

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

ВЫПУСК

51

2020

Петропавловск-Камчатский

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Клочкова Н.Г. (главный редактор)	доктор биологических наук, советник ректора по научно-исследовательской работе и инновациям Камчатского государственного технического университета
Клочкова Т.А. (научный редактор)	доктор биологических наук, доктор философии биологии (Ph.D.), проректор по научной работе и международной деятельности 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
Богданов В.Д.	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии продуктов питания Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета
Бурдин А.М.	доктор биологических наук, профессор кафедры водных биологических ресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
Голохваст К.С.	доктор биологических наук, проректор по научной работе Дальневосточного федерального университета, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, научный руководитель научно-образовательного центра «Нанотехнологии», директор Дальневосточного регионального научного центра Российской академии образования
Йотсукура 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
Каленик Т.К.	доктор медицинских наук, профессор, профессор Департамента пищевых наук и технологий Школы биомедицины Дальневосточного федерального университета
Карпенко В.И.	доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
Ким Г.Х.	доктор философии биологии (Ph.D.), профессор, заведующий лабораторией альгологии Национального университета Конджу (Республика Корея)
Короченцев В.И.	доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой приборостроения Дальневосточного федерального университета
Лобков Е.Г.	доктор биологических наук, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
Мандрикова О.В.	доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией системного анализа Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
Потапов В.В.	доктор технических наук, главный научный сотрудник научно-исследовательского отдела Научно-исследовательского геотехнологического центра Дальневосточного отделения Российской академии наук
Приходько Ю.В.	доктор технических наук, профессор, директор департамента пищевых наук и технологий Дальневосточного федерального университета
Сенкевич Ю.И.	доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории акустических исследований Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
Сивоконь В.П.	доктор технических наук, профессор кафедры энергетических установок и электрооборудования судов Камчатского государственного технического университета
Усов А.И.	доктор химических наук, главный научный сотрудник лаборатории химии углеводов Института органической химии имени Н.Д. Зелинского РАН
Швецов В.А.	доктор химических наук, доцент, профессор кафедры энергетических установок и электрооборудования судов Камчатского государственного технического университета

EDITORIAL BOARD

- Klochkova N.G.**
(Editor-in-chief) Doctor of Biological Sciences, Councilor for Research and Innovations, Kamchatka State Technical University
- Klochkova T.A.**
(Scientific Editor) Doctor of Biological Sciences, Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Vice-rector for Scientific Work and International Communications, 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
- Bogdanov V.D.** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Food Technology Chair, Far Eastern State Technical Fisheries University
- Burdin A.M.** Doctor of Biological Sciences, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair, Kamchatka State Technical University
- Golokhvast K.S.** Doctor of Biological Sciences, Vice-Rector for Research of Far Eastern Federal University, Professor of Life Safety in Technosphere Chair, Academic Director of Research and Education Center "Nanotechnologies", Head of Far East Regional Scientific Center of Russian Academy of Education
- 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, Senior Researcher, Leading Researcher of Seaweed Raw Material Safety and Quality Laboratory, Pacific Scientific Research Fisheries Center
- Kalenik T.K.** Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of Food Science and Technology Department, School of Biomedicine of Far Eastern Federal University
- Karpenko V.I.** Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair, Kamchatka State Technical University
- Kim G.H.** Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Professor, Head of Phycology Laboratory, Kongju National University (South Korea)
- Korochentzev V.I.** Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of Instrumentation Chair, Far Eastern Federal University
- Lobkov E.G.** Doctor of Biological Sciences, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair, Kamchatka State Technical University
- Mandrikova O.V.** Doctor of Technical Sciences, Docent, Head of System Analysis Laboratory, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS
- Potapov V.V.** Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of Research Department, Research Geotechnological Center FEB RAS
- Prikhodko Y.V.** Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Food Science and Technology Department, Far Eastern Federal University
- Senkevich Y.I.** Doctor of Technical Sciences, Docent, Leading Researcher of Acoustic Researches Laboratory, Institute of Cosmophysical Research and Radio Waves Propagation FEB RAS
- Sivokon V.P.** Doctor of Technical Sciences, Professor of Power Plants and Electrical Equipment of Ships Chair, Kamchatka State Technical University
- Usov A.I.** Doctor of Chemical Sciences, Chief Researcher of Carbohydrate Chemistry Laboratory, N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry RAS
- Shvetsov V.A.** Doctor of Chemical Sciences, Docent, Professor of Power Plants and Electrical Equipment of Ships Chair, Kamchatka State Technical University

Содержание

РАЗДЕЛ I. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Кротенко Д.С., Семчѐв В.А., Белов О.А., Жуков С.А. Анализ перспективного развития энергообеспечения Камчатского края.....	6
Труднев С.Ю. Компьютерное моделирование системы регулирования двигателя постоянного тока на примере электропривода траловой лебедки.....	12
Ковалева О.А., Поповичева Н.Н. Влияние биологически активной добавки «Йодонорм» на органолептические, физико-химические и функциональные показатели кисломолочных продуктов.....	19
Макарова Н.В., Еремеева Н.Б., Давыдова Я.В. Съедобная упаковка из отходов переработки яблок.....	26
Бец Ю.А., Наумова Н.Л. Разработка сдобного изделия с применением цельнозерновой муки киноа белой	35
Фазылова Е.С., Наумова Н.Л., Еремина Ю.К. Французский багет с добавлением льняной муки	40

РАЗДЕЛ II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Климова А.В., Матвеев А.А. Находки ламинариевых и других водорослей в уловах донным тралом у западного побережья Камчатки в 2018–2019 гг.....	46
Клочкова Н.Г., Кашутин А.Н., Клочкова Т.А. Рост и размножение меченых растений <i>Fucus distichus</i> subsp. <i>evanescens</i> (Phaeophyceae, Fucales) в Авачинской губе (юго-восточная Камчатка)	55
Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Симбионты и обрастатели камчатского краба восточного Мурмана (губа Дальнезеленецкая, Баренцево море) в июле 2014 г.....	66
Седова Н.А. Особенности личиночного развития креветок рода <i>Spirontocaris</i> (Decapoda, Thoridae) из северо-западной части Тихого океана.....	73
Григорьев С.С. Экология нереста и раннего развития морских рыб прикамчатских вод.....	83
Жарников В.С. Влияние условий среды на пространственное распределение <i>Mya uzenensis</i> (Bivalvia: Myidae) в разных районах Тауйской губы Охотского моря	99
Редакционное сообщение	108
Правила направления, рецензирования и опубликования рукописей статей	110

Contents

SECTION I. TECHNICAL SCIENCES

Krotenko D.S., Semchev V.A., Belov O.A., Zhukov S.A. Analysis of future energy supply development in Kamchatka.....	6
Trudnev S.Y. Computer simulation of DC motor control system by example of trawl winch electric drive.....	12
Kovaleva O.A., Popovicheva N.N. Influence of biologically active additives “Iodonorm” on organoleptic, physico-chemical and functional indicators of fermented milk products	19
Makarova N.V., Ereemeeva N.B., Davydova Ya.V. Edible packing from apple processing waste	26
Betz Y.A., Naumova N.L. Pastry product development with application of wholegrain quinoa white flour	35
Fazylova E.S., Naumova N.L., Eremina J.K. French baguette with flax meal addition.....	40

SECTION II. BIOLOGICAL SCIENCES

Klimova A.V., Matveev A.A. Kelp and other macrophytes finds in bottom trawl catches at the western coast of Kamchatka during 2018–2019	46
Klochkova N.G., Kashutin A.N., Klochkova T.A. Growth and reproduction of labeled plants of <i>Fucus distichus</i> subsp. <i>evanescens</i> (Phaeophyceae, Fucales) in the Avacha Bay (southeastern Kamchatka).....	55
Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Symbionts and sessile microbiota of red king crab from eastern Murman (Dalnezelenetskaya Bay, Barents Sea) in July 2014	66
Sedova N.A. Features of larval development of shrimps of genus <i>Spirontocaris</i> (Decapoda, Thoridae) in the northwest Pacific	73
Grigoriev S.S. Ecology of spawning and early development of marine fishes in adjacent Kamchatka waters	83
Zharnikov V.S. Environmental conditions influence on spatial distribution of <i>Mya uzenensis</i> (Bivalvia: Myidae) in various areas of Tau Bay, the Sea of Okhotsk.....	99
Corrigendum.....	108
Regulations for manuscripts direction, reviewing and publication.....	110

РАЗДЕЛ I. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 620.91(571.66)

Д.С. Кротенко, В.А. Семчѐв, О.А. Белов, С.А. Жуков

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ
КАМЧАТСКОГО КРАЯ

Энергообеспечение регионов является актуальной социальной, экономической и технической задачей, заключающейся в эффективном производстве электроэнергии и тепла для жизнедеятельности населения за счет использования природных энергоресурсов Земли. Основой энергообеспечения могут быть как невозобновляемые энергоресурсы Земли (уголь, нефть, газ), так и возобновляемые (энергия рек, морских приливов, тепло Земли, энергия ветра и солнца). Любой регион стремится иметь собственную энергию по наиболее низкой цене в сравнении с другими регионами или странами, максимально используя для этого свой региональный природный энергоресурс. От этого зависит социально-экономическая престижность страны или ее определенного региона, уровень жизни населения и статус инвестиционной привлекательности. Камчатка обладает значительными природными энергетическими ресурсами, позволяющими развивать на ее территории эффективное энергообеспечение и реализовывать крупные экономические проекты. Наиболее перспективным в этом направлении является развитие гидроэнергетики с использованием уникальных гидроэнергетических ресурсов Камчатки.

Ключевые слова: энергообеспечение, энергоресурс, электроэнергия, тепловая энергия, генерация, энерготариф, гидроэнергетика, геотермальная энергетика, атомная энергетика.

D.S. Krotenko, V.A. Semchev, O.A. Belov, S.A. Zhukov

ANALYSIS OF FUTURE ENERGY SUPPLY DEVELOPMENT IN KAMCHATKA

Regional energy supply is an urgent social, economic and technical task, the main idea of which is to produce electricity and heat for human life by means of natural energy resources use. The basis of energy supply can be both non-renewable energy resources of the Earth (coal, oil, gas) and renewable energy resources (energy of rivers, sea tides, heat of the Earth, wind and solar energy). Any region tries to have its own energy using its regional natural energy resource to the maximum. Of course the price of this resource have to be as low as possible in comparison with other neighboring regions or countries. This determines the socio-economic prestige of the territory, the standard of population living and the investment attractiveness status of the region or country. Kamchatka has significant natural energy resources that make it possible to develop effective energy supply in this territory and implement major economic projects. The most promising projects concern the development of hydropower using unique hydroelectric resources of Kamchatka.

Key words: energy supply, energy resource, electric power, thermal energy, generation, energy rate, hydropower, geothermal energy, nuclear energy.

DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-6-11

Диапазон комфортного температурного обеспечения жизнедеятельности человека находится в пределах от +8 до +25°C. Температура внешней среды ниже и выше указанного диапазона считается для него неблагоприятной [1]. Тепловая энергия является социальным продуктом энергетики, позволяющим обеспечить комфортное существование человека и его трудовой деятельности при температурах окружающего воздуха ниже комфортных значений. Являясь товарным продуктом, тепловая энергия реализуется в том же регионе, где и производится. Реализация энергии тепла вне территории региона практически невозможна.

Электричество является социальным и товарным энергетическим продуктом [2]. Как социальный продукт она обеспечивает не только освещение, но и вполне способна конкурировать

с централизованным теплоснабжением и обеспечивать население теплом. К тому же электроэнергия является мощным средством усиления физических возможностей человека в быту и на производстве. Как товарный продукт электроэнергия может быть реализована с территории региона на внутреннем и зарубежном рынках либо напрямую по высоковольтным линиям электропередач, либо через продукцию энергоемких производств.

Тепловую и электрическую энергию, как известно, получают посредством генерации потенциальной энергии природного энергоносителя (энергоресурса), которым может быть углеводородное топливо, урановое топливо, тепло Земли, ветер, солнце, энергия воды – в электричество и тепло. Генерация является определяющим показателем формирования затрат и себестоимости энерготарифов для региона или страны [3, 4]. Исключение в этом отношении составляет гидроэнергетика, для которой формирование себестоимости определяют затраты на транспортировку и распределение электроэнергии.

Выбор технологии генерации тепла и электричества, как правило, определяется типом энергоресурса, на базе которого реализуется эта технология. В первую очередь, любой регион или страна исходят из собственных возможностей использования природного энергоресурса на своей территории и того места, где будет расположен объект производства энергии (ОПЭ). В случае отсутствия собственного энергоресурса по разным причинам (природным, экономическим, техническим) регион или страна вынуждена принять решение по доставке энергоресурса с других территорий либо по закупке готовой электрической энергии. Затраты на добычу энергоресурса, его транспортную доставку до ОПЭ, технологии сжигания, устранение вредного экологического воздействия суммируются. На базе этого формируется себестоимость энерготарифа для данного ОПЭ.

Транспортировка энергии может осуществляться по кабельным, высоковольтным линиям электропередач и теплотрассам. Транспортные линии включают в свой состав трансформаторные подстанции и тепловые централизованные пункты. Ценовые затраты транспортировки энергии в энергетике регламентированы в нормативах потерь, а эффективность транспортировки зависит от технологических достижений в изготовлении энергетического оборудования. При формировании региональной цены на себестоимость энерготарифа затраты на транспортировку электроэнергии для реализации потребителям влияют незначительно и составляют в среднем не более 12% от общей цены себестоимости энергии для потребителя [5]. Далее с добавлением затрат на транспортировку энергии и сбытовой деятельности устанавливается цена энерготарифа. Дополнительно к этой цене прибавляются эксплуатационные расходы, амортизация, погашение инвестиций, прибыль компании, тем самым формируется экономически обоснованный энерготариф для потребителя.

Кроме этого следует учитывать, что любая технология производства электроэнергии и тепла в той или иной степени оказывает негативное воздействие на экологию окружающей среды. Наибольший вред оказывает тепловая энергетика, основанная на использовании углеводородных природных ресурсов. Но именно эта технология производства энергии является основной для большинства регионов, в том числе и для Камчатского края.

Для превращения потенциальной энергии природного энергоресурса – углеводородного топлива – в тепло и электроэнергию человек не только забирает у природы этот «дар, любезно предоставленный Землей», а сжигает его безвозвратно в топках котла, в дизельных и бензиновых двигателях. Этим он обеспечивает свой комфорт, социальный уровень жизнедеятельности и удовлетворения своих потребительских запросов. Процесс сжигания неизбежен. Пока это основная технология превращения углеводородного топлива в электричество и тепло. Других способов человек не освоил. Процесс добычи углеводородов, их транспортировка и сжигание оказывает на природу и окружающую среду вредоносное воздействие. В процессе горения выделяются вредные вещества, пыль, углекислый газ CO_2 , которые выбрасываются на природный ландшафт, в атмосферу, в реки, в озера, в морскую акваторию.

Процесс горения требует потребления кислорода из атмосферы Земли. Обрато в атмосферу выбрасываются углекислый газ CO_2 , вызывающий парниковый эффект, пыль и вредные химические вещества [6]. Для примера: только за один 2018 г. деятельности энергетике на Камчатке при сжигании углеводородного топлива было выброшено в атмосферу, акваторию рек, озер и морского побережья полуострова до 40 тыс. т вредных химических веществ и пыли, без учета углекислого газа CO_2 . В предыдущий период, до перевода Камчатки на газ, когда сжигали мазут на теплоэлектростанциях, выбросы в разы превышали этот показатель [7].

Ранее альтернативой для Камчатки считалась геотермальная энергетика, основанная на использовании тепла Земли. Современные технологии позволяют эффективно производить отбор тепла от геотермальных источников с КПД до 90%. Но при этом технология производства электроэнергии с использованием высокотемпературного термального пароводяного носителя значительно менее эффективна и ее КПД составляет не более 25%. Поэтому себестоимость такой электроэнергии достаточно высока, и как товарный продукт она не конкурентоспособна.

Кроме того, геотермальные технологии в получении электрической энергии небезвредны из-за содержания вредных веществ в термальных водах. В высокотемпературных термальных источниках, которые используются для преобразования в электричество и тепло, присутствуют вредные химические вещества, возникает необходимость утилизировать этот ресурс после преобразования, что выполняется не всегда. По оценке японских ученых, термальная энергия при превращении ее в электроэнергию не относится к числу экологически чистой: пароводяная смесь несет в себе такие вредные компоненты, как сероводород (до 7 г на 1 кВт·ч), мышьяк, ртуть, углекислый газ (до 74 кг на 1 кВт·ч), выбросы кремнезема. Это одна из причин, в связи с которой Япония, имея большой запас термальной энергии, практически не использует ее. Мощность геотермальных электростанций Японии составляет всего 0,2%. И это при том, что согласно оценке финансируемого правительством исследовательского Института развития прикладной науки и технологий Японии максимальные перспективные термальные мощности оцениваются в 23,5 ГВт [8].

Исландия использовала потенциал гидроресурсов своих рек на 90%, а термального тепла на 30% в основном для теплоснабжения. При определении запасов термальной энергетической мощности на месторождении возникают трудности в достоверной оценке из-за неопределенности геологической структуры под землей. Это вторая причина, по которой специалисты в мировой энергетике осторожно относятся к ее освоению при оценке надежности и бесперебойности электроснабжения.

Перспективным направлением в мировой энергетике является атомная энергетика. Процесс получения электроэнергии и тепла происходит за счет «сжигания» радиоактивных топливных элементов – ТВЭЛ (особо вредное химическое производство, технологиями владеют РФ и несколько развитых стран). Это не взятый у природы возобновляемый энергоноситель, и подобная технология ведет к экологическим проблемам территорий, связанных с добычей урановой руды, ее транспортировкой на обогащение для производства топливных радиоактивных элементов. При добыче ядерного топлива (уранового сырья) с месторождения требуются большие объемы разрушительных для природы земляных работ. Хотя следует отметить, что в эксплуатации атомные станции экологически чистые, вредных веществ, пыли и углекислого газа CO_2 не выделяют.

Вопрос использования на Камчатке атомной энергетике рассматривался неоднократно [9]. Это могло произойти в нашем регионе дважды – в 1985 и в 2014 гг. В 1985 г. даже были начаты работы по сооружению АЭС, оставившие свой след строительством бетонно-асфальтовой дороги длиной 3,5 км и вырытым котлованом. Затраты на эти работы в дальнейшем вошли в стоимость основных фондов ТЭЦ-2, а построенная дорога в перспективе стала использоваться в обеспечении инфраструктуры городского кладбища.

После отказа от строительства каскада Кроноцких ГЭС и Жупановских ГЭС попытались построить АЭС, а в итоге скоропалительно построили ТЭЦ-2 с технологией генерации энергии через сжигание углеводородного топлива. Этим была проложена дорога к большим проблемам в Стратегии развития генерации для энергообеспечения Камчатского края и неэффективному использованию завозных и собственных энергоресурсов.

Надо признать, реализация атомной энергетики для региона была бы более энергоэффективна, чем существующая технология сжигания углеводородного топлива, но есть особенность: атомная энергетика является особо опасной в сравнении с другими генерирующими источниками из-за возможности возникновения техногенных катастроф большой разрушительной силы в случае аварии на ядерных объектах [10].

Отдельно следует рассмотреть перспективы, в том числе для Камчатки, водородной энергетике. Это новая зарождающаяся эра энергообеспечения человека на Земле. Жидкий водород – самый перспективный и эффективный энергоноситель среди углеводородного топлива (аналогия воспроизводства энергии – Солнце) [11]. В технологии получения электроэнергии и тепла он самый безвредный и экологически чистый, поскольку после сгорания остается только вода. Экономическая целесообразность получения водорода из воды может быть достигнута при условии низкой себестоимости электроэнергии при генерации, а наиболее дешевая в технологии

генерация – это использование гидроэлектростанций (ГЭС) или приливных электростанций (ПЭС). В мировой энергетике жидкий водород является самым перспективным видом углеводородного топлива, который для инвестора уже стал привлекательным. В числе передовых стран по использованию этого энергоносителя – Япония и Исландия.

В программах государственного развития этих стран планируется перевод общественного, автомобильного транспорта и прибрежных морских судов полностью на жидкий водород до 2025 г., и они уже приступили к реализации. Камчатка с ее возможностями и гидроэнергетическим потенциалом может стать лидером в реализации этой технологии среди регионов не только Дальнего Востока, но и России.

Мировая наука стоит на пороге решения технической задачи накопления водорода и хранения его в твердом состоянии, удобном для транспортировки и применения в промышленности. Создаются технологии его аккумуляции. Родится новый перспективный ликвидный товар для реализации на мировом и внутреннем рынке. Уже сегодня на основе нанотехнологии разработан метод накопления водорода в твердых топливных элементах. Так, в научно-исследовательском институте Новосибирска в 2016 г. уже созданы экспериментальные водородные таблетки-аккумуляторы, при размещении которых в воде выделяется газообразный водород, накопленный в этих таблетках [12].

В США выпускают топливные контейнеры для обеспечения теплоснабжения мощностью до 1МВт, в которых используются угольные и водородные таблетки, разделенные наносеткой, запаянные в металлической конструкции – нагревательном элементе. Данный элемент помещается в сосуд с водой: вначале его нагревают до температуры свыше 100°C, после чего внутри металлического сосуда начинается самопроизвольная химическая реакция с выделением огромного количества тепла. Металлический сосуд опускается в емкость с водой (тепловой котел), вода нагревается и насосами подается в систему отопления. Но для реализации подобных технологий изначально нужен водород. В промышленных масштабах его получают из воды методом электролиза, для чего и необходима дешевая электроэнергия. Лидерами в этом отношении по наиболее низкой себестоимости энерготарифа являются ГЭС и ПЭС.

Подтверждение лидерства данного направления – договор между Японией и ПАО «РусГидро» по реализации электроэнергии Усть-Среднеканской ГЭС на р. Колыма для производства жидкого водорода в Магаданской области, заключенный в рамках Восточного экономического форума в сентябре 2016 г. Исландия, обладая мощным гидроэнергетическим потенциалом, реализует эту программу у себя. Камчатка могла бы быть наиболее перспективной среди регионов России для производства водорода в промышленных масштабах в случае строительства ГЭС и приливных ПЭС, поскольку располагает огромным потенциалом мощности генерации.

