особенности питания личинок сайки *Boreogadus saida* Lerechin в связи с их распределением на востоке Баренцева моря. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 25. С. 35–41.
- Бродский К.А., Вышкварцева Н.В., Кос М.С., Мархасева Е.Л. 1983. Веслоногие ракообразные (Copepoda: Calanoida) морей СССР и сопредельных вод. Определители по фауне СССР. Зоол. ин-т АН СССР. № 135. Ленинград: Наука. Т. 1. 358 с.
- Вдодович И.В., Гордина А.Д., Павловская Т.В. и др. 2007. Особенности питания личинок рыб семейств Blenniidae и Gobiidae в связи с изменениями в прибрежном планктонном сообществе Черного моря. *Вопросы ихтиологии*. Т. 47. № 4. С. 542–554. URL: <https://naukarus.com/osobennosti-pitaniya-lichinok-ryb-semeystv-blenniidae-i-gobiidae-v-svyazi-s-izmeneniyami-v-pribrezhnom-planktonnom-soobsc>.
- Виноградов М.Е., Волков А.Ф., Семенова Т.Н. 1982. Амфиподы-гиперииды (Amphipoda. Hyperiidea) Мирового океана. *Определители по фауне СССР, издаваемые Зоол. ин-том АН СССР*. № 132. Ленинград: Наука. 493 с.
- Горбатенко К.М. 1997. Состав, структура и динамика планктона Охотского моря. Автореферат дис. ... канд. биол. наук. Владивосток. 24 с.
- Горбатенко К.М., Мерзляков А.Ю., Шершенков С.Ю. 2004. Особенности питания разновеликих личинок минтая *Theragra chalcogramma* (Pallas, 1814) на западнокамчатском шельфе. *Биология моря*. Т. 30. № 2. С. 131–137.
- Григорьев С.С. 2004. Замечания по методике проведения ихтиопланктонных минтаевых съемок. *Тезисы докладов IX Всероссийской конференции по проблемам рыбопромышленного прогнозирования*. Мурманск, ПИНРО. С. 154–156.
- Григорьев С.С. 2007. Ранние стадии рыб северо-востока России. Атлас-определитель. Владивосток: Дальнаука. 331 с.
- Григорьев С.С., Седова Н.А. 2004. Изучение кормового зоопланктона по результатам ловов ихтиопланктонной сети. *Тезисы докладов IX Всероссийской конференции по проблемам рыбопромышленного прогнозирования*. Мурманск: ПИНРО. С. 156–158.
- Гутельмахер Б.Л. 1986. Метаболизм планктона как единого целого: Трофометаболические взаимодействия зоо- и фитопланктона. *Тр. Зоол. ин-та АН СССР*. Т. 133. Ленинград: Наука. 156 с.
- Давыдова С.В., Шебанова М.А., Андреева Е.Н. 2007. Летне-осенний ихтиопланктон Охотского и Японского морей и особенности питания личинок и мальков рыб в 2003–2004 гг. *Вопросы ихтиологии*. Т. 47. № 4. С. 515–528.
- Дехник Т.В., Синюкова В.И. 1976. Исследование обеспеченности пищей личинок морских рыб как причины, определяющей их выживание. *Вопросы ихтиологии*. Т. 16. Вып. 2. С. 335–344.
- Дука Л.А., Синюкова В.И. 1976. Руководство по изучению питания личинок и мальков морских рыб в естественных и экспериментальных условиях. Киев: Наукова думка. 134 с.
- Ефимкин А.Я. 2013. Питание мойвы в Беринговом, Охотском и Чукотском морях. *Известия ТИНРО*. Т. 137. С. 193–208.
- Константинов А.С. 1986. Общая гидробиология. Москва: Высшая школа. 472 с.
- Костюченко В.А., Павловская Р.М. 1976. Динамика численности промысловых рыб и факторы, определяющие урожайность поколений. Основы биологической продуктивности Черного моря. Киев: Наукова думка. С. 279–291.
- Кузнецова Н.А. 2018. Новые данные о питании молоди рыб в восточной части Чукотского моря. *Известия ТИНРО*. Т. 194. С. 139–152.
- Кузнецова Н.А. 2004. Питание и пищевые отношения нектона в эпипелагиали северной части Охотского моря. Дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 316 с.
- Максименков В.В. 1984. Пищевые отношения личинок некоторых рыб в зал. Корфа. *Вопросы ихтиологии*. Т. 24. Вып. 6. С. 972–978.
- Максименков В.В. 1991. Питание личинок минтая у берегов Камчатки. *Известия ТИНРО*. Т. 29. С. 35–49.
- Максименков В.В. 1994. Питание личинок трех видов камбал на западнокамчатском шельфе. *Известия ТИНРО*. Т. 115. С. 167–170.
- Максименков В.В. 2007. Питание и пищевые отношения молоди рыб, обитающих в эстуариях

- рек и побережье Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО. 278 с.
- Мантейфель П.А. 1961. Заметки натуралиста. Москва: Учпедгиз. 189 с.
- Напазаков В.В., Чучукало В.И. 2003. Пищевые отношения и трофический статус массовых видов рогатковых (Cottidae) в западной части Берингова моря в осенний период. *Вопросы ихтиологии*. Т. 43. № 2. С. 200–208.
- Николотова Л.А. 1977. Питание и пищевые взаимоотношения донных рыб западнокамчатского шельфа. Дис. ... канд. биол. наук. Владивосток. 259 с.
- Никольский Г.В. 1949. О закономерностях внутривидовых пищевых отношений у пресноводных рыб. *Бюллетень Московского общества испытателей природы*. Отд. биол. Т. 54. № 1. С. 1–15.
- Павлов Д.А. 2010. Актуальные проблемы современной ихтиологии (к 100-летию Г.В. Никольского). Стратегия размножения и динамика популяций. Москва: Тов. научн. изд. КМК. С. 217–240.
- Покровская И.С. 1957. Питание личинок сахалинской сельди. *Известия ТИНРО*. Т. 44. С. 39–56.
- Пономарев С.А., Шадрин А.М. 2014. Изучение личинок тропических рыб (Южно-Китайское море, Вьетнам) при переходе на внешнее питание в экспериментальных условиях. *Евразийский Союз Ученых*. № 10. С. 111–112.
- Пономарева Л. А. 1963. К вопросу о доступности кормовых организмов для рыб. *Труды ИОАН СССР*. Т. 71. С. 72–80.
- Расс Т.С. 1965. Инструкция по поиску рыбы по плавающей икре. Комиссия по рыбохозяйственному исследованию западной части Тихого океана. Пекин. 28 с.
- Рекомендации по сбору и обработке ихтиопланктона зоны течения Курошио. 1987. Владивосток: ТИНРО. 70 с.
- Седова Н.А., Григорьев С.С. 2005. Изучение кормового зоопланктона в Охотском море. Рыбохозяйственные исследования Мирового океана. *Материалы Международной научной конференции*. Часть I. Владивосток, Дальрыбвтуз. С. 162–164.
- Седова Н.А., Григорьев С.С. 2006. Сравнение результатов ловов зоопланктона большой сетью Джели и ихтиопланктонной сетью ИКС-80. *Труды Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН*. Вып. IV. Петропавловск-Камчатский. С. 85–94.
- Токранов А. М. 1985. Питание полужульчатых бычков Джордана *Hemilepidotus jordani* Bean и Гильберта *Hemilepidotus gilberti* Jordan et Starks (Cottidae) у восточного побережья Камчатки. *Вопросы ихтиологии*. Т. 25. Вып. 1. С. 89–95.
- Хлебосолов Е.И. 2002. Теория экологической ниши: история и современное состояние. *Русский орнитологический журнал*. Т. 203. С. 1019–1037.
- Чучукало В.И., Лапко В.В., Кузнецова Н.А. 1999. Питание донных рыб на шельфе и материковом склоне северной части Охотского моря летом 1997 г. *Известия ТИНРО*. Т. 126. С. 24–27.
- Augerot X. 2005. Atlas of Pacific salmon. Berkley; Los Angeles, California: Univ. Calif. Press. 150 p.
- Barraclough W.E., Fulton J.D. 1968. Data record: Food of larval and juvenile fish caught with a surface trawl in Saanich Inlet during June and July 1966. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. MS Rep. Ser. № 1003. 78 p.
- Clemens W.A., Wilby G.V. 1961. Fishes of the Pacific coast of Canada. 2nd ed. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. Bull. № 68. P. 1–443 p.
- Grigorev S.S., Sedova N.A. 2003. An experience of ichthyoplankton samples for estimation of forage zooplankton production in the Eastern Sea of Okhotsk, Northwestern Pacific. The role of Zooplankton in global ecosystem dynamics: comparative studies from the world oceans. *Third International Zooplankton Production Symposium*. May 20–23, 2003. Gijon, Spain. P. 67.
- Hjort J. 1926. Fluctuations in the year class of important food fishes. *Journal du Conseil / Conseil International pour l'Exploration de la Mer*. № 1. P. 5–38.
- Hunter J.R. 1981. Feeding ecology and predation of marine fish larvae. *Marine fish larvae: Morphology, Ecology and Relation to Fisheries*. University of Washington Press, Seattle. P. 33–77.
- Lavens P., Sorgeloos P. (eds.). 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture. *FAO Fisheries Technical Paper*. № 361. Rome, FAO. 295 p. URL: <https://www.fao.org/3/w3732e/w3732e02.htm>
- Markhaseva E.L. 1996. Calanoid copepods of the family Aetideidae of the world ocean. *Trudy Zoologicheskogo Instituta*. Vol. 268. St. Petersburg. 331 p.
- Paul A. J. 1983. Light, temperature, nauplii concentrations, and prey capture by first feeding pollock larvae *Theragra chalcogramma*. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 13. P. 175–179.
- Petryashov V.V. 2007. Order Mysidacea. Biota of Russian Waters of the Sea of Japan. Part 2. Edited by A.V. Adrianov. Vladivostok: Dalnauka. P. 42–80.

The World Register of Marine Species (WoRMS). URL: <http://www.marinespecies.org/index.php>

Yi B. 2006. A study of the early development of grass carp, black carp silver carp and bighead carp in the Yangtze River, China. *Early development of four cyprinids native to the Yangtze River*. P. 15–51.

REFERENCES

- Andreeva E.N., Shebanova M.A. 2010. Species composition, distribution and feeding habits of fish larvae and fry in the Sea of Okhotsk in December 2007. *Voprosy ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 50. № 1. P. 109–119 (in Russian).
- Borkin I.V. 2013. Feeding characteristics of the larvae of the polar cod *Boreogadus saida* Lepechin in connection with their distribution in the east of the Barents Sea. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 25. P. 35–41 (in Russian).
- Brodsky K.A., Vyshkvartseva N.V., Kos M.S., Markhaseva E.L. 1983. Copepods (Copepoda: Calanoida) of the seas of the USSR and adjacent waters. Guidelines for the fauna of the USSR. Zool. Institute of the Academy of Sciences of the USSR. № 135. Leningrad: Science Publ. T. 1. 358 p. (in Russian).
- Vdodovich I.V., Gordina A.D., Pavlovskaya T.V. et al. 2007. Features of nutrition of larvae of fish of the families Blenniidae and Gobiidae in connection with changes in the coastal plankton community of the Black Sea. *Voprosy ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 47. № 4. P. 542–554 URL: <https://naukarus.com/osobennosti-pitaniya-lichinok-ryb-semeystv-blenniidae-i-gobiidae-v-svyazi-s-izmeneniyami-v-pribrezhnom-planktonnom-soobsc> (in Russian).
- Vinogradov M.E., Volkov A.F., Semenova T.N. 1982. Hyperiid amphipods (Amphipoda. Hyperiidea) of the World Ocean. *Guidelines for the fauna of the USSR, published by the Zoological Institute of the Academy of Sciences of the USSR*. № 132. Leningrad: Nauka Publ. 493 p. (in Russian).
- Gorbatenko K.M. 1997. Composition, structure and dynamics of plankton in the Sea of Okhotsk. *Abstract of the candidacy dissertation for biological sciences*. Vladivostok. 24 p. (in Russian).
- Gorbatenko K.M., Merzlyakov A.Yu., Shershenkov S.Yu. 2004. Feeding characteristics of different-sized pollock larvae *Theragra chalcogramma* (Pallas, 1814) in the West Amchatka shelf. *Biologiya morya (Russian Journal of Marine Biology)*. Vol. 30. № 2. P. 131–137 (in Russian).
- Grigoriev S.S. 2004. Notes on the methodology for conducting pollock ichthyoplankton surveys. *Proceedings of the conference "Problems of fisheries forecasting"*. Murmansk: PINRO. P. 154–156 (in Russian).
- Grigoriev S.S. 2007. Early stages of fishes of the north-east of Russia. Atlas-determinant. Vladivostok: Dalnauka Publ. 331 p. (in Russian).
- Grigoriev S.S., Sedova N.A. 2004. Study of forage zooplankton based on the results of ichthyoplankton net catches. *Proceedings of the conference "Problems of fisheries forecasting"*. Murmansk: PINRO. P. 156–158 (in Russian).
- Gutelmaher B.L. 1986. Metabolism of plankton as a whole: Trophometabolic interactions of zoo- and phytoplankton. *Proceedings of the Zoological Institute, Russian Academy of Sciences*. № 133. Leningrad: Nauka Publ. 156 p. (in Russian).
- Davydova S.V., Shebanova M.A., Andreeva E.N. 2007. Summer-autumn ichthyoplankton of the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan and feeding habits of fish larvae and fry in 2003–2004. *Voprosy ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 47. № 4. P. 515–528 (in Russian).
- Dekhnik T.V., Sinyukova V.I. 1976. Study of the food supply of marine fish larvae as a factor determining their survival. *Voprosy ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 16. № 2. P. 335–344 (in Russian).
- Duka L.A., Sinyukova V.I. 1976. Guidelines for the study of the nutrition of larvae and fry of marine fish in natural and experimental conditions. Kyiv: Naukova dumka Publ. 134 p. (in Russian).
- Efimkin A.Ya. 2013. Capelin feeding in the Bering, Okhotsk and Chukchi Seas. *Izvestiya TINRO (Transactions of the Pacific Research Institute of Fisheries and Oceanography)*. № 137. P. 193–208 (in Russian).
- Konstantinov A.S. 1986. General hydrobiology. Moscow: Higher school Publ. 472 p. (in Russian).
- Kostyuchenko V.A., Pavlovskaya R.M. 1976. Dynamics of the number of commercial fish and factors determining the productivity of generations. Fundamentals of biological productivity of the Black Sea. Kyiv: Naukova dumka Publ. P. 279–291 (in Russian).
- Kuznetsova N.A. 2018. New data on the feeding of juvenile fish in the eastern part of the Chukchi Sea. *Izvestiya TINRO (Transactions of the Pacific Research Institute of Fisheries and Oceanography)*. № 194. P. 139–152 (in Russian).
- Kuznetsova N.A. 2004. Feeding and food relations of nekton in the epipelagic zone of the northern

- part of the Sea of Okhotsk. *Candidacy dissertation for biological sciences*. Vladivostok. 316 p. (in Russian).
- Maximenkov V.V. 1984. Nutritional relationships of larvae of some fish in the Gulf of Korf. *Voprosy ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 24. № 6. P. 972–978 (in Russian).
- Maximenkov V.V. 1991. Feeding of pollock larvae off the coast of Kamchatka. *Izvestiya TINRO (Transactions of the Pacific Research Institute of Fisheries and Oceanography)*. № 29. P. 35–49 (in Russian).
- Maximenkov V.V. 1994. Feeding of larvae of three flounder species on the Western Kamchatka shelf. *Izvestiya TINRO (Transactions of the Pacific Research Institute of Fisheries and Oceanography)*. № 115. P. 167–170 (in Russian).
- Maximenkov V.V. 2007. Feeding and nutritional relationships of juvenile fish living in river estuaries and coastal areas of Kamchatka. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO Publ. 278 p. (in Russian).
- Manteifel P.A. 1961. Remarks of naturalist. Moscow: Uchpedgiz Publ. 189 p. (in Russian).
- Napazakov V.V., Chuchukalo V.I. 2003. Nutritional relationships and trophic status of common species of sculpins (Cottidae) in the western part of the Bering Sea in autumn. *Voprosy ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 43. № 2. P. 200–208 (in Russian).
- Nikolotova L.A. 1977. Feeding and feeding relationships of bottom fish of the Western Kamchatka shelf. *Candidacy dissertation for biological sciences*. Vladivostok. 259 p. (in Russian).
- Nikolsky G.V. 1949. On the regularities of intraspecific food relations in freshwater fish. Bulletin Moscow Island is tested. nature. Dep. biol. T. 54. № 1. S. 1–15 (in Russian).
- Pavlov D.A. 2010. Actual problems of modern ichthyology (to the 100th anniversary of G.V. Nikolsky). Reproductive strategy and population dynamics. Moscow: Tov. scientific ed. KMK. P. 217–240 (in Russian).
- Pokrovskaya I.S. 1957. Feeding of Sakhalin herring larvae. *Izvestiya TINRO (Transactions of the Pacific Research Institute of Fisheries and Oceanography)*. № 44. P. 39–56 (in Russian).
- Ponomarev S.A., Shadrin A.M. 2014. Study of tropical fish larvae (South China Sea, Vietnam) during the transition to external feeding under experimental conditions. *Evrazijskij Soyuz Uchenyh (Eurasian Union of Scientists)*. № 10. P. 111–112 (in Russian).
- Ponomareva L.A. 1963. On the issue of the availability of food organisms for fish. *Proceedings of the IOAN USSR*. № 71. P. 72–80 (in Russian).
- Rass T.S. 1965. Instructions for finding fish by floating caviar. Western Pacific Fisheries Research Commission. Beijing. 28 p. (in Russian).
- Recommendations for the collection and processing of ichthyoplankton from the Kuroshio Current Zone. 1987. Vladivostok: TINRO. 70 p. (in Russian).
- Sedova N.A., Grigoriev S.S. 2005. Study of forage zooplankton in the Sea of Okhotsk. Fishery Research of the World Ocean. *Proceedings of the International scientific conference*. Part I. Vladivostok: Dalrybvtuz Publ. P. 162–164 (in Russian).
- Sedova N.A., Grigoriev S.S. 2006. Comparison of the results of catching zooplankton with the large Judaygear and the IKS-80 ichthyoplankton gear. *Proceedings of the conference of Kamchatka Branch of the Pacific Institute of Geography FEB RAS*. Iss. IV. Petropavlovsk-Kamchatsky. P. 85–94 (in Russian).
- Tokranov A. M. 1985. Feeding of Jordan's semi-scaled gobies *Hemilepidotus jordani* Bean and Gilbert *Hemilepidotus gilberti* Jordan et Starks (Cottidae) off the eastern coast of Kamchatka. *Voprosy ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 25. № 1. P. 89–95 (in Russian).
- Khlebosolov E.I. 2002. Ecological niche theory: history and current state. *Russkij ornitologicheskij zhurnal (The Russian Journal of Ornithology)*. № 203. P. 1019–1037 (in Russian).
- Chuchukalo V.I., Lapko V.V., Kuznetsova N.A. 1999. Feeding of bottom fish on the shelf and continental slope of the northern part of the Sea of Okhotsk in the summer of 1997. *Izvestiya TINRO (Transactions of the Pacific Research Institute of Fisheries and Oceanography)*. № 126. P. 24–27 (in Russian).
- Augerot X. 2005. Atlas of Pacific salmon. Berkley; Los Angeles, California: Univ. Calif. Press. 150 p.
- Barraclough W.E., Fulton J.D. 1968. Data record: Food of larval and juvenile fish caught with a surface trawl in Saanich Inlet during June and July 1966. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. MS Rep. Ser. № 1003. 78 p.
- Clemens W.A., Wilby G.V. 1961. Fishes of the Pacific coast of Canada. 2nd ed. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. Bull. № 68. P. 1–443 p.
- Grigoriev S.S., Sedova N.A. 2003. An experience of ichthyoplankton samples for estimation of forage zooplankton production in the Eastern Sea of Okhotsk, Northwestern Pacific. The role of Zooplankton in global ecosystem dynamics: comparative studies from the world oceans. *Third International Zooplankton Production Symposium*. May 20–23, 2003. Gijon, Spain. P. 67.

- Hjort J. 1926. Fluctuations in the year class of important food fishes. *Journal du Conseil / Conseil International pour l'Exploration de la Mer*. № 1. P. 5–38.
- Hunter J.R. 1981. Feeding ecology and predation of marine fish larvae. *Marine fish larvae: Morphology, Ecology and Relation to Fisheries*. University of Washington Press, Seattle. P. 33–77.
- Lavens P., Sorgeloos P. (eds.). 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture. *FAO Fisheries Technical Paper*. № 361. Rome, FAO. 295 p. URL: <https://www.fao.org/3/w3732e/w3732e02.htm>
- Markhaseva E.L. 1996. Calanoid copepods of the family Aetideidae of the world ocean. *Trudy Zoologicheskogo Instituta*. Vol. 268. St. Petersburg. 331 p.
- Paul A.J. 1983. Light, temperature, nauplii concentrations, and prey capture by first feeding pollock larvae *Theragra chalcogramma*. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 13. P. 175–179.
- Petryashov V.V. 2007. Order Mysidacea. Biota of Russian Waters of the Sea of Japan. Part 2. Edited by A.V. Adrianov. Vladivostok: Dalnauka. P. 42–80.
- The World Register of Marine Species (WoRMS). URL: <http://www.marinespecies.org/index.php>
- Yi B. 2006. A study of the early development of grass carp, black carp silver carp and bighead carp in the Yangtze River, China. *Early development of four cyprinids native to the Yangtze River*. № 239. P. 15–51.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Григорьев Сергей Сергеевич – Камчатский филиал Тихоокеанского института географии (КФ ТИГ) ДВО РАН; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии; sgri@inbox.ru. SPIN-код: 3010-8053; Author ID: 976830; Scopus ID: 56258333100.

Grigoriev Sergey Sergeevich – Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute (KB PGI) FEB RAS; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences, Docent, Senior Researcher of Laboratory of Hydrobiology; sgri@inbox.ru. SPIN-code: 3010-8053; Author ID: 976830; Scopus ID: 56258333100.

Седова Нина Анатольевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук; доцент; профессор кафедры «Водные биоресурсы, рыболовство и аквакультура»; sedova67@bk.ru. SPIN-код: 5638-3959; Author ID: 664456; Scopus ID: 7003300397.

Sedova Nina Anatolievna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences; Docent; Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair; sedova67@bk.ru. SPIN-code: 5638-3959; Author ID: 664456; Scopus ID: 7003300397.

О ПРОМЫСЛОВОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ВОДАХ КАМЧАТСКОГО КРАЯ

Дьяков Ю.П.¹, Бугаев А.В.²

¹ Всероссийская общественная организация «Русское географическое общество», г. Санкт-Петербург, пер. Гривцова, д. 10А.

² Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), г. Петропавловск-Камчатский, Набережная, 18.

В статье характеризуется динамика промыслового изъятия биологических ресурсов в период второго десятилетия (2011–2020 гг.) XXI века в морских водах, прилегающих к Камчатскому краю. Оценивается уровень такого изъятия, по сравнению с предшествующим десятилетием, сделана сравнительная оценка видового состава эксплуатируемых объектов. Рассматривается соответствие структуры фактической добычи биологических ресурсов прогнозируемой. Установлено, что по степени освоения прогнозируемого вылова лидировали сельдь и лососи, на третьем месте были крабы, и четвертое занимал минтай. По отношению к другим важным объектам промысла наблюдался существенный недостаток, в наибольшей степени выраженный для моллюсков.

Ключевые слова: водные биоресурсы, вылов, морские рыбы, промысловые беспозвоночные, промысловые районы.

ON COMMERCIAL EXPLOITATION OF BIOLOGICAL RESOURCES IN WATERS OF KAMCHATKA TERRITORY

Dyakov Yu.P.¹, Bugaev A.V.²

¹ All-Russian Non-Government Organization “Russian Geographical Society”, St. Petersburg, Grivtsov Pereulok 10A.

² Kamchatka Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberezhnaya Str. 18.

The dynamics of commercial catch of biological resources during the second decade (2011–2020) of the 21st century in sea waters adjacent to the Kamchatka Territory was characterized in the article. The level of such catch is estimated in comparison with the previous decade; a comparative assessment of the operated species is made. The structure conformity of the actual biological resources catching with the predicted one is considered. It was established that according to the degree of predicted catch development herring and salmon were in the lead, crabs were in third place and pollock was the fourth one. A significant poor catch was observed in relation to other important fishery objects and the most pronounced was for mollusks.

Key words: aquatic bioresources, catch, marine fish, commercial invertebrates, fishing areas.

ВВЕДЕНИЕ

Водные биологические ресурсы западной части Берингова, восточной части Охотского морей и тихоокеанских вод, омывающих Камчатский край, служат основой его рыбной промышленности. В этих водах обитает более 50 видов гидробионтов, имеющих промысловое значение. Морские районы, прилегающие к Камчатке, играют ведущую роль в промысле гидробионтов на Дальнем Востоке России. Так, в 2020 г., из 3,5 млн т биоресурсов, добытых в дальневосточных морях, 1,8 млн т (51,4%) пришлось на эти воды (данные отраслевой системы «Мониторинг»).

Исследователями, работающими в рыбохозяйственной области, периодически проводится оценка состояния запасов и степени эксплуатации промысловых видов гидробионтов, обитающих в водах Камчатского края. Так, в 2003 г. вышел коллективный труд сотрудников Камчатского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО) под редакцией д.б.н. Н.И. Науменко «Состояние биологических ресурсов северо-западной Пацифики» [Состояние ..., 2003], где были отражены результаты исследований динамики запасов и вылова морских и анадромных рыб, промысловых беспозвоночных и морских млекопитающих за период 1991–2001 гг.

Анализ динамики и степени эксплуатации морских гидробионтов, в первом десятилетии XXI в. выполнен Ю.П. Дьяковым, В.И. Карпенко и Е.А. Шевляковым [Дьяков Ю.П. и др., 2012]. В публикации этих авторов дана характеристика динамики биомассы промысловых гидробионтов Камчатки в течение десятилетнего периода – с 2001 по 2010 гг. Сделана оценка величины суммарной промысловой биомассы, а также биомассы отдельных объектов добычи на акватории, прилегающей к Кам-

чатскому краю. Изложены результаты анализа эксплуатации водных биологических ресурсов, сосредоточенных в водах полуострова Камчатка.

В настоящее время назрела необходимость выполнить аналогичную работу, относящуюся ко второму десятилетию XXI в.: периоду 2011–2020 гг. В журнале «Вопросы географии Камчатки» опубликована статья Ю.П. Дьякова и А.В. Бугаева [Дьяков, Бугаев, 2022] с анализом динамики запасов промысловых биологических объектов в водах, прилегающих к Камчатскому краю. В настоящем представляемом материале считаем целесообразным охарактеризовать степень их эксплуатации в течение указанного периода. По нашему мнению, это необходимо сделать не только с целью рационального использования имеющихся ресурсов, но и для оценки перспектив рыбной промышленности регионов Дальнего Востока.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Морская акватория в границах Камчатского края разделена на пять промысловых статистических районов, к которым относятся Западно-Берингоморская зона и четыре подзоны: Карагинская, Петропавловско-Командорская, Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская (рис. 1).

Данные по промысловому изъятию гидробионтов взяты из выпусков: «Состояние промысловых ресурсов. Прогноз общего вылова по Дальневосточному рыбохозяйственному бассейну» [2010, 2011, 2015, 2018, 2019] и выпусков: «Состояние промысловых ресурсов Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна. Материалы к прогнозу общего вылова гидробионтов» [2012, 2013, 2016, 2017, 2020], а также из публикаций А.В. Бугаева и др. в «Аналитических обзорах итогов лососевой путины» [2018, 2019, 2020а, 2020б].

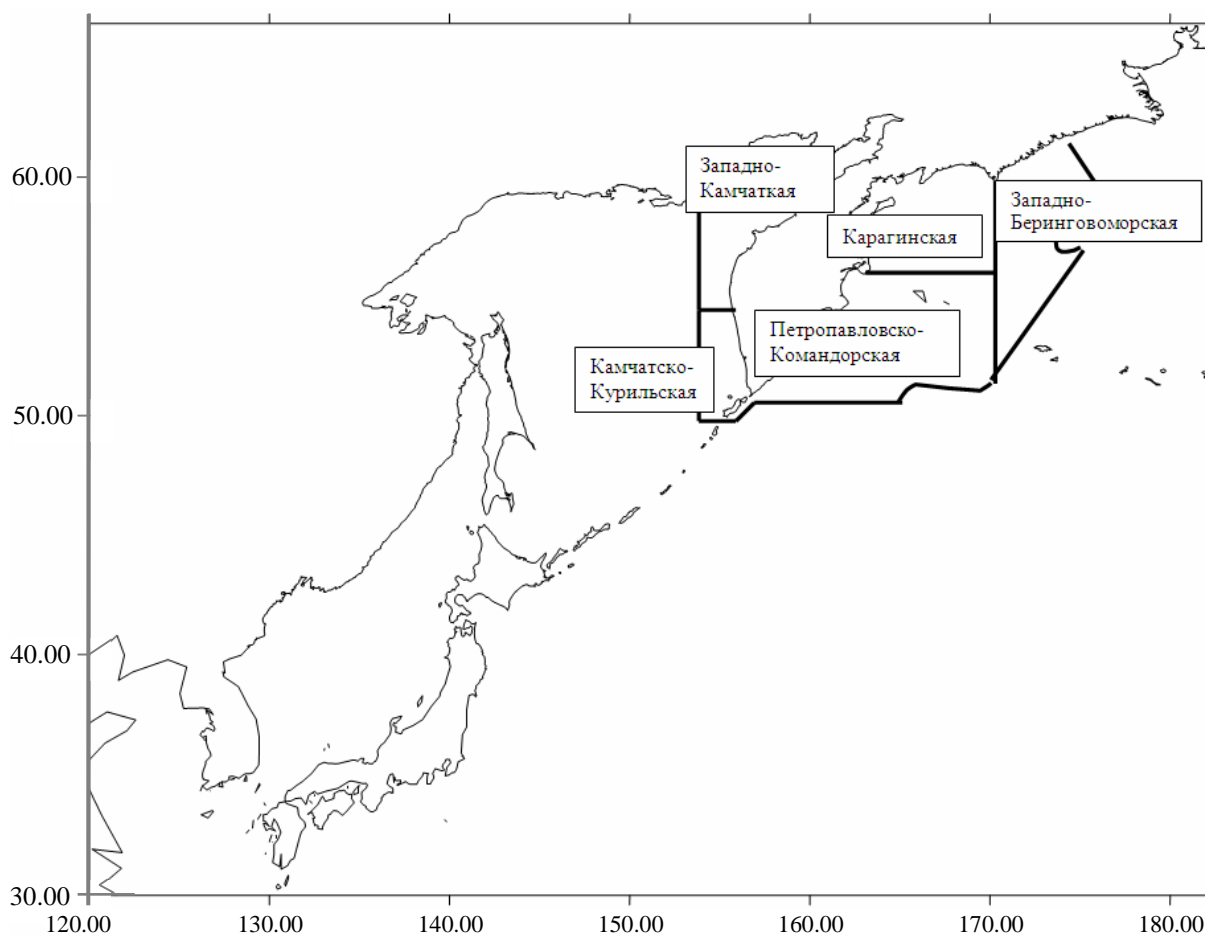


Рис. 1. Акватория промысловых районов, прилегающих к Камчатскому краю. На рисунке показана прилегающая к региону часть Западно-Беринговоморской зоны

Fig. 1. Water fishing areas adjacent to the Kamchatka Territory. The part of the West Bering Sea zone adjacent to the region was represented

В качестве прогностических терминов использовали: «общий допустимый улов» (ОДУ), «рекомендованный вылов» (РВ) для морских гидробионтов и «прогнозируемый вылов» (ПВ) – для тихоокеанских лососей. Анализ фактического вылова в 2011–2020 гг. основан на данных отраслевой системы «Мониторинг» и Северо-Восточного территориального управления Росрыболовства (СВТУ).

К перечню видов, динамика, прогнозирование и эксплуатация ресурсов которых исследована, относятся следующие **рыбы**: горбуша *Oncorhynchus gorbusha*, кета *O. keta*, нерка *O. nerka*, чавыча *O. tshawytscha*, кижуч *O. kisutch*, сельдь *Clupea*

pallasii, минтай *Theragra chalkogramma*, тихоокеанская треска *Gadus macrocephalus*, навага *Eleginus gracilis*, камбалы сем. Pleuronectidae, палтусы: белокорый *Hippoglossus stenolepis*, черный *Reinhardtius hippoglossoides*, азиатский стрелозубый *Atheresthes evermanni*, американский стрелозубый *A. stomias*, северный одноперый терпуг *Pleurogrammus monopterygius*, морские окуни р. *Sebastes*, шипощеки р. *Sebastes*, бычки р. *Myoxocephalus*, *Hemilepidotus*, *Gymnocanthus*, макрурус *Albatrossia pectoralis*, угольная рыба *Anoplopoma fimbria*, мойва *Mallotus villosus*, корюшка азиатская зубастая *Osmerus mordax dentex*, скаты р. *Bathyraja*, **крабы**: камчатский

Paralithodes camtchaticus, синий *P. platypus*, колючий *P. brevipes*, равношипый *Lithodes aequispina*, волосатый четырехугольный *Erimacrus isenbeckii*, стригун опилио *Chionoecetes opilio*, стригун бэрди *C. bairdi*, стригун ангулятус *C. angulatus*, **креветки**: северная *Pandalus borealis*, углохвостая *P. goniurus*, гребенчатая *P. hypsinotus*, шримсы р. *Sclerocrangon*, *Argis*, **моллюски**: кальмар командорский *Beryteuthis magister*, морские гребешки р. *Chlamis*, мидия тихоокеанская *Mytilus trossulus*, брюхоногие моллюски сем. *Vuccinidae*, **иглокожие**: кукумария охотская *Cucumaria okhotensis*, морские ежи р. *Strongylocentrotus*, **водоросли**: р. *Laminaria*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для того чтобы оценить степень эксплуатации водных биологических ресурсов Камчатки, сопоставили объемы их рекомендованного изъятия, куда вошли величины ОДУ, РВ и ПВ, с фактическим выловом и промысловой биомассой этих ресурсов (рис. 2).

При среднемноголетнем уровне суммарного промыслового запаса 11,4 млн т рекомендуемое их годовое изъятие изменялось в пределах от 1,7 млн т в 2012 г. до 2,02 млн т в 2019 г. Фактический вылов промысловых объектов колебался от 1,45 млн т в 2014 г. до 1,97 млн т в 2018 г. (в среднем – 1,69 млн т). Таким образом, средний за прошедшее десятилетие коэффициент эксплуатации водных биоресурсов Камчатки (отношение фактического вылова к биомассе запаса) составил 14,9%, а реализация рекомендованного изъятия – 91,2%. Данная величина существенно превышает таковую для периода 2001–2010 гг., когда реализация прогноза в среднем была равна 75,9% [Дьяков и др., 2012]. Следовательно, во втором десятиле-

тии сырьевые биологические ресурсы прикамчатских вод стали использоваться более полно и интенсивно.

Межгодовая динамика относительного вылова (коэффициента эксплуатации) и реализации рекомендованного изъятия приведена на рисунке 3.

Вместе с тем степень освоения запасов различных промысловых объектов была неодинакова. Анализируя промысловую эксплуатацию наиболее важных из них, можно отметить, что фактическое изъятие тихоокеанских лососей часто превышало первоначально установленный прогнозируемый вылов (ПВ) (рис. 4). Связано это с оперативным регулированием вылова, когда необходимо учитывать реальную численность подходов рыб в год промысла [Бугаев и др., 2020б]. В среднем за десятилетие годовая добыча лососей у берегов Камчатки составила 251 тыс. т, а реализация прогноза – 124,5%.

Похожая ситуация сложилась и с промыслом сельди. Ее фактический вылов в течение десятилетия колебался от 19 до 186 тыс. т (рис. 4), а средняя реализация ОДУ была выше первоначально установленного, достигнув 131,6%.

Фактическое изъятие минтая изменялось от 921,6 до 1 102,3 тыс. т, а среднегодовая реализация прогноза составила 100,8%. У остальных тресковых (треска и навага) соответствующие показатели равны: 77,6 тыс. т, 167,7 тыс. т и 80,6%; у камбаловых: 59 тыс. т, 86,9 тыс. т и 71,2% (рис. 4).

Среди беспозвоночных наиболее интенсивно и полно осваивались запасы крабов. Фактический годовой их вылов изменялся в диапазоне 6,5–28,8 тыс. т (рис. 4), а среднегодовая реализация ОДУ равна 103,3%.

Хуже всего были освоены ресурсы моллюсков. Годовая их добыча колебалась от 1,7 до 43,1 тыс. т (рис. 4), а средняя величина реализации прогноза составила 32,1%.

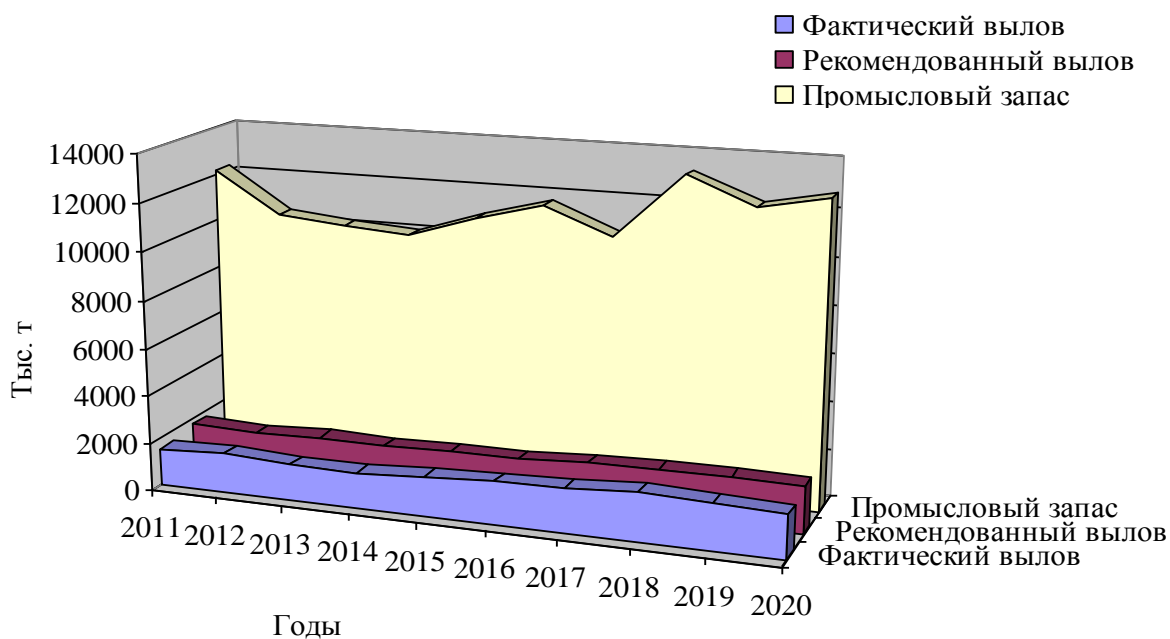


Рис. 2. Соотношение промыслового запаса и вылова водных биологических ресурсов Камчатки в 2011–2020 гг.

Fig. 2. The ratio of commercial stock and catch of aquatic biological resources of Kamchatka in 2011–2020

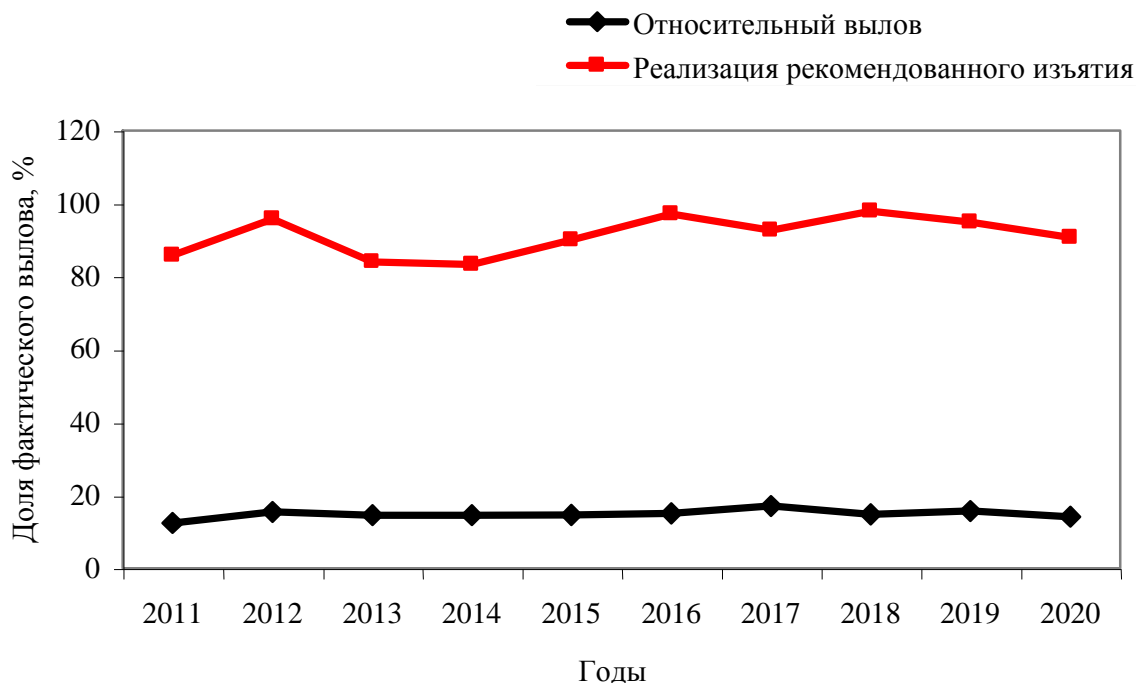


Рис. 3. Доля фактического вылова (%) от суммарного промыслового запаса и реализация рекомендованного изъятия (%) водных биологических ресурсов Камчатки в 2011–2020 гг.

Fig. 3. The ratio of the actual catch (%) of the total commercial stock and the realization of the recommended catch (%) of aquatic biological resources of Kamchatka in 2011–2020

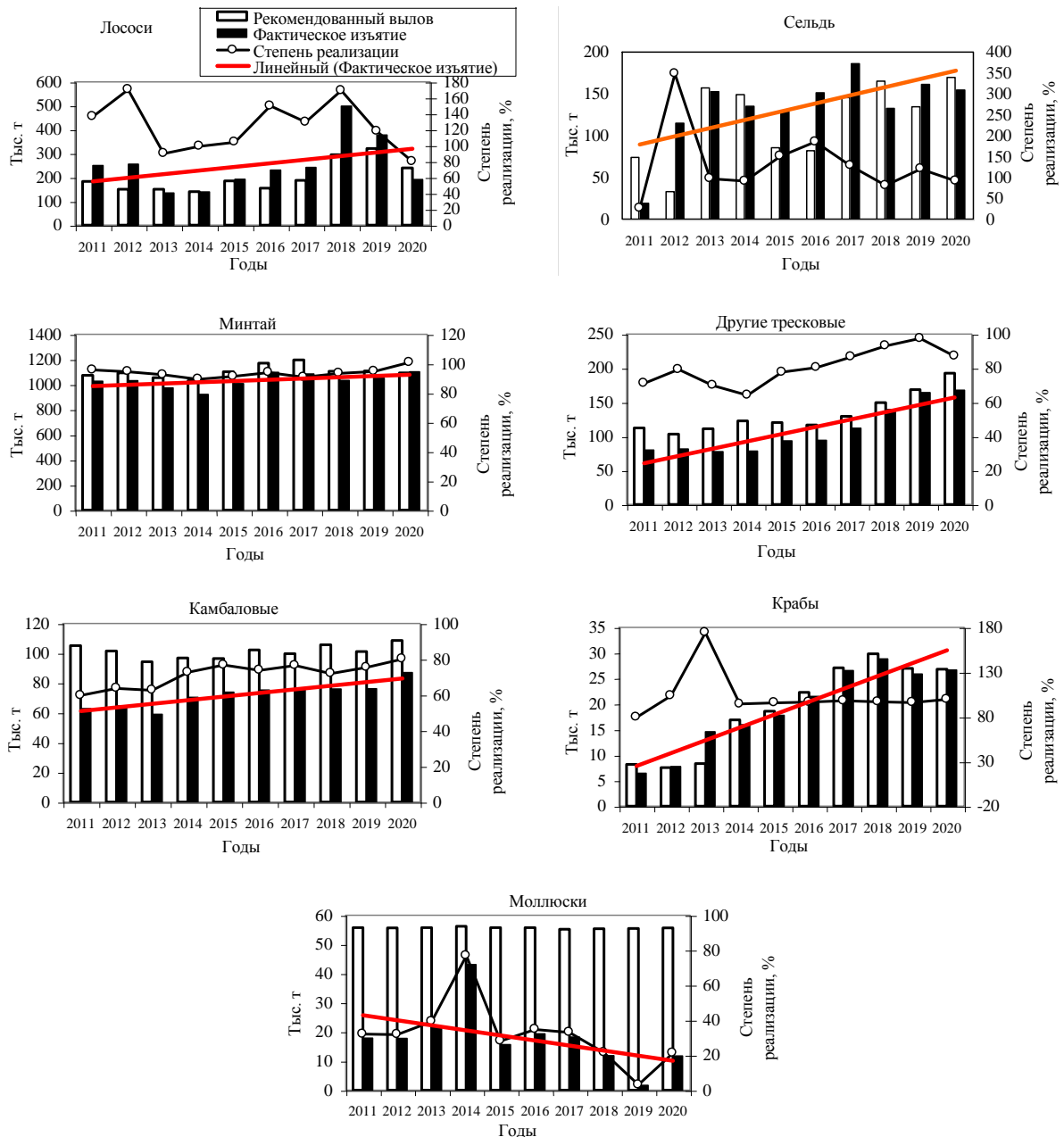


Рис. 4. Динамика вылова и степень реализации рекомендованного изъятия водных биоресурсов Камчатки в 2011–2020 гг.

Fig. 4. Dynamics of the catch and the degree of the recommended catch of aquatic biological resources of Kamchatka in 2011–2020

В целом за десятилетие можно отметить рост добычи лососей, сельди, камбал, трески и наваги, крабов. Уровень добычи минтая в течение периода был близок к постоянному, а моллюсков снижался (рис. 4).

Сопоставляя среднегодовую добычу указанных объектов в 2011–2020 гг. с аналогичной величиной в предшествующем

десятилетия (табл.), можно заключить следующее.

В наибольшей степени (почти на 380%) увеличилось относительное изъятие сельди. Значительно возросла добыча тихоокеанских лососей – на 120%. Среднегодовой вылов крабов и моллюсков вырос соответственно на 72,5 и 77,8%. В отношении моллю-

сков это произошло даже на фоне тенденции к снижению их добычи в течение последнего периода. На 49% увеличилась добыча тресковых (без минтая) и на 20,5% – минтая. Средний вылов камбаловых рыб остался практически на том же уровне, показывая снижение на 2,1%. В абсолютных величинах наибольшее увеличение вылова относится к минтаю (175,8 тыс. т), затем к лососям (136,7 тыс. т) и сельди (105,8 тыс. т).

В целом промысловое изъятие гидробионтов Камчатки в последнем десятилетии возросло на 468,4 тыс. т, или на 40,1%, по сравнению с прошлым аналогичным периодом (табл.).

Как и в первом десятилетии, суммарная добыча водных биологических объектов (рис. 5) почти пропорциональна средней доле их биомассы в различных промысловых районах [Дьяков, Бугаев, 2022].

Таблица. Изъятие водных биологических ресурсов Камчатки в 2001–2010 и 2011–2020 гг.

Table. Catch of aquatic biological resources of Kamchatka during in 2001–2010 and 2011–2020

Объекты промысла	Вылов (тыс. т) в 2001–2010 гг.	Вылов (тыс. т) в 2011–2020 гг.	Разность, тыс. т	Разность, %
Лососи	114,35	251,04	136,69	119,5
Сельдь	27,85	133,63	105,79	379,9
Минтай	857,36	1 033,20	175,83	20,5
Другие тресковые	73,09	108,87	35,78	49,0
Камбаловые	73,61	72,06	-1,55	-2,1
Крабы	11,13	19,21	8,08	72,5
Моллюски	10,04	17,86	7,82	77,8
Итого	1 167,43	1 635,86	468,43	40,1

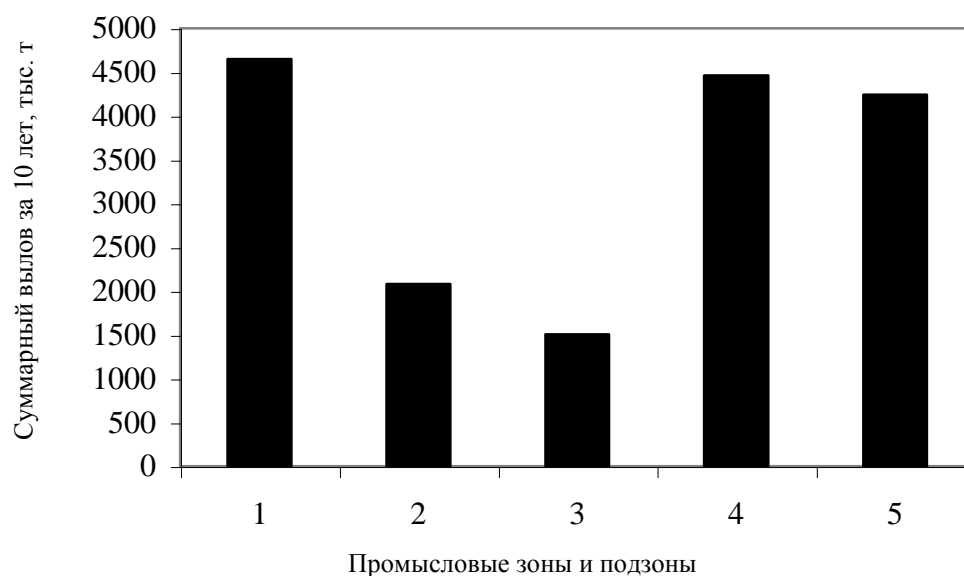


Рис. 5. Суммарный вылов гидробионтов в промысловых зонах и подзонах Камчатки в период 2011–2020 гг. 1 – Западно-Берингоморская; 2 – Карагинская; 3 – Петропавловско-Командорская; 4 – Камчатско-Курильская; 5 – Западно-Камчатская

Fig. 5. Total catch of hydrobionts in commercial zones and subzones of Kamchatka in the period of 2011–2020 1 – West Bering Sea; 2 – Karaginskaya; 3 – Petropavlovsk-Komandorskaya; 4 – Kamchatka-Kuril; 5 – West Kamchatka

Самое большое по биомассе суммарное изъятие биоресурсов в 2011–2020 гг. (рис. 5) пришлось на Западно-Берингово-морскую зону и составило около 4,65 млн т. Более 4 млн т в каждой выловлено за последнее десятилетие в Камчатско-Курильской (4,46 млн т) и Западно-Камчатской (4,24 млн т) подзонах. В последнем случае нужно отметить, что, несмотря на то что доля биомассы сырьевых ресурсов Западно-Камчатской подзоны выше, чем Камчатско-Курильской, фактический вылов в последней подзоне несколько превосходит такое изъятие в первой. Добыча рыб и беспозвоночных за десятилетие в Кара-

гинской и Петропавловско-Командорской подзонах намного ниже, чем в указанных выше районах, и равна соответственно 2,08 и 1,51 млн т, что пропорционально уровню запасов биологических объектов.

Видовой состав изъятых при промысле объектов в разных районах различался (рис. 6).

Основу вылова в Западно-Берингово-морской зоне составлял минтай (74,0%). Доля биомассы других объектов была гораздо ниже: 8,2% – у сельди, 8,0% – у других тресковых, а остальную часть биомассы занимали все другие промысловые рыбы и беспозвоночные.

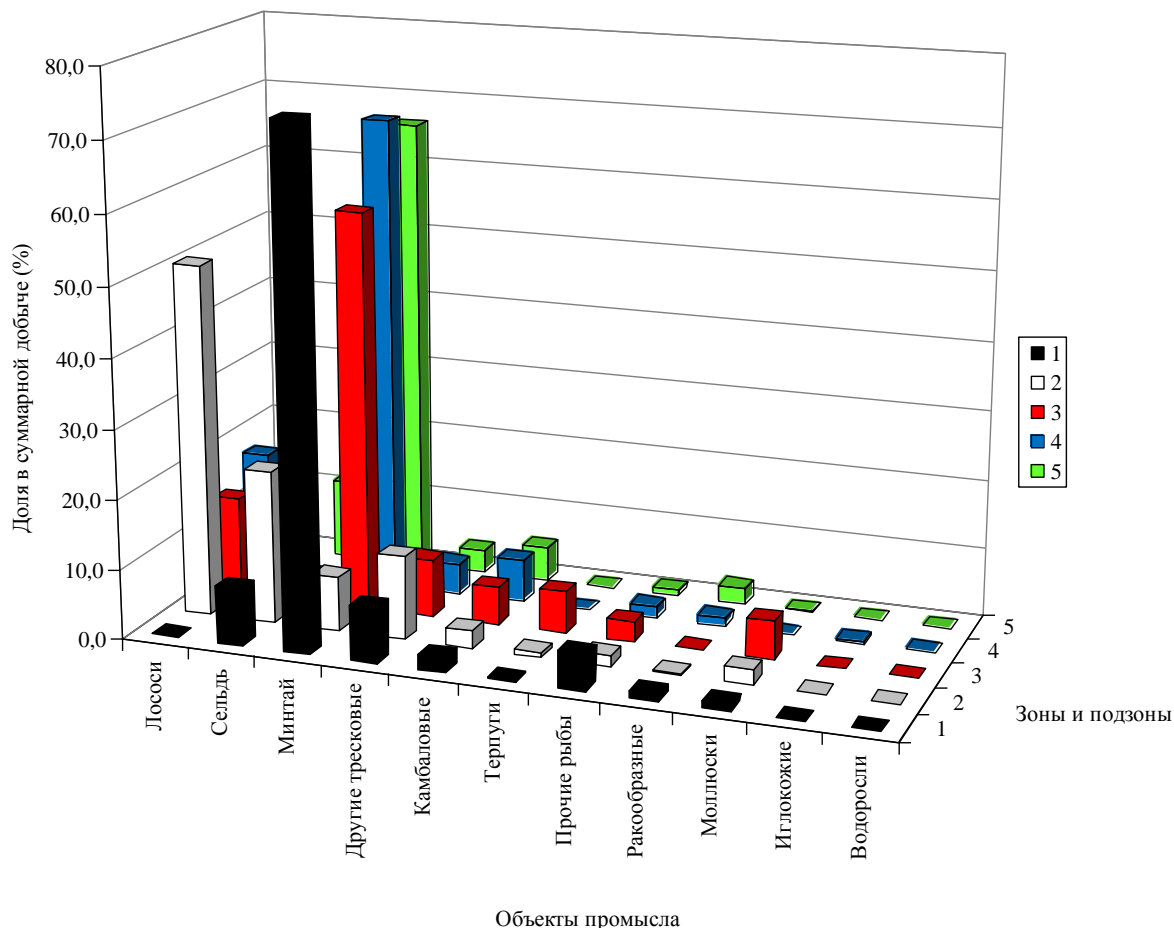


Рис. 6. Доля различных объектов (%) в суммарной добыче гидробионтов в промысловых зонах и подзонах Камчатки в 2011–2020 гг. (1 – Западно-Берингово-морская, 2 – Карагинская, 3 – Петропавловско-Командорская, 4 – Камчатско-Курильская, 5 – Западно-Камчатская)

Fig. 6. The various objects ratio (%) in the total hydrobionts catch in the commercial zones and subzones of Kamchatka in 2011–2020 (1 – West Bering Sea, 2 – Karaginskaya, 3 – Petropavlovsk-Komandorskaya, 4 – Kamchatka-Kurilskaya, 5 – West Kamchatka)

В Карагинской подзоне 56,6% вылова пришлось на лососей, 22,1% – на сельдь и 12,1% – на тресковых: треску и навагу. Доля минтая в суммарной добыче составляла всего 7,9%, а остальных объектов находилась в пределах: 0,3% (ракообразные) – 2,6% (камбаловые).

В составе изъятых промыслом ресурсов Петропавловско-Командорской подзоны минтай занимал 57,5%. На лососей приходилось 14,0% вылова, 8,3% – на других тресковых, 6,1% – на терпуга, 5,5% – на камбаловых. В данном районе заметную долю в общей добыче занимали моллюски (5,5%), подавляющую часть которых составлял командорский кальмар. Как можно видеть, промысел у Юго-Восточной Камчатки выделяется наибольшим видовым разнообразием среди других районов.

Суммарный вылов гидробионтов в Камчатско-Курильской подзоне на 68,5% состоял из минтая, 17,6% приходилось на лососей, 6,1% на камбаловых рыб и 4,5% на других тресковых. Доля каждого из остальных объектов не превышала 1,7%.

Сходным образом распределялся и видовой состав добычи в Западно-Камчатской подзоне. Здесь на долю минтая пришлось 66,1%, лососей – 10,8%, камбаловых – 4,9%, других тресковых – 3,3%. В отличие от более южной подзоны, в уловах у Северо-Западной Камчатки довольно велика относительная биомасса сельди (гижигинско-камчатской), которая составляла 11,6%.

В двух последних подзонах добывалось наибольшее, по сравнению с другими районами, количество ракообразных, относительная биомасса которых в суммарном изъятии всех гидробионтов была равна 1,3% – в Камчатско-Курильской подзоне и 2,3% – в Западно-Камчатской.

Анализируя промысел водных биологических объектов Камчатского края, нуж-

но иметь в виду, что по разным причинам (распределение видов, технические особенности лова, коммерческая ценность) доступность промысла или его избирательность по отношению к разным объектам неодинакова.

Для того чтобы в какой-то мере оценить, какие объекты более предпочитаемы и в то же время более доступны для эксплуатации, сравнили количественное распределение видового состава рекомендуемых к изъятию объектов (ОДУ, РВ, ПВ) с аналогичным их распределением в фактическом вылове. С этой целью рассчитали разность между относительной (в %) фактической добычей и прогнозируемым изъятием различных гидробионтов в соответствующих общих биомассах изымаемых ресурсов (рис. 7).

Выполненные расчеты показали, что в наибольшей степени от первоначально установленного относительного изъятия отклоняется относительный вылов лососей (4,0%). Также в положительную сторону сдвинуты фактические доли изъятия минтая и сельди (1,5 и 1,4%). Это связано с тем, что первоначально установленные ПВ и ОДУ этих объектов претерпевали изменения в ходе оперативного регулирования, а также с их наиболее важным значением в рыбной промышленности.

Более или менее заметные отрицательные отклонения доли фактической добычи от рекомендуемой наблюдаются у трески, наваги, водорослей, макруросов, терпуга, бычков, камбал и кальмара. Отклонения колеблются от –0,35 до –1,9%. Это связано с существенным фактическим недоловом перечисленных видов относительно первоначально установленных объемов вылова. Среди них есть и довольно ценные для промысла объекты, такие как треска, навага, терпуг, камбалы.



Рис. 7. Отклонение долей биомасс объектов в фактическом вылове от долей их биомасс в рекомендованном изъятии (%) в 2011–2020 гг.

Fig. 7. Deviation of objects biomass ratio in the actual catch from their biomass ratio in the recommended catch (%) in 2011–2020

Следует также отметить, что во втором десятилетии структура фактической добычи биологических ресурсов стала более соответствовать прогнозируемой. Если в период 2001–2010 гг. соответствующие средние отклонения вылова всех объектов равнялись 2,9 и $-0,6\%$, то в следующем десятилетнем периоде они составили 1,2 и $-0,3\%$. Тем не менее выполненный анализ показал, что существуют определенные перспективы дальнейшего развития освоения морских гидробионтов Камчатки за счет оптимального управления эксплуатацией ресурсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что суммарная добыча водных биологических объектов почти пропорциональна средней доле их биомассы в различных промысловых районах. Во втором десятилетии XXI в. сырьевые биологические ресурсы прикамчатских вод стали использоваться более полно и интенсивно. В целом за период наблюдался рост добычи лосо-

сей, сельди, камбал, трески и наваги, крабов. Уровень добычи минтая в течение периода был близок к постоянному, а моллюсков снижался. Суммарное промысловое изъятие гидробионтов Камчатки в этот период, по сравнению с предшествующим, возросло на 468,4 тыс. т, или на 40,1%. Самое большое по биомассе суммарное изъятие биоресурсов в 2011–2020 гг. пришлось на Западно-Берингоморскую зону.