Кроме того, гидроэнергетика является самостоятельной технологией генерации электроэнергии, основанной на использовании возобновляемых, практически неисчерпаемых энергоисточников – энергии рек, морских приливов [13]. При получении электроэнергии по этой технологии вредные вещества, пыль, углекислый газ CO_2 не выделяются, а КПД генерации достигает 90%. Одновременно электроэнергия может использоваться для генерации тепла через нагревательные элементы. Производство энергии от возобновляемых источников минимально воздействует на экологию, природа не уничтожается и не исчезает. При использовании энергоресурса рек (созданием водохранилищ) происходит замещение биологической жизни одного вида на другой. В этом случае требуются более обширные территории для размещения ОПЭ. Даже такой острый вопрос для Камчатки как сохранение нерестилищ и рыбовоспроизводства на данной территории вполне решаем в рамках данной технологии. По экологической чистоте гидроэнергетика сравнима с получением электроэнергии от Солнца. После возврата инвестиций на строительство ГЭС полученная электроэнергия приобретает свойства товарной продукции для дальнейшей реализации в энергоемких производствах и транспортировки по высоковольтным линиям электропередачи в другие регионы. Себестоимость электротарифа на шинах ГЭС из всех существующих технологий генерации наиболее дешевая. Это не может не привлекать инвестиции и инвесторов в экономику региона. Как пример – наличие постоянного интереса и предложений по инвестированию от зарубежных компаний, банков на проектирование, строительство и совместную эксплуатацию каскада ГЭС на реке Жупанова.

Энергия ветра и солнечная энергия могут быть генерирующими источниками, но имеют низкий КПД – от 10 до 25%. Технологии их использования могут рассматриваться как дополнение к основным, мощным генерирующим источникам. При этом низкий КПД, высокие затраты

на эксплуатацию и неспособность быть самостоятельным источником электроэнергии делают эти технологии неконкурентоспособными в большой энергетике [14].

Таким образом, наиболее перспективным направлением развития энергообеспечения в Камчатском крае на сегодняшний день является гидроэнергетика. Учитывая уникальные гидроресурсы Камчатки, это направление способно не только обеспечить потребности региона в электрической и тепловой энергии, но и позволит создать колоссальный резерв мощности для развития энергоемких производств и реализации энергоемких технологий. При комплексном подходе и развитии малой гидроэнергетики возможно кардинальное решение проблемы энергообеспечения удаленных поселков и производственных объектов [15]. При этом возможно реальное снижение себестоимости электроэнергии, что будет способствовать повышению социальной привлекательности региона и обеспечит конкурентоспособность камчатской продукции на российском и мировом рынках.

Использование более экологически чистой технологии генерации электрической энергии позволит существенно снизить загрязнение окружающей среды и обеспечить сохранность уникальной природы Камчатки. Воздействие гидроэнергетики на окружающую среду гораздо менее разрушительно, а при рациональном подходе на этапах проектирования и строительства инженерных сооружений сводится к минимуму.

В условиях изолированности Камчатки от внешних энергоресурсов именно развитие гидроэнергетики является наиболее перспективным и актуальным. И конкретные шаги в этом направлении необходимо предпринимать уже сейчас, пока есть запас времени и возможность эффективной реализации гидроэнергетических проектов.

Литература

1. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: санитарные правила и нормы. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.
2. Руководство по энергетической статистике / Международное энергетическое агентство. Евростат, L-2920. Люксембург: Стеди, 2007. 192 с.
3. *Можяева С.В.* Экономика энергетического производства: учебное пособие. 6-е изд., доп. перераб. СПб.: Лань, 2011. 272 с.
4. *Белов О.А.* Перспективы автономного электроснабжения удаленных объектов с использованием бесплотинных ГЭС // Наука, образование, инновации: пути развития: материалы Седьмой всероссийской научно-практической конференции (24–26 мая 2016 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. С. 109–111.
5. *Розалев Н.Д.* Экономика энергетики: учебное пособие. М.: МЭИ, 2005. 288 с.
6. *Кириченко К.Ю., Вахнюк И.А., Дрозд В.А., Голохваст К.С.* Исследование загрязнения атмосферы населенных пунктов Камчатского края с помощью лазерной гранулометрии // Вестник Камчатского государственного технического университета [Bulletin of Kamchatka State Technical University]. 2018. № 46. С. 86–94.
7. Доклад о состоянии окружающей среды в Камчатском крае в 2018 году / Министерство природных ресурсов и экологии Камчатского края. Петропавловск-Камчатский, 2019. 395 с.
8. *Белоусов В.И., Белоусова С.П.* Природные катастрофы и экологические риски (на примере геотермальной энергетики): учебно-методическое пособие. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГПУ, 2002. 160 с.
9. *Крылов Д.А.* Сможет ли Камчатка решить энергетические проблемы без атомной станции? // Бюллетень по атомной энергии. 2008. № 3. С. 16–20.
10. *Белов О.А., Парфенкин А.И.* Обзор основных факторов снижения безопасности сложных технических систем // Вестник Камчатского государственного технического университета [Bulletin of Kamchatka State Technical University]. 2015. № 35. С. 11–14.
11. *Мошников В.А., Теруков Е.И.* Основы водородной энергетики. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. 288 с.
12. *Марченко О.В., Соломин С.В.* Анализ эффективности аккумулирования электрической энергии и водорода в энергосистемах с возобновляемыми источниками энергии // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22, № 3. С. 114–125.

13. *Никитин А.Т., Белов О.А.* Перспективы развития малой энергетики как экологичной технологии // Образование, наука и молодежь – 2017: материалы научно-практической конференции (26 октября 2017 г.). Керчь: КГМТУ, 2017. С. 268–272.

14. *Безруких П.П.* Нетрадиционно возобновляемые источники энергии: монография. М.: Топливо-энергетический комплекс, 2002. 120 с.

15. *Белов О.А., Пантина А.И.* Анализ возможности автономного энергообеспечения био-станции на реке Коль // Наука, образование, инновации: пути развития: материалы Седьмой все-российской научно-практической конференции (24–26 мая 2016 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. С. 115–118.

Информация об авторах **Information about the authors**

Кротенко Дмитрий Сергеевич – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; аспирант

Krotenko Dmitriy Sergeevich – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky, Graduate

Семчѐв Владимир Андреевич – Региональный центр развития энергетики и энергосбережения; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; директор филиала «Елизовский»; kletn@yandex.ru

Semchev Vladimir Andreevich – Regional Center for Energy Development and Energy Saving; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Director of the branch “Elizovsky”; kletn@yandex.ru

Белов Олег Александрович – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат технических наук; заведующий кафедрой энергетических установок и электрооборудования судов; boa-1@mail.ru

Belov Oleg Alexandrovich – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Technical Sciences, Head of Power Plants and Ships Electrical Equipment Chair; boa-1@mail.ru

Жуков Сергей Алексеевич – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доцент кафедры энергетических установок и электрооборудования судов; va_zhukov@rambler.ru

Zhukov Sergey Alexeevich – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Associate Professor of Power Plants and Ships Electrical Equipment Chair; va_zhukov@rambler.ru

УДК 621.3

С.Ю. Труднев

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАЛОВОЙ ЛЕБЕДКИ

В статье описаны системы регулирования двигателя постоянного тока как составной части электропривода траловой лебедки. Произведен анализ широко применяемых систем регулирования частотой вращения двигателя постоянного тока: изменением внешнего напряжения, путем изменения сопротивления цепи и магнитного потока. Дано математическое описание процессов регулирования, на основании которых, с учетом особенности каждого метода, по структурной схеме в программе *Matlab* разработаны компьютерные модели каждого из описанных методов регулирования частоты вращения. На основе каждой компьютерной модели проведен ряд экспериментов, произведена обработка выходных электрических сигналов, изменений механического момента и угловой скорости.

Ключевые слова: частота, двигатель постоянного тока, компьютерная модель, магнитный поток, угловая скорость.

S.Y. Trudnev

COMPUTER SIMULATION OF DC MOTOR CONTROL SYSTEM BY EXAMPLE OF TRAWL WINCH ELECTRIC DRIVE

The control system of a DC motor as part of trawl winch electric drive is described in the article. The analysis of widely used systems for regulating the DC motor speed is carried out: by changing the external voltage, by changing the circuit resistance and magnetic flux. The mathematical description of the control processes is given. On its basis and taking into account the characteristics of each method the computer models of each described speed control methods are developed in the Matlab program according to the structural diagram. A series of experiments were carried out on each computer model, and the output electrical signals, changes in the mechanical moment and angular velocity were processed.

Key words: frequency, DC motor, computer model, magnetic flux, angular velocity.

DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-12-18

Введение

Траловая лебедка является самым мощным потребителем электроэнергии на рыболовном судне, поэтому вопросам пуска и регулирования частоты вращения двигателя, являющегося основой электропривода, уделяется особое внимание. На многих судах источником механического момента тралового комплекса является двигатель постоянного тока [1–3]. Двигатели постоянного тока обладают весьма высокими качествами в отношении регулирования их скорости вращения. Там, где требуется плавное изменение скорости рабочего механизма в достаточно широких пределах, в большинстве случаев применяется двигатель постоянного тока.

Принципиальные возможности регулирования скорости двигателя постоянного тока можно видеть из общего уравнения механической характеристики [4]:

$$n = \frac{U_1}{c_{m.п} \Phi_d} - \frac{M_{эм} (r + r_p)}{c_e c_{m.п} \Phi_d^2}. \quad (1)$$

В самом деле, поскольку установившийся режим работы характеризуется равенством моментов $M_{эм} = M$, в зависимости от вида механической характеристики двигатель будет работать при той или иной скорости, определяемой точкой пересечения механической характеристики $n = f(M_{эм})$ и характеристики рабочего механизма $n = f(M)$.

Выражение (1) показывает, что видоизменять механическую характеристику двигателя и, следовательно, регулировать его скорость вращения можно тремя путями, а именно изменением [5]:

- а) внешнего напряжения U_1 ,
- б) сопротивления r_p ,
- в) потока Φ_d .

Рассмотрим указанные способы регулирования скорости отдельно, хотя следует иметь в виду, что в практических условиях для расширения диапазона регулирования иногда применяется их комбинация.

Для определения качественных характеристик управления электроприводом тросовой лебедки необходимо полноценно исследовать механические характеристики двигателей постоянного тока и разработать компьютерную модель, которая позволит выявить наиболее оптимальный режим его работы.

Материалы и методы

В работе был использован один из достаточно распространенных в настоящее время методов исследования – метод компьютерного моделирования. Он позволяет полноценно исследовать практически все режимы работы двигателя постоянного тока. Проанализированы широко применяемые системы регулирования частотой вращения двигателя постоянного тока путем изменения внешнего напряжения и изменения сопротивления цепи и магнитного потока. Для построения компьютерных моделей каждого из описанных методов регулирования частоты вращения была использована программа Matlab.

Результаты и обсуждение

Регулирование скорости путем изменения внешнего напряжения

Плавное регулирование скорости посредством изменения напряжения U_1 предполагает возможность непрерывного изменения последнего. Поэтому такой способ применяется только в специальных случаях, например, в установке генератор – двигатель, в которой машины постоянного тока имеют независимое возбуждение (рис. 1).

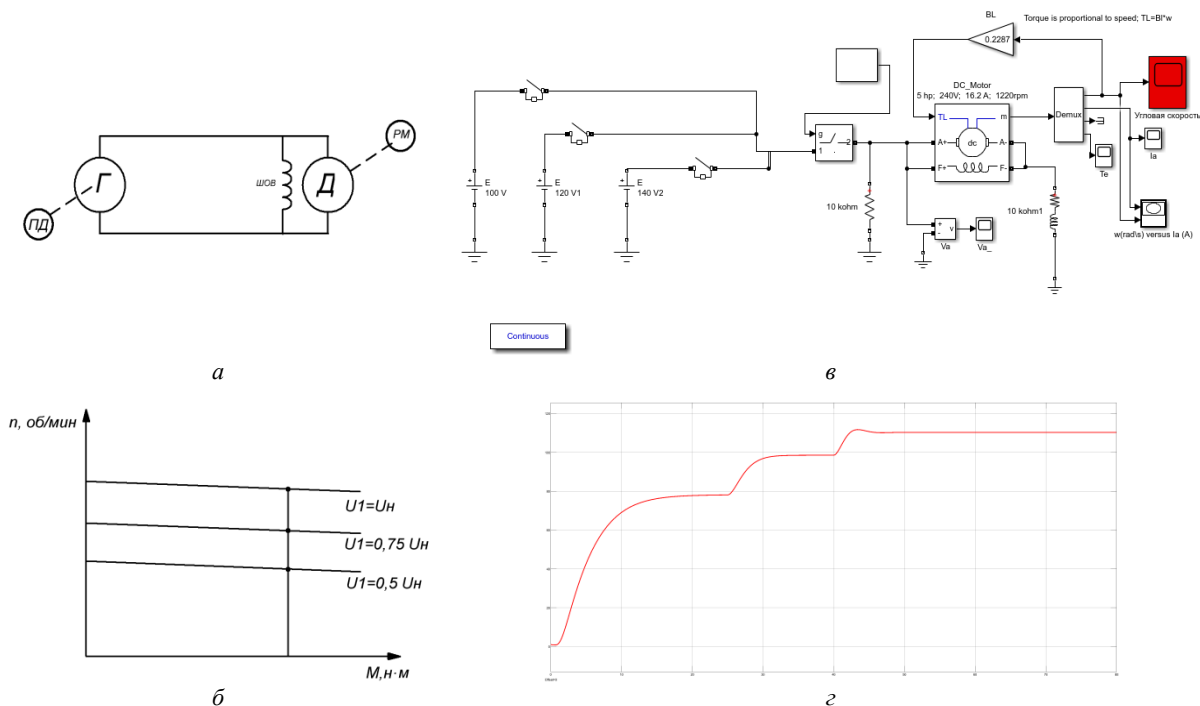


Рис. 1. Регулирование скорости путем изменения напряжения: а – система Г–Д; б – механические характеристики двигателя; в – компьютерная модель; г – результаты моделирования

Механические характеристики двигателя независимого возбуждения при постоянном потоке Φ_d , но различных напряжениях U_1 показаны на рис. 1, б. Там же точками отмечены значения скоростей двигателя, работающего при неизменном моменте M . Изменяя напряжение питания при постоянном моменте, частота вращения будет изменяться тоже. Для исследования процесса регулирования скорости при изменении внешнего напряжения в программе Matlab была разработана имитационная модель (рис. 2, а). Был произведен запуск двигателя постоянного тока, затем в момент времени $t = 25$ с интервалом 15 с выходное напряжение повышалось на 20%. На рис. 2, б изображен график зависимости угловой скорости от времени, на котором прослеживается ступенчатое повышение скорости при повышении напряжения, что доказывает работоспособность системы.

Ступенчатое регулирование скорости может быть использовано в установках, содержащих четное число двигателей, работающих в одинаковых условиях. Оно достигается переключением якорных цепей двигателей с параллельного на последовательное соединение. Такой способ применяется, например, в электрической тяге, использующей двигатели последовательного возбуждения (рис. 2).

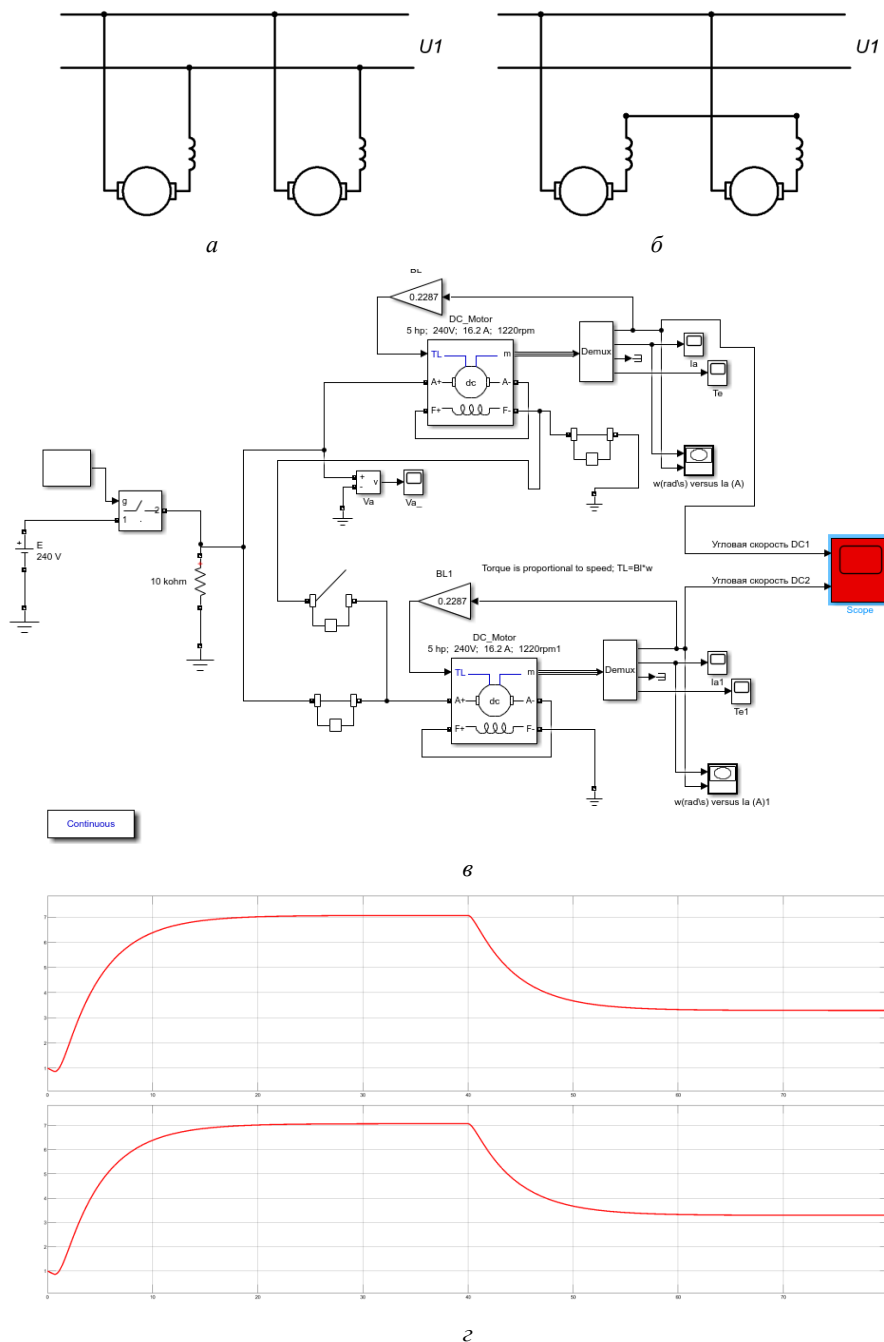


Рис. 2. Ступенчатое регулирование скорости: а – схема параллельного включения двигателей; б – схема последовательного включения двигателей; в – компьютерная модель; z – результат моделирования

Регулирование скорости посредством изменения сопротивления

Введение сопротивления в цепь якоря приводит к понижению скорости при заданном моменте M . Следует отметить, что рассматриваемый способ регулирования скорости двигателей в случае значительного изменения скорости неэкономичен. Действительно, КПД двигателя параллельного возбуждения, если исключить режимы нагрузки, близкие к холостому ходу, пропорционален скорости вращения машины:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{M_2 \Omega}{U_1 (I + i_b)} \approx \frac{M_2 \Omega}{U_2 I} = \frac{M_2 \Omega c_{м.п} \Phi_d}{U_1 M_{эм}} \approx \frac{c_{м.п} \Phi_d}{U_1} \Omega, \quad (2)$$

так как в установившемся режиме $M_{эм} \approx M_2$, а $\Phi_d U_1$ постоянны. При значительном уменьшении скорости двигателя соответственно снижается и его КПД.

Для двигателя последовательного возбуждения, если считать его магнитную цепь ненасыщенной, нетрудно получить КПД в виде:

$$\eta = \frac{M_2 \Omega c_{м.п} \Phi_d}{U_1 M_{эм}} \sim \Omega \sqrt{M_2}, \quad (3)$$

где принято $M_{эм} = M_2$. Как видно из этого выражения, при постоянстве M_2 КПД двигателя последовательного возбуждения пропорционален скорости вращения машины. И только в случае значительного увеличения момента нагрузки при снижении скорости КПД двигателя останется достаточно высоким (при этом практически не потребуется включения в цепь якоря больших сопротивлений r_p).

Регулирование скорости посредством изменения Φ_d

В двигателях параллельного и независимого возбуждения ток i_b , а вместе с ним и поток Φ_d изменяются при помощи сопротивления r_p , включаемого в цепь возбуждения. Поскольку в цепи якоря $r_p = 0$, можно в первом приближении пренебречь падением напряжения в цепи якоря по сравнению с ЭДС E , тогда следует:

$$n \approx \frac{U_1}{c_e \Phi_d}. \quad (4)$$

Таким образом, скорость вращения двигателя изменяется практически обратно пропорционально величине потока Φ_d . Подобную же зависимость при постоянном моменте нагрузки имеет и ток якоря, так как

$$I = \frac{M_{эм}}{c_{м.п} \Phi_d} \approx \frac{M_2}{c_{м.п} \Phi_d}. \quad (5)$$

Диапазон регулирования скорости двигателей параллельного и независимого возбуждения для рассматриваемого способа обычно не превышает 5 : 1. При этом двигатели работают с достаточно высоким КПД, что следует из выражения (2), в котором произведение $\Phi_d \Omega$ на основании (3) постоянно.

Для исследования процесса регулирования скорости двигателя посредством изменения сопротивления согласно структурной схеме на рис. 3, а в программе Matlab была разработана компьютерная модель (рис. 3, в).