По степени освоения прогнозируемого вылова лидировали сельдь и лососи, на третьем месте были крабы, и четвертое занимал минтай. По отношению к другим важным объектам промысла наблюдался существенный недолов, в наибольшей степени выраженный для моллюсков.

В течение 2011–2020 гг. структура фактической добычи биологических ресурсов стала более соответствовать прогнозируемой. Вместе с тем существуют определенные перспективы дальнейшего развития освоения морских гидробионтов Камчатки за счет оптимального управления эксплуатацией ресурсов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Н.Б. Артюхиной за большую помощь в обработке материалов по анадромным рыбам.

ЛИТЕРАТУРА

- Бугаев А.В., Шпигальская Н.Ю., Зикунова О.В. и др. 2018. Аналитический обзор итогов лососевой путины-2018 (Камчатский край). *Бюллетень изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке*. № 13. С. 14–40.
- Бугаев А.В., Шпигальская Н.Ю., Зикунова О.В. и др. 2019. Аналитический обзор итогов лососевой путины-2019 (Камчатский край). *Бюллетень изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке*. № 14. С. 23–52.
- Бугаев А.В., Шпигальская Н.Ю., Зикунова О.В. и др. 2020а. Обзор итогов лососевой путины-2020 в Камчатском крае (Сообщение 1): динамика и статистика промысла, оценки нерестового фонда. *Бюллетень изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке*. № 15. С. 17–43.
- Бугаев А.В., Лепская Е.В., Коваль М.В. и др. 2020б. Обзор итогов лососевой путины-2020 в Камчатском крае (Сообщение 2): анализ оправдываемости прогнозов и возможных причин их несоответствия. *Бюллетень изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке*. № 15. С. 141–170.
- Дьяков Ю.П., Бугаев А.В. 2022. Современное состояние и динамика водных биоресурсов Камчатки. *Вопросы географии Камчатки*. Вып. 17. Изд-во Камчатского краевого отделения Русского географического общества, Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН. С. 26–37.
- Дьяков Ю.П., Карпенко В.И., Шевляков Е.А. 2012. Водные биологические ресурсы Камчатки. Динамика, современное состояние, промысел. *Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 80-летию ФГУП «КамчатНИРО»*. С. 10–21.
- Состояние биологических ресурсов северо-западной Пацифики. 2003. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 124 с.
- Состояние промысловых ресурсов. 2010. *Прогноз общего вылова промысловых гидробионтов по Дальневосточному рыбохозяйственному бассейну на 2011 г.* Владивосток: ТИНРО-центр. 322 с.
- Состояние промысловых ресурсов. 2011. *Прогноз общего вылова промысловых гидробионтов по*

Дальневосточному рыбохозяйственному бассейну на 2012 г. Владивосток: ТИНРО-центр. 320 с.

- Состояние промысловых ресурсов Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна. 2012. *Прогноз общего вылова гидробионтов на 2013 год.* Владивосток: НТО ТИНРО; ТИНРО-центр. 109 с.
- Состояние промысловых ресурсов Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна. 2013. *Прогноз общего вылова гидробионтов на 2014 год.* Владивосток: НТО ТИНРО; ТИНРО-центр. 118 с.
- Состояние промысловых ресурсов. 2015. *Прогноз общего вылова промысловых гидробионтов по Дальневосточному рыбохозяйственному бассейну на 2015 г.* Владивосток: НТО ТИНРО; ТИНРО-центр. 373 с.
- Состояние промысловых ресурсов Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна. 2016. *Материалы к прогнозу общего вылова гидробионтов на 2016 год.* Владивосток: НТО ТИНРО; ТИНРО-центр. 121 с.
- Состояние промысловых ресурсов Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна. 2017. *Материалы к прогнозу общего вылова гидробионтов на 2017 год.* Владивосток: НТО ТИНРО; ТИНРО-центр. 139 с.
- Состояние промысловых ресурсов. 2018. *Прогноз общего вылова промысловых гидробионтов по Дальневосточному рыбохозяйственному бассейну на 2018 г.* Владивосток: НТО ТИНРО; ТИНРО-центр. 434 с.
- Состояние промысловых ресурсов. 2019. *Прогноз общего вылова промысловых гидробионтов по Дальневосточному рыбохозяйственному бассейну на 2019 г.* Владивосток: НТО ТИНРО; ТИНРО-центр. 447 с.
- Состояние промысловых ресурсов Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна. 2020. *Материалы к прогнозу общего вылова гидробионтов на 2020 год.* Владивосток: НТО ТИНРО; ТИНРО-центр. 180 с.

REFERENCES

- Bugaev A.V., Shpigalskaya N.Yu., Zikunova O.V. et al. 2018. Analytical review of the results of the salmon season – 2018 (Kamchatsky Krai). *Byulleten' izucheniya tihookeanskih lososej na Dal'nem Vostoke (Bulletin of Study of Pacific Salmon in the Far East)*. № 13. P. 14–40.
- Bugaev A.V., Shpigalskaya N.Yu., Zikunova O.V. et al. 2019. Analytical review of the results of the salmon season – 2019 (Kamchatsky Krai). *Byulleten' izucheniya tihookeanskih lososej na*

- Dal'nem Vostoke (Bulletin of Study of Pacific Salmon in the Far East)*. № 14. P. 23–52.
- Bugaev A.V., Shpigalskaya N.Yu., Zikunova O.V. et al. 2020a. Review of the results of the salmon fishing season-2020 in the Kamchatka Territory (Message 1): dynamics and statistics of fishing, estimates of the spawning fund. *Byulleten' izucheniya tihookeanskih lososej na Dal'nem Vostoke (Bulletin of Study of Pacific Salmon in the Far East)*. № 15. P. 17–43.
- Bugaev A.V., Lepskaya E.V., Koval M.V. et al. 2020b. Review of the results of the salmon fishing season-2020 in the Kamchatka Territory (Message 2): analysis of the justification of forecasts and possible reasons for their discrepancy. *Byulleten' izucheniya tihookeanskih lososej na Dal'nem Vostoke (Bulletin of Study of Pacific Salmon in the Far East)*. № 15. P. 141–170.
- Dyakov Yu.P., Bugaev A.V. 2022. Current state and dynamics of aquatic bioresources in Kamchatka. *Voprosy geografii Kamchatki (Questions of Kamchatka Geography)*. Issue 17. Publishing House of the Kamchatka Regional Branch of the Russian Geographical Society, Kamchatka Branch of the Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. P. 26–37.
- Dyakov Yu.P., Karpenko V.I., Shevlyakov E.A. 2012. Aquatic biological resources of Kamchatka. Dynamics, current state, fishing. *Proceedings of the All-Russian Scientific Conference dedicated to the 80th anniversary of KamchatNIRO*. P. 10–21.
- State of the biological resources of the northwestern Pacific. 2003. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO. 124 p.
- State of commercial resources. 2010. *Forecast of the total catch of commercial hydrobionts in the Far Eastern fishery basin for 2011*. Vladivostok: TINRO-Center. 322 p.
- State of commercial resources. 2011. *Forecast of the total catch of commercial hydrobionts in the Far Eastern fishery basin for 2012*. Vladivostok: TINRO-Center. 320 p.
- State of commercial resources of the Far Eastern fishery basin. 2012. *Forecast of the total catch of hydrobionts for 2013*. Vladivostok: NTO TINRO; TINRO-Center. 109 p.
- State of commercial resources of the Far Eastern fishery basin. 2013. *Forecast of the total catch of hydrobionts for 2014*. Vladivostok: NTO TINRO; TINRO-Center. 118 p.
- State of commercial resources. 2015. *Forecast of the total catch of commercial hydrobionts in the Far Eastern fishery basin for 2015*. Vladivostok: NTO TINRO; TINRO-Center. 373 p.
- State of commercial resources of the Far Eastern fishery basin. 2016. *Materials for the forecast of the total catch of hydrobionts for 2016*. Vladivostok: NTO TINRO; TINRO-Center. 121 p.
- State of commercial resources of the Far Eastern fishery basin. 2017. *Materials for the forecast of the total catch of hydrobionts for 2017*. Vladivostok: NTO TINRO; TINRO-Center. 139 p.
- State of commercial resources. 2018. *Forecast of the total catch of commercial hydrobionts in the Far Eastern fishery basin for 2018*. Vladivostok: NTO TINRO; TINRO-Center. 434 p.
- State of commercial resources. 2019. *Forecast of the total catch of commercial hydrobionts in the Far Eastern fishery basin for 2019*. Vladivostok: NTO TINRO; TINRO-Center. 447 p.
- State of commercial resources of the Far Eastern fishery basin. 2020. *Materials for the forecast of the total catch of hydrobionts for 2020*. Vladivostok: NTO TINRO; TINRO-Center. 180 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Дьяков Юрий Петрович – член Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество»; 190000, Россия, Санкт-Петербург; доктор биологических наук; yuri0849@gmail.com. SPIN-код: 6873-6352, Author ID: 561518

Dyakov Yury Petrovich – a member of the All-Russian non-government organization “Russian Geographical Society”; 190000, Russia, St. Petersburg; Doctor of Biological Sciences; yuri0849@gmail.com. SPIN-code: 6873-6352, Author ID: 561518

Бугаев Александр Викторович – Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО); 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, заместитель руководителя; kamniro@vniro.ru. SPIN-код: 7494-2130, Author ID: 280900

Bugaev Alexander Viktorovich – Kamchatka branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO); 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences, Deputy Head; kamniro@vniro.ru. SPIN-code: 7494-2130, Author ID: 280900

УДК (639.2.053+639.28):595.384.2"2018"(265.53) DOI: 10.17217/2079-0333-2023-63-78-86

**МОНИТОРИНГ ПРОМЫСЛА СИНЕГО КРАБА (*PARALITHODES PLATYPUS BRANDT*)
В ГОРЛЕ ЗАЛИВА ШЕЛИХОВА В ЯНВАРЕ 2018 ГОДА**

Коростелев С.Г.

Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, 6.

Показано, что в январе в заливе Шелихова наблюдается наиболее интенсивный в течение года промысел синего краба. При этом улов самцов промыслового размера на судосутки промысла составлял 13,474 тонны, или 7 600 шт. Однако данная величина не отражает реальную возможность вылова судна за судосутки, так как ограничена возможностью переработки сырца в течение 24 часов (15–16 тонн). Приведены сведения по размерно-весовому составу уловов и биологическому состоянию крабов, а также проанализирован видовой состав прилова других видов беспозвоночных и рыб при ловушечном промысле.

Ключевые слова: биологическое состояние, залив Шелихова, краб-стригун опилио, прилов, синий краб, уловы.

**MONITORING OF THE BLUE CRAB FISHERY (*PARALITHODES PLATYPUS BRANDT*)
IN THE THROAT OF SHELIKHOV BAY IN JANUARY 2018**

Korostelev S.G.

Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Partizanskaya Str. 6.

It is stated that January there is the most intensive blue crab fishing period in the Shelikhov Bay during the year. At the same time, the catch of males of commercial size per day was 13.474 tons or 7600 pcs. However, this value does not reflect the real possibility of catching per day, since it is limited to the possibility of raw material processing per day (15–16 tons). Information on the size-weight composition of catches and the biological state of crabs is given, as well as the species composition of the by-catch of other species of fish and invertebrates in trap fishing is analyzed.

Key words: biological state, Shelikhov Bay, opilio snow crab, bycatch, Blue crab, catches.

ВВЕДЕНИЕ

Популяция синего краба *Paralithodes platypus* в Охотском море наиболее многочисленна в северной части западнокамчатского шельфа и у магаданского побережья [Слизкин, Сафронов, 2000]. В пределах

западнокамчатского шельфа этот краб образует плотную группировку на глубинах около 60–400 м. В настоящее время он является важным объектом крабового промысла у берегов Западной Камчатки. Максимальная интенсивность промысла наблюдается в январе, что обусловлено

наивысшими уловами на судосутки в течение года [Шагинян, 2014, 2019]. Однако в имеющейся литературе практически отсутствуют сведения о биологическом состоянии синего краба в первом месяце года. Необходимо также отметить, что в имеющейся литературе практически отсутствуют сведения о составе уловов синего краба по массе, в то время как вся промысловая статистика основана на массе улова.

В связи с этим основной целью исследований являлся мониторинг промысла синего краба в январе и прилова других крабов, в частности краба-стригуна опилио *Chionoecetes opilio*, камчатского *Paralithodes camtschaticus* и равношипного *Lithodes aeguispinus*, а также различных видов беспозвоночных и рыб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сбор информации проводился на борту судна СТР-503 «РЕГУЛ» ООО «Полярис», которое было оснащено стандартным навигационным оборудованием. Для определения местонахождения судна использовали спутниковую навигационную систему «Furuno». Общая продолжительность рейса составила 15 суток.

Постановку контрольных порядков ловушек для проведения исследований осуществляли в начале января в горле залива Шелихова на глубинах 254–356 м (выполнена 41 постановка с 07.01.2018 по 16.01.2018 г. (см. прил.). Промысловые скопления синего краба облавливали в районе между 58°25' и 58°04' с. ш.; 155°33' и 155°44,5' в. д. Постановки порядков выполняли вдоль изобат, а продолжительность застоя составляла 1–2 суток.

В качестве орудий лова использовали стандартные крабовые конические ловушки (размер ячеи – 55 мм) в количестве 1 600 шт. Количество ловушек в одном по-

рядке составляло 200 шт. Всего для промысла использовали восемь порядков длиной 4 000 м. Расстояние между ловушками в порядке составляло 20 м. В качестве наживы использовали свежемороженую сельдь, измельченную и помещенную в перфорированные пластмассовые банки.

На каждый порядок в компьютерный журнал заносили: дату и время постановки и выборки порядка; глубину; время застоя ловушек; улов беспозвоночных и рыб в штуках (шт.) и килограммах (кг). Массу улова определяли по коэффициенту расхода сырья на 1 единицу готовой продукции – 1,642 [Бассейновые нормы ..., 2013].

Сбор и обработка данных проводились по общепринятым гидробиологическим методикам [Родин и др., 1979; Низяев и др., 2006; Мельник и др., 2014].

В ходе проведения работ собирался материал, характеризующий улов на усилие и соотношение различных видов рыб и беспозвоночных в уловах. Для этих целей проводился просчет улова по схеме: анализировался улов из 10 ловушек в начале, середине и конце контрольного порядка. Просчет массовых видов проводился при помощи счетчиков. Объем собранного биостатистического материала представлен в таблице 1, а освоение квоты синего краба приводится в таблице 2.

Все собранные материалы переданы для дальнейшей обработки в лабораторию промысловых ракообразных ТИНРО-центра.

Таблица 1. Объем собранного биостатистического материала

Table 1. Volume of collected biostatistical material

Объект	Промысловые самцы	Непромысловые самцы	Самки
Синий краб	520	100	1
Краб-стригун опилио	100	–	–
Камчатский краб	8	–	6
Равношипный краб	8	–	4

Таблица 2. Вылов СТР «РЕГУЛ» согласно разрешению на добычу (вылов) водных биологических ресурсов № 412018010019 в период с 7 по 16 января 2018 г.

Table 2. Catch of MTT “REGUL” according to the permission for the catch of aquatic biological resources № 412018010019 during the period from the 7 to 16 January 2018

Район добычи	Вид водных биоресурсов	Квота (объем) добычи (вылова), т	Вылов, т
(61.05.2) Западно-Камчатская подзона	Краб синий	215,929	134,744

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Уловы самцов синего краба промыслового размера на 100 ловушек за сутки застоя за весь период работ в среднем составили 643 экз., или 1 145 кг, для самцов непромыслового размера 108 шт., или 112 кг.

Средние уловы камчатского краба на 100 ловушек за сутки застоя составляли 4,6 шт., или 9 кг, стригуна опилио – 69 шт.,

или 51 кг, равношипого краба – 5,5 шт., или 7 кг.

Видовой состав и встречаемость различных видов беспозвоночных и рыб в уловах конических крабовых ловушек за период проведения работ в январе 2018 г. в горле залива Шелихова представлен в таблице 3. Как видно из таблицы, в уловах зарегистрировано четыре вида крабов, а также такие беспозвоночные, как морские звезды *Asteroidea* spp.

Кроме того, в уловах встречались не менее 10 видов рыб, наиболее многочисленными из которых являлись треска *Gadus macrocephalus*, два вида ликодов *Lycodes fasciatus*, *L. soldatovi*, карепрокты *Liparidae* spp. и многоиглый керчак *Myoxocephalus polyacanthocephalus*. Кроме того, в уловах отмечены минтай *G. halcogrammus*, скаты *Rajidae* spp., мягкий бычок *Malacocottus zonurus*, бычок-ворон *Hemirhamphus villosus*, лисички *Agonidae* spp. и желтоперая камбала *Limanda aspera*. Среди рыб по массе доминировала треска.

Таблица 3. Состав уловов конических крабовых ловушек (ячей 55 мм) в январе 2018 г. в горле залива Шелихова на глубинах 254–356 м

Table 3. Composition of catches with conical crab traps (mesh 55 mm) in January 2018 in the throat of Shelikhov Bay at depths of 254–356 m

Вид	По численности, %	По массе, %	Частота встречаемости, %
Синий краб, в т. ч.	89,8	95,5	100
самцы промысловые	76,8	87,0	100
самцы непромысловые	12,9	8,5	100
самки	0,1	+	9,6
Камчатский краб	0,5	0,1	100
Равношипый краб	0,7	0,1	39
Краб-стригун опилио	8,8	4,2	100
Морские звезды	+	+	5
Треска	0,2	+	85
Минтай	+	+	2,4
Скаты	+	+	2,4
Многоиглый керчак	+	+	12
Мягкий бычок	+	+	2,4
Бычок-ворон	+	+	2,4
Лисички	+	+	2,4
Ликоды	+	+	17
Карепрокты	+	+	12
Желтоперая камбала	+	+	2,4

Примечание. Знак «+» означает менее 0,1%.

Note. Symbol «+» means less than 0.1%.

Биологическое состояние промысловых видов крабов

Синий краб

Размерный состав особей синего краба в ловушечных уловах в январе в горле залива Шелихова представлен на рисунках 1 и 2. Размеры промысловых самцов изменялись в пределах от 130 до 177 мм (средний размер промысловых самцов 148,43 непромысловых – 119,89 мм). Масса про-

мысловых самцов варьировала от 1,0 до 3,0 кг (рис. 3), непромысловых – от 0,6 до 1,4 кг (рис. 4). При этом средняя масса промысловых самцов синего краба составляла 1,780, непромысловых – 1,037 кг.

Доля в уловах самцов непромыслового размера составляла 13,8%, промыслового – 86,2% от общей численности самцов. Среди промысловых самцов 1,5% находились на 3-й ранней, 98,5% – на 3-й межлиночной стадии, среди непромысловых – 8% на 3-й ранней, 92% на 3-й межлиночной стадии.

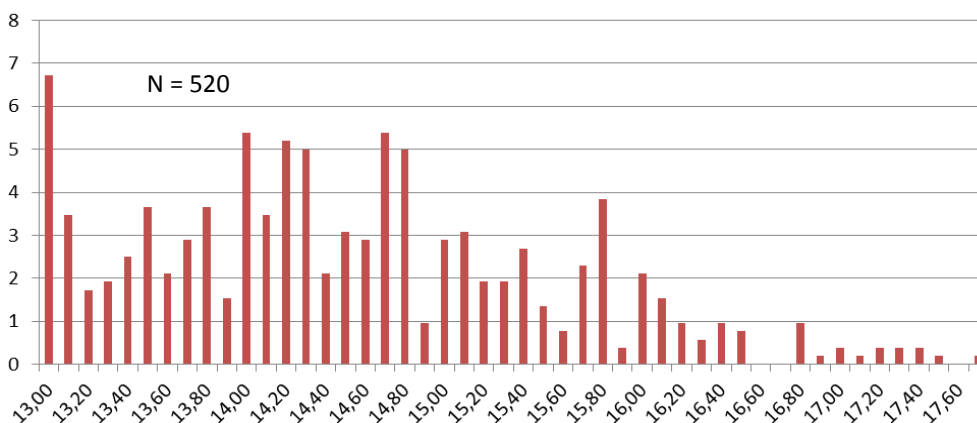


Рис. 1. Размерный состав уловов промысловых самцов синего краба в горле залива Шелихова в январе 2018 г. (По оси абсцисс – ширина карапакса, см; по оси ординат – %)

Fig. 1. The size of the catches of commercial male blue crab in the throat of Shelikhov Bay in January 2018 (On the abscissa axis – the width of the carapace, cm; on the axis ordinate – %)

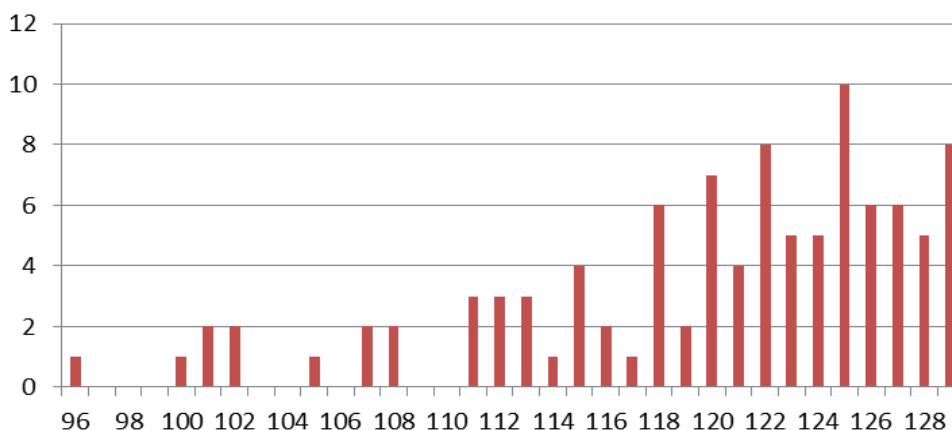


Рис. 2. Размерный состав уловов непромысловых самцов синего краба (100 экз.) в горле залива Шелихова в январе 2018 г. (По оси абсцисс – ширина карапакса, мм; по оси ординат – %)

Fig. 2. The size composition of catches of non-commercial blue crab male (100 copies) in the throat of Shelikhov Bay in January 2018 (On the abscissa axis – the width of the carapace, mm; on the axis of the ordinate – %)

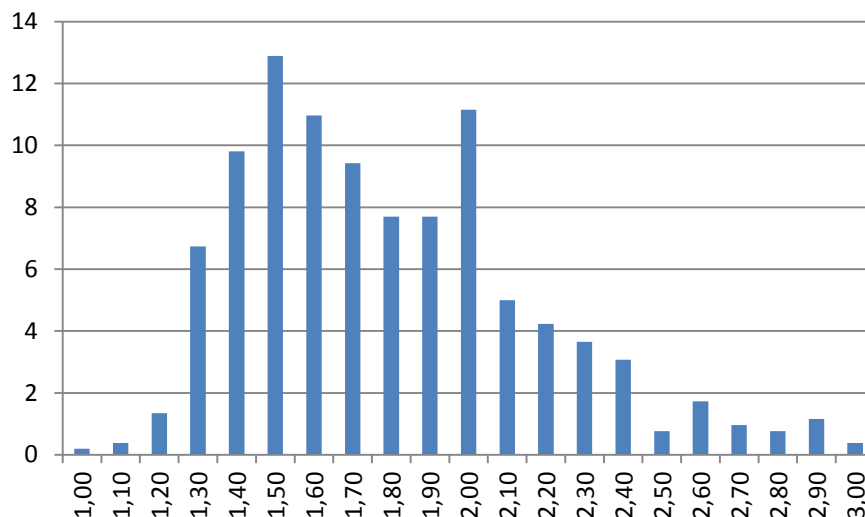


Рис. 3. Состав уловов промысловых самцов синего краба по массе (520 экз.) в горле залива Шелихова в январе 2018 г. (По оси абсцисс – вес, кг; по оси ординат – %)

Fig. 3. The composition of catches of commercial blue crab male by weight (520 copies) in the throat of Shelikhov Bay in January 2018 (On the abscissa axis – weight, kg; on the axis of ordinate – %)

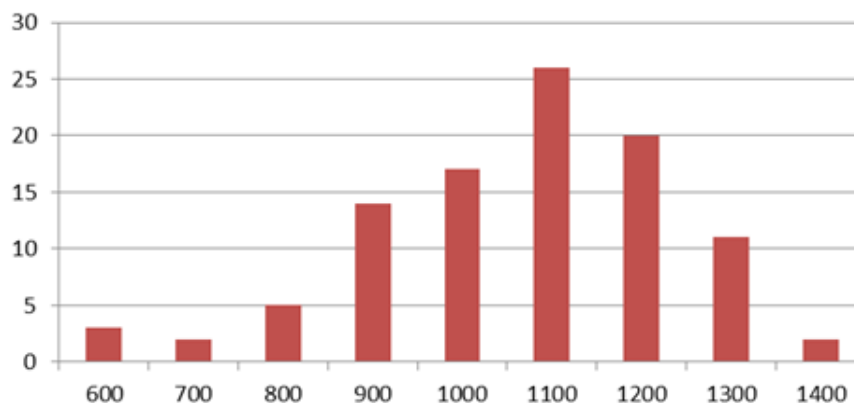


Рис. 4. Состав уловов непромысловых самцов синего краба по массе (100 экз.) в горле залива Шелихова в январе 2018 г. (По оси абсцисс – вес, г; по оси ординат – %)

Fig. 4. The composition of catches of non-commercial blue crab male by weight (100 specimens) in the throat of Shelikhov Bay in January 2018 (On the abscissa axis – weight, g; on the axis of ordinate – %)

Краб-стригун опилио

Размерный состав особей краба-стригуна опилио в ловушечных уловах в январе в горле залива Шелихова представлен на рисунке 5.

Размеры промысловых самцов изменялись в пределах от 100 до 150 мм (средний размер – 123,4 мм). Масса промысловых

самцов изменялась от 0,4 до 1,2 кг (рис. 6). При этом средняя масса промысловых самцов составляла 0,815 кг.

В уловах встречались только промысловые самцы краба-стригуна опилио. Самки и непромысловые самцы отсутствовали. Среди промысловых самцов 75% находились на 3-й, 23% – на 3-й поздней и 2% на 4-й межлиночной стадиях.

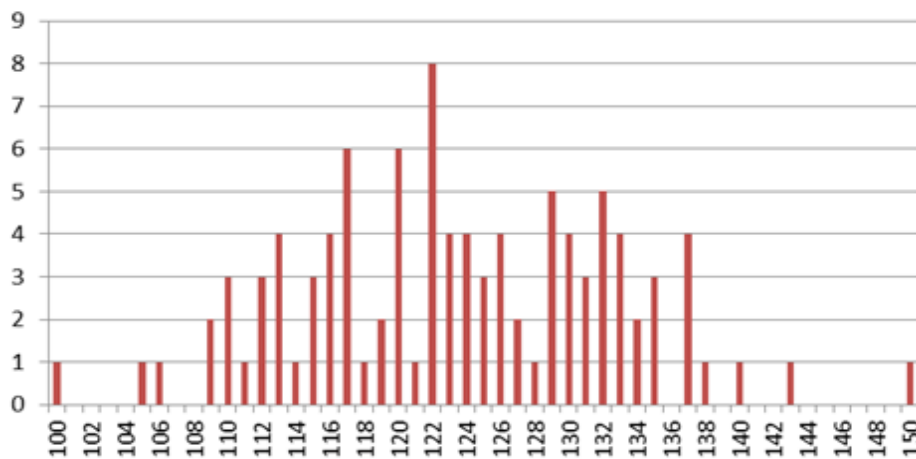


Рис. 5. Размерный состав уловов промысловых самцов краба-стригуна опилио (100 экз.) в горле залива Шелихова в январе 2018 г. (По оси абсцисс – ширина карапакса, мм; по оси ординат – %)

Fig. 5. The size composition of catches of commercial snow crab opilio male (100 copies) in the throat of Shelikhov Bay in January 2018 (On the abscissa axis – the width of the carapace, mm; on the axis of the ordinate – %).

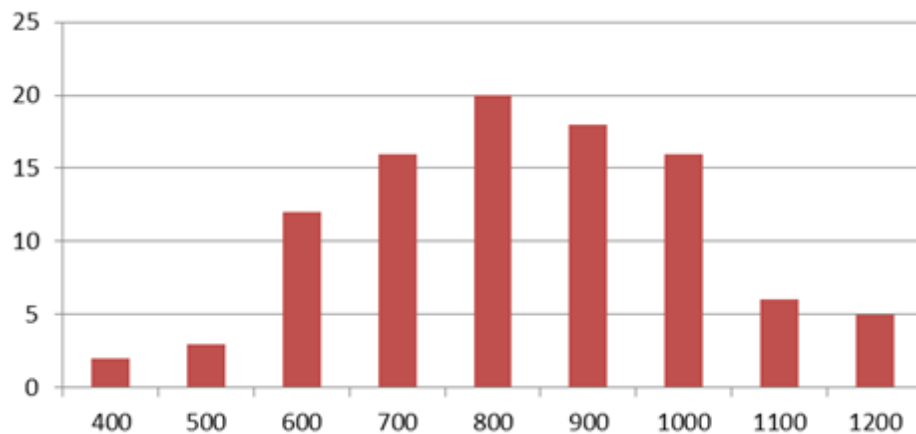


Рис. 6. Состав уловов промысловых самцов краба-стригуна опилио по массе (100 экз.) в горле залива Шелихова в январе 2018 г. (По оси абсцисс – вес, г; по оси ординат – %)

Fig. 6. The composition of catches of commercial snow crab opilio male by weight (100 copies) in the throat of Shelikhov Bay in January 2018 (On the abscissa axis – weight, g; on the axis ordinate – %)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в январе 2018 г. данные на промысле синего краба в Западно-Камчатской подзоне свидетельствуют о том, что его размерный состав практически не отличается по сравнению с другими сезонами лова [Шагинян, 2014, 2016, 2019; Моисеев, Моисеева, 2019]. Средняя масса

промысловых самцов синего краба в январе составляла 1,796, а непромысловых – 1,065 кг.

В уловах всех постановок промысловых порядков присутствовали самцы синего краба. Улов самцов промыслового размера на судосутки промысла составлял 13,474 т, или 7 600 шт. Однако данная величина не отражает реальную возможность

вылова судна за судосутки, так как ограничена возможностью переработки сырца за сутки на судне-процессоре (15–16 т). В то время как суда, осуществляющие перевозку живого синего краба, в январе в Западно-Камчатской подзоне могут вылавливать за сутки до 30 т сырца. В связи с этим возможна существенная сортировка уловов синего краба на судах-процессорах с целью выпуска продукции более высокой стоимости из крупноразмерных особей.

ЛИТЕРАТУРА

- Бассейновые нормы выхода продуктов переработки беспозвоночных и водорослей Дальневосточного бассейна. 2013. Утв. 18 июня 2013 г. зам. рук. ФАР В.И. Соколовым. Москва. 29 с.
- Мельник А.М., Абаев М.Д., Васильев А.Г. и др. 2014. Крабы и крабиды северной части Охотского моря. Магадан: ФГУП «МагаданНИРО». 198 с.
- Моисеев В.И., Моисеева С.А. 2019. Исследования доминирующих промысловых видов крабов Охотского моря осенью 2018 г. и весной 2019 г. *Труды ВНИРО*. Т. 177. С. 204–214.
- Низяев С.А., Букин С.Д., Клитин А.К. и др. 2006. Пособие по изучению промысловых ракообразных дальневосточных морей России. Южно-Сахалинск: СахНИРО. 114 с.
- Родин В.Е., Слишкин А.Г., Мясоедов В.И. и др. 1979. Руководство по изучению десятиногих ракообразных Десятерода дальневосточных морей. Владивосток. 57 с.
- Слишкин А.Г., Сафронов С.Г. 2000. Промысловые крабы прикамчатских вод. Петропавловск-Камчатский: Северная Пацифика. 180 с.
- Шагинян Э.Р. 2014. Состояние запаса и оценка численности синего краба (*Paralithodes platypus*, Brandt) Западно-Камчатской подзоны в пути-ну 2013 г. *Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана*. Выпуск 35. С. 56–62.
- Шагинян Э.Р. 2016. Синий краб северо-восточной части Охотского моря: современное состояние запаса, перспективы промысла. *Морские биологические исследования: достижения и перспективы*: в 3-х т.: Сб. матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биол. станции. Севастополь: ЭКО-СИГидрофизика. Т. 3. С. 479–482.
- Шагинян Э.Р. 2019. Промысел синего краба в Западно-Камчатской подзоне Охотского моря в 2013–2018 гг. *Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана*. Выпуск 55. С. 92–106.

REFERENCES

- Basin norms for the yield of products of invertebrate processing and algae of the Far Eastern basin. 2013. June 18, 2013 Deputy Director. FAR V.I. Sokolov. Moscow. 29 p. (in Russian).
- Melnik A.M., Abaev M.D., Vasiliev A.G. et al. 2014. Crabs and craboids of the northern part of the Sea of Okhotsk. Magadan: FSUE "MagadanNIRO". 198 p. (in Russian).
- Moiseev V.I., Moiseeva S.A. 2019. Studies of the dominant commercial species of crabs of the Sea of Okhotsk in the autumn of 2018 and in the spring of 2019. *Trudy VNIRO (Proceedings of VNIRO)*. T. 177. P. 204–214 (in Russian).
- Nizyaev S.A., Bukin S.D., Klitin A.K. et al. 2006. Manual on the study of commercial crustaceans of the Far Eastern seas of Russia. Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO. 114 p. (in Russian).
- Rodin V.E., Slizkin, A.G., Myasoedov V.I. et al. 1979. A guide to the study of ten-legged crustaceans Decapoda of the Far Eastern seas. Vladivostok. 57 p. (in Russian).
- Slizkin A.G., Safronov S.G. 2000. Commercial crabs of the Kamchatka waters. Petropavlovsk-Kamchatsky: Northern Pacific Publ. 180 p. (in Russian).
- Shahinyan E.R. 2014. The state of the stock and estimation of the number of blue crab (*Paralithodes platypus*, Brandt) of the West Kamchatka subzone in Putin 2013. *Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana (The Research of water biological resources of Kamchatka and of the northwestern part of Pacific Ocean)*. Issue 35. P. 56–62 (in Russian).
- Shahinyan E.R. 2016. Blue crab of the north-eastern part of the Sea of Okhotsk: current state of the reserve, prospects of fishing. *Proceedings of Russian scientific conference "Marine biological research: achievements and prospects"*. Sevastopol: ECOSIHydrophysics. T. 3. P. 479–482 (in Russian).
- Shahinyan E.R. 2019. Fishing of blue crab in the western kamchatka subzone of the Sea of Okhotsk in 2013–2018. *Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadno jchasti Tihogo okeana (The Research of water biological resources of Kamchatka and of the northwestern part of Pacific Ocean)*. Issue 55. P. 92–106 (in Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ
INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Коростелев Сергей Георгиевич – Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН; 683000, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, директор; korostelevs@mail.ru; SPIN-код: 2345-0471, Author ID: 208393

Korostelev Sergey Georgievich – Kamchatka Branch of the Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; 683000, Petropavlovsk-Kamchatsky, Partizanskaya Str. 6; Doctor of Biological Sciences, Director; korostelevs@mail.ru; SPIN-code: 2345-0471, Author ID: 208393

Приложение. Уловы промысловых видов крабов в экз. и кг на 100 ловушек за сутки застоя порядков в январе 2018 г. в горле залива Шелихова при промысле синего краба на СТР «РЕГУЛ»

Attachment. Catches of commercial crab species sp. and kg per 100 traps per day of stagnation in January 2018 in the throat of Shelikhov Bay when fishing for blue crab on board of the MTT "REGUL"

Дата	Время застоя	Широта, средняя		Долгота, средняя		СНИИ		шт. на 100 кг на 100 ОПИМО		шт. на 100 кг на 100 КАМЧАТСКИЙ		шт. на 100 кг на 100 Равношпиль																
		градусы	минуты	градусы	минуты	Глубина, м,	Глубина, м,	шт.	кг	ловушек за 24 ч	ловушек Улов за 24 ч	шт.	кг	ловушек за 24 ч	ловушек за 24 ч													
07.01.2018	13	58	23.5	155	43.1	320	2147	3775	388	335	312	12	9	11	8	24	43	22	40	0	0	0	0					
07.01.2018	22	58	24	155	41.9	302	1231	2290	671	1249	199	181	16	11	9	6	12	26	7	14	0	0	0	0				
08.01.2018	25	58	24.5	155	40.6	281	915	1705	439	818	215	203	103	97	76	59.3	7	14	3	7	0	0	0	0				
08.01.2018	27	4	58	25	155	39.4	267	1455	647	1178	258	273	115	121	117	82	36	17	25	8	11	0	0	0				
08.01.2018	29	5	58	20.7	155	37.5	294	1660	3000	687	1241	271	287	112	142	100	59	41	21	40	9	17	0	0				
08.01.2018	26	6	58	22.5	155	34.2	256	1215	2448	561	1130	300	266	138	132	80	75	37	35	40	120	18	55	0	0			
08.01.2018	29	7	58	25.6	155	38.5	254	773	1624	320	672	92	88	38	36	47	38	19	16	18	47	7	19	0	0			
09.01.2018	48	8	58	21.9	155	36	276	1255	2345	314	566	142	163	41	126	105	32	26	11	19	3	5	0	0	0			
09.01.2018	32	9	58	23.5	155	44.5	336	1373	2550	515	956	174	151	65	57	152	127	57	48	17	29	6	11	0	0			
09.01.2018	32	10	58	23.6	155	43	318	1344	2500	504	938	188	164	71	62	139	116	52	44	8	12	3	5	0	0			
09.01.2018	34	11	58	20	155	40.8	353	1543	2674	545	944	104	113	37	40	170	142	60	50	13	21	5	7	0	0			
09.01.2018	33	12	58	21.2	155	38	297	1028	1837	374	668	79	86	29	31	83	78	34	28	19	37	7	13	0	0			
09.01.2018	26	13	58	25	155	39.3	268	2024	3458	934	1596	205	222	95	102	211	176	97	81	7	11	3	5	0	0			
10.01.2018	26	14	58	22.3	155	34.7	265	2127	3950	982	1823	242	254	112	117	365	274	168	126	12	22	6	10	0	0			
10.01.2018	49	15	58	20.5	155	39.8	331	2406	4445	589	1089	309	325	76	80	371	256	91	63	7	13	2	3	0	0			
10.01.2018	30	16	58	23.4	155	44.5	336	2425	4480	970	1792	363	381	145	152	347	260	139	104	9	16	4	6	0	0			
11.01.2018	37	17	58	21.3	155	39.8	317	2742	4439	889	1440	283	298	92	97	290	203	94	66	7	13	2	4	0	0			
11.01.2018	49	18	58	21.5	155	37.7	276	2355	3835	577	939	272	286	67	70	316	221	77	54	19	49	5	12	0	0			
11.01.2018	47	19	58	19.9	155	40.9	358	2813	4550	718	1162	329	346	84	88	370	260	94	66	6	15	2	4	0	0			
11.01.2018	44	20	58	17.4	155	38.7	339	1527	2542	416	693	163	172	44	47	157	110	43	30	3	7	1	2	0	0			
12.01.2018	44	21	58	17.9	155	34.4	318	2820	4820	769	1315	411	431	112	118	230	160	63	44	8	15	2	4	0	0			
12.01.2018	38	22	58	17.1	155	36.6	356	2929	5166	925	1631	533	563	168	178	267	187	84	59	13	20	4	6	0	0			
12.01.2018	46	23	58	20.5	155	40	335	3210	5600	837	1461	589	613	154	160	312	222	81	58	15	22	4	6	0	0			
13.01.2018	49	24	58	18.3	155	33	296	1450	2800	355	686	312	334	76	82	189	123	46	30	7	13	2	3	0	0			
13.01.2018	50	25	58	19.1	155	32.4	281	1380	2500	331	600	339	362	81	87	164	230	39	55	6	10	1	2	0	0			
13.01.2018	41	26	58	12.3	155	37.3	355	2490	4409	729	1290	437	467	128	137	367	253	107	74	11	19	3	6	58	75	17	22	
13.01.2018	47	27	58	10	155	33.5	356	1895	3050	484	779	309	328	79	84	291	204	74	52	14	25	4	6	47	56	12	15	
13.01.2018	38	28	58	8.9	155	35.6	352	1492	2627	471	830	267	277	84	87	213	153	67	48	9	16	3	5	39	52	12	16	
14.01.2018	43	29	58	12.1	155	39	348	1945	3499	543	976	406	432	113	121	234	161	65	45	12	25	3	7	51	66	14	18	
14.01.2018	44	30	58	9.6	155	37.5	351	1832	3285	500	896	397	421	108	115	245	170	67	46	10	19	3	5	41	55	11	15	
14.01.2018	20	31	58	6.4	155	40.4	326	1743	3128	1046	1873	369	386	221	232	232	162	139	97	10	19	6	11	37	50	22	30	
14.01.2018	47	32	58	8.9	155	38.4	344	3124	5480	798	1399	589	627	150	160	342	242	87	62	21	38	5	10	63	82	16	21	
15.01.2018	44	33	58	6.3	155	34.5	348	1838	3100	501	845	445	454	121	124	305	214	83	58	14	29	4	8	18	24	5	7	
15.01.2018	40	34	58	6	155	36	347	1768	3255	530	977	451	477	135	143	277	195	83	59	7	15	2	5	24	33	7	10	
15.01.2018	48	35	58	6.6	155	38.4	338	2111	3758	528	940	488	507	122	127	169	116	42	29	9	20	2	5	33	43	8	11	
15.01.2018	40	36	58	4.1	155	35.6	338	1585	2865	476	860	347	375	104	113	143	100	43	30	2	3	42	57	13	17	17	19	
16.01.2018	42	37	58	4	155	35.5	345	1825	3177	521	908	332	363	95	104	334	237	95	68	12	25	3	7	51	65	15	19	
16.01.2018	37	38	58	6.2	155	42.2	323	2153	3975	698	1257	393	431	127	140	267	187	87	61	13	20	4	6	67	87	22	28	
16.01.2018	39	39	58	3.8	155	38.3	329	1665	3000	512	923	361	387	111	119	221	155	68	48	11	19	3	6	61	82	19	25	
16.01.2018	23	40	58	6.5	155	37.2	345	932	1703	486	889	195	214	102	112	94	66	49	34	3	5	2	3	25	33	13	17	
16.01.2018	25	41	58	6.5	155	35.3	349	1452	2550	697	1224	287	327	138	157	193	135	93	65	5	9	2	4	38	51	18	24	
							сумма	75997	134744	26371	46959	12808	13393	4432	4696	8686	6374	2827	2079	493	972	187	370	695	913	224	296	
							средняя			643	1121	108	112	108	112	69	51	51	4.6	9	4.6	9	9	9	9	9	5.5	7

ВЛИЯНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ДИНАМИКУ ЧИСЛЕННОСТИ И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ *ALEXANDRIUM AFFINE* (ДИНОФИТА)*

Маркина Ж.В.¹, Огнистая А.В.^{1,2}, Зинов А.А.^{1,2}

¹ Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского, ДВО РАН, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17.

² Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10.

Исследовано действие тяжелых металлов: кадмия, свинца, никеля (в концентрациях 10 и 20 мкг/л), цинка и железа (50 и 100 мкг/л) на динамику численности, морфологию клеток и фотосинтетический аппарат (по содержанию фотосинтетических пигментов – хлорофилла *a* и каротиноидов, флуоресценции хлоропласта) динофитовой водоросли *Alexandrium affine* в течение семи суток. Показано, что наиболее угнетающее воздействие на водоросль оказывал кадмий: численность клеток снижалась и не восстанавливалась к концу опыта. Также отмечено снижение содержания фотосинтетических пигментов. Внесение свинца приводило к небольшому увеличению численности клеток, при этом увеличивалось содержание фотосинтетических пигментов. Присутствие в среде никеля, железа и цинка провоцировало возрастание численности клеток, однако содержание хлорофилла *a* и каротиноидов снижалось. Все металлы приводили к изменению флуоресценции хлоропласта и морфологическим нарушениям клеток.

Ключевые слова: железо, кадмий, никель, свинец, цинк, флуоресценция, хлорофилл *a*, численность клеток, каротиноиды, *Alexandrium affine*.

INFLUENCE OF HEAVY METALS ON POPULATION DYNAMICS AND PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF *ALEXANDRIUM AFFINE* (DINOPHYTA)

Markina Zh. V.¹, Ognistaya A.V.^{1,2}, Zinov A.A.^{1,2}

¹ A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Palchevsky Str. 17.

² Far Eastern Federal University, Vladivostok, Island Russkiy, Ajax Village 10.

The effect of heavy metals: cadmium, lead, nickel (in concentrations of 10 and 20 µg/l), zinc and iron (50 and 100 µg/l) on the dynamics of population, cell morphology and photosynthetic apparatus (according to the content of photosynthetic pigments – chlorophyll *a* and carotenoids, chloroplast fluorescence) of *Alexandrium affine* dinophyte algae during 7 days. It was shown that cadmium had the most depressing effect on the algae: the number of cells decreased and did not recover by the end of the experiment. There was also a decrease in the content of photosynthetic pigments. The addition of lead led to a slight increase in the number of cells, while the content of photosynthetic pigments increased. The presence of nickel, iron and

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 21-74-30004) (The work was carried out with the financial support of the Russian Science Fund grant (project № 21-74-30004)).

zinc in the medium provoked an increase in the number of cells, but the content of chlorophyll *a* and carotenoids decreased. All metals led to changes in chloroplast fluorescence and morphological disorders of cells.

Key words: iron, cadmium, nickel, lead, zinc, fluorescence, chlorophyll *a*, cell number, carotenoids, *Alexandrium affine*.

ВВЕДЕНИЕ

Представители рода *Alexandrium* широко распространены в прибрежных водах морей разных широт [Turner, Borkman, 2005; Farrell et al., 2013; Imai et al., 2021; Anderson et al., 2021]. Они привлекают внимание исследователей вследствие того, что на протяжении многих лет вызывают вредоносные «цветения» [Vershinin, Orlova, 2008; Anderson et al., 2012; Farrell et al., 2013; Laania et al., 2013; Guallar et al., 2017; Montoya et al., 2018]. При таких явлениях численность клеток может достигать 4 500 клеток в миллилитре [Brandenburg et al., 2017]. Вредоносные «цветения» наносят ущерб как марикультурным хозяйствам, так и природным экосистемам [Anderson et al., 2012; Montoya et al., 2018].

До настоящего времени остается открытым вопрос о причинах возникновения данных явлений. Так, имеются сведения, что триггером для начала «цветения» *Alexandrium* spp. может являться сильный ветер совместно со стабильной температурой воды около 20°C [Laanaia et al., 2013; Brandenburg et al., 2017], низкое соотношение растворенного неорганического азота к растворенному неорганическому фосфору, малая численность выедателей [Brandenburg et al., 2017], резкое изменение солености в комплексе с другими факторами среды [Kremp et al., 2019]. Несмотря на то, что «цветение» представителей рода *Alexandrium* обуславливают физические факторы среды [Brandenburg et al., 2017], хорошо известно, что обогащение вод биогенными элементами приводит к массовому размножению водорослей в целом. Также

микроэлементы, включающие в себя тяжелые металлы, считаются важным фактором, который контролирует «цветение» воды [Martin et al., 1994; He et al., 2010].

Использование тяжелых металлов для нужд человека год от года только увеличивается, соответственно, возрастает их поступление в окружающую среду. Так, на 2020 г. мировая добыча кадмия составляла – 23 тыс. т, свинца – 44 тыс. т, никеля – 2,5 млн т, цинка – 12 тыс. т, железа – 2,4 млн т [USGS, 2021]. Опасность тяжелых металлов для водных организмов усугубляется тем, что в водной среде они присутствуют в более активных растворенных формах, чем в наземной [Rahman, Singh, 2019].

Часть тяжелых металлов относится к эссенциальным элементам, жизненно необходимым для нормального функционирования организмов, в том числе микроводорослей, часть – неэссенциальным, которые не включены в норму в биологические процессы. Примером первых могут служить никель, цинк и железо, включенные в окислительно-восстановительные реакции, как кофакторы ферментов, важных для дыхания, фотосинтеза, ассимиляции и продуцирования различных веществ. Примером вторых является кадмий и свинец, вызывающие даже в небольших концентрациях биохимические и морфологические изменения у растений [Nagajyoti et al., 2010; Masmoudi et al., 2013; Rahman, Singh, 2019]. Представители динофлагеллят в плане исследований по действию тяжелых металлов остаются слабо изученными [Soyer, Prevot, 1981; Weng et al., 2008; Herzi et al., 2013; Chetouhi, 2020].

Традиционно оценку действия токсических веществ, наряду с другими показателями, проводят по численности клеток, так как это интегральный показатель, отражающий происходящие в организмах микроводорослей процессы [La Rocca et al., 2009; He et al., 2010; Martínez-Ruiz, Martínez-Jeromo, 2015]. Пристальное внимание исследователей к воздействию тяжелых металлов на фотосинтетический аппарат связано с тем, что, во-первых, хлоропласты ответственны за многие процессы в растительной клетке, а во-вторых, они являются основной мишенью действия любых токсических веществ у растений [Carfagna et al., 2013].

В качестве параметров оценки состояния фотосинтетического аппарата используют содержание пигментов (хлорофилла *a* и каротиноидов) и флуоресценцию хлоропласта [La Rocca et al., 2009; Gan et al., 2019; Zamani-Ahmadmoodi et al., 2020]. Хлорофилл *a* необходим для осуществления непосредственно процесса фотосинтеза. Каротиноиды участвуют в поглощении света и защищают фотосинтетический аппарат от окислительного стресса: гасят триплетные состояния хлорофиллов, вызывающих формирование атомарного кислорода, помогают сбрасывать энергию с поврежденных хлорофиллов [Masmoudi et al., 2013; Zhu et al., 2019].

В связи с вышеизложенным, цель настоящей работы заключалась в исследовании действия кадмия, свинца, никеля, цинка и железа на численность клеток и фотосинтетический аппарат динофлагелляты *Alexandrium affine* (H. Inoue & Y. Fukuyo) Valech.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Культивирование микроводорослей. Культура *Alexandrium affine* AFRU-12 предоставлена ресурсным центром «Морской биобанк» Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского

ДВО РАН. Водоросли выращивали на среде *f* [Guillard, Ryther, 1962], приготовленной на основе фильтрованной и стерилизованной морской воды соленостью 32‰ в 250-мл колбах Эрленмейера с объемом питательной среды 200 мл, при температуре 18°C, интенсивности освещения 70 мкмоль/м²·с в области видимого света и 14-часовом световом дне. В качестве инокулята использовали культуры на стадии экспоненциального роста. Начальная концентрация клеток составляла 1 000 клеток/мл. Эксперимент проводился семь суток. Измерения всех показателей выполняли на третьи и седьмые сутки.

Исследованные концентрации Cd^{2+} , Ni^{2+} и Pb^{2+} составили: 10 и 20 мкг/л, Zn^{2+} , Fe^{3+} – 50 и 100 мкг/л. В связи с тем что, как правило, в морской среде содержание Zn^{2+} и Fe^{3+} выше, чем Cd^{2+} , Ni^{2+} и Pb^{2+} [Wei et al., 2008; Zhang et al., 2016; Bonanno, Raccuia, 2018; Lee et al., 2018]. Cd^{2+} добавляли в виде $3\text{CdSO}_4 \times 8\text{H}_2\text{O}$, Ni^{2+} – $\text{NiSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, Pb^{2+} – PbCl_2 , Zn^{2+} – $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, Fe^{3+} – $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ с пересчетом на ионы металлов.

Подсчет численности клеток. Клетки подсчитывали в счетной камере Седжвика-Рафтера с помощью системы визуализации Evos-5000 (Thermo Fisher Scientific, США).

*Измерение содержания хлорофилла *a* и каротиноидов.* Содержание фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* и суммарного содержания каротиноидов) анализировали из собранных на мембранный фильтр образцов. Пигменты экстрагировали 90%-ным ацетоном, затем центрифугировали для удаления взвеси в течение 15 минут при 7 000 об/мин. Супернатант отбирали и определяли с помощью спектрофотометра UV 2550 (Shimadzu, Япония) на следующих длинах волн: 480, 630, 647, 664 и 750 нм. Расчет концентраций пигментов проводили по стандартным формулам

[Jeffrey, Humphrey, 1975]. Начальная концентрация хлорофилла *a* – (107 ± 26) мкг/л, суммы каротиноидов – (242 ± 53) мкг/л.

Оценка флуоресценции. Флуоресценцию хлорофилла *a* оценивали с помощью светодиодного куба InvitrogenCy5 от системы визуализации Evos-M5000 (Thermo Fisher Scientific, США).

Статистический анализ. Эксперименты проводили в трех повторностях. Статистическую обработку данных выполнили с помощью *U*-критерия Манна – Уитни, расчет проводили в программе Excel. На графиках представлены средние значения и стандартные отклонения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Численность клеток. Численность клеток *A. affine* в контроле возрастала с начала эксперимента по седьмые сутки (рис. 1). При добавлении в среду кадмия в концентрации 10 мкг/л численность клеток водоросли на третьи сутки не отличалась от таковой в контроле, а на седьмые была в три раза ниже контрольной (рис. 1). При внесении 20 мкг/л кадмия на третьи сутки количество клеток превышало контрольное, а на седьмые существенно снижалось.

Схожая тенденция отмечена при уровнях содержания свинца как 10 мкг/л, так и 20 мкг/л: число клеток *A. affine* на третьи сутки в два раза превышало контрольное и оставалось на этом же уровне и на седьмые сутки (рис. 1).

Никель в концентрациях 10 и 20 мкг/л приводил к выраженной стимуляции роста популяции микроводоросли (рис. 1). Особенно увеличивалось количество клеток к седьмым суткам опыта – в 3,2 и 2,8 раза соответственно.

Добавление 50 мкг/л железа вызывало небольшое снижение числа клеток *A. affine* (рис. 1). В присутствии 100 мкг/л железа отмечен рост популяции, наиболее выра-

жен на седьмые сутки опыта (число клеток было выше контрольного в 2,5 раза).

При внесении 50 мкг/л цинка количество клеток существенно не отличалось от контрольного на протяжении опыта (рис. 1), а содержание 100 мкг/л цинка вызывало интенсивный рост микроводоросли (число клеток превышало контрольное в 1,9 и 2,5 раза на третьи и седьмые сутки соответственно).

Таким образом, кадмий в концентрациях 10 и 20 мкг/л вызывал ингибирование роста *A. affine*. Цинк и железо при уровне содержания 50 мкг/л не оказывали влияние на численность клеток водоросли. Свинец в концентрациях 10 и 20 мкг/л оказал слабое стимулирующее действие на рост микроводоросли. Содержание никеля 10 и 20 мкг/л, цинка и железа в концентрации 100 мкг/л оказывало выраженный стимулирующий эффект.

*Содержание хлорофилла *a* и каротиноидов.* При внесении 10 и 20 мкг/л кадмия отмечено падение содержания хлорофилла *a* и каротиноидов к третьим суткам опыта (рис. 2 и 3). На седьмые сутки показатели оставались также на низком уровне.

Добавление свинца в концентрациях 10 и 20 мкг/л приводило к увеличению содержания фотосинтетических пигментов по сравнению с таковым в контроле на третьи сутки, наиболее выражено в случае 20 мкг/л (рис. 2 и 3). К седьмым суткам содержание пигментов снижалось, особенно хлорофилла *a*.

Никель в среде в концентрации 10 мкг/л приводил к увеличению содержания хлорофилла *a* и каротиноидов на третьи сутки, однако не настолько сильно, как при внесении свинца (рис. 2 и 3). На седьмые сутки зарегистрировано уменьшение содержания фотосинтетических пигментов.

Внесение в среду 50 и 100 мкг/л железа оказывало негативное влияние на содержание хлорофилла *a* и каротиноидов: оно снижалось на третьи сутки (рис. 2 и 3) и только при концентрации 100 мкг/л увеличивалось на седьмые сутки, но не достигало такового в контроле.

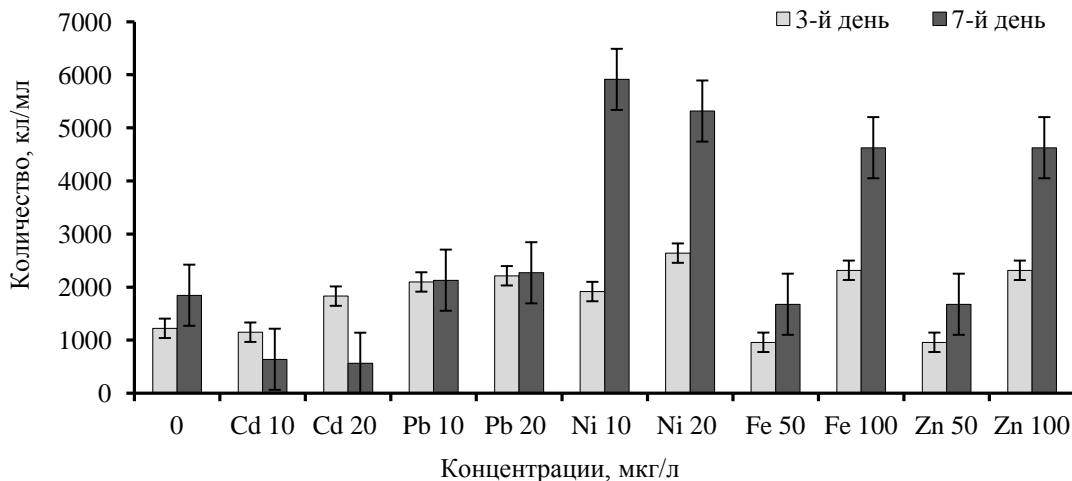


Рис. 1. Численность клеток *Alexandrium affine* в контроле (0) и при добавлении в среду тяжелых металлов
 Fig. 1. The number of *Alexandrium affine* cells in the control (0) and when heavy metals are added in medium

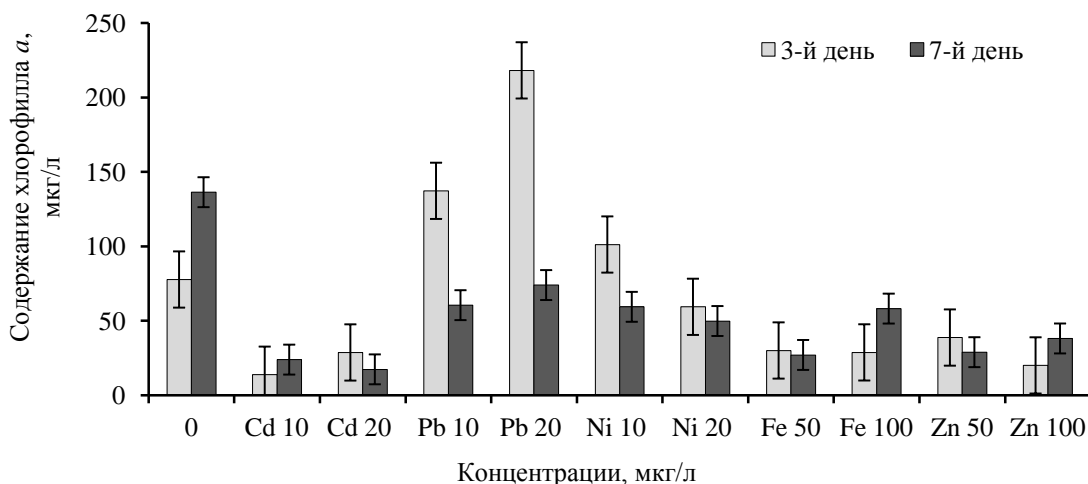


Рис. 2. Содержание хлорофилла *a* у *Alexandrium affine* в контроле (0) и при добавлении в среду тяжелых металлов
 Fig. 2. The content of chlorophyll *a* in *Alexandrium affine* in the control (0) and when heavy metals are added in medium

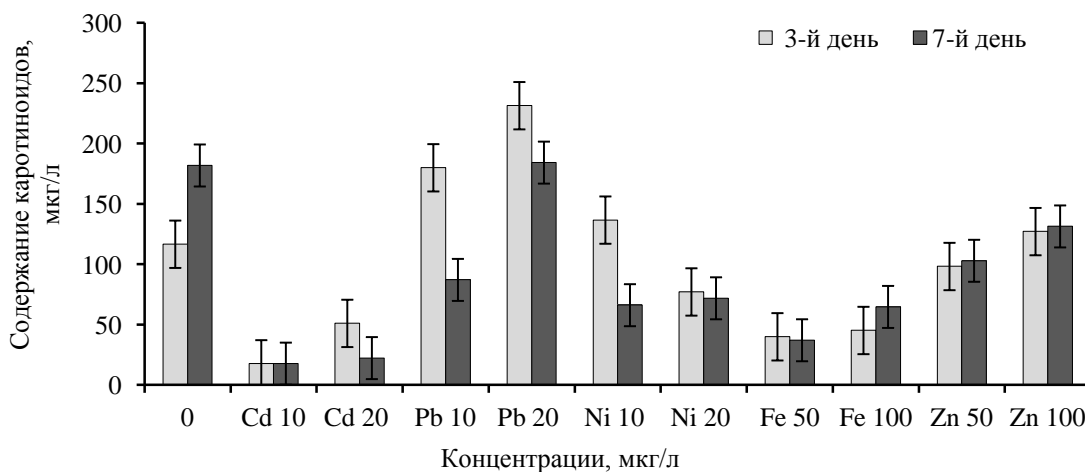


Рис. 3. Содержание каротиноидов у *Alexandrium affine* в контроле (0) и при добавлении в среду тяжелых металлов
 Fig. 3. The content of carotenoids in *Alexandrium affine* in the control (0) and when heavy metals are added in medium

Действие цинка при концентрациях 50 и 100 мкг/л оказывало негативное влияние на содержание хлорофилла *a* на третьи и седьмые сутки, в отличие от каротиноидов, количество которых не отличалось от контроля (рис. 2 и 3). В случае с хлорофиллом *a* изменения были более выраженные, чем с каротиноидами.