Был произведен запуск двигателя постоянного тока с параллельным и последовательным возбуждением. На графике рис. 3 видно, что регулирование скорости двигателя с параллельным возбуждением происходит более плавно, чем двигателя с последовательным возбуждением, что и подтверждается механической характеристикой. Анализируя компьютерную модель, можно сделать вывод, что данный способ регулирования скорости вращения целесообразен в применении двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

Регулирование потока Φ_d в двигателе последовательного возбуждения осуществляется двумя путями: шунтированием либо обмотки возбуждения, либо обмотки якоря (рис. 3, а). В обоих случаях токи в обмотках якоря и возбуждения не равны друг другу. Обозначим их отношение:

$$k_{ш} = \frac{I_b}{I}, \quad (6)$$

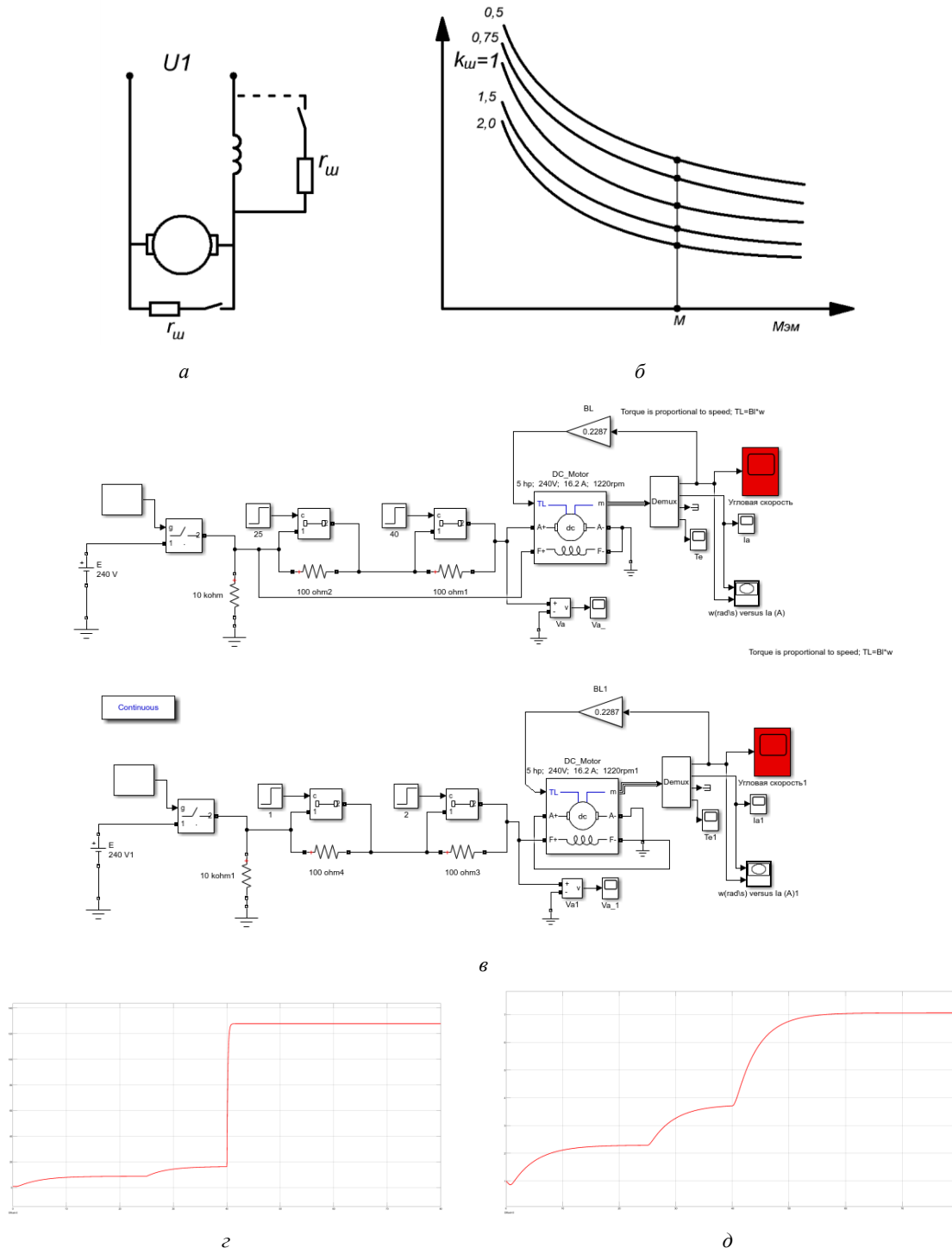


Рис. 3. Регулирование скорости посредством изменения сопротивления:
 а – структурная схема; б – механическая характеристика;
 в – компьютерная модель двигателя параллельного и последовательного возбуждения;
 г – результат моделирования двигателя с параллельным возбуждением;
 д – результат моделирования двигателя с последовательным возбуждением

Очевидно, при шунтировании обмотки возбуждения $k_{ш} < 1,0$, а при шунтировании обмотки якоря $k_{ш} > 1,0$.

Для схем двигателя с шунтированием обмоток соотношение остается в силе:

$$M_{эм} = \frac{c_{м.п}}{c_B k_{ш}} \Phi_d^2, \tag{7}$$

$$\Phi_d = c_\phi \sqrt{k_{ш} M_{эм}} / . \tag{8}$$

Из (8) видно, что при заданном электромагнитном моменте $M_{эм}$ с помощью шунтирования обмоток двигателя можно регулировать поток Φ_d независимо от нагрузки машины, устанавливая соответствующее значение коэффициента $k_{ш}$, то есть выбирая надлежащую величину сопротивления шунта.

Подставляя выражение потока Φ_d из (8) в (2) и полагая в последнем $r_p = 0$, получаем уравнение механической характеристики двигателя последовательного возбуждения с шунтированием его обмоток в виде:

$$n = \frac{U_1}{c_e c_\phi \sqrt{k_{ш}} \sqrt{M_{эм}}} - \frac{r}{k_{ш} c_e c_{м.п} c_\phi^2} = \frac{a_{ш}}{\sqrt{M_{эм}}} - b_{ш}, \quad (9)$$

где $a_{ш}$, $b_{ш}$ – постоянные величины, принимающие различные значения в зависимости от коэффициента $k_{ш}$.

Сравнение уравнений показывает, что в значительной области механическая характеристика у двигателя с шунтированной обмоткой возбуждения ($k_{ш} < 1,0$) выше, а у двигателя с шунтированной обмоткой якоря ($k_{ш} > 1,0$) ниже естественной механической характеристики ($k_{ш} = 1,0$). На рис. 3, б представлены указанные характеристики и точками отмечены значения скорости двигателя, работающего при постоянном моменте и различных значениях коэффициента $k_{ш}$.

Для всех рассмотренных схем двигателя последовательного возбуждения можно пренебречь падением напряжения в главной цепи по сравнению с ЭДС E , поэтому остается справедливым приближенное соотношение (2), которое помогает дать оценку экономичности регулирования скорости двигателя путем изменения его потока Φ_d .

При шунтировании обмоток возбуждения и якоря КПД двигателя последовательного возбуждения соответственно равен:

$$\eta = \frac{M_2 \Omega}{U_1 I} = \frac{M_2 \Omega c_{м.п} \Phi_d}{U_1 M_{эм}} \approx \text{const}, \quad (10)$$

$$\eta = \frac{M_2 \Omega}{U_1 I_b} = \frac{M_2 \Omega}{U_1 k_{ш} I} = \frac{M_2 \Omega c_{м.п} \Phi_d}{U_1 k_{ш} M_{эм}} \approx \frac{\text{const}}{k_{ш}}, \quad (11)$$

так как $M_2 \approx M_{эм}$, а $\Phi_d \Omega = \text{const}$ в силу (3).

Таким образом, регулирование скорости при шунтировании обмотки возбуждения происходит при высоком КПД, а при шунтировании обмотки якоря КПД двигателя тем меньше, чем больше величина коэффициента $k_{ш}$, то есть чем значительнее при данном M_2 снижение скорости.

Заключение

На основании проведенных исследований модельных экспериментов можно сделать ряд выводов:

1. Представленные математические выкладки позволяют разработать компьютерные модели системы регулирования двигателем постоянного тока методом изменения напряжения и методом регулирования сопротивления в цепи двигателя.
2. Применение системы регулирования частоты вращения путем изменения напряжения более целесообразно, так как имеет более плавную механическую характеристику и высокий КПД.
3. Разработанные компьютерные модели позволяют исследовать особенности самых распространенных систем регулирования частоты вращения электродвигателя и в дальнейшем могут быть использованы при изучении электрических машин студентами электротехнических специальностей.

Литература

1. Труднев С.Ю., Портнягин Н.Н. Компьютерное моделирование процесса запуска двигателя постоянного тока // Вестник Камчатского государственного технического университета [Bulletin of Kamchatka State Technical University]. – Петропавловск-Камчатский, 2018. Вып. 44. С. 30–38.

2. *Герман-Галкин С.Г.* Matlab&Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. М.: Корона-Век, 2008. 368 с.
3. *Важнов А.И.* Основы теории переходных процессов синхронной машины. М.: Госэнергоиздат, 1960. 362 с.
4. *Веников В.А.* Электромеханические переходные процессы в электрических системах. М.: Госэнергоиздат, 1958. 246 с.
5. *Баранов А.П., Раимов М.М.* Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации: учебник для вузов. СПб.: Элмор, 1997. 232 с.

Информация об авторе
Information about the author

Труднев Сергей Юрьевич – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат технических наук, декан мореходного факультета; Trudnev@mail.ru

Trudnev Sergey Yurevich – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Technical Sciences, Dean of Maritime Department; Trudnev@mail.ru

УДК 637.071

О.А. Ковалева, Н.Н. Поповичева**ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ДОБАВКИ «ЙОДНОРМ»
НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ
И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ**

Изучена возможность применения йодированной пищевой добавки в кефир, соответствующий ГОСТ 31454-2012. Кефир с добавкой «Йодонорм» получали в лабораторных условиях, в термостате при температуре $(28 \pm 2)^\circ\text{C}$. Для оценки ее возможного токсичного воздействия с использованием метода твердофазного иммуоферментного анализа и стандартных наборов реагентов «ТиридИФА-свободный Т4» и «ТироидИФА-трийодтиронин-01» был изучен биохимический состав крови лабораторных животных, получавших кефир с добавкой «Йодонорм» и без нее. Данные биохимического состава крови подопытных животных показали физиологическую целесообразность введения в их рацион кисломолочного продукта, обогащенного биологически активной формой йода. Определение органолептических показателей и титруемой кислотности в процессе хранения кефира с добавкой «Йодонорм» показало, что введение ее в состав продукта не уменьшает срока годности кефира и не изменяет его вкус, запах и внешний вид. Полученные результаты имеют значение для клинической практики, особенно для коррекции питания больных с дисфункцией или патологией щитовидной железы.

Ключевые слова: гормоны, молочные продукты, йод, функциональные продукты, биодобавка, «Йодонорм», кефир, йододефицит.

O.A. Kovaleva, N.N. Popovicheva**INFLUENCE OF BIOLOGICALLY ACTIVE ADDITIVES "IODONORM"
ON ORGANOLEPTIC, PHYSICO-CHEMICAL AND FUNCTIONAL INDICATORS
OF FERMENTED MILK PRODUCTS**

The possibility of using an iodized food additive in kefir corresponding to State standard 31454-2012 was studied. The kefir with the additive "Iodonorm" was produced under laboratory conditions in a thermostat at a temperature of $(28 \pm 2)^\circ\text{C}$. To assess the possible toxic effects of additives "Iodonorm" using the method of elisa and a standard set of reagents "Tirodite-free T4" and "Thyroideia-triiodothyronine-01" the biochemical composition of laboratory animals blood which were fed yogurt with and without additive "Iodonorm" was studied. Data on the biochemical composition of the experimental animal blood showed the physiological feasibility of introducing the fermented milk product enriched with a biologically active form of iodine into their diet. Determination of organoleptic indicators of titrated acidity during the kefir with the additive "Iodonorm" storage showed that its introduction into the product does not reduce its shelf life and does not change its taste, smell and appearance. The obtained results are important for clinical practice, especially for correcting the nutrition of patients with thyroid dysfunction or pathology.

Key words: hormones, dairy products, iodine, functional products, bioadditive, "Iodonorm", kefir, iodine deficiency.

DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-19-25

Введение

Орловская область по содержанию йода в воде и продуктах питания является зоной риска. Так, за последние 10 лет «заболеваемость йододефицитными состояниями в области увеличилась на восемь процентов, и регион вошел в число субъектов РФ, где заболеваемость диффузным зобом выше среднероссийского уровня» [1, с. 54]. В связи с этим в ближайшее время планируется разработка региональной целевой программы, согласно которой в области должны будут появиться предприятия, производящие диетические и лечебно-профилактические пищевые продукты.

Йод является важным микроэлементом (табл. 1), присутствующим в организме человека в небольшом количестве – от 20 до 50 мг, из них не менее 60% сосредоточено в щитовидной железе, а 40% – в мышцах, яичниках, крови. Гормоны щитовидной железы регулируют обменные процессы в большинстве клеток, а также играют определяющую роль в процессе роста и развития большинства органов ребенка, особенно его головного мозга во время фетального периода и в первые два-три года после рождения [2]. Недостаток в организме йода в период раннего развития организма серьезно влияет на синтез гормонов щитовидной железы и приводит к гипотиреозу и повреждению мозга [3]. Клиническим последствием этого является необратимая умственная отсталость. Во время беременности дефицит йода может быть обусловлен нарушением синтеза гормонов щитовидной железы у матери и плода. Он приводит и к другим заболеваниям и увеличивает риск возникновения некоторых видов рака [4].

Таблица 1

Суточная норма йода у различных групп населения

Возраст	Норма потребления йода в сутки
0–5 лет	90 мкг
6–12 лет	120 мкг
от 16 лет	150 мкг

Примечание. Согласно МР 2.3.1.2432-08 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации.

Потребление функциональных продуктов является одним из основных путей решения проблемы недостатка йода в организме человека и профилактики заболеваний щитовидной железы [5]. Пищевые продукты, характеризующиеся антиоксидантными и онкопротекторными свойствами, пользуются высоким спросом у потребителей, заботящихся о своем здоровье. При создании таких продуктов необходимо глубокое изучение их воздействия на организм.

Сухой концентрат молочных сывороточных йодированных белков «Йодонорм» получают путем ферментативного йодирования аминокислотных остатков сывороточных белков коровьего молока с последующей дополнительной очисткой от неорганического йода с помощью ультрафильтрации, а также сублимационной или распылительной сушки в соответствии с ТУ 10.51.56-026-35305730-2017. Благодаря ковалентной связи йода с белками сухой концентрат «Йодонорм» обладает высокой стабильностью при нагреве, устойчивостью к свету и нагреванию и способен длительно храниться. Это исключает возможность высвобождения йода и его отрицательного воздействия на физико-химические, органолептические характеристики готовой продукции, что позволяет получать продукты с фиксированным содержанием йода.

Концентрат «Йодонорм» содержит криопорошок морской капусты, в котором активное вещество йод в органически связанной форме содержится в 100 г добавки в количестве 2,5 г (в пересчете на йод). Выработку добавки «Йодонорм» производит предприятие ООО «Фонд развития науки» (г. Москва).

В ходе проведения исследований авторы изучили физико-химические и органолептические показатели кефира с биологически активной добавкой «Йодонорм» и провели сравнение общего анализа крови контрольных и подопытных животных, в питание которых вводился изучаемый продукт. Полученные в ходе экспериментов результаты представлены ниже.

Материалы и методы

Исследования кисломолочного продукта с биологически активной добавкой «Йодонорм» проводили на базе инновационного научно-исследовательского испытательного центра коллективного пользования Орловского ГАУ и кафедры «Продукты питания животного происхождения». Объектом исследования являлись кисломолочный продукт кефир, изготовленный по ГОСТ 31454-2012 и тот же кефир с добавкой «Йодонорм».

Нормы и способы введения «Йодонорма» в продукты регламентируются требованиями нормативно-технической документации и санитарными нормами качества продовольственного сырья, утвержденными Минздравсоцразвития РФ. В качестве объектов сравнения использовали широко применяемую добавку «Биойод» (Компания «Инновационные биохимические технологии», Россия), в 100 г которой содержание йода в органической форме достигает 1 г.

Титруемую кислотность определяли стандартным методом. Раствор для титрования готовили следующим образом: в колбу емкостью 100 см³ отмеривали пипеткой 10 см³ 0,1 н. рабочего раствора соляной кислоты, приливали 1–2 капли раствора фенолфталеина (индикатор) и титровали из бюретки раствором NaOH до появления бледно-розовой окраски, не исчезающей в течение двух минут. Выработку и контроль молочного продукта осуществляли в соответствии с ГОСТ Р 52054 -2003, ГОСТ Р 52090-2003.

Доклинические испытания полученного продукта проводили на животных, которые были разделены на три группы по шесть самцов крыс с массой тела 225–382 г в каждой. Первая контрольная группа получала общевиварный рацион, вторая – общевиварный рацион с кефиром, содержащим биодобавку «Йодонорм», третья – общевиварный рацион и кефир с биодобавкой «Биойод». Неорганическую и органическую формы йода вводили в рацион животных с уровнем йода 10 мг/кг корма. Животные имели свободный доступ к воде. Перед постановкой эксперимента их выдерживали 14 дней в карантине в условиях вивария. Эксперимент с кормлением крыс длился 30 дней. Пробы крови брали у трех животных из выборки сразу после окончания эксперимента.

Содержание тиреоидных гормонов проводили методом иммуноферментного анализа на анализаторе «Униплан» (Россия). Для проведения биохимических исследований использовали стандартные наборы реагентов «ТириДФА-свободный Т4» и «ТироидИФА-трийодтиронин-01».

В ходе математической обработки результатов экспериментальных исследований определяли среднюю квадратичную ошибку. Рисунки, отражающие результаты обработки экспериментальных данных, выполнены с помощью стандартной программы Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение

Одним из важнейших факторов, влияющих на качество кисломолочных продуктов, является молочное сырье. Оно, как это было сказано выше, соответствовало нормативным показателям, предъявляемым ГОСТ 31454-2012. После введения в кефир биодобавки «Биойод» в полученном продукте определяли органолептические и физико-химические показатели. Представленные ниже данные свидетельствуют о том, что добавление в кефир биодобавки «Йодонорм» в количестве 25 мкг/см³ не снижает стандарт качества продукта и таковой соответствуют нормативным значениям показателей, регламентируемых указанным выше ГОСТом на кисломолочную продукцию (табл. 2).

Таблица 2

Нормативные показатели исходного молочного продукта и продукта с добавкой «Йодонорм»

Наименование показателя	Значение показателя	
	До внесения добавки	После внесения добавки
Плотность, град. ареометра	30 ± 1	30 ± 1
Массовая доля белка, %	4,1 ± 0,1	4,1 ± 0,1
Массовая доля жира, %	3,4 ± 0,1	3,4 ± 0,1
Титруемая кислотность, °Т	17 ± 1	17 ± 1
Термоустойчивость	1 группа	1 группа

Результаты изучения органолептических показателей у контрольных образцов кефира и образцов с йодсодержащими добавками «Биойод» и «Йодонорм» приведены в табл. 3.

Таблица 3

Органолептическая оценка обычного кефира и кефира с добавками «Биойод» и «Йодонорм»

Наименование продукта	Показатель, баллы		
	Вкус	Цвет	Консистенция и внешний вид
Свежеприготовленный кефир без добавки (контроль)	4	3	5
Кефир без добавки после хранения при $t = (4 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 11 суток (контроль)	3	2	4
Свежеприготовленный кефир с добавкой «Биойод»	4	3	5
Кефир с добавкой «Биойод» после хранения при $t = (4 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 11 суток	4	3	4
Кефир с добавкой «Йодонорм»	4	3	5
Кефир с добавкой «Йодонорм» после хранения при $t = (4 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 11 суток	4	4	4

Профилограмма, построенная на основе данных табл. 2, показана на рис. 1.

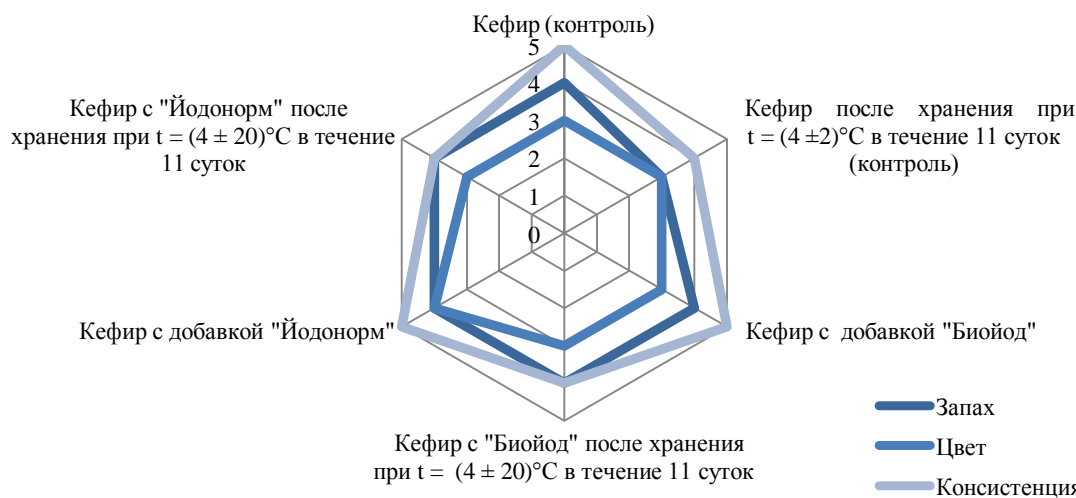


Рис. 1. Органолептическая оценка кефира с добавками «Биоид» и «Йодонорм» и без них сразу после приготовления и после 11 дней хранения

Представленные на рис. 1 данные свидетельствуют о том, что образец кефира с добавкой «Йодонорм» по своим органолептическим показателям соответствовал нормативным требованиям и практически не отличался от контрольного и второго опытного образца, содержащего добавку «Биоид». При этом контрольный образец содержал йод в количестве 10% от суточной нормы, образец с добавкой «Биоид» – 30%, а образец с добавкой «Йодонорм» – 50%.

Качество продукции определяется совокупностью свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности человека. Для оценки потребительских достоинств пищевых продуктов широко используют сенсорные, или органолептические, методы, основанные на анализе ощущений органов чувств человека.

Изучение органолептических показателей выработанных модельных и контрольных образцов молочных продуктов проводили в одних и тех же условиях. Результаты проведенных исследований представлены ниже в табл. 4.