Следовательно, тяжелые металлы оказывали разное влияние на содержание фотосинтетических пигментов. На третьи сутки эксперимента добавление свинца в обеих концентрациях увеличивало содержание пигментов. На седьмые сутки содержание пигментов при внесении металлов было ниже контрольных значений, за исключением свинца в концентрации 20 мкг/л, при которой не зарегистрировано воздействия на фотосинтетические пигменты. Соотношение хлорофилл *a*/каротиноиды было выше такового в контроле на третьи сутки при содержании в среде 20 мкг/л кадмия, 50 мкг/л цинка и 100 мкг/л железа (табл.); на седьмые при 10 и 20 мкг/л свинца, 10 мкг/л никеля, 50 мкг/л цинка. Достоверно ниже соотношение было на седьмые сутки при содержании в среде 10 и 20 мкг/л кадмия, 100 мкг/л цинка, 50 и 100 мкг/л железа.

Морфология клеток и флуоресценция хлоропласта. В контроле на третьи сутки клетки неправильной округлой формы (рис. 4, *a*). На световом уровне хлоропласт отчетливо виден, флуоресценция яркая, выраженная (рис. 4, *б*). На седьмые сутки характеристики и форма клеток не изменялись (рис. 4, *в, г*).

При воздействии кадмия в концентрации 10 мкг/л форма клеток становилась более округлой, наблюдалась более тусклая флуоресценция (рис. 4, *е, д*). На седьмые сутки клетки были сходными с таковыми в контроле (рис. 4, *ж, з*). При 20 мкг/л на третьи сутки клетки деформировались, флуоресценция отличалась от контрольной (рис. 4, *и, к*). На седьмые сутки клетки оставались деформированными (рис. 4, *л*), флуоресценция хлоропласта была слабее контрольной (рис. 4, *м*).

Внесение свинца в концентрации 10 мкг/л на третьи сутки не вызывало изменение формы клеток (рис. 4, *н*), однако флуоресценция была яркой, как в контроле (рис. 4, *о*). На седьмые сутки морфологические изменения были более выраженными (рис. 4, *п*), флуоресценция хлоропласта более тусклой (рис. 4, *р*). Внесение 20 мкг/л вызывало сходные нарушения (рис. 4, *с – ф*).

Таблица. Соотношение хлорофилл *a*/каротиноиды в контроле, при содержании металлов в среде

Table. The ratio of chlorophyll *a*/carotenoids in control when metals are in the medium

Сут-ки	0 мкг/л	Cd ²⁺		Pb ²⁺		Ni ²⁺		Fe ²⁺		Zn ²⁺	
		10 мкг/л	20 мкг/л	10 мкг/л	20 мкг/л	10 мкг/л	20 мкг/л	50 мкг/л	100 мкг/л	50 мкг/л	100 мкг/л
3	1,34	1,23	1,98*	1,31	1,39	1,34	1,30	1,37	1,66	2,28	1,28
7	1,50	<i>1,28**</i>	<i>1,32</i>	1,84	2,49	1,78	1,44	<i>1,38</i>	<i>1,33</i>	1,65	<i>1,32</i>

* Жирный шрифт – значительно выше контрольного уровня, $p < 0,05$

** Курсив – значительно ниже контрольного уровня, $p < 0,05$

* Bold font is significantly higher than the control level, $p < 0,05$

** Italics is significantly lower than the control level, $p < 0,05$

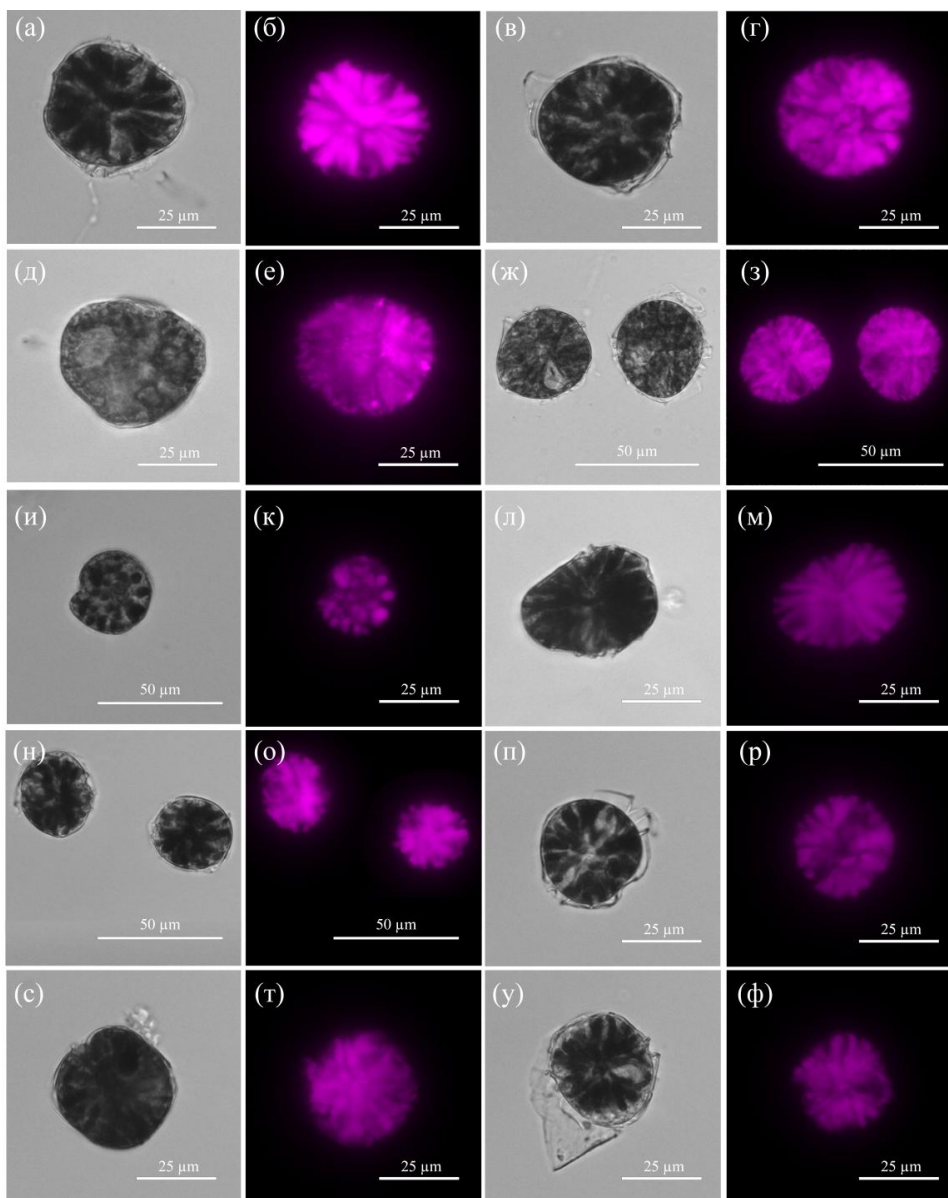


Рис. 4. Клетки *Alexandrium affine* в контроле, при воздействии кадмия и свинца (световая микроскопия – а, в, д, ж, и, л, н, п, с, у и флуоресценция хлоропласта – б, г, з, к, м, о, р, т, ф): а, б – контроль третьи сутки; в, г – контроль седьмые сутки; д, е – 10 мкг/л Cd^{2+} третьи сутки; ж, з – 10 мкг/л Cd^{2+} седьмые сутки; и, к – 20 мкг/л Cd^{2+} третьи сутки; л, м – 20 мкг/л Cd^{2+} седьмые сутки; н, о – 10 мкг/л Pb^{2+} третьи сутки; п, р – 10 мкг/л Pb^{2+} седьмые сутки; с, т – 20 мкг/л Pb^{2+} третьи сутки; у, ф – 20 мкг/л Pb^{2+} седьмые сутки

Fig. 4. *Alexandrium affine* cells in control, when exposed to cadmium and lead (light microscopy – а, в, д, ж, и, л, н, п, с, у and chloroplast fluorescence – б, г, з, к, м, о, р, т, ф): а, б – control on the third day; в, г – control on the seventh day; д, е – 10 µg/l Cd^{2+} the third day; ж, з – 10 µg/l Cd^{2+} the seventh day; и, к – 20 µg/l Cd^{2+} the third day; л, м – 20 µg/l Cd^{2+} seventh day; н, о – 10 µg/l Pb^{2+} third day; п, р – 10 µg/l Pb^{2+} seventh day; с, т – 20 µg/l Pb^{2+} third day; у, ф – 20 µg/l Pb^{2+} seventh day

Никель в концентрации 10 мкг/л не влиял на форму клеток, часть их в суспензии была разрушенной, визуально большое количество клеток было меньшего размера, чем в контроле (рис. 5, а), хлоропласт изменялся, хотя его флуоресценция не отли-

чалась от контрольной (рис. 5, б). Изменения клеток сохранялись и на седьмые сутки (рис. 5, в, г). При 20 мкг/л токсиканта также отмечено нарушение морфологии клеток, флуоресценция хлоропласта была слабее контрольной в течение опыта (рис. 5, д – з).

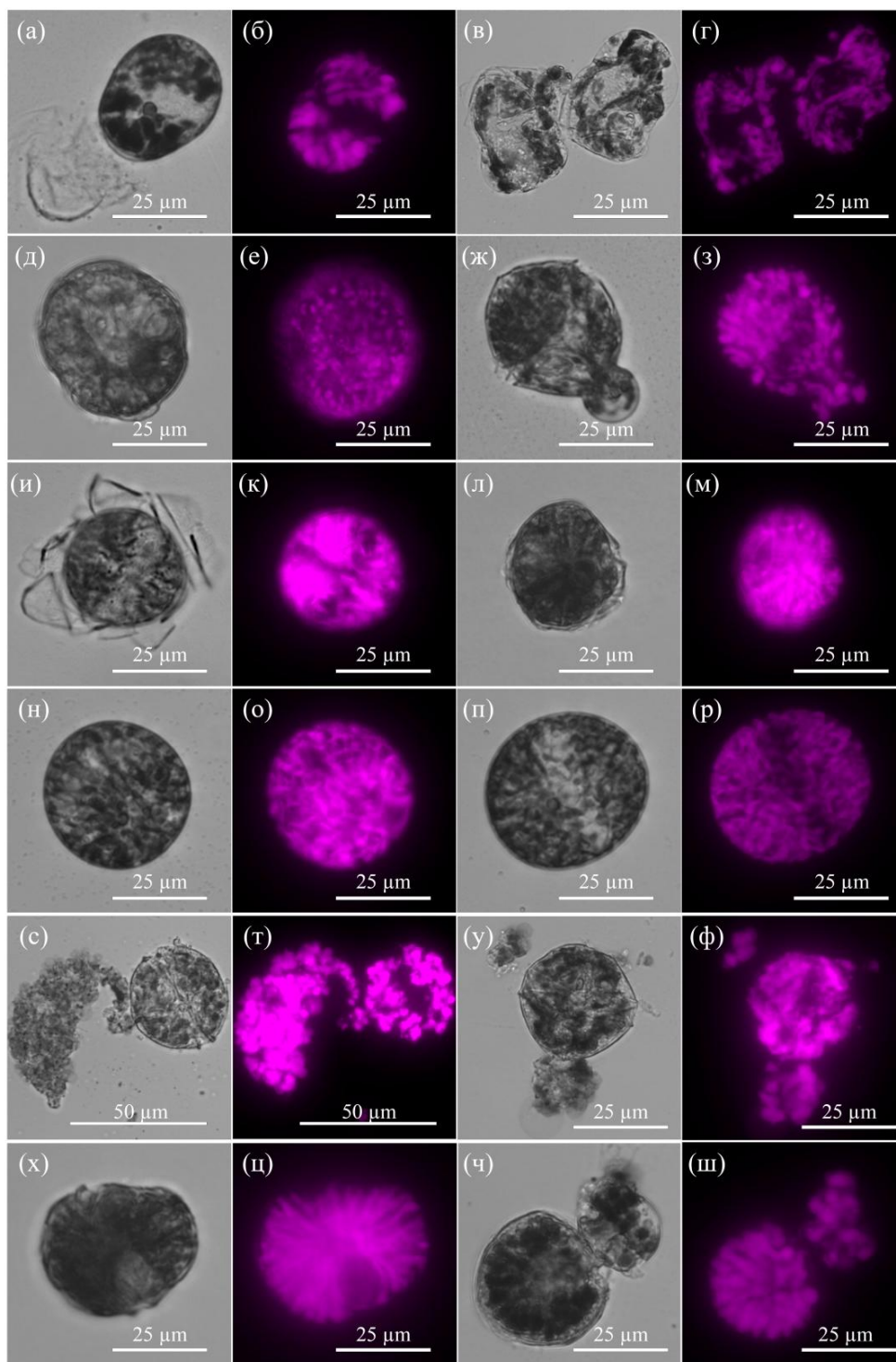


Рис. 5. Клетки *Alexandrium affine* при воздействии никеля, железа и цинка (световая микроскопия – а, в, д, ж, и, л, н, п, с, у, х, ч и флуоресценция хлоропласта – б, г, з, к, м, о, р, т, ф, ц, ш): а, б – 10 мкг/л Ni²⁺ третьи сутки; в, г – 10 мкг/л Ni²⁺ седьмые сутки; д, е – 20 мкг/л Ni²⁺ третьи сутки; ж, з – 20 мкг/л Ni²⁺ седьмые сутки; и, к – 50 мкг/л Fe³⁺ третьи сутки; л, м – 50 мкг/л Fe³⁺ седьмые сутки; н, о – 100 мкг/л Fe³⁺ третьи сутки; п, р – 100 мкг/л Fe³⁺ седьмые сутки; с, т – 50 мкг/л Zn²⁺ третьи сутки; у, ф – 50 мкг/л Zn²⁺ седьмые сутки; х, ц – 100 мкг/л Zn²⁺ третьи сутки; ч, ш – 100 мкг/л Zn²⁺ седьмые сутки

Fig. 5. *Alexandrium affine* cells when exposed to nickel, iron and zinc (light microscopy – а, в, д, ж, и, л, н, п, с, у, х, ч and chloroplast fluorescence – б, г, з, к, м, о, р, т, ф, ц, ш): а, б – 10 μg/l Ni²⁺ third day; в, г – 10 μg/l Ni²⁺ seventh day; д, е – 20 μg/l Ni²⁺ third day; ж, з – 20 μg/l Ni²⁺ seventh day; и, к – 50 μg/l Fe³⁺ third day; л, м – 50 μg/l Fe³⁺ seventh day; н, о – 100 μg/l Fe³⁺ third day; п, р – 100 μg/l Fe³⁺ seventh day; с, т – 50 μg/l Zn²⁺ third day; у, ф – 50 μg/l Zn²⁺ seventh day; х, ц – 100 μg/l Zn²⁺ third day; ч, ш – 100 μg/l Zn²⁺ seventh day

Железо в концентрации 50 мкг/л вызывало изменение формы на более округлую (рис. 5, *и*), флуоресценция хлоропласта была яркой, как в контроле (рис. 5, *к*). На седьмые сутки отмечена сходная картина (рис. 5, *л, м*). При добавлении 100 мкг/л железа отмечено изменение формы клеток, хлоропласт дезорганизовывался (рис. 5, *н*), флуоресценция не отличалась от контрольной (рис. 5, *о*). К концу опыта морфологические изменения сохранялись (рис. 5, *п*), флуоресценция хлоропласта становилась более тусклой (рис. 5, *р*).

Внесение 50 мкг/л цинка вызывало деформацию клеток (рис. 5, *с*), флуоресценция хлоропласта была слабее контрольной (рис. 5, *т*). К завершению эксперимента клетки становились более уродливыми (рис. 5, *у, ф*). Содержание 100 мкг/л цинка приводило к морфологическим нарушениям и снижению интенсивности флуоресценции на всем протяжении опыта (рис. 5, *х – ш*).

ОБСУЖДЕНИЕ

Хорошо известно, что тяжелые металлы вызывают окислительный стресс прежде всего в результате увеличения количества свободных радикалов [Nagajyoti et al., 2010; Andorch et al., 2012]. Повышение уровня активных форм кислорода приводит к снижению фотосинтетической продуктивности в результате повреждения биомолекул, нарушению метаболизма митохондрий и обмена между цитозолем и хлоропластом [Masmoudi et al., 2013]. В наших опытах данные явления выражались в изменении содержания фотосинтетических пигментов и флуоресценции хлоропласта *A. affine*. Одновременно тяжелые металлы вызывали изменения роста популяции *A. affine*. Ранее показано, что никель, кадмий и цинк влияют на реакционный центр ФС II, приводя к снижению кванто-

вого выхода флуоресценции, не фотохимического и фотохимического тушения уже через час воздействия. Свинец и цинк блокируют поток электронов на сайте разложения воды [Mallick, Mohn, 2003].

Кадмий вызывает изменение структуры хлоропласта микроводорослей и высших растений [Andorch et al., 2012; Singh et al., 2015; Dobrikova, Apostolova, 2019], нарушение синтеза каротиноидов и инактивирование ряда ферментов, участвующих в процессе фотосинтеза [Singh et al., 2015], нарушение ассимиляции CO₂ [Penen et al., 2017]. У *A. affine* мы отмечали уменьшение численности клеток, резкое снижение содержания хлорофилла *a* и каротиноидов, а например, у *Dunaliella salina* через шесть часов после экспозиции со 100 мкг/л кадмия отмечено небольшое стимулирование роста клеток ультраструктура клеток не изменялась [Zhu et al., 2019].

Действие кадмия на содержание каротиноидов строго зависит от концентрации кадмия и вида растения. В обзоре Добриковой и Апостоловой [Dobrikova, Apostolova, 2019] указано, что каротиноиды меньше подвергаются действию кадмия, чем хлорофилл, следовательно, соотношение каротиноиды/хлорофилл выше у растений, подвергающихся действию кадмия. Однако в нашем исследовании такое отмечено только при 20 мкг/л кадмия на третьей сутки опыта. На *Chlorella sorokiana* выявлено, что кадмий способствует увеличению скорости дыхания, уменьшению или полному исчезновению пиреноида, скорости фотосинтеза. Кадмий ингибирует ФС II в результате повреждения тилакоидов и реакционных центров [La Rocca et al., 2009; Carfagna et al., 2013]. В то же время есть сведения, что кадмий влияет на обе фотосистемы. Кадмий способен встраиваться в хлорофилл вместо иона магния. Ингибирование биосинтеза хлорофилла происходит

через влияние на продуцирование протохлорофиллида и активирование ферментативной деградации хлорофиллов хлорофиллиазой [Dobrikova, Apostoliva, 2019]. Кадмий влияет на метаболизм фосфора у водорослей, что также приводит к снижению скорости роста клеток и содержания хлорофилла *a* [Chia et al., 2013].

У другой динофитовой водоросли *Proocentrum micans* при 20 мкг/л кадмия после шести дней экспозиции не отмечено изменений в хлоропластах, только увеличивался размер пиреноидов. Повреждения, вызываемые кадмием в клетках, связаны с нарушением клеточного метаболизма, в частности дыхания [Soyer, Prevot, 1981].

Свинец оказывал слабое стимулирующее влияние на рост популяции *A. affine*, при этом содержание фотосинтетических пигментов на третьи сутки эксперимента увеличивалось, а на седьмые снижалось. Следует отметить, что свинец 20 мкг/л не влиял на содержание фотосинтетических пигментов. При возрастании содержания хлорофилла *a* отмечена более слабая, чем в контроле флуоресценция хлоропласта. При возрастании содержания хлорофилла *a* отмечена более слабая, чем в контроле флуоресценция хлоропласта. Повреждение хлоропласта отмечено и на *Dunaliella salina* [Kemer et al., 2020]. Также свинец приводит к снижению квантового выхода флуоресценции, уменьшению размера фотосинтетической антенны [Dao, Beardall, 2016; Gan et al., 2019]. Свинец может заменять магний в молекуле хлорофилла, однако такие хлорофиллы не связаны прочно с лигандами пигмент-белкового комплекса. Таким образом, водоросли синтезируют больше молекул хлорофилла на реакционный центр для компенсации нефункциональных хлорофиллов и поддержания производительности фотосинтеза [Dao, Beardall, 2016; Zamani-Ahmadmahmoodi et al., 2020].

Это наблюдалось и в нашем опыте. Возможно, такой механизм действует и в присутствии других тяжелых металлов. Увеличивается содержание каротиноидов для защиты органелл клетки от действия активных форм кислорода, что показано на примере *Nannochloropsis oculata*. При особо токсичных концентрациях металлов содержание каротиноидов, наоборот, снижается, что свидетельствует о высоком стрессе для водорослей [Zamani-Ahmadmahmoodi et al., 2020].

Никель приводил к выраженной стимуляции роста *A. affine*. Численность клеток зеленой водоросли *Ankistrodesmus falcatus* снижалась при концентрациях 15–30 мкг/л уже через 24 часа опыта. Снижение содержания хлорофилла *a* и каротиноидов происходило при 1 мкг/л никеля. При 8 мкг/л клетки увеличивались и изменяли форму, а при 17 мкг/л деформировались хлоропласты [Martínez-Ruiz, Martínez-Jeromo, 2015]. В нашем опыте также отмечена деформация хлоропласта и его более слабая, чем в контроле, флуоресценция при 20 мкг/л металла, с одновременным увеличением численности *A. affine*. У *Phaeodactylum tricorutum* регистрировали уменьшение квантового выхода флуоресценции, скорости электрон-транспортного потока, увеличение содержания хлорофилла *a* и активных форм кислорода [Guo et al., 2022]. Ингибирование роста зеленых пресноводных микроводорослей наблюдали при концентрации 200 мкг/л металла [Ahmad et al., 2020].

Железо вызывало стимуляцию роста *A. affine* при концентрации 100 мкг/л с одновременным снижением содержания хлорофилла *a* и каротиноидов. Уменьшение данных показателей одновременно с интенсивностью флуоресценции свидетельствует о поражении фотосинтетического аппарата под действием железа, в том числе за счет активных форм кислорода. Ранее

также отмечено, что при токсическом воздействии железа в первую очередь страдают хлоропласты и митохондрии [RajabiIslami, Assareh, 2019]. Механизм генерирования активных форм кислорода под воздействием железа изучен слабо. Предполагается, что оно происходит за счет реакции Фентона, реакций, подобных реакции Фентона, и реакции Хабер – Вейсса [RajabiIslami, Assareh, 2019; Rana, Prajapati, 2021].

Железо также оказывает влияние на жирно-кислотный состав [RajabiIslami, Assareh, 2019; Concas et al., 2021] и накопление липидов [Wan et al., 2014; RajabiIslami, Assareh, 2019; Rana, Prajapati, 2021]. Липиды синтезируются и аккумулируются при стрессовых условиях как наиболее выгодный источник энергии [Wan et al., 2014]. Например, у *Chlorella vulgaris* при 25 мкг/л железа происходит увеличение скорости роста и интенсивности синтеза нейтральных липидов в форме триацилглицеридов [Concas et al., 2021]. Работы по исследованию действия железа на представителей рода *Alexandrium* касаются в основном его недостаточных для нормального роста концентраций, при которых снижается численность клеток, нарушается синтез хлорофилла, углеводов и белков [He et al., 2010; Yagimizu et al., 2022].

Цинк в концентрации 100 мкг/л, как и железо, приводил к более интенсивному, чем в контроле, росту *A. affine*. Однако добавление 100 мкг/л цинка ингибирует рост динофлагелляты *P. micans* [Kayser, 1977]. Цинк в токсичных концентрациях замедляет процесс деления клеток, вызывает снижение содержания хлорофилла *a*, аминокислот, фосфотазной активности [Báscik-Remisiewicz et al., 2009], увеличение содержания липидов [Yang et al., 2015]. Даже при 5 000 мкг/л металла у *Isochrysis galbana* численность клеток не изменялась, однако

снижалось содержание хлорофилла *a* [Kumar et al., 2015]. В нашем исследовании при стимулирующей численности водоросли концентрации металла происходило также снижение содержания хлорофилла *a* и каротиноидов. Данный токсикант влияет на электрон-транспортную цепь в результате замены марганца на цинк на сайте разложения воды. На диатомовых *Entomoneis paludosa* и *Nitzschia palea* показано, что цинк снижает выход кислорода и вызывает увеличение карбоангидразной активности [Masmoudi et al., 2013]. У *Tisochrysis lutea* ингибирование роста на 50% наблюдали при 1 055 мкг/л цинка [Tato, Beiras, 2019]. Такое же явление происходило у зеленых *Bracteacoccus minor* и *Lobosphaera incisa* при 2,92 мкг/л и 3,48 мкг/л соответственно [Maltsev et al., 2021].

Работ по исследованию действия тяжелых металлов на представителей рода *Alexandrium* немного. Для *Alexandrium catenella* показано, что при наличии в среде меди, кадмия, свинца, цинка увеличивается количество выделяемых из клеток полисахаридов, особенно глюкозы [Herzi et al., 2013]. В случае *Alexandrium pacificum*, выращенного на смеси металлов цинка, свинца, меди и кадмия, показано, что рост водоросли замедлялся, а размер клеток увеличивался, протеомные изменения затрагивали мембраны, мембранный транспорт, фотосинтез и энергетический метаболизм [Chetouhi et al., 2020]. Таким образом, тяжелые металлы вызывали биохимические изменения у разных видов рода *Alexandrium*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кадмий вызывал снижение численности *A. affine*. Рост водоросли увеличивался незначительно при внесении свинца, однако существенно стимулировался при

добавлении никеля, железа и цинка. Это позволяет сделать вывод, что наличие в среде данных металлов в исследованных концентрациях может быть предпосылкой для «цветения» *A. affine*. С другой стороны, все исследованные металлы нарушают функционирование фотосинтетического аппарата и вызывают морфологические повреждения клеток. В присутствии более устойчивых к данным металлам конкурирующих за ресурсы среды с *A. affine* видов клетки *A. affine* с измененными физиологическими процессами не смогут доминировать продолжительное время в условиях загрязнения тяжелыми металлами.