Таблица 4

Показатели сенсорного анализа исследуемых образцов после выработки

Наименование продукта	Внешний вид	Консистенция	Вкус и запах	Цвет
Кефир (ГОСТ 31454-2012)	Однородный сгусток	Однородная, с ненарушенным сгустком	Чистый, без посторонних запахов и привкусов, кисломолочный	Молочно-белый, равномерно распределен по всей массе
Кефир с биодобавкой «Биоид» ООО «Иннбиотех»	Однородный сгусток	Однородная, с нарушенным сгустком	Чистый, кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый, равномерный по всей массе; распределен по массе
Кефир с биодобавкой «Йодонорм»	Однородный сгусток	Однородная, с нарушенным сгустком	Чистый, кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый, распределен по массе

Сравнение представленных в табл. 4 органолептических показателей у кефира без биологически активных добавок и с их добавлением показали, что у разных продуктов они практически не отличались.

Титруемая кислотность кисломолочных продуктов связана с накоплением в них продуктов брожения. Излишнее развитие кисломолочных бактерий отражается на вкусовых характеристиках продукта и может привести к уменьшению его лечебно-профилактических свойств. Определение титруемой кислотности в экспериментальных образцах показало, что в процессе хранения кислотность постепенно увеличивалась, при этом и после 11 ч хранения кислотность не превысила 100°Т – нормы, установленной требованиями ФЗ № 88 и Техническим регламентом Тамо-

женного союза № 033-2013 о безопасности молока и молочных продуктов. Данные, полученные в ходе этого исследования, представлены в табл. 5. Они показывают, что введение в состав кефира биодобавки «Йодонорм» не уменьшает сроков годности кефира и не ухудшает его органолептические показатели.

Таблица 5

Титруемая кислотность (°Т) с добавкой «Йодонорм»

Время хранения, ч	Контроль Кислотность, °Т	Образец № 1 Кислотность, °Т	Образец № 2 Кислотность, °Т
< 1	25 ± 2	26 ± 2	28 ± 2
3	68 ± 2	73 ± 2	72 ± 2
5	86 ± 2	88 ± 2	88 ± 2
7	91 ± 2	95 ± 2	96 ± 2
11	91 ± 2	95 ± 2	96 ± 2

Таким образом, проведенные исследования, показали, что кефир, обогащенный биологически активной добавкой «Йодонорм», по своим физико-химическим и органолептическим показателям практически не отличался от его контрольных образцов, не содержащих биодобавки, и соответствовал требованиям федерального закона для кисломолочных продуктов.

Для определения физиологического воздействия йодонорма на организм лабораторных животных был изучен биохимический состав крови подопытных и контрольных животных. Изучение биохимических показателей крови подопытных животных после введения в рацион йодсодержащих добавок в ходе доклинических испытаний кисломолочного йодсодержащего продукта показало, что различия между показателями крови в опытных группах крыс, получавших йодированные добавки в чистом виде и в виде йодсодержащего кефира, находились в пределах ошибки опыта. Это видно из данных, представленных в табл. 6. Выявлено очень незначительное увеличение глюкозы и уменьшение холестерина в крови подопытных животных. Эти результаты согласуются с ранее проведенными исследованиями [6].

Таблица 6

Биохимические показатели крови подопытных животных после введения в рацион йодсодержащих добавок

Показатели	Норма	1 группа (контроль)	2 группа	3 группа
Общий белок	(58,50 ± 1,026) г/ дм ³	58,53	59,99	58,61
		61,08	60,40	58,79
		60,16	60,37	58,73
Глюкоза	(6,54 ± 0,23) ммоль/ дм ³	6,61	6,71	6,65
		6,77	6,77	6,63
		6,83	6,83	6,71
Мочевина	(5,72 ± 0,10) мкмоль/ дм ³	5,77	6,26	5,81
		5,81	6,48	5,76
		5,88	5,73	5,80
Холестерин	(1,58 ± 0,18) ммоль/ дм ³	1,51	2,04	1,59
		1,83	2,12	1,43
		1,88	1,85	1,54
Креатинин	(77,97 ± 9,01) мкмоль/ дм ³	77,12	86,97	76,98
		81,24	88,21	78,15
		84,21	88,03	78,37
Аланинамино- трансфераза (АЛТ)	(25,67 ± 3,38) ед/ дм ³	27,24	27,15	26,18
		27,02	27,02	26,76
		28,40	26,49	26,42
Аспаргатамино- трансфераза (АСТ)	(25,52 ± 0,75) ед/ дм ³	26,09	25,93	25,83
		25,63	26,07	26,11
		25,77	26,11	26,08
Щелочная фосфатаза	(41,64 ± 2,30) ед/ дм ³	42,72	48,86	45,19
		46,48	49,17	45,00
		45,35	49,21	44,68
Билирубин	(31,42 ± 2,35) мкмоль/ дм ³	32,13	31,61	27,90
		32,77	32,73	27,87
		31,68	32,45	28,53

Примечание. Номера групп животных в настоящей таблице соответствуют таковым в разделе «Материалы и методы».

Для оценки физиологического состояния и функций печени у подопытных животных определяли содержание в их крови ферментов аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспаратами-нотрансферазы (АСТ), которые, как это известно из медицинской практики, поступают в кровь при повреждении печени или токсическом воздействии на нее. Данные табл. 6 показывают, что значения этих показателей у разных групп крыс – контрольной и принимавшей добавку «Био-йод» – отличаются незначительно, что позволяет говорить о токсикологической безопасности изучаемого продукта.

Функциональное состояние щитовидной железы подопытных животных оценивали по результатам сравнительного анализа содержания тиреоидных гормонов (Т3 и Т4) в сыворотке крови подопытных животных, рацион которых включал в свой состав кефир с биодобавкой «Йодонорм» и кефир без добавок. Результаты, полученные в ходе этого исследования, приведены на рис. 2.

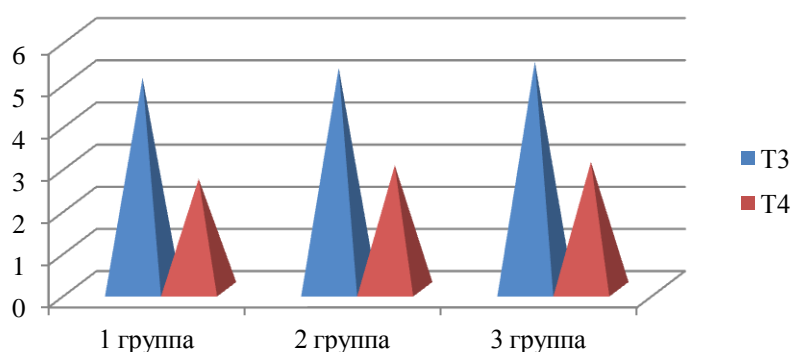


Рис. 2. Особенности изменения концентрации тиреоидных гормонов в крови у подопытных животных после введения в рацион йодосодержащих добавок. Концентрация гормона трийодтиронина (Т3) выражена в $\text{нг}/\text{см}^3$; тетраiodтиронина (тироксина, Т4) – в $\text{мкг}/\text{см}^3$

Результаты исследований показали, что достоверных различий показателей функционального состояния щитовидной железы, содержания тиреоидных гормонов в крови между контрольной и опытными группами крыс не обнаружено. Но наблюдаемая, хотя и незначительная, тенденция к нормализации данных показателей лучше выражена в группах животных, получавших йодированную кисломолочную продукцию.

Таким образом, изучение биохимических показателей сыворотки крови крыс позволяет говорить о том, что физиологический статус животных, употреблявших йодированную пищевую добавку «Йодонорм», не меняется.

Полученные в ходе проведенного исследования результаты могут с успехом использоваться в клинической практике и быть учтены при коррекции питания лиц, страдающих дисфункцией или патологией щитовидной железы.

Заключение

Проведенные исследования показывают, что биологически активная добавка «Йодонорм» может успешно применяться в технологии изготовления кисломолочных функциональных продуктов, обладающих лечебным и лечебно-профилактическим действием, полезных для коррекции здоровья лиц с нарушениями работы щитовидной железы или проживающих в регионах РФ, неблагоприятных с точки зрения содержания йода в природной воде и почве. Утверждать это позволяют данные изучения биохимического состава крови подопытных животных. Кисломолочный продукт с этой добавкой характеризуется удовлетворительными органолептическими показателями. Она не влияет на изменения титруемой кислотности и сроки годности. Результаты изучения физико-химических показателей кефира с добавкой «Йодонорм» свидетельствуют об их соответствии требованиям ГОСТ 31454-2012.

Организация производства кефира с включением вышеуказанной биологически активной добавки в Орловской области будет способствовать решению проблемы йододефицита, поскольку кефир – продукт, который широко используется в питании разных категорий населения, включая детей.

Литература

1. Ковальжина Л.С., Суплотова Л.А., Макарова О.Б. Профилактика йодного дефицита: информированность учащейся молодежи, проживающей на эндемичной территории // *Терапевт.* 2014. № 4. С. 53–58.

2. Большакова Л.С., Лисицын А.Б., Чернуха И.М., Зубцов Ю.Н., Лукин Д.Е., Люблинский С.Л. Исследование метаболизма йодтирозинов, входящих в состав молочного йодированного белка, у крыс // *Вопросы питания.* 2018. Т. 87, № 3. С. 12–17.

3. Поповичева Н.Н., Ковалева О.А. Результаты доклинических испытаний йодосодержащих молочных продуктов // *Проблемы импортозамещения и безопасности регионального потребительского рынка: материалы форума. Кафедра товароведения и таможенного дела Института биотехнологии и биоинженерии Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева.* 2017. С. 24–28

4. Большакова Л.С., Лукин Д.Е., Жубрева Т.В. Некоторые аспекты проблемы йодного дефицита в регионе центральной России // *Инновации: перспективы, проблемы, достижения: материалы Шестой международной научно-практической конференции.* 2018. С. 338–341.

5. Фомичев Ю.П., Сулима Н.Н., Лукин Д.Е. Влияние органического йода на состояние здоровья и молочную продуктивность первотелок // *Повышение уровня и качества биогенного потенциала в животноводстве: сборник 3 международной научно-практической конференции.* 2017. С. 191–196.

Информация об авторах Information about the authors

Ковалева Оксана Анатольевна – Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина; 302019, Россия, Орел; доктор биологических наук, профессор, директор Инновационного научно-исследовательского испытательного центра коллективного пользования; kovaleva7812@gmail.com

Kovaleva Oksana Anatolievna – Orel State Agrarian University named after N.V. Parahin; 302019, Russia, Oryol; Doctor of Biological Sciences, Professor, Director of the Innovative Research and Testing Centre for Collective Use; kovaleva7812@gmail.com

Поповичева Наталия Николаевна – Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина; 302019, Россия, Орел; аспирант, младший научный сотрудник Инновационного научно-исследовательского испытательного центра коллективного пользования; Natasha55519@yandex.ru

Popovicheva Nataliya Nikolaevna – Orel State Agrarian University named after N.V. Parahin; 302019, Russia, Orel; Postgraduate, Junior Researcher of the Innovative Research and Testing Centre for Collective Use; Natasha55519@yandex.ru

УДК 664.8.035.76

Н.В. Макарова, Н.Б. Еремеева, Я.В. Давыдова**СЪЕДОБНАЯ УПАКОВКА ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЯБЛОК**

В структуре твердых бытовых отходов заметное место занимает упаковка пищевых продуктов. В связи с этим существует необходимость создания биоразлагаемого и съедобного упаковочного материала. В данной работе рассмотрены технологические свойства многослойной съедобной упаковки: стаканов большого и малого размеров, тарелок и ложек, изготовленных на основе яблочного сырья с добавлением пластификатора – пектина в количестве 2%. В качестве армирующего материала использованы яблочные выжимки в количестве 15% от общей массы пюре. Приводятся данные по изучению органолептических показателей изготовленных изделий, микроструктуры их поверхности, водопоглотительной способности, устойчивости к воздействию разного диапазона температур – от низких до высоких. Микроструктуру поверхности образцов изучали в проходящем свете и с помощью лазерной микроскопии, с помощью ИК-спектроскопии определяли химические показатели упаковочного материала, в частности наличие гидроксильных групп. В ходе изучения органолептических и структурных свойств установлено, что упаковка имеет приемлемые для потребителя органолептические характеристики. Хотя микроструктура упаковки является неоднородной, в целом она устойчива к воздействию дистиллированной воды, имеющей разную температуру. Эксперименты показали, что наилучшие показатели из изученных нами образцов упаковки имеет десятислойная. Она в течение длительного времени не теряет своих свойств под воздействием горячей жидкости и при хранении в холодильнике и морозильной камере.

Ключевые слова: съедобная упаковка, яблоки, яблочные выжимки, структура, органолептические свойства, водопоглощение, прочность, водостойкость, биоразлагаемость.

N.V. Makarova, N.B. Eremeeva, Ya.V. Davydova**EDIBLE PACKING FROM APPLE PROCESSING WASTE**

Food packaging occupies a prominent place in solid household waste structure. In this regard, there is a need to create a biodegradable and edible packaging material. The technological properties of multilayer edible packaging such as large and small glasses, plates and spoons made on the basis of apple raw materials with the addition of a plasticizer – pectin in an amount of 2% are considered in the article. Apple squeezes is used as a reinforcing material in amount of 15% of the total mass of puree. Data on the study of organoleptic characteristics of manufactured products, their surface microstructure, water absorption capacity, and resistance to different temperature ranges (from low to high) are presented. The microstructure of the samples surface was studied in passing light and using laser microscopy. The chemical parameters of the packaging material, in particular, the presence of hydroxyl groups, were determined with the help of IR spectroscopy. During the study of organoleptic and structural properties, it was found that the packaging has acceptable organoleptic characteristics for the consumer. Although the microstructure of the packaging is heterogeneous, it is generally resistant to distilled water at different temperatures. Experiments showed that the best performance of the studied packaging samples has a ten-layer one. It does not lose its properties for a long time under the influence of hot liquid and being stored in the refrigerator and freezer.

Key words: edible packaging, apples, apple squeezes, structure, organoleptic properties, water absorption, strength, water resistance, biodegradability.

*DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-26-34***Введение**

Съедобная пленка относится к биоразлагаемым материалам. Интерес к данному виду упаковочного материала за последние 10 лет значительно увеличился. Связано это с рядом обстоятельств, в первую очередь необходимостью сокращения твердых бытовых отходов, в которых большую долю занимает упаковка пищевых продуктов, улучшения экологической обстановки в РФ, а также сокращения экономических затрат на организацию все новых полигонов для склади-

рования бытовых отходов, на проведение контроля за состоянием полигонов [1], определение этапов их жизненного цикла [2].

Альтернативной упаковкой из полимерной бионеразлагаемой пленки является упаковка из биоразлагаемых полимеров [3]. В качестве основного исходного сырья для их производства в последние годы рассматривается синтезированная полимолочная кислота [4]. Ее в настоящее время все активнее используют в качестве модификатора в производстве потребительских биопластиков. Лучшим заменителем этой продукции являются съедобные пленки и съедобные упаковки, которые можно получать из отходов переработки растительного сельскохозяйственного сырья, включающего в свой состав волокна их полимерных молекул. Его использование в качестве исходного сырья может способствовать созданию новых видов производства, утилизации больших объемов отходов переработки сельскохозяйственной продукции, дать дополнительную прибыль при комплексном безотходном использовании растительного сырья.

Яблоки в отечественной пищевой промышленности являются одним из основных видов сырья для производства широкой линейки готовых продуктов и полуфабрикатов из фруктов. Поэтому исследованию их химического состава и технологических свойств в зависимости от сорта посвящено много работ. Так, турецкие ученые [5], изучая особенности пигментации яблочной кожуры, размерно-массовые показатели и плотность плодов яблок сортов *Vista Bella*, *Summerred*, *Jerseymac*, собранных в районе Испир (провинция Эрзурум (*Erzurum*)), сделали вывод о возможности их промышленной переработки.

Основным направлением переработки яблок является получение яблочного сока прямого отжима [6], яблочного пюре [7] и сушеных яблок [8]. В двух первых случаях отходами переработки яблок являются яблочные выжимки. Исследования ряда ученых, в том числе российских, показывают, что яблочные выжимки могут служить источником ценных веществ и использоваться в разных направлениях. В нашей стране они, к сожалению, практически не используются.

Между тем исследования индийских ученых доказали наличие в яблочных выжимках алколоидов, флавоноидов, танинов, фенолов, сапонинов [9]. Как альтернатива полимерным бионеразлагаемым пленкам в настоящее время предложены и другие виды съедобных пленок. Одна из них была получена на основе рыбьего желатина, пластифицированного 20 и 25%-ным глицерином двумя способами: литья и экструзии при температурах 110 и 120°C с последующим прессованием [10]. У полученных пленок были изучены прочностные характеристики. В результате показано, что экструдированные пленки являются лучше литых.

Иранские ученые получили съедобную пленку на основе глобулина фисташек (PGP) с добавлением стеариновой (C16) и пальмитиновой кислот (C18) и Tween-80 [11] и показали, что они прочны и достаточно эластичны. Лучшие прочностные характеристики при этом были получены для пленок без добавок. Еще один вид пленки был получен на основе изолята соевого белка [12]. У нее были изучены прочность на разрыв, эластичность, устойчивость к кислотному и щелочному воздействию при pH 1,5–12 и температуре 20, 50, 60, 70, 80°C. Щелочные пленки оказались более эластичными и прочными.

Иранские ученые исследовали возможность использования гидроколлоидов из семян одного из представителей рода *Plantago* (псиллиума) с добавлением 15, 25 и 35% глицерина к исходному сырью для получения биоразлагаемой пищевой пленки [13]. Они показали, что увеличение содержания глицерина приводит к повышению проницаемости для водяных паров, эластичности, сокращению срока растворимости в воде, но при этом снижается предел прочности.

Таиландские ученые получили пищевую пленку из муки кассавы (маниоки) [14] с помощью желатинизации при температуре 70°C. Для нее также были изучены прочностные характеристики (прочность на разрыв, эластичность) в зависимости от содержания в качестве пластификатора сорбита, и было показано, что более высокое содержание сорбита (20→30%; 40→50%) ухудшает характеристики пленки в десятки раз.

Португальские ученые [15] разработали технологию производства съедобной пленки с антиоксидантным действием на основе хитозана с добавками кофейной кислоты и генипина. Изучая ее антиоксидантную активность спектрофотометрическим методом ABTS, они установили, что именно кофейная кислота увеличивает антиокислительные свойства пленок, но прочностные характеристики и эластичность выше для пленок с использованием генипина.

В состав пленок из зеина – белка растительного происхождения из группы проламинов – был включен ряд фенольных соединений: галловая кислота, *n*-гидроксибензойная кислота, феруловая кислота, флавоон, катехин, кверцетин [16], и было показано их влияние на прочностные характери-

стики (растяжимость, прочность на разрыв), антиокислительные и антимикробные свойства. На основании результатов исследований полученные пленки были рекомендованы для упаковки съедобных продуктов.

Весьма необычное сырье для полученных съедобных пленок было предложено сербскими учеными. Они использовали жмых, полученный при производстве тыквенного масла [16]. Микроструктура, прочность и антиоксидантная активность нового вида пленки имели высокое качество.

Обзор приведенных выше литературных источников, таким образом, показывает, что исследование в области получения и возможностей использования съедобных пленок как альтернативы бионеразлагаемым и биоразлагаемым пленкам очень перспективны. Целью настоящей работы является производство формованной съедобной упаковки из отходов переработки яблок, анализ ее органолептических свойств, микроструктуры, водопоглотительной способности, устойчивости к воздействию высоких и низких температур.

Материалы и методы

Производство многослойной съедобной упаковки с использованием яблочных выжимок. Для получения яблочного пюре, используемого в качестве основы упаковки, плоды яблок подвергали предварительной подготовке, предусматривающей их инспекцию, сортировку, калибровку и мойку, удаление несъедобных частей (плодоножки, семенной камеры, кожуры). Далее яблоки нарезали и измельчали до пюреобразного состояния, протирали, получали два продукта – яблочное пюре и яблочные выжимки. К полученной массе яблочного пюре добавляли пектин в количестве 2% от массы исходного сырья и подвергали измельчению до образования однородной структуры.

Съедобную упаковку получали многослойным формованием съедобной пленки. Получение одного слоя пленки проводили путем литья пюреобразной массы с влажностью 85%. Получившуюся при этом съедобную пленку, имеющую толщину 1–3 мм, сушили в течение 1 ч. Каждый последующий слой наносили на полученную пленку аналогичным образом и сушили 30 мин. Последний слой пленки изготавливали из яблочных выжимок. Готовую съедобную упаковку охлаждали до комнатной температуры. Изучение ее влагопоглотительных свойств показало, что пленка из 10 слоев имеет влажность 15%, кроме того обладает приемлемыми для практического использования показателями.

Определение органолептических характеристик многослойной съедобной упаковки. Исследования органолептических показателей были проведены по ГОСТ 8756.1-2017 «Продукты пищевые консервированные. Методы определения органолептических показателей, массы нетто или объема массовой доли составных частей». Для каждого образца упаковки были определены такие характеристики, как внешний вид, цвет, вкус, аромат и пережевываемость.

Изучение микроструктуры многослойной съедобной упаковки. Микроскопирование образцов многослойной съедобной упаковки проводили с помощью лабораторного микроскопа «Микромед 3-20М» и сканирующей электронной микроскопии на электронном микроскопе JEOL-6390A.

ИК-спектроскопия многослойной съедобной упаковки с использованием яблочных выжимок. ИК-спектры для образцов многослойной съедобной упаковки были сняты на ИК-фурье-спектрометре IRAffinity-1 (производства Shimadzu Corporation, Japan).

Определение влагопоглотительной способности многослойной съедобной упаковки. Влагопоглотительную способность изделий определяли следующим образом: в образцы упаковок наливали дистиллированную воду, имеющую температуру 23, 60 и 90°C и выдерживали ее в течение 30, 60, 90 мин. Степень водопоглощения определяли как отношение массы упаковки после эксперимента к массе упаковки до эксперимента и выражали ее в процентах.






Определение устойчивости многослойной съедобной упаковки к отрицательным температурным воздействиям. Образцы многослойной съедобной упаковки (стакан, тарелка) выдерживали при температуре от 0 до минус 4°C в течение 24 ч и минус 18°C в течение 24 ч, в СВЧ при мощности 600 Вт в течение 1 мин. После чего повторно определяли их органолептические показатели.