REFERENCES

- Ahmad N., Rahbani J., Tayeh J., Lteif R. 2020. Bioremediation of Ni, Al and Pb by the living cells of a resistant strain of microalga. *Water Science and Technology*. Vol. 82. № 5. P. 851–860.
- Anderson D.M., Alpermann T.J., Cembella A., Collos Y. 2012. The globally distributed genus *Alexandrium*: multifaceted roles in marine ecosystems and impacts on human health. *Harmful Algae*. Vol. 14. P. 10–35.
- Anderson D., Fachon E., Pickart R.S. et al. 2021. Evidence for massive and recurrent toxic blooms of *Alexandrium catenella* in the Alaskan Arctic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 118. № 41. e2107387118.
- Andosch A., Affenzeller M., Lütz C. et al. 2012. A freshwater green alga under cadmium stress: ameliorating calcium effects on ultrastructure and photosynthesis in the unicellular model *Micrasterias*. *Journal of Plant Physiology*. Vol. 169. № 15. P. 1489–1500.
- Báscik-Remisiewicz A., Tomaszewska E., Labuda K. et al. 2009. The effect of Zn and Mn on the toxicity of Cd to the green microalga *Desmodesmus armatus* cultured at ambient and elevated (2%) CO₂ concentrations. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 18. № 5. P. 775–780.
- Bonanno G., Raccuia S.A. 2018. Seagrass *Halophila stipulacea*: capacity of accumulation and biomonitoring of trace elements. *Science of the Total Environment*. Vol. 633. P. 257–263.
- Brandenburg K.M., de Senerpont Domis L.N., Wohlrab S. et al. 2017. Combined physical, chemical and biological factors shape *Alexandrium ostenfeldii* blooms in the Netherlands. *Harmful Algae*. Vol. 63. P. 146–153.
- Carfagna S., Lanza N., Salbitani G. et al. 2013. Physiological and morphological responses of lead or cadmium exposed *Chlorella sorokiniana* 211-8K (Chlorophyceae). *Springer Plus*. Vol. 2. № 1. P. 1–7.
- Chia M.A., Lombardi A.T., Maria da Graça G.M., Parrish C.C. 2013. Lipid composition of *Chlorella vulgaris* (Trebouxiophyceae) as a function of different cadmium and phosphate concentrations. *Aquatic Toxicology*. Vol. 128. P. 171–182.
- Chetouhi C., Masseret E., Satta C.T. et al. 2020. Intraspecific variability in membrane proteome, cell growth, and morphometry of the invasive marine neurotoxic dinoflagellate *Alexandrium pacificum* grown in metal-contaminated conditions. *Science of the Total Environment*. Vol. 715. Art. № 136834.
- Concas A., Steriti A., Pisu M., Cao G. 2021. Experimental and theoretical investigation of the effects of iron on growth and lipid synthesis of microalgae in view of their use to produce biofuels. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Vol. 9. № 4. Art. № 105349.
- Dao L. H., Beardall J. 2016. Effects of lead on two green microalgae *Chlorella* and *Scenedesmus*: photosystem II activity and heterogeneity. *Algal Research*. Vol. 16. P. 150–159.
- Dobrikova A.G., Apostolova E.L. 2019. Damage and protection of the photosynthetic apparatus under cadmium stress. In *Cadmium toxicity and tolerance in plants*. Academic Press. P. 275–298.
- Farrell H., Brett S., Ajani P., Murray S. 2013. Distribution of the genus *Alexandrium* (Halim) and paralytic shellfish toxins along the coastline of New South Wales, Australia. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 72. № 1. P. 133–145.
- Gan T., Zhao N., Yin G. et al. 2019. Optimal chlorophyll fluorescence parameter selection for rapid and sensitive detection of lead toxicity to marine microalgae *Nitzschia closterium* based on chlorophyll fluorescence technology. *Journal of Photochemistry and Photobiology* Vol. 197. Art. № 111551.
- Guallar C., Bacher C., Chapelle A. 2017. Global and local factors driving the phenology of *Alexandrium minutum* (Halim) blooms and its toxicity. *Harmful Algae*. Vol. 67. P. 44–60.
- Guillard R.R.L., Ryther J.H. 1962. Studies of marine planktonic diatoms. 1. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. *Canadian Journal of Microbiology*. Vol. 8 № 2. P. 229–239.
- Guo R., Lu D., Liu C. et al. 2022. Toxic effect of nickel on microalgae *Phaeodactylum tricoratum*

- (Bacillariophyceae). *Ecotoxicology*. Vol. 31. P. 746–760.
- He H., Chen F., Li H. et al. 2010. Effect of iron on growth, biochemical composition and paralytic shellfish poisoning toxins production of *Alexandrium tamarense*. *Harmful Algae*. Vol. 9. № 1. P. 98–104.
- Herzi F., Jean N., Zhao H. et al. Copper and cadmium effects on growth and extracellular exudation of the marine toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella*: 3D-fluorescence spectroscopy approach. *Chemosphere*. Vol. 93. № 6. P. 1230–1239.
- Imai I., Inaba N., Yamamoto K. 2021. Harmful algal blooms and environmentally friendly control strategies in Japan. *Fisheries Science*. Vol. 87. № 4. P. 437–464.
- Jeffrey S.T., Humphrey G.F. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c1* and *c2* in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochimie und physiologie der pflanzen*. Vol. 167. № 2. P. 191–194.
- Kayser H. 1977. Effect of zinc sulphate on the growth of mono- and multispecies cultures of some marine plankton algae. *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*. Vol. 30. № 1. P. 682–696.
- Kemer K., Mantiri D.M., Rompas R.M. et al. 2020. Transmission electron microscope analysis upon growth of lead acetate treated microalga, *Dunaliella* sp. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*. Vol. 13. № 2. P. 849–856.
- Kremp A., Hansen P.J., Tillmann U. et al. 2019. Distributions of three *Alexandrium* species and their toxins across a salinity gradient suggest an increasing impact of GDA producing *A. pseudogonyaulax* in shallow brackish waters of Northern Europe. *Harmful Algae*. Vol. 87. Art. № 101622.
- Kumar K.S., Dahms H.U., Won E. J. et al. 2015. Microalgae – a promising tool for heavy metal remediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol. 113. P. 329–352.
- Laanaia N., Vaquer A., Fiandrino A. et al. 2013. Wind and temperature controls on *Alexandrium* blooms (2000–2007) in Thau lagoon (Western Mediterranean). *Harmful Algae*. Vol. 28. P. 31–36.
- La Rocca N., Andreoli C., Giacometti G.Á. et al. 2009. Responses of the Antarctic microalga *Koliella antarctica* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) to cadmium contamination. *Photosynthetica*. Vol. 47. № 3. P. 471–479.
- Lee S., Chung J., Lee Y.W. 2018. Cu and Zn concentrations in seawater and marine sediments along Korean coasts from the perspective of antifouling agents. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. Vol. 101. № 2. P. 185–190.
- Mallick N., Mohn F.H. 2003. Use of chlorophyll fluorescence in metal-stress research: a case study with the green microalga *Scenedesmus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol. 55. № 1. P. 64–69.
- Maltsev Y., Maltseva A., Maltseva S. 2021. Differential Zn and Mn sensitivity of microalgae species from genera *Bracteacoccus* and *Lobosphaera*. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 28. № 40. P. 57412–57423.
- Martin J.H., Coale K.H., Johnson K.S. 1994. Testing the iron hypothesis in ecosystems of the equatorial Pacific Ocean. *Nature*. Vol. 371. P. 123–129.
- Martínez-Ruiz E.B., Martínez-Jerónimo F. 2015. Nickel has biochemical, physiological, and structural effects on the green microalga *Ankistrodesmus falcatus*: an integrative study. *Aquatic Toxicology*. Vol. 169. P. 27–36.
- Masmoudi S., Nguyen-Deroche N., Caruso A. et al. 2013. Cadmium, copper, sodium and zinc effects on diatoms: from heaven to hell – a review. *Cryptogamie, Algologie*. Vol. 34. № 2. P. 185–225.
- Montoya N.G., Carignan M.O., Carreto J.I. 2018. *Alexandrium tamarense/catenella* blooms in the Southwestern Atlantic: Paralytic shellfish toxin production and its trophic transference. In: Hoffmeyer, M., Sabatini, M., Brandini, F., Calliari, D., Santinelli, N. (eds). *Plankton Ecology of the Southwestern Atlantic*. P. 453–476.
- Nagajyoti P.C., Lee K.D., Sreekanth T. V.M. 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*. Vol. 8. № 3. P. 199–216.
- Penen F., Isaure M.P., Dobritzsch D. et al. 2017. Pools of cadmium in *Chlamydomonas reinhardtii* revealed by chemical imaging and XAS spectroscopy. *Metallomics*. Vol. 9(7). P. 910–923.
- RajabIslami H., Assareh R. 2019. Effect of different iron concentrations on growth, lipid accumulation, and fatty acid profile for biodiesel production from *Tetradesmus obliquus*. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 31. № 6. P. 3421–3432.
- Rahman Z., Singh V.P. 2019. The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 191. № 7. P. 1–21.
- Rana M.S., Prajapati S.K. 2021. Resolving the dilemma of iron bioavailability to microalgae for commercial sustenance. *Algal Research*. Vol. 59. Art. № 102458.
- Singh M., Kumar J., Singh S. et al. 2015. Adaptation strategies of plants against heavy metal toxicity: a short review. *Biochemistry and Pharmacology*. Vol. 4. P. 2167–0501.

- Soyer M. O., Prevot P. 1981. Ultrastructural damage by cadmium in a marine dinoflagellate, *Prorocentrum micans*. *Journal of Protozoology*. Vol. 28. № 3. P. 308–313.
- Tato T., Beiras R. 2019. The use of the marine microalga *Tisochrysis lutea* (T-iso) in standard toxicity tests; comparative sensitivity with other test species. *Frontiers in Marine Science*. Vol. 6. DOI: 10.3389/fmars.2019.00488.
- Turner J.T., Borkman D.G. 2005. Impact of zooplankton grazing on *Alexandrium* blooms in the offshore Gulf of Maine. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. Vol. 52. № 19-21. P. 2801–2816.
- USGS, 2021. Mineral commodity summaries 2021, U.S. Geological Survey. 200 p.
- Vershinin A.O., Orlova T.Y. 2008. Toxic and harmful algae in the coastal waters of Russia. *Oceanology*. Vol. 48. № 4. P. 524–537.
- Wan M., Jin X., Xia J., Rosenberg J. et al. 2014. The effect of iron on growth, lipid accumulation, and gene expression profile of the freshwater micro alga *Chlorella sorokiniana*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. Vol. 98. № 22. P. 9473–9481.
- Wei M., Yanwen Q., Zheng B., Zhang L. 2008. Heavy metal pollution in Tianjin Bohai bay, China. *Journal of Environmental Sciences*. Vol. 20. № 7. P. 814–819.
- Weng H.X., Sun X.W., Weng J. K. et al. 2008. Crucial roles of iron in the growth of *Prorocentrum-micans* Ehrenberg (Dinophyceae). *Journal of Coastal Research*. Vol. 24. P. 176–183.
- Yang J., Cao J., Xing G., Yuan H. 2015. Lipid production combined with biosorption and bioaccumulation of cadmium, copper, manganese and zinc by oleaginous microalgae *Chlorella minutissima* UTEX2341. *Bioresource Technology*. Vol. 175. P. 537–544.
- Yarimizu K., Mardones J.I., Paredes-Mella J. et al. 2022. The effect of iron on Chilean *Alexandrium catenella* growth and paralytic shellfish toxin production as related to algal blooms. *BioMetals*. Vol. 35. № 1. P. 39–51.
- Zamani-Ahmadmahmoodi R., Malekabadi M.B., Rahimi R., Johari S.A. 2020. Aquatic pollution caused by mercury, lead, and cadmium affects cell growth and pigment content of marine microalga, *Nannochloropsis oculata*. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 192. № 6. P. 1–11.
- Zhang L., Shi Z., Zhang J. et al. 2016. Toxic heavy metals in sediments, seawater, and mollusks in the eastern and western coastal waters of Guangdong Province, South China. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 188. № 5. P. 1–14.
- Zhu Q.L., Guo S.N., Wen F. et al. 2019. Transcriptional and physiological responses of *Dunaliella salina* to cadmium reveals time-dependent turnover of ribosome, photosystem, and ROS-scavenging pathways. *Aquatic Toxicology*. Vol. 207. P. 153–162.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Маркина Жанна Васильевна – Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского (НИЦМБ) ДВО РАН; 690041, Россия, Владивосток; кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории клеточных технологий; zhannav@mail.ru. SPIN-код: 7056-0032, Author ID: 251096, Researcher ID: I-3693-2016, Scopus ID: 8982837500.

Markina Zhanna Vasilievna – A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, FEB RAS; 690041, Russia, Vladivostok; Candidate of Biological Sciences, Researcher of Cell Technologies Laboratory; zhannav@mail.ru. SPIN-code: 7056-0032, Author ID: 251096, Researcher ID: I-3693-2016, Scopus ID: 8982837500.

Огнистая Альбина Васильевна – Дальневосточный федеральный университет: 690091, Россия, Владивосток; аспирант; Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского (НИЦМБ) ДВО РАН; 690041, Россия, Владивосток, младший научный сотрудник лаборатории морской микробиоты; alya_lokshina@mail.ru. SPIN-код: 4996-4219, Author ID: 1070727.

Ognistaya Albina Vasilievna – Far Eastern Federal University, 690091, Russia, Vladivostok; Postgraduate; A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, FEB RAS; 690041, Russia, Vladivostok; Junior Researcher of Marine Microbiota Laboratory; alya_lokshina@mail.ru. SPIN-code: 4996-4219, Author ID: 1070727.

Зинов Антон Андреевич – Дальневосточный федеральный университет; 690091, Россия, Владивосток; аспирант; Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского (НИЦМБ) ДВО РАН; 690041, Россия, Владивосток, младший научный сотрудник лаборатории морской микробиоты; toni.zinov.95@mail.ru. SPIN-код: 6968-7920, Author ID: 1071767.

Zinov Anton Andreevich – Far Eastern Federal University; 690091, Russia, Vladivostok; Postgraduate; A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, FEB RAS; 690041, Russia, Vladivostok; Junior Researcher of Marine Microbiota Laboratory; toni.zinov.95@mail.ru. SPIN-code: 6968-7920, Author ID: 1071767.

ВЛИЯНИЕ КВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧАСТОТУ МИКРОЯДЕР И ЯДЕРНЫХ АНОМАЛИЙ В ЭРИТРОЦИТАХ ЛИЧИНОК АМФИБИЙ

Крюков В.И., Жучков С.А., Лазарева Т.Н., Киреева О.С., Поповичева Н.Н.

Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина, г. Орёл, ул. Генерала Родина, 69.

Возрастающий уровень техногенных неионизирующих электромагнитных излучений в биосфере делает актуальными исследования воздействия этих излучений на живые организмы. Целью работы было изучение последствий воздействия КВЧ-излучения на стабильность генома бесхвостых амфибий. Личинок зеленой жабы (*Bufo viridis*) в течение 120 часов подвергали воздействию ЭМИ четырех различных частот КВЧ-диапазона (34,52; 34,67; 34,79 и 35,04 ГГц с плотностью потока энергии соответственно 4,88; 5,33; 4,94 и 3,76 мВт/см²). После облучения изучали частоты микроядер (МЯ) и ядерных аномалий (ЯА) в эритроцитах крови головастика. КВЧ-излучение частотой 34,52 ГГц не индуцировало статистически значимого увеличения частоты МЯ и ЯА. Воздействие КВЧ-излучения частотой 34,67; 34,79 и 35,04 ГГц вызывало статистически достоверное увеличение частоты МЯ и ЯА в эритроцитах головастика. Статистически достоверный рост частоты МЯ и ЯА в эритроцитах после воздействия КВЧ-излучения доказывает определенную опасность возрастающего в биосфере уровня ЭМИ, а также необходимость дальнейших исследований влияния неионизирующих излучений на геном низших позвоночных.

Ключевые слова: амфибии, КВЧ-излучение, микроядра, мутагенность, эритроциты, ядерные аномалии.

INFLUENCE OF EHF RADIATION ON FREQUENCY OF MICRONUCLEI AND NUCLEAR ANOMALIES IN AMPHIBIAN LARVA ERYTHROCYTES

Kryukov V.I., Zhuchkov S.A., Lazareva T.N., Kireeva O.S., Popovicheva N.N.

Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, General Rodin Str. 69.

The level of technogenic non-ionizing electromagnetic radiations of various frequencies constantly grows in the biosphere. Therefore, studies of these radiations influence on biological organisms are very actual. The purpose of the work was to study the consequences of prolonged exposure to EHF radiation on the stability of the genome of anurans. Larvae of the green toad (*Bufo viridis*) were subjected to EMR at four different EHF frequencies (34.52, 34.67, 34.79, and 35.04 GHz with an energy flux density of 4.88, 5.33, 4.94, and 3.76 mW/cm², respectively) for 120 hours. After irradiation the frequencies of micronuclei (MN) and nuclear anomalies (NA) in peripheral blood erythrocytes of tadpoles were studied. EHF radiation with a frequency of 34.52 GHz induced a small and statistically insignificant increase in the frequency of MN and NA. Exposure to EHF radiation at frequencies of 34.67, 34.79, and 35.04 GHz caused a statistically significant increase in the frequency of MN and NA in tadpole erythrocytes. A statistically significant increase of the frequency of MN and NA in anuran larvae erythrocytes after exposure to EHF radiation proves a certain danger of an increasing level of EMR in the biosphere, as well as the need for further studies of the effect of non-ionizing radiation on the genomes of lower vertebrates.

Key words: amphibians, EHF-radiation, micronuclei, mutagenicity, erythrocytes, nuclear anomalies.

ВВЕДЕНИЕ

Эволюция живых организмов происходила в условиях низкого фона электромагнитных полей КВЧ-диапазона. Поэтому у них отсутствуют механизмы адаптации к резко возросшим уровням техногенного КВЧ-излучения. Создание современных средств связи и новых промышленных технологий, использующих мощные электромагнитные поля (ЭМП), применение различных электрических приборов и установок в промышленности и быту обусловило значительное увеличение фонового уровня электромагнитных полей НЧ-, ВЧ-, КВЧ- и СВЧ-диапазонов на живые организмы. В будущем интенсивность использования оборудования, генерирующего электромагнитные излучения, будет возрастать. 5G-стандарт мобильной связи, который предполагается использовать в России, по сравнению с сетями связи предыдущих поколений будет иметь сверхвысокие и крайне высокие диапазоны радиочастот и, соответственно, сантиметровые и миллиметровые длины волн электромагнитного излучения. Развитие современных средств связи сопровождается расширением используемых спектров частот, биологические эффекты которых пока детально не изучены [Гапеев, 2014; Hardell et al., 2020; Егорова и др., 2021; Харченко и др., 2022]. Поэтому в большинстве экономически развитых стран реализуются государственные программы, целью которых является изучение биологических эффектов ЭМИ различных частот для сохранения здоровья человека и безопасности экосистем в условиях нарастающего глобального электромагнитного загрязнения окружающей среды. На основании уже имеющихся сведений Международное агентство по исследованию рака при ВОЗ (IARC) в 2011 г. включило ЭМП сотовой связи в

категорию 2В, то есть потенциально канцерогенных для людей [IARC Monogr., 2013].

Краткий обзор биологических эффектов электромагнитных полей, выполненных до 2000 г., дан в работах [Verschaeve, Maes, 1998; Cherry, 2000; Крюков, 2000]. Современные взгляды на механизмы действия КВЧ-излучения изложены в ряде работ [Усанов и др., 2008; Куротченко и др., 2009; Запорожан, Пономаренко, 2011; Савельев и др., 2012а, 2012б; Лукьяница, 2013; Гапеев, 2014; Москвин, Хадарцев, 2016; Kocaman et al., 2018; Электромагнитотерапия..., 2018; Яшин, 2018; Saliev et al., 2019; Lai, 2021].

Величина и характер биоэффекта электромагнитного излучения зависят от ряда его параметров: частоты, длины волны, поляризации, формы сигнала, уровня поля и времени его воздействия. Отклик организма на внешнее КВЧ-облучение возникает с некоторого минимального порога мощности излучения и остается неизменным при дальнейшем увеличении мощности. В ранних исследованиях этот порог был установлен в пределах $0,5\text{--}10\text{ мВт/см}^2$, однако позже биологические эффекты были обнаружены при воздействии КВЧ-излучений, мощность которых была на порядок меньше – $1\text{--}10\text{ мкВт/см}^2$ [Крылов, Максимов, 2001].

В настоящее время в практике здравоохранения и ветеринарии используют терапевтический эффект слабых электромагнитных полей, хотя механизм этого явления еще полностью не познан. Вместе с тем известны многочисленные негативные эффекты ЭМП на центральную нервную систему, органы эндокринной, выделительной, пищеварительной и сердечно-сосудистой систем. Особые опасения вызывают факты негативного воздействия ЭМП на репродуктивную функцию человека и животных. Есть статистически

достоверные факты нарушения здоровья у активных пользователей радиотелефонами, а также у детей, проживающих вблизи радио- и телетрансляционных станций [Чернова и др., 2020; Егорова и др., 2021; Харченко и др., 2022]. Таким образом, увеличение напряженности и продолжительности воздействия ЭМП может приводить к различным физиологическим нарушениям, биологические механизмы возникновения которых изучены еще недостаточно. Малоизученными остаются генетические эффекты воздействия ЭМП на соматические и генеративные клетки. Не следует исключать отдаленных генетических эффектов воздействия ЭМП на геномы. Практически неизученными остаются вопросы одновременного воздействия на организмы высоких уровней электромагнитных полей и повышенных концентраций антропогенных загрязнителей. Многие вопросы этой важной и относительно новой проблемы требуют разрешения и нуждаются в дальнейших углубленных исследованиях.

Целью этого эксперимента являлось изучение влияния ЭМИ различных частот КВЧ-диапазона на частоту микроядер и ядерных аномалий (далее – сокращенно МЯ и ЯА соответственно) в эритроцитах периферической крови личинок бесхвостых амфибий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований служили эритроциты периферической крови головастика зеленой жабы *Bufo viridis* (L.), отловленных в природном водоеме, который представлял собой котлован, обвалованный извлеченным из него грунтом и наполняемый только атмосферными осадками. Поверхностные стоки в водоем отсутствовали. На этом основании полагали, что в его воде не было каких-либо сильнодействующих ксенобиотиков, способных влиять на исследуемые параметры. Головастиков, находившихся на 46-й и 47-й стадиях развития [Дабагян, Слепцова, 1975, с. 442–462], трое суток выдерживали в лабораторном аквариуме, затем делили на группы по семь особей. Одна группа интактных животных служила контролем. Другие группы подвергали воздействию КВЧ-излучения.

Источником крайне высокочастотного (КВЧ) излучения служил модельный КВЧ-генератор, сконструированный в лаборатории медицинской СВЧ- и КВЧ-аппаратуры НИИ новых медицинских технологий (г. Тула) и способный генерировать крайне высокочастотное излучение со следующими характеристиками (табл. 1). Рупор антенны имел длину 50 мм и диаметр 20 мм по выходу.

Таблица 1. Характеристики КВЧ-генератора и излучений, используемых в исследованиях

Table 1. Characteristics of the EHF generator and radiation used in research

Положение переключателя генератора	Частота, ГГц	Длина волны, мм	Коэффициент усиления антенны G, дБ	Мощность, мВт	Плотность потока энергии, мВт/см ² на расстоянии от антенны 10 см
1	34,52	8,70	17,08	120	4,88
2	34,67	8,65	17,12	130	5,33
3	34,79	8,62	17,14	120	4,94
4	35,04	8,56	17,20	90	3,76

КВЧ-излучение интенсивно поглощается водой [Бецкий и др., 2004]. Поэтому для облучения группу из семи личинок помещали в чашку Петри, наполненную водой так, чтобы верхняя треть тела головастика выступала из воды. Рупор антенны генератора находился на высоте 10 см над уровнем воды. Группы личинок *B. viridis* в течение 120 ч подвергали непрерывному воздействию КВЧ-излучений частотой 34,52; 34,67; 34,79 и 35,04 ГГц. Выбор столь длительной экспозиции был обусловлен необходимостью выявления возможного риска хронического КВЧ-облучения. Во время эксперимента головастика кормили два раза в сутки. После кормления воду в чашках Петри и аквариумах меняли на чистую отстоянную в течение 2–3 суток водопроводную воду.

По истечении периода облучения личинок каждой группы выдерживали в аквариумах 24 часа для реализации структурных нарушений в клетках, затем готовили мазки крови. У пяти случайно выбранных в каждой группе личинок отсекали заднюю треть хвостового плавника и готовили мазки крови. Мазки крови высушивали, затем фиксировали в течение 30 мин в охлажденном фиксаторе (этиловый спирт и уксусная кислота в соотношении 3 : 1), промывали дистиллированной водой и окрашивали азур-эозином по Романовскому.

Препараты просматривали при увеличении $(100 \times 15 \times 1,5)^{\times}$ (микроскоп «Laboval 4»). На окрашенных препаратах от каждого животного подсчитывали по 2 тыс. нормальных эритроцитов, фиксируя при этом (дополнительно к количеству нормальных эритроцитов) число клеток с МЯ и ЯА. Обнаруженные аномалии типизировали по методике [Жулева, Дубинин, 1994] (рис. 1), поскольку эксперимент и анализ мазков крови были выполнены до опубликования классификации ЯА [Крюков, 2020].

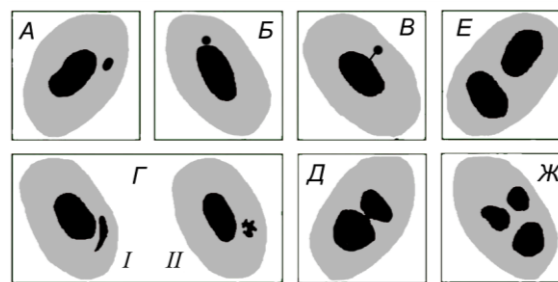


Рис. 1. Типы регистрируемых микроядер и ядерных аномалий. Микроядра: изолированные от ядра (А), примыкающие к ядру (Б), соединенные с ядром нитью хроматина (В). Ядерные аномалии: в виде неоформленных фрагментов хроматина (Г-I и Г-II), округлых масс хроматина, частично изолированных от ядра (Д). Дополнительно учитывали двуядерные клетки (Е) и эритроциты, ядра которых были фрагментированы на 3 и более частей разной величины (Ж)

Fig. 1. Types of registered micronuclei and nuclear anomalies. Micronuclei: isolated from the nucleus (A), adjacent to the nucleus (B), connected to the nucleus by a chromatin thread (B). Nuclear anomalies: in the form of unformed fragments of chromatin (Г-I and Г-II), rounded masses of chromatin, partially isolated from the nucleus (Д). Additionally, binuclear cells (Е) and erythrocytes, the nuclei of which were fragmented into 3 or more parts of different sizes (Ж), were taken into account

Достоверность различий между частотами обнаруженных МЯ и ЯА определяли с помощью критерия *U* для сравнения малых ($p < 0,2$) и больших ($p > 0,8$) долей после их ϕ -преобразования [Урбах, 1975, с. 153–169]. Частоты МЯ и ЯА указаны в процентах от общего числа проанализированных эритроцитов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Длина волн диапазона КВЧ находится в интервале 1–10 мм, что соответствует частотам 30–300 ГГц. Существование биологических эффектов электромагнитных излучений этого диапазона на организмы было установлено в середине 1960-х годов. Многочисленные исследования медиков показали, что электромагнитное излучение миллиметрового диапазона влияет на кле-

точные и гуморальные звенья иммунитета, систему гемостаза, микроциркуляцию крови и метаболизм мембран клетки. Поэтому КВЧ-терапия широко применяется в различных областях клинической медицины, а также в ветеринарии [Бецкий и др., 2009; Истомина, 2012; Марюшина и др., 2018]. Тогда же (в 1960-х гг.) была сформулирована гипотеза о специфичности воздействия на биологические структуры и организмы КВЧ-излучения, обусловленного его физическими свойствами. КВЧ-излучения космического происхождения практически не достигают поверхности Земли, так как интенсивно поглощаются водными парами ее атмосферы. По этой причине живые организмы могли в процессе эволюции приспособить такой «беспомеховый» диапазон частот для передачи управляющих сигналов от одних клеток к другим. С другой стороны, отсутствие адаптационных механизмов к резким изменениям интенсивности техногенного КВЧ-излучения может в некоторых случаях оказаться критичным для жизнедеятельности организмов.

К настоящему времени накоплены многочисленные доказательства того, что электромагнитные поля разных диапазонов КВЧ и СВЧ (включая диапазоны мобильных телефонов и Wi-Fi) генетически весьма активны. Они могут вызывать генетические повреждения на молекулярном и субклеточном (хромосомном) уровнях,

изменять экспрессию генов и влиять на структурно-функциональные характеристики хроматина [Гапеев, 2014; Запорожан, Пономаренко, 2011; Дюжикова и др., 2019; Jagetia, 2022].

Результаты описываемого нами эксперимента подтверждают способность КВЧ-излучения индуцировать aberrации хромосом, приводящие к образованию МЯ (табл. 2), а также нарушать структуру ядерного хроматина.

Для наглядности все нарушения морфологии ядер, обнаруженные в эритроцитах, были объединены в две группы: МЯ (типы *A, B, B*) и остальные ЯА (типов *Г, Д, Е* и *Ж*). Их суммарные частоты показаны на графике (рис. 2). Частоты МЯ и ЯА в эритроцитах животных, подвергнутых воздействию КВЧ-излучения различной частоты, имеют явные отличия. КВЧ-излучения частотой 36,67; 34,79 и 35,04 ГГц индуцировали в эритроцитах статистически достоверно больше аномалий по сравнению с контрольной выборкой.

Оптимальное время экспозиции для КВЧ-терапии, установленное экспериментально и подтвержденное клинически посредством анализов физиологических параметров (ЭКГ, ЭЭГ, рентгеноскопии, артериального давления и др.) и сенсорных реакций пациентов, находится в интервале от 30 до 60 минут [Лукияница, 2013]. В выполненном нами эксперименте экспозиция КВЧ-облучения была значительно большей.

Таблица 2. Количество микроядер и ядерных аномалий различных типов в эритроцитах периферической крови личинок *Bufo viridis*, индуцированное 120-часовыми экспозициями КВЧ-излучения различной частоты

Table 2. The number of micronuclei and nuclear anomalies of various types in the peripheral blood erythrocytes of *Bufo viridis* larvae induced by 120-hour exposure to ENF radiation of various frequencies

Частота, ГГц	Изучено клеток	Типы микроядер и ядерных аномалий							
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>Г-I</i>	<i>Г-II</i>	<i>Д</i>	<i>Е</i>	<i>Ж</i>
Контроль	10 052	19	24	7	–	–	2	–	–
34,52	10 058	27	16	5	2	4	3	1	–
34,67	10 253	133	52	47	2	–	11	–	8
34,79	10 112	65	34	11	–	–	–	2	–
35,04	10 150	61	47	15	–	2	21	–	4

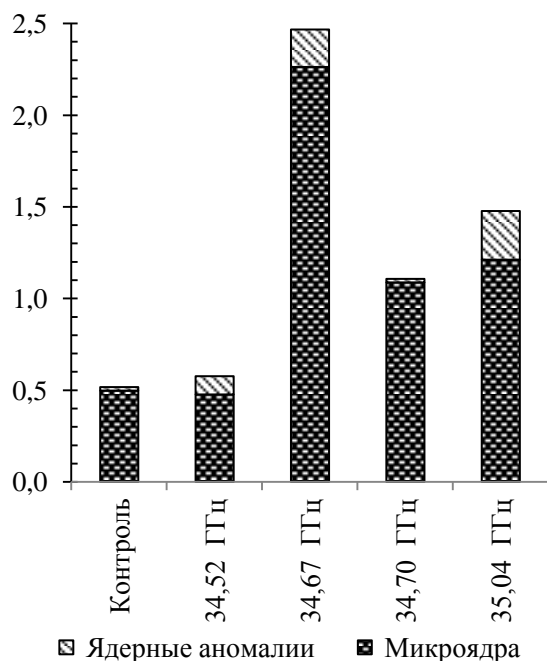


Рис. 2. Частоты микроядер и ядерных аномалий (%) в эритроцитах *B. viridis* после 120-часового КВЧ-облучения различной частоты (ГГц)

Fig. 2. Frequencies of micronuclei and nuclear anomalies (%) in *B. viridis* erythrocytes after 120-hour EHF irradiation of various frequencies (GHz)

В начале 1980-х годов было установлено существование определенных частот (частотных окон), при воздействии которых изменяется характер биологического ответа клеток на воздействия электромагнитных полей [Adey, 1981]. В медицинской и ветеринарной практике для КВЧ-терапии разрешены и наиболее часто применяются излучения с частотами: 60,12 ГГц (4,9 мм), 53,33 ГГц (5,6 мм) и 42,19 ГГц (7,1 мм) [Савельев и др., 2012б]. Некоторые приборы, используемые для КВЧ-терапии, генерируют ЭМИ с частотами 50,3; 51,8; 65 ГГц [Чесноков и др., 2003]. Поиск и исследование биологически активных частотных окон достаточно труден по техническим причинам. Поэтому в КВЧ-терапии начали создавать аппараты с широким диапазоном (от 10 МГц до 5 ГГц) генерируемых КВЧ-частот. Предполагается, что исполь-

зование генераторов КВЧ-излучения типа «широкополосный белый шум» позволит клеткам организма самим «выбирать» соответствующие частотные полосы, что будет приводить к нормализации нарушенных биологических процессов в организме [Корнаузов и др., 2001; Крылов, Максимов, 2001; Чесноков и др., 2003]. Однако наряду с гипотетической возможностью организма самостоятельно выбирать благоприятные частоты для регуляции его внутренних гомеостатических процессов, логично предположить, что некоторые частоты КВЧ-излучения могут нарушать нормальные процессы жизнедеятельности клеток, тканей и всего организма в целом.

Воздействие КВЧ-излучения частотой 34,52 ГГц практически не изменяло частоту образования МЯ и несколько увеличивало частоту формирования ЯА. Суммарная частота всех аномалий оказалась несколько выше контрольного значения, но различия были статистически недостоверными.

Иными были частоты аномалий, индуцированных КВЧ-излучением с частотами 34,67; 34,79 и 35,04 ГГц. Частота изолированных МЯ во всех трех вариантах была статистически достоверно выше контрольной величины при $p < 0,001$. Частоты прикрепленных МЯ были статистически достоверно выше при воздействии КВЧ-частотами 34,67 и 35,04 ГГц ($p < 0,01$). Воздействие облучения частотой 34,67 ГГц статистически достоверно повышало частоту МЯ, соединенных с ядром нитью хроматина ($p < 0,001$). Последний факт может свидетельствовать об увеличении частот возникновения дицентрических хромосом и формировании мостов между разделившимися ядрами.

Во всех трех рассматриваемых вариантах воздействия КВЧ-излучения наблюдали значительное увеличение ЯА, особенно много было ядер с частично изолирован-

ными массами хроматина. Статистически достоверное увеличение числа двуядерных клеток обнаружено только при воздействии КВЧ-излучения частотой 34,79 ГГц ($p < 0,05$). В двух вариантах эксперимента (34,67 и 35,04 ГГц) обнаружено статистически достоверное увеличение доли эритроцитов с крупными фрагментированными ядрами.

Параметры исследованного КВЧ-излучения отличались от разрешенных и наиболее часто применяемых в КВЧ-терапии частот и длин волн. Связано это с тем, что использованный генератор был сконструирован специально для поисковых исследований различных биологических реакций живых организмов на облучение заданных частот. Полученные нами результаты свидетельствуют об увеличении нестабильности генома амфибий после воздействия излучения некоторых из исследованных частот. На этом основании можно предположить, что их присутствие в спектрах широкополосных КВЧ-генераторов может оказывать негативное влияние на геном.

Ранее опубликованных работ по анализу влияния КВЧ-излучения на амфибий нам обнаружить не удалось. По этой причине полученные результаты мы можем сравнивать только с результатами исследований, выполненных с использованием других животных, а также сведениями, накопленными при обследовании людей.

Получены экспериментальные доказательства того, что электромагнитные поля коротковолнового диапазона влияют на динамику синтеза ДНК и транскрипции РНК в культивируемых клетках млекопитающих [Takanashi, 1986; Беляев и др., 2010].

Воздействие УВЧ-излучения сотовой связи приводило к повреждению микротрубочек веретена деления [Trošić, Pavičić, 2009] и увеличивало частоту аберраций

хромосом в культивируемых клетках человека и других млекопитающих [Garaj-Vrhovac et al., 1990, 1992; Panagopoulos, 2019].

Микроволновое излучение, действующее непосредственно на организмы лабораторных грызунов, индуцирует образование аберраций хромосом, изменение степени их конденсации, возрастание анеуплоидии [Leach, 1980; Manikowska-Czerska et al., 1985; Антипенко, 1991]. У лиц, профессионально контактирующих с микроволновым излучением (300 МГц – 300 ГГц), частота аберраций достигала 13% и статистически достоверно отличалась от спонтанной частоты. Спектр аберраций был представлен ацентрическими фрагментами, транслокациями в виде дицентриков, а также нарушением ploидности клеток [Garaj-Vrhovac et al., 1987; Othman et al., 2003].

Следует отметить, что при изучении чувствительности клеточных культур была обнаружена различная чувствительность клеток разных доноров к микроволновому облучению [Panagopoulos, 2019]. Следовательно, устойчивость к микроволновому излучению разных особей внутри популяции может быть различной, что необходимо учитывать при планировании и проведении здравоохранительных и природоохранительных мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микроядерный тест с использованием амфибий широко применяют для лабораторных исследований мутагенности химических веществ, а также последствий химического загрязнения природных и антропогенных экосистем. Для исследований мутагенности электромагнитных полей различных частот и длин волн животные этого класса практически не использовались. Вместе с тем необходим сравнительный анализ чувствительности животных

различных классов к неионизирующим излучениям, так как для сохранения биологического разнообразия экосистем нормирование нагрузок на них необходимо выполнять по наиболее чувствительным видам в экосистеме.

Наряду с благоприятным воздействием на организм человека и животных КВЧ-излучения конкретных частот многими исследованиями доказана вредоносность ЭМИ определенных режимов. Поэтому биологические эффекты облучения организмов неионизирующими ЭМИ не следует трактовать как однозначно полезные, и необходимы дальнейшие разносторонние исследования.

Результаты выполненного эксперимента позволяют сделать следующие выводы:

1. Воздействие в течение 120 часов КВЧ-излучения частотой 34,67; 34,79 и 35,04 ГГц с плотностью потока энергии соответственно 5,33; 4,94, и 3,76 мВт/см² вызывает статистически достоверное увеличение частоты микроядер и ядерных аномалий в эритроцитах головастиков зеленой жабы (*Bufo viridis*).

2. КВЧ-излучение частотой 34,52 ГГц при плотности потока энергии 4,88 мВт/см² индуцирует небольшое и статистически недостоверное увеличение частоты микроядер и ядерных аномалий.

3. Статистически достоверное увеличение частоты микроядер и ядерных аномалий в эритроцитах личинок бесхвостых амфибий после воздействия КВЧ-излучения доказывает необходимость дальнейшего изучения влияния неионизирующих излучений на геном низших позвоночных.

ЛИТЕРАТУРА

Антипенко Е.Н. 1991. К вопросу о количественных закономерностях цитогенетического действия микроволн. *Радиобиология*. Т. 31. № 1. С. 149–151.

Беляев И.Я., Мальмгрен Л.О., Маркова Е.К. 2010. Микроволны мобильных телефонов ингибируют формирование ДНК репарационных фокусов в стволовых клетках человека: возможный механизм повышения риска раковых заболеваний. *Тезисы докладов 6 Съезда по радиационным исследованиям*. Т. 2. Москва: РУДН. С. 159.

Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. 2004. Миллиметровые волны и живые системы. Москва: САЙН-ПРЕСС. 272 с.

Бецкий О.В., Котровская Т.И., Лебедева Н.Н. 2009. Миллиметровые волны в биологии и медицине. *Сборник трудов III Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь»*. Москва: ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. С. 146–150.

Гапеев А.Б. 2014. Исследование механизмов биологического действия низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высоких частот: успехи, проблемы и перспективы. *Биомедицинская радиоэлектроника*. № 6. С. 20–30.

Дабагян Н.В., Слепцова Л.А. 1975. Травяная лягушка *Rana temporaria* L. Объекты биологии развития. Москва: Наука. 579 с.

Дюжикова Н.А., Вайдо А.И., Даев Е.В. 2019. Влияние электромагнитного излучения УВЧ-диапазона на дестабилизацию генома клеток костного мозга крыс линий с контрастной возбудимостью нервной системы. *Экологическая генетика*. Т. 17. № 2. С. 83–92.

Егорова А.М., Луценко Л.А., Сухова А.В. и др. 2021. Гигиеническая оценка влияния сетей сотовой связи 5G/IMT-2020 на здоровье населения (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. Т. 100. № 9. С. 929–932.

Жулева Л.Ю., Дубинин Н.П. 1994. Использование микроядерного теста для оценки экологической обстановки в районах Астраханской области. *Генетика*. Т. 30. № 7. С. 999–1004.

Запорожан В.Н., Пономаренко А.И. 2011. Механизмы влияния слабого магнитного поля на экспрессию генома: основы физической эпигенетики. *Наука та інновації* (НАН України). Т. 7. № 6. С. 50–69.

Истомина И.С. 2012. Крайне высокочастотная терапия в клинической практике. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. № 6. С. 38–45.

Корнаузов А.В., Максимов Г.А., Анисимов С.И. 2001. Аппараты КВЧ-терапии с шумовым спектром в диапазоне частот 25–110 ГГц и биологической обратной связью. *Вестник Нижегородского университета. Серия Биология*. Вып. 2. № 4. С. 22–26.

- Крылов В.Н., Максимов Г.А. 2001. Физиологические аспекты КВЧ-терапии. *Вестник Нижегородского университета. Серия Биология*. Вып. 2. № 4. С. 8–13.
- Крюков В.И. 2000. Генетические эффекты электромагнитных полей. *Вестник новых медицинских технологий*. Т. 7. № 2. С. 8–13.
- Крюков В.И. 2020. Вариант методики учёта ядерных аномалий в эритроцитах птиц. *Вестник аграрной науки*. № 1. С. 81–100.
- Куротченко Л.В., Субботина Т.И., Терешкина О.В. 2009. Сочетанное воздействие КВЧ-облучения и нефротоксичных препаратов на млекопитающих. Москва: Триада. 144 с.
- Лукьяница В.В. 2013. Первичный механизм воздействия при КВЧ-терапии. *Медицинский журнал* (Белорус. гос. мед. институт). № 1. С. 94–99.
- Марюшина Т.О., Крюковская Г.М., Матвеева М.В., Луцай В.И. 2018. Использование КВЧ в ветеринарной практике. *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*. № 2 (38). С. 25–31.
- Москвин С.В., Хадарцев А.А. 2016. КВЧ-лазерная терапия. Москва: Триада. 168 с.
- Савельев С.В., Бецкий О.В., Морозова Л.А. 2012а. Основные положения теории действия миллиметровых волн на водосодержащие и живые биологические объекты. *Журнал радиоэлектроники*. № 11. 12 с. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/nov12/4/text.pdf> (дата обращения: 11.04.2022).
- Савельев С.В., Бецкий О.В., Морозова Л.А. 2012б. Механизм действия многочастотного и хаотического КВЧ-излучения на живые и водосодержащие объекты. *Журнал радиоэлектроники*. № 11. 9 с. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/nov12/5/text.pdf> (дата обращения: 11.04.2022).
- Урбах В.Ю. 1975. Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. Москва: Медицина. 295 с.
- Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Усанов А.Д., Рытик А.П. 2008. Биофизические аспекты воздействия электромагнитных полей. Саратов: Издательство Саратовского университета. 136 с.
- Харченко С.Г., Жижин Н.К., Кучер Д.Е. 2022. Риски и проблемы развития сетей 5G в России. Москва: МАКС Пресс. 104 с.
- Чернова Г.В., Сидоров П.В., Ергольская Н.В. 2020. Экспериментальная оценка влияния электромагнитного излучения крайне высокой частоты на развивающийся организм. *Здоровье населения и среда обитания*. Т. 7. № 328. С. 59–66.
- Чесноков И.А., Ляпина Е.П., Елисеев Ю.Ю. 2003. Диагностические комплексы с использованием аппаратов КВЧ-терапии и биологической обратной связи. *Вестник Нижегородского университета. Серия Биология*. Вып. 1 (6). С. 99–103.
- Электромагнитотерапия: новые данные и технологии. 2018. Под общ. ред. В.С. Улащика; Ин-т физиологии НАН Беларуси. Минск: Белорусская наука. 323 с.
- Яшин А.А. 2018. Резонансные эффекты во взаимодействии электромагнитных полей с биосистемами. Часть III. Жизнедеятельность в аспекте биорезонансных явлений, вызванных электромагнитными полями. *Вестник новых медицинских технологий*. Электронное издание. № 6. С. 267–276. URL: <http://www.medsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2018-6/3-11.pdf> (дата обращения: 10.12.2021).
- Adey W.R. 1981. Tissue interaction with nonionizing electromagnetic fields. *Physiol. Rev.* Vol. 61. № 2. P. 435–514.
- Cherry N. 2000. Evidence of health effects of electromagnetic radiation, to the Australian Senate inquiry into electromagnetic radiation. Lincoln University Canterbury, New Zealand. 85 p. URL: <https://researcharchive.lincoln.ac.nz/handle/10182/3931> (дата обращения: 15.05.2022).
- Garaj-Vrhovac V., Fucić A., Horvat D. 1992. The correlation between the frequency of micronuclei and specific chromosome aberrations in human lymphocytes exposed to microwave radiation in vitro. *Mutation Research*. Vol. 281. № 3. P. 181–186.
- Garaj-Vrhovac V., Horvat D., Koren Z. 1990 The effect of microwave radiation on the cell genome. *Mutation Research Letters*. Vol. 243. № 2. P. 87–93.
- Garaj-Vrhovac V., Horvat D., Brumen-Machovic V. 1987. Somatic mutations in persons occupationally exposed to microwave radiation. *Mutat. Res.* Vol. 181. № 2. P. 321.
- Hardell L., Carlberg M. 2020. Health risks from radiofrequency radiation, including 5G, should be assessed by experts with no conflicts of interest. *Oncol. Lett.* Vol. 20. № 4. Article Number: 15. URL: <https://doi.org/10.3892/ol.2020.11876> (дата обращения: 20.06.2022).
- IARC Monogr. 2013. IARC Working Group on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Nonionizing radiation. Part 2: Radiofrequency electromagnetic fields. IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum. Vol. 102 (Pt. 2). 460 p.
- Jagetia G.Ch. 2022. Genotoxic effects of electromagnetic field radiations from mobile phones *Environmental Research*. Vol. 212. Part D. № 113321. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113321> (дата обращения: 16.03.2022).

- Kocaman A., Altun G., Kaplan A.A. 2018. Genotoxic and carcinogenic effects of non-ionizing electromagnetic fields. *Environmental Research*. Vol. 163. P. 71–79.
- Lai H. 2021. Genetic effects of non-ionizing electromagnetic fields. *Electromagn. Biol. Med.* Vol. 40. № 2. P. 264–273.
- Leach W.M. 1980. Genetic, growth and reproductive effects of microwave radiation. *Bull. N. Y. Acad. Med.* Vol. 56. № 2. P. 249–257.
- Manikowska-Czerska E., Czerski P., Leach W.M. 1985. Effects of 2,45 GHz microwaves on meiotic chromosomes of male CBA/CAY mice. *J. Hered.* Vol. 76. № 1. P. 71–73.
- Othman E.O., Magdy S.A., Soheir M.E.N. 2003. Mutagenic Potential of Radio-frequency Electromagnetic Fields. *Cytologia*. Vol. 68. № 1. P. 35–43.
- Panagopoulos D.J. 2019. Chromosome damage in human cells induced by UMTS mobile telephony radiation. *General Physiology and Biophysics*. Vol. 38. № 5. P. 445–454.
- Saliev T., Begimbetova D., Masoud A.R., Matkari-mov B. 2019. Biological effects of non-ionizing electromagnetic fields. Two sides of a coin. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. Vol. 141. P. 25–36.
- Takanashi R. 1986. Effect of pulsing electromagnetic field on DNA synthesis in mammalian cells in culture. *Experientia*. Vol. 42. № 2. P. 185–186.
- Trošić I., Pavičić I. 2009. Disturbance of cell proliferation in response to mobile phone frequency radiation. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*. Vol. 60. № 1. P. 109–115.
- Verschaeve L., Maes A. 1998. Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiofrequency fields. Review. *Mutation Research*. Vol. 410. P. 141–165.
- tion and Radio Communication”. Moscow: Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of Russian Academy of Sciences. P. 146–150 (in Russian).
- Gapeev A.B. 2014. Investigation of the mechanisms of the biological action of low-intensity electromagnetic radiation of extremely high frequencies: progress, problems and prospects. *Biomeditsinskaya radioelektronika (Journal Biomedical Radioelectronics)*. № 6. P. 20–30 (in Russian).
- Dabagyan N.V., Sleptsova L.A. 1975. Common frog *Rana temporaria* L. Objects of developmental biology. Moscow: Nauka Publ. 579 p. (in Russian).
- Dyuzhikova N.A., Vaido A.I., Daev E.V. 2019. Influence of UHF electromagnetic radiation on the destabilization of the genome of bone marrow cells of rat lines with contrast excitability of the nervous system. *Ekologicheskaya genetika (Ecological Genetics)*. Vol. 17. № 2. P. 83–92 (in Russian).
- Egorova A.M., Lutsenko L.A., Sukhova A.V. et al. 2021. Hygienic assessment of the impact of 5G/IMT-2020 cellular networks on public health (literature review). *Gigiena i sanitariya (Hygiene and Sanitation)*. Vol. 100. № 9. P. 929–932 (in Russian).
- Zhuleva L.Yu., Dubinin N.P. 1994. Using the micronucleus test to assess the environmental situation in the districts of the Astrakhan region. *Genetika (Genetics)*. Vol. 30. № 7. P. 999–1004 (in Russian).
- Zaporozhan V.N., Ponomarenko A.I. 2011. Mechanisms of the influence of a weak magnetic field on genome expression: basics of physical epigenetics. *Nauka ta innovacii (Science and Innovations)* (NAS of Ukraine). Vol. 7. № 6. P. 50–69.
- Istomina I.S. 2012. Extreme high frequency therapy in clinical practice. *Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitaciya (Russian Journal of Physiotherapy, Balneology and Rehabilitation)*. № 6. P. 38–45 (in Russian).
- Kornaukhov A.V., Maksimov G.A., Anisimov S.I. 2001. EHF-therapy devices with noise spectrum in the frequency range 25-110 GHz and biofeedback. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta, Seriya Biologiya (Bulletin of the Nizhny Novgorod University, Series Biology)*. Issue 2 (4). P. 22–26 (in Russian).
- Krylov V.N., Maksimov G.A. 2001. Physiological aspects of EHF-therapy. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta, Seriya Biologiya (Bulletin of the Nizhny Novgorod University, Series Biology)*. № 2 (4). P. 8–13 (in Russian).
- Kryukov V.I. 2000. Genetic effects of electromagnetic fields. *Vestnik novyh medicinskih technologij (Journal of New Medical Technologies)*. Vol. 7. № 2. P. 8–13 (in Russian).

REFERENCES

- Antipenko E.N. 1991. On the question of the quantitative regularities of the cytogenetic effect of microwaves. *Radiobiologiya (Radiobiology)*. Vol. 31. № 1. P. 149–151 (in Russian).
- Belyaev I.Ya., Malmgren L.O., Markova E.K. 2010. Mobile phone microwaves inhibit the formation of DNA repair foci in human stem cells: a possible mechanism for increasing the risk of cancer. *Abstracts of the 6th Congress on Radiation Research*. Vol. 2. Moscow: RUDN. P. 159 (in Russian).
- Betsky O.V., Kislov V.V., Lebedeva N.N. 2004. Millimeter waves and living systems. Moscow: SIGN-PRESS. 272 p. (in Russian).
- Betsky O.V., Kotrovskaya T.I., Lebedeva N.N. 2009. Millimeter waves in biology and medicine. *Proceedings of All-Russian Conference “Radioloca-*

- Kryukov V.I. 2020. A variant of the method for accounting for nuclear anomalies in avian erythrocytes. *Vestnik agrarnoj nauki (Bulletin of Agrarian Science)*. № 1. P. 81–100 (in Russian).
- Kurotchenko L.V., Subbotina T.I., Tereshkina O.V. 2009. Combined effects of EHF irradiation and nephrotoxic drugs on mammals. Moscow: Triad Publ. 144 p. (in Russian).
- Lukyanitsa V.V. 2013. The primary mechanism of action in EHF-therapy. *Medicinskij zhurnal (Medical Journal (Belarusian State Medical Institute))*. № 1. P. 94–99 (in Russian).
- Maryushina T.O., Kryukovskaya G.M., Matveeva M.V., Lutsai V.I. 2018. The use of EHF in veterinary practice. *Aktual'nye voprosy veterinarnoj biologii (Topical Issues of Veterinary Biology)*. № 2 (38). P. 25–31 (in Russian).
- Moskvin S.V., Khadartsev A.A. 2016. EHF laser therapy. Moscow: Triad Publ. 168 p. (in Russian).
- Savelyev S.V., Betsky O.V., Morozova L.A. 2012a. The main provisions of the theory of the action of millimeter waves on water-containing and living biological objects. *Zhurnal radioelektroniki (Journal of Radio Electronics)*. № 11. 12 p. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/nov12/4/text.pdf> (accessed: 04/11/2022) (in Russian).
- Savelyev S.V., Betsky O.V., Morozova L.A. 2012b. The mechanism of action of multi-frequency and chaotic EHF radiation on living and water-containing objects. *Zhurnal radioelektroniki (Journal of Radio Electronics)*. № 11. 9 p. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/nov12/5/text.pdf> (accessed: 04/11/2022) (in Russian).
- Urbakh V. Yu. 1975. Statistical analysis in biological and medical research. Moscow: Medicine Publ. 295 p. (in Russian).
- Usanov D.A., Skripal A.V., Usanov A.D., Rytik A.P. 2008. Biophysical aspects of exposure to electromagnetic fields. Saratov: Saratov University Press. 136 p. (in Russian).
- Kharchenko S.G., Zhizhin N.K., Kucher D.E. 2022. Risks and problems of development of 5G networks in Russia. Moscow: MAKS Press. 104 p. (in Russian).
- Chernova G.V., Sidorov P.V., Ergolskaya N.V. 2020. Experimental evaluation of the influence of extremely high frequency electromagnetic radiation on a developing organism. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya (Public Health and Life Environment)*. № 7 (328). P. 59–66 (in Russian).
- Chesnokov I.A., Lyapina E.P., Eliseev Yu.Yu. 2003. Diagnostic complexes using EHF-therapy and biofeedback devices. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta, Seriya Biologiya (Bulletin of the Nizhny Novgorod University, Series Biology)*. Issue 1 (6). P. 99–103 (in Russian).
- Electromagnetic therapy: new data and technologies. 2018. Under. total ed. V.S. Ulashchik; Institute of Physiology of the National Academy of Sciences of Belarus. Minsk: Belarusian Science Publ. 323 p. (in Russian).
- Yashin A.A. 2018. Resonance effects in the interaction of electromagnetic fields with biosystems. Part III. Vital activity in the aspect of bioresonant phenomena caused by electromagnetic fields. *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij (Bulletin of New Medical Technologies)*. Electronic edition. № 6. P. 267–276. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2018-6/3-11.pdf> (accessed: 10.12.2021) (in Russian).
- Adey W.R. 1981. Tissue interaction with nonionizing electromagnetic fields. *Physiol. Rev.* Vol. 61. № 2. P. 435–514.
- Cherry N. 2000. Evidence of health effects of electromagnetic radiation, to the Australian Senate inquiry into electromagnetic radiation. Lincoln University Canterbury, New Zealand. 85 p. URL: <https://researcharchive.lincoln.ac.nz/handle/10182/3931> (accessed: 15.05.2022).
- Garaj-Vrhovac V., Fucić A., Horvat D. 1992. The correlation between the frequency of micronuclei and specific chromosome aberrations in human lymphocytes exposed to microwave radiation in vitro. *Mutation Research*. Vol. 281. № 3. P. 181–186.
- Garaj-Vrhovac V., Horvat D., Koren Z. 1990. The effect of microwave radiation on the cell genome. *Mutation Research Letters*. Vol. 243. № 2. P. 87–93.
- Garaj-Vrhovac V., Horvat D., Brumen-Machovic V. 1987. Somatic mutations in persons occupationally exposed to microwave radiation. *Mutat. Res.* Vol. 181. № 2. P. 321.
- Hardell L., Carlberg M. 2020. Health risks from radiofrequency radiation, including 5G, should be assessed by experts with no conflicts of interest. *Oncol. Lett.* Vol. 20. № 4. Art. № 15. URL: <https://doi.org/10.3892/ol.2020.11876> (accessed: 20.06.2022).
- IARC Monogr. 2013. IARC Working Group on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Non-ionizing radiation. Part 2: Radiofrequency electromagnetic fields. IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum. Vol. 102 (Pt. 2). 460 p.
- Jagetia G.Ch. 2022. Genotoxic effects of electromagnetic field radiations from mobile phones *Environmental Research*. Vol. 212. Part D. № 113321. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113321> (accessed: 16.03.2022).

- Kocaman A., Altun G., Kaplan A.A. 2018. Genotoxic and carcinogenic effects of non-ionizing electromagnetic fields. *Environmental Research*. Vol. 163. P. 71–79.
- Lai H. 2021. Genetic effects of non-ionizing electromagnetic fields. *Electromagn. Biol. Med.* Vol. 40. № 2. P. 264–273.
- Leach W.M. 1980. Genetic, growth and reproductive effects of microwave radiation. *Bull. N. Y. Acad. Med.* Vol. 56. № 2. P. 249–257.
- Manikowska-Czerska E., Czerski P., Leach W.M. 1985. Effects of 2,45 GHz microwaves on meiotic chromosomes of male CBA/CAJ mice. *J. Hered.* Vol. 76. № 1. P. 71–73.
- Othman E.O., Magdy S.A., Soheir M.E.N. 2003. Mutagenic potential of radio-frequency electromagnetic fields. *Cytologia*. Vol. 68. № 1. P. 35–43.
- Panagopoulos D.J. 2019. Chromosome damage in human cells induced by UMTS mobile telephony radiation. *General Physiology and Biophysics*. Vol. 38. № 5. P. 445–454.
- Saliev T., Begimbetova D., Masoud A.R., Matkari-mov B. 2019. Biological effects of non-ionizing electromagnetic fields. Two sides of a coin. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. Vol. 141. P. 25–36.
- Takanashi R. 1986. Effect of pulsing electromagnetic field on DNA synthesis in mammalian cells in culture. *Experientia*. Vol. 42. № 2. P. 185–186.
- Trošić I., Pavičić I. 2009. Disturbance of cell proliferation in response to mobile phone frequency radiation. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*. Vol. 60. № 1. P. 109–115.
- Verschaeve L., Maes A. 1998. Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiofrequency fields. Review. *Mutation Research*. Vol. 410. P. 141–165.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Крюков Владимир Иванович – Орловский государственный аграрный университет; 302019, Россия, Орёл; доктор биологических наук, профессор кафедры частной зоотехнии и разведения сельскохозяйственных животных; старший научный сотрудник Инновационного научно-исследовательского испытательного центра коллективного пользования ОрёлГАУ; ecogenet@mail.ru. SPIN-код: 5224-4444; Author ID: 143984.

Kryukov Vladimir Ivanovich – Orel State Agrarian University; 302019, Russia, Orel; Doctor of Biological Sciences, Professor of the Private Zootechnics and Farm Animal Breeding Chair; Senior Researcher of Innovative Research and Development Test Center for Collective Use; ecogenet@mail.ru. SPIN-code: 5224-4444; Author ID: 143984.

Жучков Сергей Александрович – Орловский государственный аграрный университет; 302019, Россия, Орёл; кандидат медицинских наук, доцент кафедры эпизоотологии и терапии, научный сотрудник Инновационного научно-исследовательского испытательного центра коллективного пользования ОрёлГАУ; iniic@orelsau.ru. SPIN-код: 3707-7117; Author ID: 617878; Scopus ID 23476255300.

Zhuchkov Sergey Alexandrovich – Orel State Agrarian University, 302019, Russia, Orel; Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Epizootology and Therapy Chair, Researcher of Innovative Research and Development Test Center for Collective Use; iniic@orelsau.ru. SPIN-code: 3707-7117; Author ID: 617878; Scopus ID: 23476255300.

Лазарева Татьяна Николаевна – Орловский государственный аграрный университет; 302019, Россия, Орёл; кандидат технических наук, доцент кафедры продуктов питания животного происхождения, директор Инновационного научно-исследовательского испытательного центра коллективного пользования ОрёлГАУ, tn.lazareva@orelsau.ru. SPIN-код: 6718-8614; Author ID: 710157; Scopus ID: 57222574451.

Lazareva Tatyana Nikolaevna – Orel State Agrarian University; 302019, Russia, Orel; Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Animal Food Products Chair; Director of Innovative Research and Development Test Center for Collective Use, tn.lazareva@orelsau.ru. SPIN-code: 6718-8614; Author ID: 710157; Scopus ID: 57222574451.

Киреева Ольга Сергеевна – Орловский государственный аграрный университет; 302019, Россия, Орёл; кандидат технических наук; научный сотрудник Инновационного научно-исследовательского испытательного центра коллективного пользования ОрёлГАУ; os.kireeva@orelsau.ru. SPIN-код: 6870-3341; Author ID: 724960;

Kireeva Olga Sergeevna – Orel State Agrarian University; 302019, Russia, Orel; Candidate of Technical Sciences, Researcher of Innovative Research and Development Test Center for Collective Use; os.kireeva@orelsau.ru. SPIN-code: 6870-3341; Author ID: 724960.

Поповичева Наталья Николаевна – Орловский государственный аграрный университет; 302019, Россия, Орёл; ведущий специалист Инновационного научно-исследовательского испытательного центра коллективного пользования Орловского ГАУ, iniic@orelsau.ru. SPIN-код: 1138-6118; Author ID: 591167.

Popovicheva Nataliya Nikolaevna – Orel State Agrarian University; 302019, Russia, Orel; Candidate of Technical Sciences, Leading Specialist of Innovative Research and Development Test Center for Collective Use, iniic@orelsau.ru. SPIN-code: 1138-6118; Author ID: 591167.

ПРАВИЛА НАПРАВЛЕНИЯ, РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ И ОПУБЛИКОВАНИЯ РУКОПИСЕЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК КАМЧАТГТУ»

Журнал «Вестник КамчатГТУ» выпускается четыре раза в год и публикует результаты научных исследований по направлениям:

- 1.5.12. Зоология (биологические науки)
- 1.5.15. Экология (биологические науки)
- 1.5.16. Гидробиология (биологические науки)
- 1.5.20. Биологические ресурсы (биологические науки)
- 2.2.4. Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки)
- 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки)
- 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (физико-математические науки)
- 4.3.3. Пищевые системы (биологические и технические науки)
- 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки)

В рамках общих направлений предпочтения отдается следующим профилям:

- научно-информационное обеспечение развития технических систем, контроля природной среды и использования природных ресурсов;
- аквакультура и охрана водных биологических ресурсов и среды их обитания, воздействие природных и антропогенных факторов на состояние водных экосистем;
- пищевые технологии и рыбоперерабатывающая техника.

Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не соответствующие профилю журнала.

В журнале печатаются результаты, ранее не опубликованные и не предназначенные к одновременной публикации в других изданиях.

Работа должна соответствовать указанным выше направлениям, обладать несомненной новизной, иметь теоретическую и практическую значимость. Рукописи статей должны быть подготовлены на высоком научном уровне и содержать результаты исследований по соответствующей проблематике. Материалы исследований, присланные в журнал, не должны содержать заимствований из работ, принадлежащих другим ученым. Ссылки на исследования других специалистов даются в порядке, определенном традициями научного сообщества.

Рукописи должны быть оформлены в соответствии с правилами оформления, принятыми в журнале. Журнал публикует статьи на русском и английском языках.