Результаты и обсуждение

Одним из важнейших требований к съедобным упаковкам является их органолептическая приемлемость. Если для биоразлагаемых пленок на первом месте стоят такие свойства, как прочность, газопроницаемость, срок разложения в почве, то применение съедобной упаковки не имеет смысла при ее неудовлетворительных органолептических показателях. Наиболее распространенными видами одноразовой посуды являются стаканы, используемые для розлива напитков, тарелки как тара для первых и вторых блюд и ложки. Эти предметы были изготовлены из описанных выше съедобных пленок. В ходе экспериментов проверяли их потребительские свойства. Прежде всего, были изучены их органолептические характеристики. Для этого дополнительно к цвету, запаху и вкусу изучали пережевываемость упаковки и внешний вид поверхности изделия, поскольку в состав пюреобразной массы был введен довольно сложный с точки зрения органолептических показателей компонент – яблочные выжимки. Результаты анализа органолептических показателей изготовленных нами съедобных упаковок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Органолептические свойства многослойных съедобных упаковок на основе яблочного сырья с добавлением яблочных выжимок

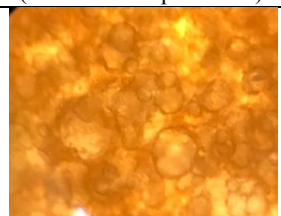
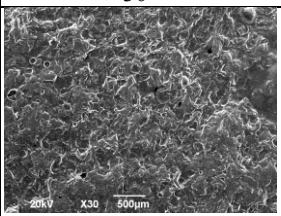
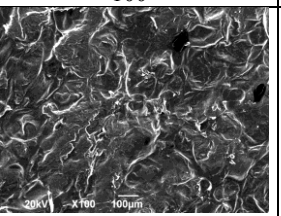
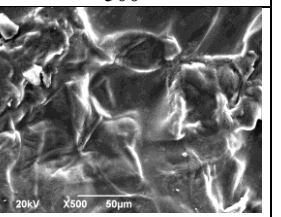
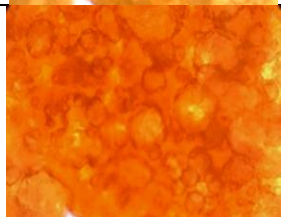
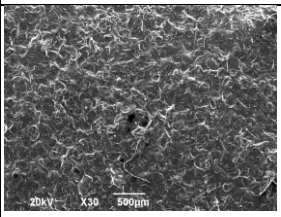
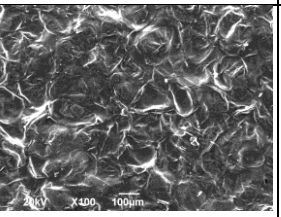
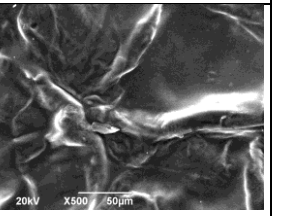

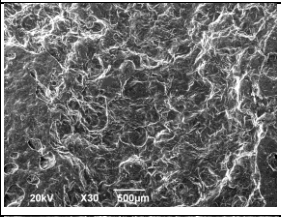
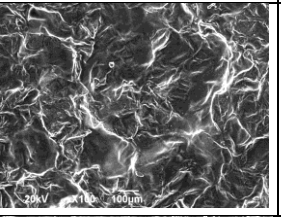
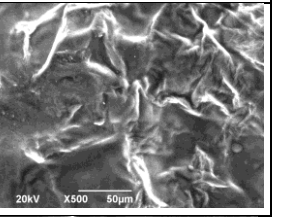
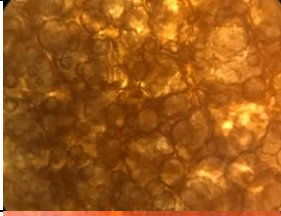
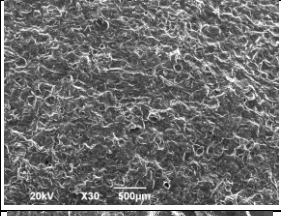
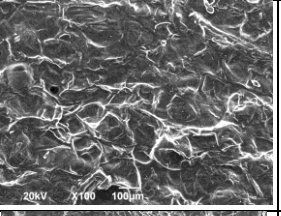
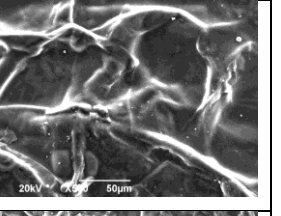

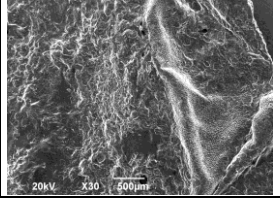
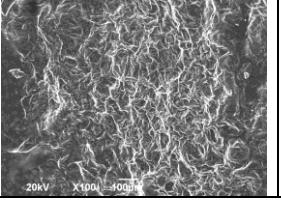
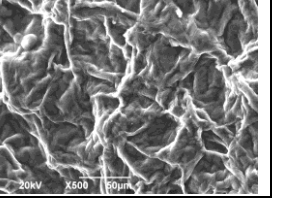
Вид упаковки	Внешний вид формованных изделий	Показатель	Характеристика органолептического показателя
Малый стакан		Внешний вид	Поверхность стакана неровная, с вкраплениями яблочных выжимок, матовая, без трещин
		Цвет	Бледно-желто-коричневый, темно-зеленый
		Аромат	Слабый яблочный
		Вкус	Кисловатый
		Пережевываемость	Хорошая
Большой стакан		Внешний вид	Поверхность стакана неровная с вкраплениями яблочных выжимок, матовая, без трещин
		Цвет	Бледно-зелено-коричневый
		Аромат	Слабый яблочный
		Вкус	Кисловатый
		Пережевываемость	Хорошая
Малая тарелка		Внешний вид	Поверхность стакана неровная с вкраплениями яблочных выжимок, матовая, без трещин
		Цвет	Бледно-зелено-коричневый
		Аромат	Слабый яблочный
		Вкус	Кисловатый
		Пережевываемость	Хорошая
Большая тарелка		Внешний вид	Поверхность стакана неровная с вкраплениями яблочных выжимок, матовая, без трещин
		Цвет	Бледно-зелено-коричневый
		Аромат	Слабый яблочный
		Вкус	Кисловатый
		Пережевываемость	Хорошая
Ложка		Внешний вид	Поверхность стакана неровная с вкраплениями яблочных выжимок, матовая, без трещин
		Цвет	Бледно-желто-коричневый
		Аромат	Слабый яблочный
		Вкус	Кисловатый
		Пережевываемость	Хорошая

Они показывают, что многослойная съедобная упаковка на основе яблочного сырья с добавлением яблочных выжимок обладает приятным, вполне естественным внешним видом, имеет приятный слегка кислый вкус и слабый яблочный аромат. Она хорошо пережевывается и в целом характеризуется вполне удовлетворительными потребительскими свойствами.

Объективные данные в отношении микроструктуры упаковки были получены в ходе микроскопического изучения поверхностного слоя многослойной съедобной упаковки. Для этого, как было сказано выше, использовали световой, лазерный микроскопы. Микрофотографии поверхности сухих формованных изделий приведены в табл. 2.

Таблица 2

Внешний вид поверхности многослойных съедобных упаковок на основе яблочного сырьа с добавлением яблочных выжимок при разном увеличении

Вид упаковки	Микрофотографии поверхности изделия (световая микроскопия)	Микрофотографии поверхности изделия под лазерным микроскопом на разном увеличении		
		30×	100×	500×
Малый стакан				
Большой стакан				
Малая тарелка				
Большая тарелка				
Ложка				

Анализ данных, полученных в ходе микроскопических исследований поверхности упаковки, показывает наличие в ней отдельных пузырьков воздуха и дефектов структуры. Особенно заметны на ней крупные частицы выжимок яблок.

Использование ИК-спектров для изучения химических соединений – широко распространенный метод идентификации их структуры. В технологических исследованиях, связанных с производством различных пищевых продуктов, этот метод распространен не столь широко. В нашем случае он позволил получить информацию, необходимую для оценки наличия в съедобных упаковках гидроксильных групп, которые за счет образования водородных связей активно взаимодействуют с водой и влияют на такие показатели упаковки, как водопоглощение, водоотталкивание, перевариваемость в организме. ИК-спектры многослойных съедобных упаковок на основе яблочного сырьа с добавлением яблочных выжимок представлены на рис. 1.

Данные спектроскопии показывают, что для спектров многослойных съедобных упаковок характерно наличие широкой полосы поглощения в районе $3\ 300\text{--}3\ 400\ \text{см}^{-1}$, что свидетельствует о наличии в них свободных гидроксильных групп.

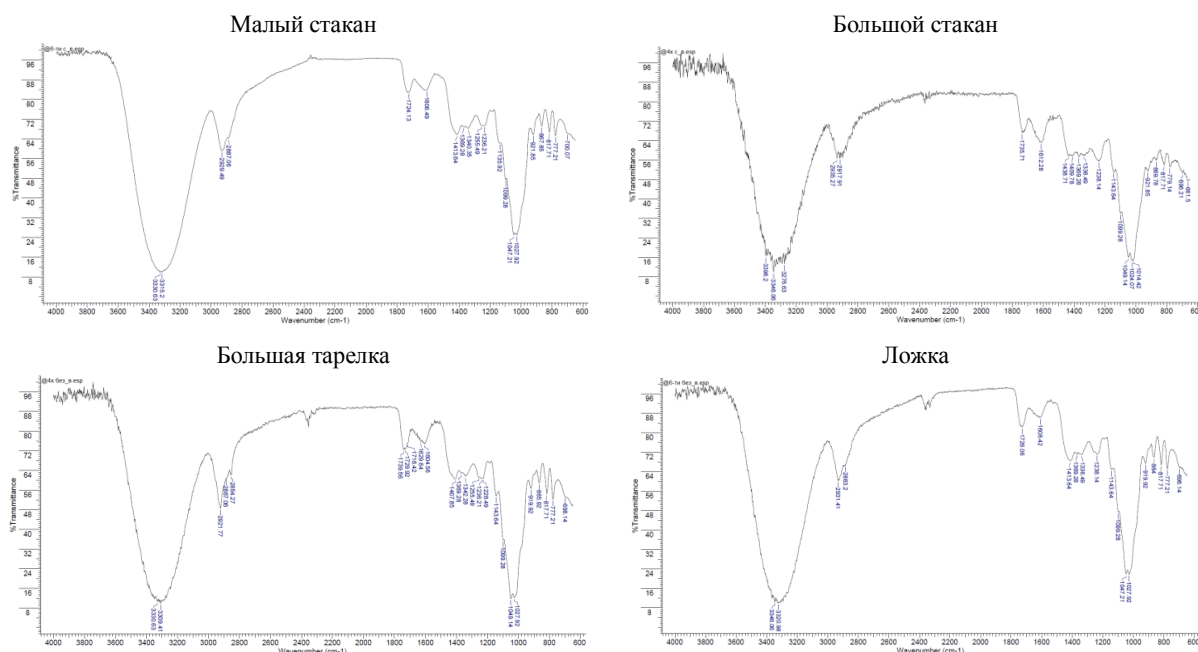


Рис. 1. ИК-спектры многослойных съедобных пищевых упаковок на основе яблочного сырья с добавлением яблочных выжимок

Водопоглотительная способность съедобной упаковки – одна из важнейших ее характеристик. Она отражает ее способность к водоотталкиванию и позволяет оценить устойчивость упаковки в процессе ее использования и сохранения качества помещенных в них продуктов. Способность к поглощению у съедобных упаковок должна быть достаточно высокой, способствующей ее быстрому перевариванию в желудке человека и лучшему усвоению.

Водопоглощение у изготовленных нами изделий определяли после выдерживания воды, нагретой до температуры 23, 60 и 90°C в течение 30, 60 и 90 мин. При этом дополнительно нами были испытаны образцы малых стаканов, изготовленные из шести, семи и восьми слоев пленки. Результаты, полученные в ходе этих экспериментов, представлены на рис. 2–4.

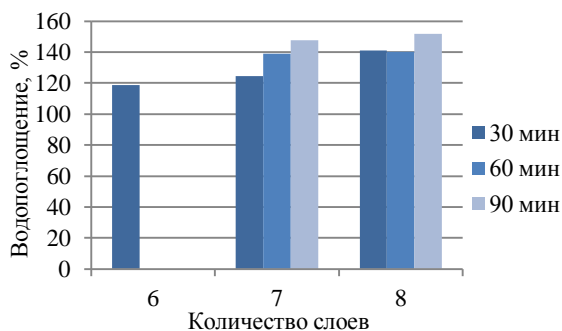


Рис. 2. Водопоглощение многослойными съедобными стаканами воды, имеющей температуру 23°C

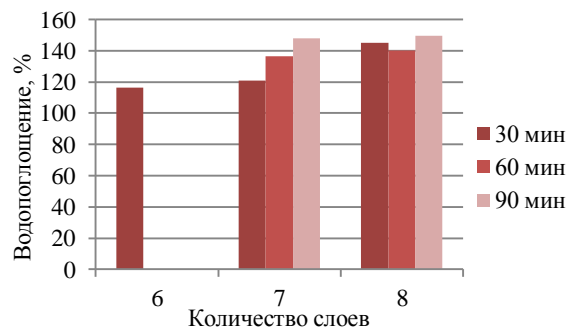


Рис. 3. Водопоглощение многослойными съедобными стаканами воды, имеющей температуру 60°C

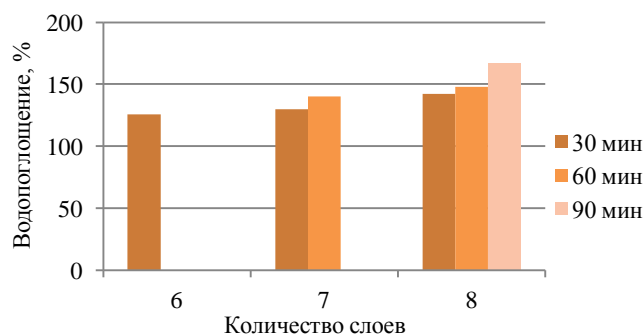


Рис. 4. Водопоглощение съедобными стаканами с разным количеством слоев пленки воды, имеющей температуру 90°C

Анализ результатов изучения водопоглощения у изученных образцов однозначно свидетельствует о влиянии на их потребительские свойства количества слоев упаковки. Это хорошо видно из данных, приведенных на рис. 4. Он показывает, что чем более многослойна упаковка, тем у стаканов выше показатель водопоглощения. С увеличением температуры и времени хранения в нем воды он также увеличивается. Необходимо отметить, что шестислойный стакан практически не выдерживает длительного шестидесяти- и девяностоминутного воздействия воды, нагретой до температуры 90°C. Семислойный стакан сохраняет свои качества упаковочного материала в течение 30 и 60 мин при температуре воды 23 и 60°C, а восьмислойный стакан пригоден для холодных и жидких продуктов в течение 1,5 ч.

Для съедобной упаковки кроме способности к поглощению воды важной характеристикой является способность сохранять свои свойства под влиянием высокой или низкой температур. Для ее изучения был проведен следующий эксперимент. Съедобную десятислойную упаковку в течение суток хранили при температуре 0 – минус 4°C; в течение суток при температуре минус 18°C; нагревали ее в микроволновой печи при мощности 600 Вт в течение 1 мин. После указанного выше температурного воздействия у изучаемых образцов вновь определяли органолептические показатели. Данные этого эксперимента показали, что низкие температуры не ухудшают органолептические показатели, тогда как при нагреве в микроволновой печи упаковка теряет свою пластичность и приобретает посторонний запах гари.

Кроме рассмотренных выше характеристик изготовленные нами образцы съедобной упаковки в–должны быть безопасными для здоровья человека. Упаковка в ходе изготовления проходит длительную термическую обработку, повышающую ее безопасность. Но в процессе продвижения товара к потребителю она может подвергаться микробиологической порче. Этот нежелательный процесс можно предотвратить или заметно замедлить следующими способами:

- 1) предусмотреть покрытие съедобной упаковки легким тонким полимерным материалом с низкой массой, эффективно предохраняющим ее от микробиологического обсеменения;
- 2) введением в состав съедобной упаковки натуральных растительных компонентов с ярко выраженными антибактериальными свойствами. Таковыми могут быть высшие растения и водоросли-макрофиты, обладающие высоким антибактериальным действием к грамотрицательным и грамположительным микроорганизмам.

Однако предлагаемые нами варианты нуждаются в экспериментальной проверке.

Заключение

Разработанные нами образцы съедобной упаковки (большой и малый стаканы, большая и малая тарелки, ложка) из многослойной съедобной пленки, изготовленной на основе яблочного сырья с добавлением в качестве пластификатора пектина и в качестве армирующего материала яблочных выжимок, удобны и безопасны для практического использования. Ее производство перспективно в эколого-экономическом отношении. В ходе изучения органолептических, структурных свойств установлено, что упаковка имеет приемлемые органолептические характеристики и безопасна для потребителя. Показано, что предлагаемая нами упаковка устойчива к воздействию воды разной температуры. Оптимальной по потребительским свойствам является десятислойная упаковка. Она не теряет своих свойств при хранении в холодильнике и морозильной камере.

Литература

1. *Завизион Ю.В., Глушанкова И.С., Слюсарь Н.Н., Вайсман Я.И.* Применение синхронного термического анализа для оценки стабильности захороненных на полигонах твердых коммунальных отходов // *Экология и промышленность России*. 2016. Т. 20, № 6. С. 43–49.
2. *Pawar P.A., Purwar A.H.* Bioderadable polymers in food packing // *American Journal of Engineering Research*. 2013. Vol. 2, № 5. P. 151–164.

3. *Muller J., González-Martínez C., Chiralt A.* Combination of poly (lactic) acid and starch for biodegradable food packaging // *Materials*. 2017. Vol. 10. P. 952–958.
4. *Ozturk I., Ercisli S., Kara M., Erturk Y., Kalkan F.* The genotypic effect on physical properties of three early matured apple cultivars // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2011. Vol. 17, № 3. P. 333–338.
5. *Krajka-Kuźniak V., Szaefer H., Ignatowicz E., Adamska T., Markowski J., Baer-Dubowska W.* Influence of cloudy apple juice on N-nitrosodiethylamine-induced liver injury and phases I and II biotransformation enzymes in rat liver // *Acta Polonica Pharmaceutica – Drug Research*. 2015. Vol. 72, № 2. P. 267–276.
6. *Santini A., Romano R., Meca G., Raiola A., Ritieni A.* Antioxidant activity and quality of apple juices and puree after in vitro Digestion // *Journal of Food Research*. 2014. Vol. 3, № 4. P. 41–50.
7. *Zhu Y., Pan Z., McHugh T.H., Barret D.M.* Processing and quality characteristics of apple slices processed under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with intermittent heating // *Journal of Food Engineering*. 2010. Vol. 97. P. 8–16.
8. *Yadav S., Gupta R.K.* Formulation of noodles using apple pomace and evaluation of its phytochemicals and antioxidant activity // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2015. Vol. 4, № 1. P. 99–106.
9. *Krishna M., Nindo C.I., Min S.C.* Development of fish gelatin edible films using extrusion and compression molding // *Journal Food Engineering*. 2012. Vol. 108, № 2. P. 337–344.
10. *Zahedi Y., Ghanbarzaden B., Sedghat N.* Physical properties of edible emulsified films based on pistachio globulin protein and fatty acids // *Journal Food Engineering*. 2010. Vol. 100, № 1. P. 102–108.
11. *Jiang J., Xiong Y.L., Newman M.C., Rrntfrow G.K.* Structure-modifying alkaline and acidic pH-shifting processes promote film formation of soy proteins // *Food Chemistry*. 2012. Vol. 132, № 4. P. 1944–1950.
12. *Ahmadi R., Kalbasi-Astari A., Oromiehie A., Yarmand M.-S., Jahandideh F.* Development and characterization of a novel biodegradable edible film obtained from psyllium seed (*Plantago ovata* Forsk) // *Journal Food Engineering*. 2012. Vol. 109, № 4. P. 745–751.
13. *Suppakul P., Chalernsook B., Ratisuthawat B., Prapasitthi S., Munchukangwan N.* Empirical modeling of moisture sorption characteristics and mechanical and barrier properties of cassava flour film and their relation to plasticizing-antiplasticizing effects // *LWT – Food Science and Technology*. 2013. Vol. 50, № 1. P. 290–297.
14. *Nunes C., Maricato E., Cuhna A., Nunes A., Lopes da Silva J.A., Colimbra M.A.* Chitosan-caffeic acid-genipin films presenting enhanced antioxidant activity and stability in acidic media // *Carbohydrate Polymers*. 2013. Vol. 91, № 1. P. 236–243.
15. *Arcan I., Yemenicioglu A.* Incorporating phenolic compounds opens a new perspective to use zein films as flexible bioactive packaging materials // *Food Research International*. 2011. Vol. 44, № 2. P. 550–556.
16. *Popovic S., Pericin D., Vastag Z., Popovic L., Lazic V.* Evaluation of edible film-forming ability of pumpkin oil cake: effect of pH and temperature // *Food Hydrocolloids*. 2011. Vol. 25, № 3. P. 470–476.

Информация об авторах **Information about the authors**

Макарова Надежда Викторовна – Самарский государственный технический университет; 443100, Россия, Самара; доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и организация общественного питания»; makarovanv1969@yandex.ru

Makarova Nadezhda Viktorovna – Samara State Technical University; 443100, Russia, Samara; Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of Technology and Public Catering Organization Chair; makarovanv1969@yandex.ru

Еремеева Наталья Борисовна – Самарский государственный технический университет; 443100, Россия, Самара; кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Технология и организация общественного питания»; rnmvnatasha@rambler.ru

Eremeeva Natalya Borisovna – Samara State Technical University; 443100, Russia, Samara; Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Technology and Public Catering Organization Chair; rmvnatasha@rambler.ru

Давыдова Яна Владимировна – Самарский государственный технический университет; 443100, Россия, Самара; студент; davydova_1998@list.ru

Davydova Yana Vladimirovna – Samara State Technical University; 443100, Russia, Samara; Student; davydova_1998@list.ru

УДК 664.66

Ю.А. Бец, Н.Л. Наумова

РАЗРАБОТКА СДОБНОГО ИЗДЕЛИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦЕЛЬНОЗЕРНОВОЙ МУКИ КИНОА БЕЛОЙ

Представлены результаты разработки сдобного изделия с применением цельнозерновой муки киноа белой. Проведено сравнение органолептических свойств и химического состава нетрадиционного сырья с таковыми у пшеничной муки высшего сорта. Выявлено, что исследованная мука киноа в цвете имеет бежевые тона, во вкусе – свойственные оттенки легкой горечи, отличается повышенным содержанием липидов, пищевых волокон, сахаров, белка, витаминов В₁ и В₂, минеральных элементов при отсутствии клейковины и несколько меньшими количествами витамина РР и макроэлемента Са. Исследованы качество и пищевая ценность сдобного изделия с замещением в рецептуре 13% пшеничной муки на аналогичное количество сырья из киноа белой. Установлено, что содержание минеральных элементов в изделиях модифицированной рецептуры выше: Mg – в 1,6 раза, P и Cu – в 1,3–1,4 раза, Se – на 28,6%, Mn – на 17,3%, Zn – на 9,2%, Fe – на 7,1%; витамина В₂ – на 14,1%; пищевых волокон – на 6,3%.

Ключевые слова: мука пшеничная, мука цельнозерновая киноа, химический состав сырья, пищевая ценность изделий.

Y.A. Betz, N.L. Naumova

PASTRY PRODUCT DEVELOPMENT WITH APPLICATION OF WHOLEGRAIN QUINOA WHITE FLOUR

The results of pastry product development using wholegrain quinoa white flour are presented. The organoleptic properties and chemical composition of unconventional raw materials are compared with premium wheat flour ones. It was revealed that the studied quinoa flour has beige tones in color, characteristic shades of light bitterness in taste, high content of lipids, dietary fiber, sugars, protein, vitamins B₁ and B₂, mineral elements in the absence of gluten and slightly lower amounts of vitamin PP and macronutrient Ca. The quality and nutritional value of pastry product with a substitution of 13% wheat flour for a similar amount of white quinoa raw material in the formulation was studied. It was found that the content of mineral elements in products of the modified formulation is higher: Mg – 1,6 times, P and Cu – 1,3–1,4 times, Se – 28,6%, Mn – 17,3%, Zn – by 9,2%, Fe – by 7,1%; vitamin B₂ – by 14,1%; dietary fiber – by 6,3%.

Key words: wheat flour, wholegrain quinoa flour, chemical composition of raw materials, nutritional value of products.

DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-35-39

Введение

Повышение пищевой ценности хлебобулочных изделий можно осуществлять путем регулирования их химического состава посредством применения нетрадиционного для хлебопекарного производства сырья [1]. К примеру, семена киноа (род *Chenopodium*) являются универсальным обогатителем в производстве самых разнообразных продуктов питания, поскольку характеризуются высоким содержанием таких незаменимых аминокислот, как валин, лейцин, треонин, лизин, изолейцин и фенилаланин. Аминокислотный состав белков киноа близок к составу белков молока, что позволяет этой культуре конкурировать с общепризнанным высокобелковым сырьем, таким как ячмень, гречиха и амарант [2–6]. Благодаря этому крупа киноа является важным элементом безглютеновой диеты при аллергиях. Имея сбалансированный аминокислотный состав и высокое содержание железа и фосфора, она применяется в спортивном и лечебном питании для восстановления физической массы спортсменов, для лечения анемий, заболеваний желудочно-кишечного тракта. Дополнительными преимуществами киноа являются низкий гликемический индекс и способность снижать уровень холестерина, кровяное давление и уровень сахара в крови [7]. Из жирных кислот, входящих в состав масла киноа, преобладают поли-

ненасыщенные, в том числе линолевая и линоленовая. Минеральный состав этой псевдозерновой культуры, называемой также крупой андских индейцев, богат кальцием, калием, магнием, цинком, медью, марганцем. Их содержание у киноа превосходит концентрации этих же элементов в гречневой и овсяной муке [8, 9]. Среди витаминов в достаточно большом количестве у киноа встречаются витамины группы В – В₁, В₂, В₉. Все сказанное выше определяет возможность использования семян обсуждаемого растения в качестве нутриента или самостоятельного продукта. Целью настоящего исследования стала разработка рецептуры сдобного изделия с применением цельнозерновой муки из киноа белой.

Материалы и методы

В качестве материалов использовали:

- муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта (ГОСТ 26574-2017) производства АО «Шадринский комбинат хлебопродуктов» (Россия, Курганская обл., г. Шадринск);
- муку цельнозерновую киноа белой (ТУ 10.61.22-004-05604978-2017) производства ООО «Продукты XXII века» (Россия, г. Москва);
- лабораторные образцы сдобы «Воздушная» производства ООО «ИРЕКС» (Россия, Московская обл., г. Люберцы). Контрольные образцы продукции из пшеничной муки готовили по классической рецептуре (табл. 1), опытные – с заменой 7–13% (с шагом 3%) пшеничного сырья на идентичное количество муки киноа. Дозировку добавки выбирали с учетом результатов, полученных в аналогичных исследованиях другими авторами [10–12]. Использованный нами «Глофа экстракт светлый» представляет собой солодовый экстракт. Добавка «Ирексол софт» использовалась нами как хлебопекарный улучшитель. Изделия, использовавшиеся для последующего изучения, выпекали массой нетто 0,05 кг.

Таблица 1

Рецептура сдобы «Воздушная» для выпечки контрольных образцов

Ингредиенты	Расход сырья, кг
Мука пшеничная хлебопекарная в/с	100,00
Молоко 3,2% жирности	20,00
Сахар	12,00
Маргарин	12,00
Яйцо куриное пищевое	10,00
Дрожжи хлебопекарные прессованные	4,50
Глофа экстракт светлый	2,00
Соль поваренная пищевая	1,20
Ирексол софт	0,50
Вода питьевая	по расчету

Органолептическую оценку муки проводили по ГОСТ 27558-87, готовых изделий – по ГОСТ 5667-65. Влажность муки определяли по ГОСТ 9404-88, количество и качество клейковины – по ГОСТ 27839-13, содержание белка – по ГОСТ 10846-81, жира – по МУ 4237-86. Содержание влаги в изделиях определяли по ГОСТ 21094-75, жира – по ГОСТ 5668-68, кислотность – по ГОСТ 5670-96. Содержание белка, сахаров, пищевых волокон, ниацина, ретинола, токоферола, холекальциферола изучали согласно общепринятым методикам [13], содержание тиамина определяли по ГОСТ 29138-91, рибофлавина – по ГОСТ 29139-91, кальция, марганца и магния – по Р 4.1.1672-03, железа, меди, цинка – по ГОСТ 30178-96, фосфора – по ГОСТ 30615-99, селена – по М 04-33-2004.

Результаты и обсуждение

По внешнему виду мука киноа белой не имела существенных отличий от муки из пшеничного сырья (рис. 1). Однако ее цвет имел бежевый оттенок, а ее вкус – легкий привкус горечи, обусловленный присутствием сапонинов [5], которые ограничивают использование сырья в больших количествах. Нетрадиционное сырье (табл. 2) отличалось от пшеничной муки повышенным содержанием

ем липидов (в 3,4 раза), пищевых волокон (на 51,3%), сахаров (на 24,6%), белка (на 22,1%), витаминов: В₂ (в 7,3 раза) и В₁ (на 40,0%), минеральных элементов: Mg (в 5,5 раза), P и Cu (в 3,8–3,9 раза), Se (в 3,5 раза), Mn (в 2,8 раза), Zn (в 1,7 раза), Fe (в 1,5 раза) при отсутствии клейковины и нескольких низких уровнях витамина PP (на 27,7%) и макроэлемента Ca (на 39,5%). При этом химический состав муки цельнозерновой киноа белой производства ООО «Продукты XXII века» соответствовал общеизвестным данным, приведенным в ряде научных работ [2–6]. Мука пшеничная хлебопекарная имела I группу качества клейковины со средними (хорошими) свойствами.

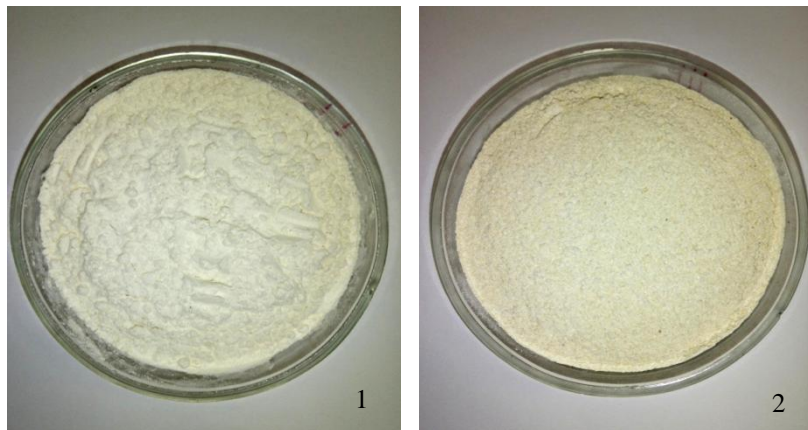


Рис. 1. Внешний вид сырья:
1 – мука пшеничная;
2 – мука киноа белой

Таблица 2

Химический состав использованного растительного сырья [литературные и собственные данные]

Показатель	Химический состав муки из киноа белой. Литературные данные	Результаты испытаний		
		Мука пшеничная	Мука киноа белой	
Массовая доля влаги, %	13,2 [9]	11,9 ± 0,3	11,9 ± 0,2	
Массовая доля жира, %	6,0 [9]	1,21 ± 0,04	4,13 ± 0,02	
Массовая доля белка, %	14,0 [9]	11,3 ± 0,3	13,8 ± 0,2	
Содержание сахаров, %	0,87 [5]	1,30 ± 0,02	1,62 ± 0,03	
Количество клейковины, %	–	30,8 ± 0,9	–	
Качество клейковины, ед. ИДК	–	54,0 ± 1,4	–	
Содержание пищевых волокон, г/100 г	7 [9]	3,90 ± 0,03	5,90 ± 0,02	
		растворимых	1,00 ± 0,02	2,50 ± 0,02
		нерастворимых	2,90 ± 0,06	3,40 ± 0,03
Содержание витаминов:				
PP (ниацин), мг/100 г	1,5 [9]	1,91 ± 0,03	1,38 ± 0,02	
В ₁ (тиамин), мг/100 г	0,36 [9]	0,25 ± 0,08	0,35 ± 0,09	
В ₂ (рибофлавин), мг/100 г	0,32 [9]	0,04 ± 0,01	0,29 ± 0,07	
A (ретинол), мг/кг	0,53 [5]	< 0,2	< 0,2	
E (токоферол), мг/кг	24,4 [9]	< 25	< 25	
D ₃ (холекальциферол), мг/кг	–	< 0,5	< 0,5	
Содержание минеральных элементов, мг/кг:				
P	4570 [9]	880,11 ± 69,02	3354,34 ± 247,65	
Ca	470 [9]	2008,64 ± 43,13	1214,97 ± 101,24	
Cu	5,9 [9]	1,33 ± 0,15	5,19 ± 0,33	
Fe	46 [9]	22,90 ± 1,78	35,20 ± 3,42	
Mg	1970 [9]	380,53 ± 25,31	2088,22 ± 177,53	
Zn	31 [9]	19,30 ± 1,44	33,11 ± 3,46	
Mn	20,3 [9]	13,51 ± 0,22	38,45 ± 3,28	
Se	–	0,20 ± 0,05	0,70 ± 0,17	

Сенсорная сочетаемость используемого сырья позволила получить опытные разработки сдобы с высокими потребительскими характеристиками (рис. 2). Использование даже максимального замещения (13%) пшеничной муки на нетрадиционное сырье не ухудшило цветовые и вкусовые свойства готовых изделий.

Форма выпеченных образцов была округлая, правильная; поверхность – равномерно отделана крошкой и дробленым арахисом; цвет мякиша – светло-желтый равномерный по всей массе, цвет поверхности изделий – светло-коричневый; состояние мякиша – пропеченный, невлажный на ощупь,

эластичный, без следов непромеса; пористость – развитая, тонкостенная, без пустот и уплотнений; запах и вкус – сладкие, свойственные данному виду продукта, без постороннего привкуса.



Рис. 2. Внешний вид лабораторных образцов сдобы «Воздушная» с разным количеством муки из киноа белой

В этой связи в дальнейших исследованиях сравнивали пробы традиционной рецептуры и образцы изделий с добавлением 13% муки цельнозерновой киноа белой. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели качества и пищевая ценность лабораторных образцов сдобы «Воздушная»

Показатель	Результаты испытаний	
	контроль	+ 13% муки киноа
Массовая доля влаги, %	32,6 ± 1,2	33,2 ± 1,2
Массовая доля белка, %	10,7 ± 0,4	10,8 ± 0,3
Массовая доля сахара, %	9,6 ± 0,3	9,6 ± 0,2
Массовая доля жира, %	7,3 ± 0,2	7,4 ± 0,2
Кислотность, град.	2,2 ± 0,1	2,3 ± 0,1
Содержание пищевых волокон, г/100 г	3,03 ± 0,03	3,22 ± 0,02
	растворимых	1,32 ± 0,02
	нерастворимых	1,71 ± 0,04
Содержание витаминов:		
В ₁ (тиамин), мг/100 г	0,14 ± 0,04	0,15 ± 0,03
В ₂ (рибофлавин), мг/100 г	0,23 ± 0,06	0,26 ± 0,06
А (ретинол), мг/кг	< 0,2	< 0,2
Е (токоферол), мг/кг	< 25	< 25
Д ₃ (холекальциферол), мг/кг	< 0,5	< 0,5
Содержание минеральных элементов, мг/кг:		
Р	970,18 ± 69,02	1282,33 ± 91,67
Са	2203,32 ± 163,13	2085,90 ± 151,78
Сu	1,02 ± 0,15	1,44 ± 0,18
Fe	19,84 ± 1,78	21,26 ± 1,94
Mg	392,67 ± 29,31	610,18 ± 56,52
Zn	16,30 ± 1,44	17,80 ± 1,61
Mn	14,58 ± 1,02	17,11 ± 1,12
Se	0,21 ± 0,04	0,27 ± 0,05

Определено, что физико-химические показатели опытного образца не имели существенных отличий от контрольной пробы. Однако содержание эссенциальных нутриентов, а именно минеральных элементов в изделиях модифицированной рецептуры было выше: Mg – в 1,6 раза, P и Cu – в 1,3–1,4 раза, Se – на 28,6%, Mn – на 17,3%, Zn – на 9,2%, Fe – на 7,1%; витамина В₂ – на 14,1%; пищевых волокон – на 6,3%.

Заключение

Изучена пищевая ценность муки цельнозерновой киноа белой и пшеничной муки высшего сорта в сравнительном аспекте. Показано превосходство нетрадиционного сырья по содержанию липидов, пищевых волокон, сахаров, белка, витаминов В₂ и В₁, минеральных элементов: Mg, P, Cu, Se, Mn, Zn, Fe при отсутствии клейковины и несколько меньших уровнях витамина PP и макроэлемента Са. Замещение в рецептуре сдобы «Воздушная» в исследуемых дозировках пшеничного сырья на муку киноа не оказывает отрицательного влияния на органолептические

и физико-химические показатели готовых изделий. Замена 13% хлебопекарной муки на нетрадиционное сырье (муку киноа) в составе сдобной продукции позволяет получить образцы изделий с повышенным содержанием минеральных элементов, рибофлавина, пищевых волокон. Результаты исследований использованы при разработке рецептуры булочек «Малышка».

Исследования выполнены при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.А03.21.0011.

Литература

1. *Матвеева Т.В., Корячкина С.Я.* Физиологически функциональные пищевые ингредиенты для хлебобулочных и кондитерских изделий. Орел, 2012. 947 с.
2. *Абдуллаева М.С., Надточий Л.А.* Оценка пищевой ценности культуры киноа // Символ науки. 2016. № 1-2 (13). С. 9–11.
3. *Давыдова Я.В., Борисова А.В.* Разработка рецептур блюд из нетрадиционных видов круп // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2019. № 2 (143). С. 127–134.
4. *Беркетова Л.В., Еремина С.В.* Протеинсодержащие продукты – как альтернатива источникам белка в рационе // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4, № 8 (143). С. 154–161.
5. *Крупнов В.А.* Производство киноа в Перу // Успехи современной науки. 2017. Т. 2, № 5. С. 147–150.
6. *Искандарова Г.Ф., Камалетдинова Э.З., Гумеров Т.Ю.* Оценка качества готовых блюд, обогащенных растительными ингредиентами // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. 2017. № 1. С. 8–12.
7. *Ручкина Н.* Киноа // Химия и жизнь. 2017. № 4. С. 36–37.
8. *Меркулова Н.Ю., Наливайко Д.С.* Исследование жирнокислотного состава семян киноа // Хлебопродукты. 2015. № 5. С. 56–57.
9. *Бахмет М.П., Мацакова Н.В., Меретукова С.Б., Касьянов Г.И., Гриценко Д.Г.* Разработка технологии производства печенья из смеси ржаной муки и муки крупяных культур // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2015. № 4 (346). С. 72–74.
10. *Меркулов Н.Ю., Наливайко Д.С., Новопашин С.Н.* Разработка рецептуры и исследование состава изделий с использованием семян киноа // Хлебопродукты. 2015. № 8. С. 46–47.
11. *Белявская, И.Г., Богатырева, Т.Г., Нефедова, Т.С., Новикова Д.О., Уварова А.Г.* Использование муки псевдозерновой культуры киноа в технологии хлебобулочных изделий // Хлебопечение России. 2018. № 2. С. 19–24.
12. *Елисеева Л.Г., Жиркова Е.В., Кокорина Д.С.* Формирование показателей качества и пищевой ценности пшеничного хлеба с применением муки киноа // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № 2-3 (368-369). С. 35–38.
13. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов / под ред. *И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна.* М.: Брандес, Медицина, 1998. – 342 с.

Информация об авторах Information about the authors

Бец Юлия Александровна – ООО ИК «Антей»; 454048, Россия, Челябинск; ведущий специалист; v.lyulkovitch@ya.ru

Betz Julia Alexandrovna – LLC “Antey”, 454048, Russia, Chelyabinsk; Leading Specialist; v.lyulkovitch@ya.ru

Наумова Наталья Леонидовна – Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет); 454080, Россия, Челябинск; доктор технических наук; доцент; профессор кафедры пищевых и биотехнологий; n.naumova@inbox.ru

Naumova Natalya Leonidovna – South Ural State University (National Research University); 454080, Russia, Chelyabinsk; Doctor of Technical Sciences; Docent; Professor of Food and Biotechnology Chair; n.naumova@inbox.ru

УДК 664.66

Е.С. Фазылова, Н.Л. Наумова, Ю.К. Еремина**ФРАНЦУЗСКИЙ БАГЕТ С ДОБАВЛЕНИЕМ ЛЬНЯНОЙ МУКИ**

В статье представлены результаты изучения влияния различных дозировок муки льняной с селеном, калием, магнием производства ООО НПО «Компас здоровья» на формирование потребительских свойств и пищевую ценность багета. Исследованы и физико-химические характеристики льняного сырья в сравнительном аспекте с пшеничной мукой первого сорта. Установлено, что замещение пшеничной муки в рецептуре багета в дозировке 20% на льняное сырье ухудшает потребительские характеристики готовой продукции, а именно цвет изделий становится коричневым, мякиш – менее эластичным, пористость – менее развитой, во вкусе появляется привкус льна. Замена 15% пшеничной муки на нетрадиционный материал в составе изделий позволяет получить багет с повышенным содержанием белка (в 1,9 раза), жира (в 1,6 раза), минеральных элементов (Mg – в 2,6 раза, K – в 2,1 раза, Ca и Cu – в 1,7 раза, Fe – в 1,6 раза, P и Zn – в 1,5 раза, Si и Mn – в 1,3–1,4 раза), пищевых волокон (на 36,6%).

Ключевые слова: мука пшеничная, мука льняная, селен, калий, магний, химический состав сырья, пищевая ценность изделий.

E.S. Fazylova, N.L. Naumova, J.K. Eremina**FRENCH BAGUETTE WITH FLAX MEAL ADDITION**

The study results of the effect of flax meal with selenium, potassium, magnesium produced by RPA “Compass of Health” LLC on the formation of consumer properties and nutritional value of baguette were resented in the article. The physico-chemical characteristics of flax raw materials in a comparison with wheat flour of the first grade are investigated. It was found that replacing wheat flour in a baguette recipe in a dosage of 20% with flax raw materials worsens the consumer characteristics of the finished product, namely the color of the products becomes brown, the crumb is less elastic, the porosity is less developed, the taste of flax appears. Replacing 15% of wheat flour with non-traditional material in the composition of the products allows to get a baguette with a high content of protein (1,9 times), fat (1,6 times), mineral elements (magnesium – 2,6 times, potassium – 2, 1 time, calcium and copper – 1,7 times, iron – 1,6 times, phosphorus and zinc – 1,5 times, manganese and silicon – 1,3–1,4 times), dietary fiber (36,6%).

Key words: wheat flour, flax meal, selenium, potassium, magnesium, chemical composition of raw materials, nutritional value of products.

*DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-40-45***Введение**

В настоящее время кроме традиционных массовых сортов хлеба производители предлагают потребителям европейские хлебобулочные изделия. Так, к примеру, популярность на рынке приобрел багет [1–6]. Анализ показывает, что стоимость багетов так же, как их масса, находится в разных категориях. Продукция, выработанная крупными хлебопекарными предприятиями, имеет цену 160–190 руб. за кг, а изделия, изготовленные малыми пекарнями розничной торговли, имеют цену 48–70 руб. за кг, что является приемлемым для покупателей. При этом масса багетов колеблется от 115 до 300 г [5, 6].

В целях улучшения качества и повышения пищевой ценности продукции применяются технологии производства багета с добавлением нутовой муки в количестве 20% от массы пшеничной, с композицией овощных (морковного, тыквенного, кабачкового) порошков (до 8%), кукурузной муки до (до 40%), сыра (2%) и других ингредиентов [7–9].

Известно, что в льняной муке по сравнению с пшеничной содержится в среднем в 6–8 раз больше пищевых волокон, в 2,5 раза – белков, в 5 раз – жиров. В минеральном комплексе

обезжиренной льняной муки преобладают калий, фосфор, магний, также содержатся железо, цинк, марганец [10, 11]. Целью настоящего исследования явилось изучение возможности применения льняной муки в технологии приготовления багета.