Направление рукописей

Рукописи статей в электронном виде направляются в редакцию журнала по адресу: vestnik@kamchatgtu.ru. Название файла должно содержать фамилию автора статьи.

К рукописи статьи в электронном виде (скан-копии) должны быть приложены:

- анкета-заявка на опубликование. Если у статьи несколько авторов, то сведения предоставляются полностью о каждом из них, указывается автор для переписки с редакцией (Приложение 1);
- согласие автора о передаче права на публикацию рукописи и распространение в российских и международных электронных базах данных (Приложение 2);
- согласие автора на обработку и передачу персональных данных (Приложение 3);
- акт экспертизы / экспертное заключение в форме, принятой в направляющей организации;
- разрешение на опубликование материалов от организации, в которой работает автор с подписью руководителя и печатью организации (для внешних авторов).

Рецензирование рукописей

Издание осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих ее тематике, с целью их экспертной оценки. Статьи, присланные в журнал, проходят предварительное (общий допуск) и профильное (официальная рецензия) рецензирование. Вопрос об опубликовании рукописи, ее отклонении решает редакционная коллегия журнала.

Рецензентами журнала являются высококвалифицированные специалисты, имеющие степень доктора или кандидата наук и научные публикации в областях наук по профилю рецензирования.

Рукопись, получившая положительную оценку рецензентов, принимается к опубликованию в журнале на заседании редколлегии журнала.

Рукопись, получившая рекомендации по доработке, отправляется авторам. Исправленная рукопись проходит повторное рецензирование.

В случае получения отрицательной рецензии на рукопись автор получает мотивированный отказ в опубликовании. Решение редколлегии о принятии статьи к печати или ее отклонении сообщается авторам.

Редколлегия оставляет за собой право отклонить материал без указания причин. Отклоненные рукописи авторам не возвращаются.

Рецензии хранятся в редакции журнала в течение 5 лет. При поступлении в редакцию соответствующего запроса редакция издания направляет копии рецензий в Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Опубликование рукописей

Каждый номер научного журнала комплектуется из рукописей статей, прошедших рецензирование и принятых к опубликованию решением редакционной коллегии с учетом очередности поступления рукописи, ее объема и наполненности разделов.

Преимущественное право на публикацию имеют сотрудники КамчатГТУ, аспиранты, завершающие обучение в аспирантуре, и лица, выходящие на защиту диссертации в ближайшее время.

Автор может опубликовать в одном номере журнала не более одной статьи в качестве единственного автора.

Плата за публикации рукописей не взимается. Гонорар за публикации не выплачивается.

Полнотекстовые электронные версии выпусков журналов размещаются на сайте КамчатГТУ (<http://www.kamchatgtu.ru>), в Научной электронной библиотеке (НЭБ) (<http://elibrary.ru>).

Печатная версия журнала высылается по всем обязательным адресам рассылки.

Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах размещаются в свободном доступе на сайте журнала, в электронных системах цитирования (базах данных) на русском и английском языках.

Анкета-заявка

Полные Ф. И. О.	На русском и английском языках
Название статьи	На русском и английском языках
Ученая степень	На русском и английском языках
Ученое звание	На русском и английском языках
Должность (с указанием структурного подразделения)	На русском и английском языках
Место работы	На русском и английском языках
Адрес места работы (обязательно указать индекс)	На русском и английском языках
Членство в академиях (РАЕН, РАН, МАНЭБ, Военная и др.)	На русском и английском языках
Номера телефонов (мобильный, служебный, домашний)	
Адрес электронной почты (e-mail)	

Согласие автора

о передаче права на публикацию рукописи в научном журнале
«Вестник Камчатского государственного технического университета»
и распространение в российских и международных электронных базах данных

Я, нижеподписавшийся, _____
(Ф. И. О. автора)

автор рукописи _____

(название рукописи)

передаю на безвозмездной основе редакции научного журнала «**Вестник Камчатского государственного технического университета**» неисключительное право на опубликование этой рукописи статьи (далее – Произведение) в печатной и электронной версиях научного журнала «**Вестник Камчатского государственного технического университета**», а также на распространение Произведения путем размещения его электронной копии в базе данных «Научная электронная библиотека» («НЭБ»), представленной в виде информационного ресурса сети Интернет elibrary.ru. Территория, на которой допускается использование вышеуказанных прав на Произведение, не ограничена.

Я подтверждаю, что указанное Произведение нигде ранее не было опубликовано.

Я подтверждаю, что данная публикация не нарушает авторские права других лиц или организаций.

С правилами представления статей в редакцию научного журнала «**Вестник Камчатского государственного технического университета**» согласен / согласна.

наименование
организации

должность

дата

подпись

расшифровка
подписи

**Согласие на публикацию
и обработку персональных данных
авторов научного журнала Вестник КамчатГТУ**

Я, _____, в соответствии с требованиями статьи 9 Федерального закона от 27.07.2006 г. №152-ФЗ «О персональных данных» даю согласие на обработку моих персональных данных издателю – ФГБОУ ВО «КамчатГТУ», расположенному по адресу: 683003, Камчатский край, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, д. 35, ИНН 4100001140, ОГРН 1024101031790, в рамках процесса опубликования моей статьи в научном журнале «Вестник КамчатГТУ». Представленная статья не публиковалась ранее в других изданиях и не находится на рассмотрении в редакциях других издательств. Все возможные конфликты интересов, связанные с авторскими правами и опубликованием рассматриваемой статьи, урегулированы. Публикация статьи не нарушает авторские права третьих лиц.

Подтверждаю свое согласие на опубликование и размещение полнотекстовой версии статьи и своих персональных данных (фамилия, имя, отчество; сведения о месте работы и занимаемой должности; учёная степень (учёное звание); электронная почта, контактный телефон и другие предоставляемые мной в рамках статьи данные) в открытом доступе на сайте ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» (www.kamchatgtu.ru), Научной электронной библиотеки (www.elibrary.ru), в иных базах данных научной информации, электронно-библиотечных системах, научных информационных ресурсах в сети Интернет и доведения до всеобщего сведения, обработки и систематизации в других базах цитирования, а также для включения в аналитические и статистические отчетности без ограничения по сроку.

(подпись)

(Ф. И. О. автора)

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ

Объем

Объем содержательной части рукописи статьи (введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение) – не менее 5 страниц (без учёта таблиц, рисунков и списка литературы) для оригинальных статей и не более 24 страниц – для статей-ревизий.

Рекомендуемая структура

Статья должна быть структурирована и включать следующие разделы: введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, литература.

Правила набора

Текстовый редактор – Microsoft Word, шрифт – Times New Roman; размер шрифта: основной – 11,5, вспомогательный – 10,5; абзацный отступ – 0,7 см; междустрочный интервал (множитель) – 1,2. Поля: верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм, правое – 20 мм, левое – 20 мм.

Начало статьи

Через один междустрочный интервал последовательно приводятся следующие сведения:

– индекс универсальной десятичной классификации (УДК), выровненный влево (шрифт 11,5);

на русском языке указываются:

– название статьи прописными (заглавными) полужирными буквами, без переносов, с выравниванием по центру (шрифт 11,5; междустрочный интервал – 1);

– фамилии и инициалы авторов последовательно с выравниванием по левому краю без абзацного отступа (шрифт 11,5; междустрочный интервал – 1);

– название организации, в которой работают авторы, адрес организации (с выравниванием по ширине полосы без абзацного отступа, шрифт 11,5; междустрочный интервал – 1);

– текст краткой аннотации (не менее 75 и не более 120 слов), выровненный по ширине полосы без абзацного отступа (шрифт 10,5; междустрочный интервал – 1); аннотация должна содержать краткое изложение проблемы, указание на технологию или методы исследования, результаты исследования с акцентом на их новизну;

– ключевые слова (не более 10 слов), выровненные по ширине полосы без абзацного отступа (шрифт 10,5, междустрочный интервал – 1);

далее на английском языке через один междустрочный интервал указываются:

– название статьи прописными (заглавными) полужирными буквами, без переносов, с выравниванием по центру (шрифт 11,5; междустрочный интервал – 1);

– фамилии и инициалы авторов последовательно с выравниванием по левому краю без абзацного отступа (шрифт 11,5; междустрочный интервал – 1);

– название организации, в которой работают авторы, адрес организации (с выравниванием по ширине полосы без абзацного отступа, шрифт 11,5; междустрочный интервал – 1);

– текст краткой аннотации, выровненный по ширине полосы без абзацного отступа (шрифт 10,5; междустрочный интервал – 1);

– ключевые слова (не более 10 слов), выровненные по ширине полосы без абзацного отступа (шрифт 10,5; междустрочный интервал – 1).

УДК

**ДЕСТРУКЦИЯ ТКАНЕЙ БУРОЙ ВОДОРΟΣЛИ *SACCHARINA BONGARDIANA*
В ПРОЦЕССЕ ТЕРМОЩЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ БИОГЕЛЯ**

Иванов А.А.¹, Петрова А.А.²

¹ Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35.

² Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва, ул. Красносельская, 17.

Saccharina bongardiana – один из самых массовых видов ламинариевых водорослей камчатского шельфа, характеризующийся широкой экологической пластичностью и морфологической изменчивостью. В работе описаны отличия его морфогенеза и биологии развития от таковых у других камчатских представителей рода *Saccharina* и близкого к нему рода *Laminaria*, рассмотрены особенности внутреннего строения, позволяющие данному виду осваивать литоральную зону шельфа, противостоять воздействию неблагоприятных факторов. Описан разработанный авторами метод контроля процесса деструкции тканей, происходящий под воздействием термощелочной обработки в процессе получения биогеля из этого вида водорослей.

Ключевые слова: *Saccharina bongardiana*, биология развития, морфогенез, водорослевый биогель, термощелочная обработка, деструкция ткани.

**TISSUE DESTRUCTION IN THE BROWN ALGA, *SACCHARINA BONGARDIANA*,
DURING THE PROCESS OF THERMAL-ALKALIN TREATMENT
WHEN PRODUCING BIOGEL**

Ivanov A.A.¹, Petrova A.A.²

¹ Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya Str. 35.

² Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Krasnoselskaya Str. 17.

Saccharina bongardiana is one of the most widespread kelp species in Kamchatka, which is characterized by a broad ecological plasticity and morphological variability. We describe differences in its morphogenesis and developmental biology from the other *Saccharina* and *Laminaria* species from Kamchatka, and features of its internal structure that allow this species to develop in the tidal zone and withstand the effects of adverse environmental factors. The method developed by the authors to control the process of *S. bongardiana* tissue destruction occurring in the process of thermo-alkaline treatment when producing biogel from this alga is described.

Key words: *Saccharina bongardiana*, developmental biology, morphogenesis, algal biogel, thermo-alkaline treatment, tissue destruction.

Текст статьи

Основной размер шрифта текста статьи – 11,5; междустрочный интервал (множитель) – 1,2; абзацный отступ – 0,7 см.

Структурные элементы статьи (**введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, литература**) должны быть приведены прописными (заглавными) полужирными буквами с выравниванием по центру.

Ссылки на литературу в тексте должны быть приведены в квадратных скобках с указанием фамилии автора (-ов) и через запятую – года выпуска научного издания (в порядке возрастания года издания; например, [Иванов, 1974; Петров, 1995; Абрамов, 2010]).

Ссылки на рисунки и таблицы должны быть приведены в тексте, при этом сами рисунки и таблицы – в конце статьи (после литературы и информации об авторах) с обязательным переводом названий таблиц и подрисуночных подписей на английский язык.

Все рисунки, кроме единственного, нумеруются. Рисунки должны быть четкими, обозначения и надписи читаемыми. Номер рисунка и подпись к нему печатаются шрифтом 10,5 размера, междустрочный интервал – 1 с выравниванием по ширине полосы без абзацного отступа (выносятся отдельно от рисунка для возможности редактирования). *Дополнительно к комплекту документов должны быть приложены файлы рисунков в формате jpg с разрешением не менее 300 dpi.*

Все таблицы, кроме единственной, нумеруются. Номер таблицы и подпись к нему печатаются 10,5 шрифтом, междустрочный интервал – 1 с выравниванием по ширине полосы без абзацного отступа.

Математические, физические и химические формулы следует набирать в редакторе Microsoft Equation Editor. Все формулы, на которые есть ссылки в тексте, нумеруются, и ссылки на них приводятся в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается по правому краю.

Образец оформления текста статьи

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время известно, что бурые, главным образом ламинариевые водоросли являются источником получения веществ [Ковалева, 2000; Липатов, 2004; Разумов и др., 2004; Талабаева, 2006; Конева, 2009; Вафина, 2010].

.....

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

.....

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Внутреннее строение *S. bongardiana* подвержено (рис. 1).

.....

Описанная выше последовательность мацерации тканей *S. bongardiana* показана на рисунке 2.

Представленная таблица показывает стадии процесса деструкции

.....

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показывает, что

Образец оформления формул

Полученные из опыта значения коэффициентов передач по каждому из каналов $K1(y_j)$ и $K2(y_j)$ соответственно удовлетворяют неравенствам:

$$\begin{aligned} -1 \leq K1(y_j) \leq 1, \\ -1 \leq K2(y_j) \leq 1. \end{aligned} \tag{1}$$

Учитывая более жесткие ограничения (1), получим систему неравенств:

$$\begin{aligned} K1(y_j \text{ min}) &\leq K1(y_j) \leq K1(y_j \text{ max}), \\ K1(y_j \text{ min}) &\leq K1(y_j) \leq K1(y_j \text{ max}). \end{aligned} \quad (2)$$

При построении семейства характеристик $K1_j = f(K2_j)$ учет неравенств (9) приведет к ограничению изобарных кривых с обеих сторон и выделению отрезков кривых, пересекающихся в исходной рабочей точке, соответствующей номинальным значениям $y_j^H(x)$.

Оформление литературы

Список литературы приводится последовательно на русском и английском языках и оформляется по алфавиту *строго в соответствии с образцом, представленным ниже, с выступом 0,7 см без нумерации.*

Образец оформления литературы

ЛИТЕРАТУРА

- Алфимов Н.Н., Петров Ю.Е. 1972. О биологических и биохимических особенностях некоторых ламинариевых и фукусовых водорослей (Phaeophyta) острова Беринга (Командорские острова). *Ботанический журнал*. Т. 57. № 6. С. 697–700.
- Аминина Н.М., Ключкова Н.Г. 2002. Перспективы развития производства по переработке водорослей на побережье Камчатки. *Рыболовство России*. № 1. С. 54–56.
- Богданов В.Д., Сафронова Т.М. 1993. Структурообразователи и рыбные композиции. Москва: ВНИРО. 172 с.
- Вафина Л.Х. 2010. Обоснование комплексной технологии переработки бурых водорослей (Phaeophyta) при получении функциональных пищевых продуктов. *Диссертация ... канд. техн. наук*. М. 280 с.
- Вишневецкая Т.Н., Саяпина Т.А., Аминина Н.М. 1999. Химический состав и перспективы использования экстрактов из бурых водорослей. *Тезисы докладов Российской научной конференции «Новые биомедицинские технологии с использованием биологически активных добавок»*. Владивосток. С. 10–12.
- Вялков А.Н., Козлов В.К., Бобровницкий А.И., Михайлов В.И., Подкорытова А.В., Одинец А.Г., Супрун С.В., Тулупов А.М. 2008. Морские водоросли в восстановительной медицине, комплексной терапии заболеваний с нарушением метаболизма. Москва: МДВ. 156 с.
- Зацепина А.Н., Бессонова А.Д. 2016. Обоснование технологии получения продуктов из бурых водорослей. *Материалы Национальной (всероссийской) научно-практической конференции «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование»*. С. 115–119.
- Иванюшина Е.А., Жигадлова Г.Г. 1994. Биология ламинарии *Laminaria bongardiana* на литорали острова Беринга (Командорские острова). *Биология моря*. Т. 20. № 5. С. 374–380.
- Огородников В.С. 2007. Водоросли-макрофиты Северных Курильских островов. *Автореферат диссертации ... канд. биол. наук*. Петропавловск-Камчатский. 25 с.
- Патент № 2041656 РФ. Способ получения пищевого полуфабриката из ламинариевых водорослей. *Тихоокеанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии* (Подкорытова А.В., Ковалева Е.А., Аминина Н.М.).
- Пьянкова А.С. 2012. Получение и использование полисахаридов бурых водорослей. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 20. С. 62–66.

REFERENCES

- Alfimov N.N., Petrov Yu.E. 1972. On the biological and biochemical characteristics of some kelp and fucallean algae (Phaeophyta) of Bering Island (Commander Islands). *Botanicheskiy zhurnal (Botanical Journal)*. Vol. 57. № 6. P. 697–700.
- Aminina N.M., Klochkova N.G. 2002. Prospects for the development of algae processing on the coast of Kamchatka. *Rybolovstvo Rossii (Russian Fishery)*. № 1. P. 54–56.
- Bogdanov V.D., Safronova T.M. 1993. Structuring agents and fish compositions. Moscow: VNIRO-press. 172 p.
- Vafina L.H. 2010. Justification of the integrated technology for processing of the brown algae (Phaeophyta) in obtaining functional food products. *Candidacy dissertation for technical sciences*. Moscow. 280 p.
- Vishnevskaya T.N., Sayapina T.A., Aminina N.M. 1999. Chemical composition and prospects of using extracts from the brown algae. *Proceedings of Russian scientific conference “New biomedical technologies using biologically active additives”*. Vladivostok. P. 10–12.
- Vyalkov A.N., Kozlov V.K., Bobrovnikskiy A.I. et al. 2008. Seaweed in rehabilitation medicine, complex therapy of metabolic diseases. Moscow: MDV. 156 p.
- Zatsepina A.N., Bessonova A.D. 2016. Justification of technology for obtaining products from brown algae. *Proceedings of National (All-Russian) scientific and practical conference “Natural resources, their present condition, protection, industrial and technical use”*. P. 115–119.
- Ivanyushina E.A., Zhigadlova G.G. 1994. Biology of the kelp species *Laminaria bongardiana* from the tidal zone of Bering Island (Commander Islands). *Biologiya morya (Marine Biology)*. Vol. 20. № 5. P. 374–380.
- Ogorodnikov B.C. 2007. Algae-macrophytes from the Northern Kuril Islands. *Abstract of the candidacy dissertation for biological sciences*. Petropavlovsk-Kamchatsky. 25 p.
- Patent № 2041656 RF. Method of obtaining a food semi-finished product from the laminariacean algae. *Pacific Fisheries and Oceanography Research Institute* (Podkoryitova A.V., Kovaleva E.A., Aminina N.M.).
- Ryancova A.S. 2012. Production and utilization of brown algae polysaccharides. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 20. P. 62–66.

Информация об авторах

Информация обо всех авторах размещается в конце статьи (после литературы) и приводится последовательно на русском и английском языках по схеме: фамилия, имя, отчество автора; название организации, индекс, страна, город; степень, звание, должность; электронный адрес (шрифт – 10,5; междустрочный интервал – 1; абзацный отступ – 0,7 см), идентификационные номера авторов в базах данных научного цитирования. **Дополнительно к комплекту документов должны быть приложены файлы-скриншоты с личного кабинета автора на сайте e-library с указанием SPIN-кода (для его подтверждения), а также при наличии – файлы-скриншоты ID-автора с сайта международной базы научного цитирования Scopus.**

Образец оформления информации об авторах

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Клочкова Татьяна Андреевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, профессор кафедры «Экология и природопользование»; tatyana_algae@mail.ru. SPIN-код: 7534-7736, Author ID: 664379; Scopus ID: 12792241800.

Klochkova Tatyana Andreevna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences; Professor of Ecology and Nature Management Chair; tatyana_algae@mail.ru. SPIN-код: 7534-7736, Author ID: 664379; Scopus ID: 12792241800.

Образец оформления рисунков и таблиц в конце статьи

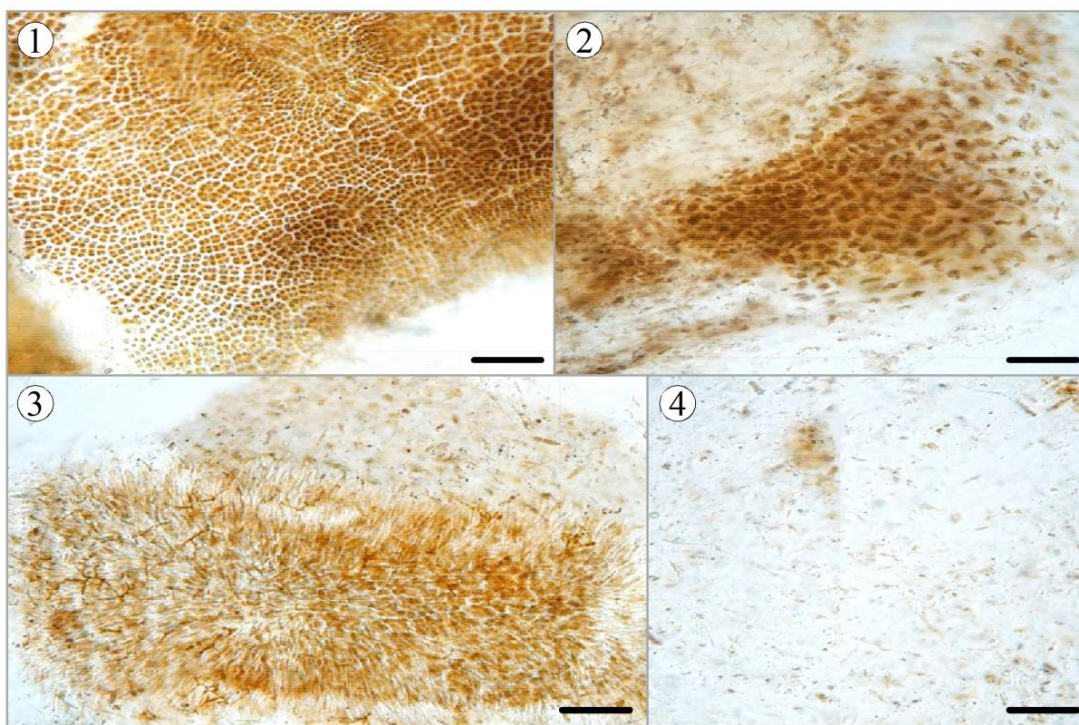


Рис. 1. Последовательность мацерации тканей *Saccharina bongardiana*: 1 – разделение дорсальной и вентральной половин слоевища и разрыхление корового слоя; 2 – разрыхление и дезинтеграция клеток меристодермы и медуллярной ткани; 3 – фрагмент соруса спорангиев с дезинтегрированными зооспорангиями и парафизами; 4 – мазок водорослевого биогеля в конце варки. Видны разрушенные нити сердцевины, отдельные парафизы и зооспорангии, небольшие скопления клеток меристодермы. Масштаб: 100 мкм (1, 3, 4), 50 мкм (2)

Fig. 1. The sequence of *Saccharina bongardiana* tissue maceration process: 1 – separation of the dorsal and ventral halves of the thallus and loosening of the cortical layer; 2 – loosening and disintegration of the meristoderm cells and medullar tissue; 3 – fragment of sporangial sori with disintegrated zoosporangia and paraphyses; 4 – smear of the algal biogel at the end of preparation. Broken filaments of the medullar tissue, individual paraphyses and zoosporangia, small clusters of meristoderm cells are visible. Scale: 100 μm (1, 3, 4), 50 μm (2)

Таблица. Мацерация дробленой *Saccharina bongardiana* в процессе ее термощелочной обработки

Table. Maceration of shredded *Saccharina bongardiana* thalli during thermo-alkaline treatment

Этап варки	Время варки (минут)	Средние размеры частиц (мм)	Характеристика изменений
1	10	4,01	Частицы плотные, целостные, без разделения на дорсальную и вентральную части
2	20	3,82	Частицы с начавшимся разделением на дорсальную и вентральную части. Наблюдается дробление крупных частиц
3	25	3,05	Продолжающийся процесс разрушения крупных частиц и расслоения пластины
4	30	2,6	Полное расслоение пластины, дезинтеграция клеток подкормки и сердцевины, дробление пластинок из коровой ткани и меристодермы
5	40	1,98	Продолжающаяся фрагментация частиц водорослей, разрыхление частиц, увеличение вязкости биогеля
6	50	0,83	Сильное набухание оставшихся частиц водорослей, почти полное разрушение оболочек клеток подкормки и меристодермы, увеличение вязкости биогеля

**АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ
«ВЕСТНИК КАМЧАТГТУ» В 2022 ГОДУ (№ 59–62)**

Авдошенко В.Г., Климова А.В.		
Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв города Петропавловска-Камчатского, Камчатский край	61	65–81
Артемова Е.Н., Власова К.В.		
Особенности белков муки семян тыквы различных сортов как эмульгаторов.....	60	6–17
Артюхин Ю.Б.		
Фауна и население морских птиц у побережья Южно-Камчатского природного парка в летний сезон	61	16–39
Белов О.А.		
Анализ структуры генерирующей мощности и динамики электропотребления в Алеутском изолированном энергоузле Камчатского края	62	6–17
Благодорова М.В.		
Перспективы использования бурой водоросли <i>Fucus distichus</i> в технологии рыбомучных изделий.....	61	6–15
Благодорова М.В., Самохин А.В.		
Исследование показателей качества, безопасности и пищевой ценности сушеной пищевой продукции из покровных тканей кальмара.....	59	15–23
Виноградская А.В., Матвеев А.А., Терентьев Д.А.		
Новые данные по промыслу и состоянию запасов скатов семейства Arhynchobatidae у западного побережья Камчатки.....	59	49–61
Волгина Д.Д., Яныгина Л.В.		
Оценка фильтрационной активности речной живородки <i>Viviparus viviparus</i> (L.) по показателю оптической плотности культуры хлореллы	60	52–62
Ермак М.В., Мацишина Н.В., Фисенко П.В.		
Фенотипическое разнообразие популяции картофельной коровки	62	117–125
Ефимова М.В., Ефимов А.А., Мустафаева В.М., Чмыхалов Б.А.		
Минтай тихоокеанский – перспективный сырьевой объект рыбной отрасли России	62	18–35
Казаков Н.В.		
Особенности некоторых камчатских почв и необходимость их сохранения.....	61	82–92
Кашутин А.Н., Клочкова Н.Г.		
Морфогенетическое развитие и формирования органов размножения у бурой водоросли <i>Fucus distichus</i> в разных по условиям произрастания районах Авачинской губы (юго-восточная Камчатка)	60	39–51
Клочкова Н.Г., Климова А.В., Клочкова Т.А.		
Лектотипификация названий таксонов <i>Agarum</i> (Laminariales, Phaeophyceae), описанных А.Ф. Постельсом и Ф.И. Рупрехтом	62	36–48
Ключникова Л.А., Бадмаева И.И.		
Обоснование технологии функционального продукта «Сосиски рыбные» для детей младшего возраста	59	24–37
Корнев С.И.		
Синантропизация сивуча (<i>Eumetopias jubatus</i> , Schreber, 1776) на Камчатке в черте г. Петропавловска-Камчатского (итоги 20-летнего мониторинга).....	60	98–122
Литвиненко А.В., Христофорова Н.К., Цыганков В.Ю.		
Влияние мест нагула на содержание тяжелых металлов в горбуше (<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> , Salmonidae)	62	98–116
Лобков Е.Г.		
Питание кречета (<i>Falco rusticolus</i> , Falconiformes, Falconidae) на Камчатке.....	59	75–89
Лобков Е.Г., Лобкова Л.Е.		
Первый опыт оценки на Камчатке таксономического разнообразия, обилия и биомассы беспозвоночных животных (пауков и насекомых) в фоновых биотопах речной поймы (на примере низовой реки Авачи).....	61	40–64
Лобков Е.Г., Пилипенко Д.В.		
Современные представления об орнитологической географии Командорских островов.....	60	63–83

Макоедов А.Н., Макоедов А.А. Динамика численности тихоокеанских лососей (<i>Oncorhynchus</i> , Salmonidae) русского происхождения и перспективы их добычи	60	84–97
Матвеев А.А., Варкентин А.И. Доминирующие виды донного и придонного ихтиоценоза западнокамчатского шельфа: распределение и биомасса.....	62	74–97
Овчеренко Р.Т. Половое созревание двух видов камбал (<i>Pleuronectes quadrituberculatus</i> и <i>Limanda aspera</i>) (Pleuronectidae) у берегов юго-восточной Камчатки	59	62–74
Огнистая А.В., Маркина Ж.В. Опыт применения метаболитов морских микроводорослей для борьбы с патогенными биопленкообразующими бактериями	60	18–38
Серазетдинова Ю.Р., Дышлок Л.С., Фотина Н.В., Осинцева М.А., Голубцова Ю.В. Агрохимические и микробиологические свойства почв породного отвала Барзасской обогатительной фабрики.....	61	93–104
Сивоконь В.П. Геофизический аспект катастрофического запуска спутников Starlink	59	6–14
Токранов А.М. Состав прибрежной ихтиофауны юго-восточной Камчатки после вредоносного цветения водорослей осенью 2020 года	59	38–48
Смирнов А.В., Панина Е.Г., Степанов В.Г. Морские звезды (Echinodermata: Asteroidea) северо-западной части Берингова моря, собранные экспедицией ТИНРО-центра на судне НИС «ТИНРО» в июле – августе 2008 года	62	49–73
Шушпанова Д.В., Капралова Д.О. Возможности использования бурых водорослей для производства биогаза.....	59	90–105
Sedova N.A., Grigorev S.S. Peculiarities of distribution of caridean shrimp larvae (Decapoda, Caridea) in eastern part of the Sea of Okhotsk.....	61	105–120

Учредитель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Камчатский государственный технический университет»

Издание зарегистрировано в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций по Камчатскому краю
Регистрационный номер ПИ № ТУ41-00321 от 01 декабря 2020 года

Главный редактор Т.А. Ключкова

Редактор О.В. Ольхина
Верстка, оригинал-макет Е.Е. Бабух

Адрес редакции, издателя:

683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35
Тел. (4152) 300-953. Факс (4152) 42-05-01
E-mail: kamchatgtu@kamchatgtu.ru
www.kamchatgtu.ru

Дата выхода в свет 04.04.2023 г.
Формат 60*84/8. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman
Авт. л. 8,91. Уч.-изд. л. 10,69. Усл. печ. л. 15,11
Тираж 500 экз. Заказ № КП23-001689

Подписной индекс в каталоге «Почта России» ПН093

Цена свободная

Отпечатано в ООО «Камчатпресс»
683017, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Кроноцкая, 12а

ISSN 2079-0333



9 772079 033418 >