Материалы и методы

Объектами для испытаний являлись образцы сырья и готовых продуктов:

– мука пшеничная хлебопекарная первого сорта (ГОСТ 26574-2017) производства АО «Шадринский комбинат хлебопродуктов», Курганская область, г. Шадринск;

– мука льняная с селеном, калием, магнием (СТО 68311059-005-2011) производства ООО НПО «Компас здоровья», г. Новосибирск;

– модельные образцы багета «Бон Багет» (ТУ 9110-003-18256266-04) производства ООО «ИРЕКС». Контрольные пробы выпекали по традиционной рецептуре (мука пшеничная первого сорта, смесь хлебопекарная «Бон Багет», дрожжи прессованные, вода питьевая);

– опытные образцы багета с заменой 10, 15 и 20% пшеничной муки на аналогичное количество льняной. Изделия выпекали массой нетто 0,3 кг.

Органолептическую оценку муки проводили по ГОСТ 27558-87, готовых изделий – по ГОСТ 5667-65. Влажность муки определяли по ГОСТ 9404-88, количество белка – по ГОСТ 10846-81, жира – по МУ 4237-86. Содержание влаги в багете определяли по ГОСТ 21094-75, жира – по ГОСТ 5668-68, кислотность – по ГОСТ 5670-96. Содержание белка, пищевых волокон изучали согласно общепринятым методикам [12], содержание минеральных элементов – на эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой iCAP 7200 DUO (Фирма «Thermo Fisher Scientific», США) с программным обеспечением iTeva iCAP Software.

Результаты и обсуждение

Мука из семян льна отличалась от пшеничного сырья ярко выраженным коричнево-серым цветом, специфическим легким послевкусием, обусловленным присутствием гидроколлоидов [10, 11], имела обезличенный запах и сладковатый свойственный привкус. Прежде всего, нами была установлена относительно приемлемая сенсорная сочетаемость изучаемых материалов, позволяющая замещать часть пшеничной муки на нетрадиционное сырье в составе сложных пищевых смесей.

Испытания физико-химических характеристик изучаемого сырья позволили подтвердить общеизвестное превосходство льняной муки по отдельным показателям пищевой ценности по сравнению с пшеничной хлебопекарной мукой первого сорта. В изученных нами образцах по количеству макронутриентов нетрадиционная мука по сравнению с обычной содержала существенно больше жира (в 8,5 раза), белка (в 4,3 раза), пищевых волокон (в 3,2 раза), из них нерастворимых – в 2,8 раза, растворимых – в 4,4 раза (табл. 1).

Зольность сырья из семян льна была в 5,2 раза выше аналогичного показателя у пшеничной муки, что проявилось при изучении их элементного состава. Мука льняная с селеном, калием, магнием производства ООО НПО «Компас здоровья» выгодно отличалась количеством следующих минеральных элементов: К (больше в 33,3 раза), Са (в 27,2 раза), Sr (в 17 раз), Mg (в 16,2 раза), Fe (в 8,5 раза), Cu (в 6,1 раза), Р и Zn (в 4,8–4,9 раза), Si и Mn (в 4,3 раза), Cr (в 2 раза), в ней присутствовали также Li, Na, Al, В, Со. Однако по содержанию Se, Те и Ag она уступала пшеничному сырью. Уровни In и Pb находились в одном количественном диапазоне. Стоит отметить, что индий не имеет ярко выраженной метаболической роли в организме, а его избыток, как и избыток свинца, может вызвать заболевания внутренних органов.

Оценка органолептических показателей модельных образцов багета показала, что замещение пшеничной хлебопекарной муки в дозировке 20% на нетрадиционный материал ухудшает потребительские характеристики готовой продукции (табл. 2). Так, цвет изделий становится коричневым, мякиш – менее эластичным, пористость – менее развитой, во вкусе появляется привкус льна. В этой связи рекомендуемыми диапазонами применения льняной муки в рецептурах багета являются интервалы до 15% включительно.

Таблица 1

Физико-химические показатели и пищевая ценность изучаемого сырья

Показатель	Результаты испытаний	
	Мука пшеничная 1 с	Мука льняная с добавлением селена, калия, магния
Влажность, %	12,5 ± 0,3	8,1 ± 0,3
Содержание белка, %	7,9 ± 0,4	34,3 ± 0,4
Содержание жира, %	1,5 ± 0,1	12,8 ± 0,3
Содержание пищевых волокон, г/100 г, в т. ч.:	3,91 ± 0,03	12,51 ± 0,03
растворимых	1,00 ± 0,02	4,41 ± 0,03
нерастворимых	2,91 ± 0,03	8,10 ± 0,03
Зольность в пересчете на сухое вещество, %	0,58 ± 0,02	3,01 ± 0,04
Минеральные элементы, мг/кг, в т. ч.:		
Ag	0,11 ± 0,01	0,06 ± 0,02
Al	–	4,66 ± 0,35
B	–	14,7 ± 1,38
Ca	11,24 ± 0,10	306,00 ± 24,66
Co	–	0,10 ± 0,01
Cr	1,51 ± 0,03	2,99 ± 0,27
Cu	2,20 ± 0,07	13,39 ± 1,13
Fe	2,49 ± 0,08	21,09 ± 1,92
In	10,53 ± 0,81	10,01 ± 0,77
K	302,02 ± 25,85	10052,00 ± 783,22
Li	18,72 ± 1,62	20,02 ± 1,82
Mg	20,86 ± 1,77	339,00 ± 28,44
Mn	1,72 ± 0,13	7,48 ± 0,61
Na	–	81,00 ± 7,11
Ni	1,03 ± 0,04	1,82 ± 0,17
P	1238,04 ± 109,54	5901,24 ± 432,41
Pb	1,56 ± 0,11	1,63 ± 0,12
Se	1,03 ± 0,10	0,87 ± 0,03
Si	1,88 ± 0,16	8,18 ± 0,74
Sn	1,15 ± 0,11	2,05 ± 0,13
Sr	0,23 ± 0,02	3,91 ± 0,32
Te	8,07 ± 0,71	7,68 ± 0,60
Zn	6,70 ± 0,58	33,11 ± 2,39

Таблица 2

Органолептические показатели готовой продукции

Показатель	Результаты испытаний			
	Контроль	+ 10% нетрадиционной муки	+ 15% нетрадиционной муки	+ 20% нетрадиционной муки
Внешний вид:				
форма	продолговато-овальная, нерасплывчатая			
поверхность	с глубокими косыми надрезами, без крупных трещин и подрывов			
цвет	светло-желтый	светло-желтый с коричневым оттенком	светло-коричневый	коричневый
Состояние мякиша:				
пропеченность	пропеченный, невлажный на ощупь, эластичный			менее эластичный
промес	без комочков и следов непромеса			
пористость	развитая, неравномерная, без пустот и уплотнений			менее развитая
Запах	свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха			
Вкус	свойственный данному виду изделия, без постороннего привкуса			с льняным привкусом

В дальнейших исследованиях показателей качества и химического состава готовой продукции использовали контрольный и экспериментальный образцы с дозировкой нетрадиционной муки 15% (табл. 3).

Таблица 3

Качество и пищевая ценность готовой продукции

Показатель	Результаты испытаний	
	Контроль	+ 15% нетрадиционной муки
Кислотность, градусы	2,5 ± 0,3	2,7 ± 0,3
Влажность, %	42,2 ± 1,3	43,3 ± 1,5
Содержание белка, %	4,4 ± 0,4	8,3 ± 0,5
Содержание жира, %	2,6 ± 0,1	4,1 ± 0,3
Содержание пищевых волокон, г/100 г, в т. ч.:	3,50 ± 0,03 (17,5*)	4,78 ± 0,04 (23,9*)
растворимых	1,00 ± 0,02	1,50 ± 0,03
нерастворимых	2,50 ± 0,03	3,28 ± 0,04
Минеральные элементы, мг/кг, в т. ч.:		
Ag	0,18 ± 0,02	0,17 ± 0,02
Al	–	0,63 ± 0,05
B	–	2,20 ± 0,20
Ca	58,84 ± 0,50 (0,6*)	101,54 ± 7,13 (1,0*)
Co	0,030 ± 0,002	0,043 ± 0,004
Cr	1,70 ± 0,07 (0,3*)	1,90 ± 0,17 (0,4*)
Cu	2,25 ± 0,17 (22,5*)	3,89 ± 0,22 (38,9*)
Fe	4,00 ± 0,28 (4,0 и 2,2*)	6,61 ± 0,42 (6,6 и 3,7*)
In	10,06 ± 0,81	9,07 ± 0,61
K	1416,00 ± 95,85 (5,6*)	2799,67 ± 101,04 (11,2*)
Li	16,37 ± 1,62	16,52 ± 1,51
Mg	29,22 ± 2,77 (0,7*)	74,91 ± 6,44 (1,9*)
Mn	2,56 ± 0,21 (12,8*)	3,41 ± 0,30 (17,1*)
Na	2662,00 ± 115,32 (20,5*)	2674,15 ± 117,11 (20,6*)
Ni	1,40 ± 0,04	1,51 ± 0,13
P	1427,00 ± 109,54 (17,8*)	2120,24 ± 200,41 (26,5*)
Pb	1,28 ± 0,11	1,29 ± 0,12
Se	0,69 ± 0,05 (0,1*)	0,67 ± 0,05 (0,1*)
Si	2,52 ± 0,16	3,42 ± 0,17
Sn	1,18 ± 0,11	1,30 ± 0,12
Sr	0,43 ± 0,02	0,91 ± 0,04
Te	6,62 ± 0,51	6,54 ± 0,50
V	0,011 ± 0,001	0,011 ± 0,001
Zn	8,11 ± 0,58 (3,3*)	12,00 ± 1,10 (4,8*)

* Удовлетворение суточной потребности при употреблении 100 г багета, %.

Влажность и кислотность опытных проб багета не превысила регламентированных требований и составила не более 44% и 3 градусов соответственно. Большинство показателей пищевой ценности у образцов с добавлением льняной муки было выше, чем у продукции традиционной рецептуры. Так, содержание белка увеличилось в 1,9 раза, липидов – в 1,6 раза, пищевых волокон – на 36,6% (из них растворимых – на 50%, нерастворимых – на 31,2%). Количество отдельных минералов также выросло: Mg (в 2,6 раза), Sr и K (в 2,0–2,1 раза), Ca и Cu (в 1,7 раза), Fe (в 1,6 раза), P и Zn (в 1,5 раза), Mn и Si (в 1,3–1,4 раза), а также Al, B, Cr. За счет применения смеси «Бон Багет» во всех образцах выявлено содержание Na, Co и V. Уровни Ag, In и Pb находились в одном количественном диапазоне.

Известно, что белки льняной муки отличаются высоким содержанием наиболее ценных водорастворимых фракций – альбуминов (до 45,3%) [13], а полиненасыщенные жирные кислоты льняного масла обладают широким спектром противовоспалительных и кардиопротективных эффектов, участвуют в регуляции различных процессов, протекающих в митохондриях [14]. Повышенное содержание пищевых волокон в новой разработке багета позволит снизить риск развития рака толстой кишки, запоров, желчекаменной болезни, сахарного диабета, ожирения и др. [15], а установленные уровни таких минеральных элементов, как Cu, P, Mn, K, позволяют рассматривать багет с добавлением льняной муки как обогащенный продукт питания.

Расчет удовлетворения суточной потребности взрослого человека в основных пищевых веществах при употреблении 100 г багета проводили согласно нормам, прописанным в МР 2.3.1.2432-08. Определено, что инновационная разработка багета позволяет удовлетворить несколько большую потребность человека в Cu (на 38,9%), P (на 26,5%), Mn (на 17,1%), K (на 11,2%), пищевых волокнах (на 23,9%).

Заключение

Изучено физико-химические показатели и пищевая ценность муки льняной с селеном, калием, магнием и пшеничной муки первого сорта в сравнительном аспекте. Показано превосходство нетрадиционного сырья по содержанию белка, жиров, пищевых волокон, минеральных элементов: K, Ca, Sr, Mg, Fe, Cu, P, Zn, Si, Mn, Cr – при несколько меньших количествах Se, Te, Ag. Замена 15% пшеничной муки нетрадиционным сырьем (мукой льняной) в составе изделий позволяет получить багет с повышенным содержанием белка, жира, минеральных элементов, пищевых волокон. Замещение пшеничной хлебопекарной муки в рецептуре багета на льняное сырье в количестве 20% приводит к ухудшению потребительских характеристик готовой продукции.

Работа выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.A03.21.0011.

Литература

1. *Агапкин А.М.* Состояние ассортимента и качества пшеничного хлеба современной розничной торговли // Товаровед продовольственных товаров. 2016. № 7. С. 48–53.
2. *Агапкин А.М., Калинина О.М.* Товароведная характеристика новых сортов пшеничного хлеба // Евразийское научное объединение. 2016. Т. 1, № 3 (15). С. 31–35.
3. *Глушков К.В.* Разработка технологии производства багета «Луковый» и определение его показателей качества // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов в 9 частях. 2016. С. 265–266.
4. *Балеевских А.С., Ясырева А.А.* Экспертиза качества пшеничного хлеба «Багет» на Пермском потребительском рынке // Агропродовольственная экономика. 2019. № 4. С. 7–14.
5. *Нилова Л.П.* Европейский хлеб. Баланс цены и качества // Научный альманах. 2016. № 7-1 (21). С. 144–147.
6. *Малютенкова С.М., Тверской В.Р.* Анализ факторов качества европейских сортов хлеба // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании: материалы Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к юбилею заслуженного деятеля науки РФ В.М. Позняковского. 2017. С. 145–149.
7. *Кузьмина Н.С.* Разработка багета с кукурузной мукой и сыром // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 4-3. С. 402–403.
8. *Клочкова И.С., Давидович В.В.* Технология хлебобулочных изделий с использованием белоксодержащего растительного сырья // Научные труды Дальрыбвтуза. 2018. Т. 46, № 3. С. 62–67.
9. *Березина Н.А., Хмелева Е.В., Корячкина С.Я., Шведова М.Н., Загородная А.С., Титова М.В.* Оптимизация композиции нетрадиционного сырья для обогащения хлебобулочных изделий // Безопасность и качество товаров: материалы XIII международной научно-практической конференции. 2019. С. 37–40.
10. *Новицкая Е.А.* Теоретическое обоснование использования муки льна в производстве мучных изделий // Стратегия развития индустрии гостеприимства и туризма: сборник научных трудов. 2016. С. 166–168.
11. *Конева С.И., Егорова Е.Ю., Козубова Л.А., Резниченко И.Ю.* Влияние льняной муки на реологические свойства теста из смеси пшеничной и льняной муки и качество хлеба // Техника и технология пищевых продуктов. 2018. Т. 49, № 1. С. 85–96.
12. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов / под ред. *И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна.* М.: Брандес, Медицина, 1998. 342 с.
13. *Барсукова Н.В., Тырлова О.Ю.* Использование льняной муки в производстве кулинарных изделий специализированного назначения // Аграрный вестник Юго-Востока. 2016. № 1-2 (14-15). С. 71–74.
14. *Rohrbach S.* Effects of dietary polyunsaturated fatty acids on mitochondria // Current Pharmaceutical Design. 2009. Vol. 15. P. 4103–4116.
15. *Боков Д.О., Малинкин А.Д., Бессонов В.В., Байгарин Е.К.* Пищевые волокна и заболевания желудочно-кишечного тракта // Вопросы питания. 2015. Т. 84, № 52. С. 19–20.

Информация об авторах
Information about the authors

Фазылова Елизавета Садрыddenьевна – Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет); 454080, Россия, Челябинск; студент бакалавриата кафедры пищевых и биотехнологий; v.lyulkovitch@ya.ru

Fazylova Elizaveta Sadryddenievna – South Ural State University (National Research University), 454080, Russia, Chelyabinsk; the Undergraduate Student of Food and Biotechnologies Chair; v.lyulkovitch@ya.ru

Наумова Наталья Леонидовна – Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет); 454080, Россия, Челябинск; доктор технических наук; профессор кафедры пищевых и биотехнологий; n.naumova@inbox.ru

Naumova Natalya Leonidovna – South Ural State University (National Research University); 454080, Russia, Chelyabinsk; Doctor of Technical Sciences; Professor of the Food and Biotechnologies Chair; n.naumova@inbox.ru

Еремина Юлия Константиновна – ООО ИК «Антей»; 454048, Россия, Челябинск; ведущий специалист; x.shcheveva@yandex.ru

Eremina Julia Konstantinovna – LLC “Antey”; 454048, Russia, Chelyabinsk; Leading Specialist; x.shcheveva@yandex.ru

РАЗДЕЛ II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК [582.272.46:581.95]"2018-2019" (265.53)

А.В. Климова, А.А. Матвеев

НАХОДКИ ЛАМИНАРИЕВЫХ И ДРУГИХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В УЛОВАХ ДОННЫМ ТРАЛОМ У ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ В 2018–2019 ГГ.

Приводятся сведения о морских водорослях-макрофитах, обнаруженных при проведении летних донных траловых съемок на западнокамчатском шельфе в 2018–2019 гг. Собранные виды были представлены практически целыми слоевищами, крупными хорошо опознаваемыми фрагментами слоевищ или в большинстве случаев крупнодисперсным детритом, определить в котором остатки водорослей до видов не представлялось возможным. Всего были идентифицированы 9 видов водорослей, 6 из них принадлежат к порядку Laminariales. Один из найденных видов, *Thalassiophyllum clathrus*, в научной литературе, содержащей сведения по альгофлоре юго-западной Камчатки, до сих пор не указывался ни как представитель донной флоры, ни как заносный. Макроводоросли попадались в орудие лова при проведении тралений на глубинах от 36 до 101 м. Практически весь обработанный авторами альгологический материал был собран на юге Камчатки на участках шельфа, расположенных от 51° с. ш. до 53° с. ш. Два вида, *Laminaria inclinatorhiza* и *Fucus distichus*, были обнаружены значительно севернее, в районе устья реки Хайрюзова¹.

Ключевые слова: макроводоросли, глубоководные выбросы, Laminariales, *Arthrothamnus bifidus*, *Thalassiophyllum clathrus*, донные траления, западная Камчатка.

A.V. Klimova, A.A. Matveev

KELP AND OTHER MACROPHYTES FINDS IN BOTTOM TRAWL CATCHES AT THE WESTERN COAST OF KAMCHATKA DURING 2018–2019

The data on macroalgae found during summer bottom trawl surveys on the Western Kamchatka shelf during 2018–2019 are presented. The collected species were represented by almost whole thallus, large well-identifiable fragments of thallus, or in most cases, large-dispersed detritus, in which it was not possible to determine the remains of algae before the species. Totally, 9 species of algae have been identified, 6 of them belong to Laminariales. One of the found species, *Thalassiophyllum clathrus*, has been listed yet in the scientific literature containing information on the alga flora of south-western Kamchatka, neither as a representative of the bottom flora nor as an alien species. Macroalgae were caught in bottom trawl gear at depths from 36 to 101 m. Almost all algological material processed by the authors was collected in the South of Kamchatka on the shelf areas located from 51°N to 53°N. Two species, *Laminaria inclinatorhiza* and *Fucus distichus*, were found much further North, near the mouth of the Khairyuzov river¹.

Key words: macroalgae, deepwater drifting plants, Laminariales, *Arthrothamnus bifidus*, *Thalassiophyllum clathrus*, bottom trawling, western Kamchatka.

DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-46-54

Введение

Изучение водорослей-макрофитов Дальнего Востока России имеет длительную историю. Началось оно в XVIII в., одновременно с освоением морских восточных окраин Российской Империи, когда участники первых военных экспедиций одновременно с выполнением прямых служебных обязанностей вели сбор представителей морской флоры и фауны, осуществляли гидрологические и гидрографические исследования. Первая флористическая сводка здесь была подготовлена С.Г. Гmeliным в 1768 г. Для нее он использовал немногочисленные гербарные

¹ Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-04-00285 А (This study was supported by the grant from Russian Foundation for Basic Research (RFBR) (project № 19-04-00285 A)).

коллекции Г. Стеллера и С.П. Крашенинникова [1]. Последующие более обстоятельные работы по водорослям северной и северо-западной частей Тихого океана были подготовлены учеными А. Постельсом и Ф.И. Рупрехтом и шведским альгологом Ф.Р. Чельманом [2–4].

В прошлом столетии изучение состава и структуры макрофитобентоса на российском Дальнем Востоке велось уже на регулярной основе. В разные годы альгофлористические исследования и альгопромисловые съемки вели сотрудники рыбохозяйственных институтов – ВНИРО, ТИНРО, СахНИРО, МагаданНИРО, а также институтов Российской академии наук – Института океанологии им. П.П. Ширшова, Ботанического института им. В.Л. Комарова, Института биологии моря им. А.В. Жирмунского, Института географии ДВО РАН. Однако, несмотря на большой объем исследований, выполненных в разных участках обширного российского побережья работавшими в них специалистами-альгологами, видовой состав альгофлоры для целого ряда районов остался слабо или совсем неизученным. Поэтому неудивительно, что в новом тысячелетии морские ботаники активно продолжали проведение альгологических исследований и публикацию данных по уточнению альгофлористических списков отдельных участков дальневосточных морей [5–13].

Одним из наименее изученных районов российского Дальнего Востока остается западная Камчатка, особенно самая южная ее часть. Первые упоминания о произрастающих здесь морских водорослях встречаются в работе Ф.И. Рупрехта [3], изучившего сборы И.Г. Вознесенского, обследовавшего в первой половине XIX в. юго-западное побережье Камчатки от м. Лопатка до устья р. Большая. Эти материалы в дальнейшем критически пересматривали Н.Н. Воронихин [14], Т. Арвидсон [15] и Е.С. Зинова [16]. Позднее, в 1964–1965 гг. в этом районе были проведены совместные экспедиции ВНИРО и ТИНРО. В них принимали участие альгологи В.Б. Возжинская и Е.И. Блинова. Результаты обработки собранного ими материала были опубликованы в работах, посвященных описанию видовой состава и распределения водорослей у западной Камчатки [17–19]. В общей сложности эти исследовательницы указали для нее 90 видов: 12 – зеленые (Chlorophyta), 30 – бурые (Phaeophyceae) и 48 – красные (Rhodophyta) [19].

После 1965 г. специальные флористические исследования на юге западной Камчатки не проводились, в то время как в близлежащих районах, расположенных южнее и севернее, они продолжались и в текущем столетии. В результате для северо-западной Камчатки ныне известно уже 169 видов (Chlorophyta – 34, Phaeophyceae – 55 и Rhodophyta – 80) [11], для Северных Курильских островов (о. Атласова, о. Шумшу и о. Парамушир) – 176 видов (Chlorophyta – 33, Phaeophyceae – 43 и Rhodophyta – 100) [6, 20], для юго-восточной Камчатки – 177 видов (Chlorophyta – 34, Phaeophyceae – 46 и Rhodophyta – 97) [21–23]. Сравнение списка водорослей-макрофитов юго-западной Камчатки со списками альгофлор других указанных выше районов показывает, насколько неполно в альгофлористическом отношении изучен этот весьма интересный в альгологическом отношении участок, где смешиваются между собой охотоморская, северокурильская и восточнокамчатская флоры и где у ряда видов, в том числе фонообразующих, проходят северные и южные границы ареалов.

В силу объективных причин в этом районе сложно организовать изучение состава и структуры макрофитобентоса. Поэтому любые проведенные здесь альгологические сборы представляют определенную ценность и важны для уточнения границ распространения видов, а также уточнения и дополнения списков видов морских водорослей. Настоящая работа основана на результатах обработки новых сборов. Она расширяет представления о видовом составе водорослей-макрофитов западнокамчатского шельфа и составе видов, проникающих на большие глубины и формирующих там подводные глубоководные выбросы.

Материалы и методы

Обработанные образцы водорослей были собраны в ходе проведения донных тралений у берегов западной Камчатки в период 2018–2019 гг. В 2018 г. донную траловую съемку выполняли с 28 мая по 3 июля на НИС «ТИНРО». В общей сложности за период работ было выполнено 220 станций, в том числе 115 в Камчатско-Курильской и 105 – в Западно-Камчатской промысловых подзонах. Исследования выполняли на глубинах от 12 до 211 м. В 2019 г. аналогичные работы на шельфе западной Камчатки были выполнены в период с 11 июня по 12 июля на НИС «Профессор Кагановский». Всего было выполнено 218 траловых станций на глубинах от 13 до 275 м, в том числе 107 – в Камчатско-Курильской и 111 – в Западно-Камчатской промысловых подзонах (рис. 1, 1). В 2018–2019 гг. в качестве орудия лова использовался донный трал 27,1/24,4 м со стандартным горизонтальным раскрытием 16,26 м.

Обнаруженные в донных тралах макроводоросли и их узнаваемые фрагменты разбирали по видам, фотографировали, отмечали дату их сбора и номер станции. Места сбора образцов и номера тралений приведены на рис. 1.

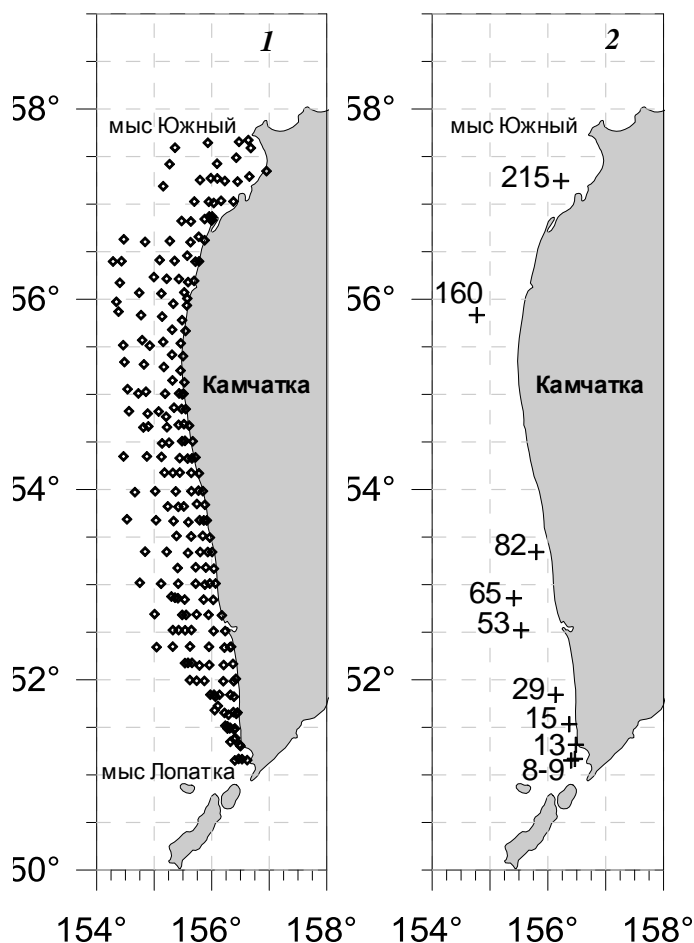


Рис. 1. Карта-схема района исследований у западной Камчатки: 1 – места тралений в 2019 г.; 2 – места тралений, в ходе которых в 2018–2019 гг. были собраны водоросли-макрофиты

Fig. 1. Schematic maps of study area near western coast of Kamchatka: 1 – all stations of bottom trawl surveys in 2019; 2 – collection sites of macrophytes in 2018–2019

Следует отметить, что учет водорослей при проведении донных тралений по ряду причин производился не всегда. Во-первых, они не являлись основными объектами исследований, поскольку их изучение не входило в научные программы экспедиций. Во-вторых, из-за высокой загруженности специалистов основной работой по выполнению рейсового задания сбор и фотографирование водорослей осуществлялись эпизодически. И, наконец, в-третьих, поднятые тралом макроводоросли довольно часто представляли собой обтрепанные, потерявшие естественный цвет фрагменты слоевищ, не поддающиеся идентификации. В связи с этим в настоящей работе представлена информация о находках только тех видов, определение которых было сделано на основе изучения целых образцов или их хорошо опознаваемых фрагментов.

Для определения таксономической принадлежности собранного материала использовали специальную научную литературу [8, 21–24]. Современный таксономический статус водорослей уточняли согласно AlgaeBase [25]. Ниже для каждого указанного в статье вида приводятся сведения о месте, дате сбора и глубинах, на которых выполнялось траление. Дополнительно дана информация о распространении этих же видов в альгофлоре сопредельных районов.

Результаты и обсуждение

За период проведения у западной Камчатки в 2018–2019 гг. донных траловых съемок водоросли были обнаружены в 10 тралениях. Видовая принадлежность была определена у девяти видов (рис. 2). Семь из них – представители класса Phaeophyceae и два – представители отдела Rhodophyta. В 2018 г. был обнаружен только 1 вид ламинариевых – *Arthrothamnus bifidus*. Остальные, указанные в настоящей работе виды, были собраны в 2019 г.

Координаты мест сбора водорослей и глубины донных тралений, проводившихся на шельфе западной Камчатки, приведены в таблице. Ниже приводится дополнительная информация об обнаруженных видах: даны некоторые их размерные характеристики, сведения о современной географическом распространении, указаны типы ареалов.

Бурые водоросли (Phaeophyceae)

Thalassiophyllum clathrus – юго-западная Камчатка, район, расположенный западнее залива Камбальский, траление № 9. Фрагмент пластины 30 см длины (рис. 2, 1). Ранее для западной Камчатки данный вид не указывался. В сопредельных районах он встречается у Курильских островов [26], юго-восточной Камчатки [22] и Алеутских островов [27]. Азиатско-американский высокобореальный вид.

Agarum turneri – юго-западная Камчатка, траления № 9, 53. Обнаруженные образцы представляли собой слоевища без ризоидов до 45 см длины или куски пластин до 28 см ширины (рис. 2, 2). Вид встречается у берегов восточной Камчатки, Командорских островов [22, 28], Алеутских островов и Аляски [27]. Азиатско-американский высокобореальный вид.

Alaria esculenta – юго-западная Камчатка, траления № 8, 29, 82. Найдены только фрагменты пластины с жилкой, не превышающие 120 см (рис. 2, 4). Вид отмечен у западной (акватория близ пос. Озерновский) и восточной (Авачинский залив) Камчатки [29, 30]. Арктическо-бореальный вид.

Места сбора водорослей и глубины тралений на шельфе западной Камчатки

Collection sites of macrophytes and data of bottom trawl surveys on the western coast of Kamchatka

№ п/п	№ траления	Дата траления	Вид	Координаты	Глубина, м	Примечание
1	15	29.05.2018	<i>Arthrothamnus bifidus</i>	51.533, 156.37	36	Куртина из 8 растений
2	8	12.06.2019	<i>Alaria esculenta</i>	51.168, 156.468	70	Фрагмент пластины
3	9	12.06.2019	<i>Arthrothamnus bifidus</i> , <i>Agarum turneri</i> , <i>Ptilota asplenioides</i> , <i>Thalassiophyllum clathrus</i>	51.152, 156.403	80	Куртина из 4 растений Слоевище без ризоидов Фрагмент ветви Фрагмент пластины
4	13	12.06.2019	<i>Turnerella mertensiana</i>	51.317, 156.485	60	Целое растение
5	29	14.06.2019	<i>Alaria esculenta</i>	51.842, 156.135	60	Фрагмент пластины
6	53	17.06.2019	<i>Agarum turneri</i>	52.52, 155.538	70	Слоевище без ризоидов
7	65	19.06.2019	<i>Eualaria fistulosa</i>	52.857, 155.413	71	Фрагмент пластины
8	82	21.06.2019	<i>Alaria esculenta</i>	53.343, 155.8	40	Фрагмент пластины
9	160	01.07.2019	<i>Fucus distichus</i> subsp. <i>evanescens</i>	55.833, 154.772	101	Куртина из нескольких растений
10	215	10.07.2019	<i>Laminaria inclinatorhiza</i>	57.243, 156.228	42	Слоевище без ризоидов

Eualaria fistulosa – юго-западная Камчатка, траление № 65. Найдено только фрагмент пластины с жилкой около 80 см длины, имеющей хорошо выраженные септы (рис. 2, 3). Вид распространен на юге Сахалина, у Курильских островов [6, 31], восточной Камчатки [22], Командорских [32] и Алеутских островов и Аляски [27]. Тихоокеанский высокобореальный вид.

Arthrothamnus bifidus – юго-западная Камчатка, траления № 9, 15. Обнаружены целые растения до 50 см длины (рис. 2, 5). Вид распространен в дальневосточных морях у берегов Хоккайдо [33], Курильских островов [6, 31] и Камчатки [22]. Есть указания на встречаемость этого вида у Командорских [2] и Алеутских [34] островов, но в настоящее время в островных флорах Берингова моря у Командорских и Алеутских островов этот вид уже не обнаруживают [27, 32]. Один из авторов настоящей работы, А.В. Климова, в 2013, 2016 и 2019 гг. изучала видовой состав ламинариевых водорослей о. Беринга, но ни разу не встретила там обсуждаемый вид. Полагаем, что к настоящему времени он сократил свой ареал и встречается уже только в приазиатских водах. На основании современных данных по распространению *A. bifidus* его следует считать приазиатским широкобореальным видом.

Laminaria inclinatorhiza – район близ устья р. Хайрюзова, западная Камчатка, траление № 215. Найдено слоевище без ризоидов, пластина со спороносной тканью, общая длина образца 40 см (рис. 2, 6). Эндемик северной части Охотского моря, распространен от Шантарских островов до западной Камчатки, включая северную часть материкового побережья [8, 22]. Приазиатский высокобореальный вид.

Fucus distichus subsp. *evanescens* – район севернее устья р. Ича, западная Камчатка, траление № 160. Несколько растений с 3–5 дихотомиями, наиболее развитые ветви с концептакулами, длина образцов не превышала 33 см (рис. 2, 7). Вид встречается во всех дальневосточных морях [22, 33, 35, 36], в том числе и у западного побережья Камчатки [21, 22]. Арктическо-бореальный вид.

Красные водоросли (Rhodophyta)

Ptilota asplenioides – район западнее зал. Камбальный, юго-западная Камчатка, траление № 9. Найдено фрагмент ветви длиной около 20 см (рис. 2, 8). Встречается в Охотском, Беринговом морях, у Шантарских островов, берегов Сахалина [9, 24], Хоккайдо [33], Курильских островов [6, 22], Камчатки [5, 23], Командорских [32] и Алеутских островов, Аляски [27]. Тихоокеанский широкобореальный вид.

Turnerella mertensiana – район севернее м. Сивучий, юго-западная Камчатка, траление № 13. Целое растение, слоевище 19 см в поперечнике (рис. 2, 9). Отмечен в Японском, Охотском морях, у берегов Курильских островов [6, 24], Камчатки [21, 23], Командорских островов [32] и американского побережья Тихого океана [27]. Тихоокеанский широкобореальный вид.



Рис. 2. Внешний вид водорослей, собранных в донных тралениях на шельфе западной Камчатки в летний период 2019 г.: 1 – *Thalassiophyllum clathrus*, 2 – *Agarum turneri*, 3 – *Eualaria fistulosa*, 4 – *Alaria esculenta*, 5 – *Arthrothamnus bifidus*, 6 – *Fucus distichus* subsp. *evanescens*, 7 – *Laminaria inclinatorhiza*, 8 – *Ptilota asplenioides*, 9 – *Turnerella mertensiana*. Фотографии сделаны А.А. Матвеевым

Fig. 2. Macroalgal specimens collected on the western coast of Kamchatka in 2019: 1 – *Thalassiophyllum clathrus*, 2 – *Agarum turneri*, 3 – *Eualaria fistulosa*, 4 – *Alaria esculenta*, 5 – *Arthrothamnus bifidus*, 6 – *Fucus distichus* subsp. *evanescens*, 7 – *Laminaria inclinatorhiza*, 8 – *Ptilota asplenioides*, 9 – *Turnerella mertensiana*. Photos were taken by A.A. Matveev

Анализ приведенных в таблице данных по глубинам тралений и местам нахождения видов показывает, что все водоросли были собраны на глубинах, расположенных много ниже основного места их произрастания. Поэтому их следует считать представителями глубоководных выбро-

сов. Период их нахождения в дрейфующем виде был, судя по всему, непродолжительным, поскольку цвет и состояние поверхности их слоевищ соответствовали таковым у живых вегетирующих растений. Среди всех указанных выше видов только *E. fistulosa*, благодаря наличию полой септированной жилки, имеет положительную плавучесть слоевища. Эта способность позволяет ей длительное время находиться в приповерхностном слое. Остальные растения положительной плавучести не имеют и по каким-то пока неустановленным причинам, отрываясь от субстрата, поступают не в береговые выбросы, а сносятся на глубину и формируют там поло-су глубоководных выбросов.

Первые данные о существовании на больших глубинах шельфа водорослевых скоплений и их неравномерном распределении там представили Н.Г. Клочкова, В.С. Огородников [37], изучившие материалы поднятых глубоководными тралами и драгами при обследовании шельфа Курильских островов растительных остатков и сохранившихся в опознаваемом виде целых водорослей. Эти авторы предложили называть растения, попадающиеся на несвойственные им глубины произрастания, глубоководными выбросами.

Известно, что течения являются важным абиотическим фактором, влияющим на распространение и миграцию водорослей. Судя по всему, именно они способствуют перемещению от вегетировавшей растительной массы, поддерживая, таким образом, биогенный пул в прибрежных сообществах. Изучение роли течений в распространении в пределах шельфа органического вещества, синтезированного водорослями-макрофитами, его перераспределении и использования другими организмами является задачей будущих экосистемных исследований [37].

У побережья западной Камчатки к относительно устойчивым непериодическим течениям относят Камчатское (Западно-Камчатское) и Компенсационное [38–40]. Учитывая направление их движения и места нахождения водорослей, можно предположить, что основным местом произрастания видов, собранных в указанных выше в таблице районах, являются самые южные районы западной Камчатки. Образцы, найденные в донных тралениях № 160 и № 215, явно поступили сюда из более северных участков побережья. Это подтверждает и видовой состав обнаруженных здесь находок. Так, например, достоверно известно, что водоросль *L. inclinatorhiza*, найденная в одном из самых северных тралений (№ 215), в настоящее время произрастает у о. Птичий, мысов Южный и Утхолокский [21].

Западное побережье Камчатки, особенно его центральная часть, на достаточно большом протяжении слабо изрезано и достаточно однообразно в геоморфологическом отношении. Донный грунт на глубинах, к которым приурочено распространение водорослей, представлен здесь песком с илом и галькой, которые в избытке выносят многочисленные реки [16, 18]. Обилие мягких грунтов приводит к значительной разреженности и даже отсутствию здесь растительного покрова. Заросли водорослей у западной Камчатки встречаются, как правило, в редких местах выхода коренных пород. Так, известно, что участки с развитым водорослевым поясом встречаются близ устья реки Хайрюзова, у о. Птичий, и севернее у мысов Южный, Утхолокский и бух. Квачина [11, 18, 19, 21]. В целом видовой состав водорослей-макрофитов западной Камчатки близок к таковому материковой охотоморской флоре.

Редкие находки водорослей были отмечены в районе устьях рек Большая и Озерная. Южнее в массовом количестве водоросли встречаются в районе, расположенном от м. Сивучий и до южной оконечности Камчатки – м. Лопатки [16]. Здесь *E. fistulosa* формирует поля с биомассой от 25 до 35 кг/м² [18]. Считается, что флора южной Камчатки по таксономическому составу и у охотоморского, и у тихоокеанского берегов в большей степени идентична, поскольку не имеет географических преград на всем своем протяжении [21]. В этой связи нахождение *T. clathrus* у юго-западной Камчатки вполне закономерно.

Заключение

Представленные в работе данные лишь незначительно расширяют представления о распространении и распределении водорослей у западной Камчатки. В то же время сведения о современных находках водорослей на западнокамчатском шельфе являются новой ценной информацией и важны для формирования новых представлений о современных ареалах водорослей, в первую очередь ламинариевых, образующих основу прибрежной растительности в умеренных широтах Мирового океана. Мониторинг запасов ламинариевых водорослей является чрезвычайно актуальной задачей, реализуемой во многих странах. По современным подсчетам ежегодно

подводные леса, формируемые представителями Laminariales, сокращаются на 2% [41]. Актуализация информации об изменениях запасов ламинариевых водорослей в дальневосточных морях России требует решения этой важной прикладной задачи, в частности уточнения таксономического состава ламинариевых Дальнего Востока и их распределения в водах российского Дальнего Востока.

Проведенный нами сравнительный анализ состояния изученности водорослевой растительности юга западной Камчатки и соседних, примыкающих к нему районов, с очевидностью показывает его недостаточную флористическую изученность и необходимость проведения здесь дальнейших исследований.

Литература

1. *Gmelin S.G.* Historia fucorum. Petropoli: Ex typographia Academiae scientiarum, 1768. 239 p.
2. *Postels A., Ruprecht F.* Illustrationes algarum in itinere circa orbem jussu Imperatoris Nicolai I. atque auspiciis Navarchi Friderici Lütke annis 1826, 1827, 1828 et 1829, celoce Seniavin executo in Oceano Pacifico, imprimis septemtrionalio ad littora Rossica Asiatico-Americana collectarum. Petropoli, 1840. 22 p.
3. *Ruprecht F.J.* Algae Ochotenses. Die ersten sicheren Nachrichten über die Tange des Ochotskischen Meeres. St. Petersburg: Buchdruckerei der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, 1850. 243 p.
4. *Kjellman F.R.* Om Beringhafvets algflora // Kongl. Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar. 1889. Vol. 23, № 8. P. 1–58.
5. *Емельянова А.А.* Видовой состав водорослей-макрофитов Охотского моря. II. Бурые водоросли // Ботанические исследования на Камчатке: материалы I и II сессий Камчатского отделения Русского ботанического общества. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 16–39.
6. *Огородников В.С.* Водоросли-макрофиты Северных Курильских островов: дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский, 2007. 174 с.
7. *Selivanova O.N., Zhigadlova G.G.* Marine benthic algae of the South Kamchatka state wildlife sanctuary (Kamchatka, Russia) // Botanica Marina. 2009. Vol. 52, № 4. P. 317–329.
8. *Белый М.Н.* Водоросли-макрофиты северной части Охотского моря и их значение как нерестового субстрата сельди. Магадан: Новая полиграфия, 2013. 194 с.
9. *Клочкова Н.Г., Клочкова Т.А.* Ревизия видового состава морской альгофлоры восточного Сахалина и дополнения к ней // Вестник Камчатского государственного технического университета [Bulletin of Kamchatka State Technical University]. 2018. Вып. 45. С. 80–97.
10. *Евсеева Н.В.* Дополнение к флоре морских водорослей-макрофитов южного Сахалина и южных Курильских островов // Альгология. 2016. Т. 26, № 4. С. 387–402.
11. *Евсеева Н.В.* К флоре морских водорослей прибрежной зоны северо-востока Охотского моря // Новости сист. низш. раст. 2018. Т. 52, вып. 1. С. 63–73.
12. *Евсеева Н.В.* Дополнения к флоре морских водорослей северо-западной части Берингова моря // Труды ВНИРО. 2019. Т. 175. С. 7–19.
13. *Скрипцова А.В.* Водоросли-макрофиты залива Петра Великого Японского моря // Биота и среда заповедных территорий. 2019. № 3. С. 14–52.
14. *Воронихин Н.Н.* Морские водоросли Камчатки // Тр. Камч. эксп. Ф.П. Рябушинского. Ботан. отд. 1914. Вып. 2. С. 475–524.
15. *Arwidsson T.* The higher marine algae hitherto known from Kamchatka // Rev. Alg. 1932. Vol. 6. P. 147–158.
16. *Зинова Е.С.* Водоросли Охотского моря // Тр. Ботан. ин-та АН СССР. 1954. Сер. II. Вып. 9. С. 259–307.
17. *Возжинская В.Б.* Морские водоросли западного побережья Камчатки // Новости сист. низш. раст. 1965. С. 73–77.
18. *Возжинская В.Б.* Экология и распределение водорослей материкового берега Охотского моря // Экология и распределение морской донной фауны и флоры. 1966. С. 153–175.
19. *Возжинская В.Б., Блинова Е.И.* Материалы по распределению и составу водорослей Камчатки (Охотское море) // Труды Ин-та океанологии. 1970. Вып. 88. С. 298–307.
20. *Клочкова Н.Г., Трофимова Т.Н.* Морская бентосная флора острова Парамушир (Северные Курилы) и некоторые ее особенности // Альгология. 2003. Т. 16, № 4. С. 68–79.

21. Емельянова А.А. Флора водорослей-макрофитов северных районов Охотского моря, юга восточной Камчатки и северных Курильских островов: дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский, 2005. 166 с.
22. Клочкова Н.Г., Королева Т.Н., Кусиди А.Э. Атлас водорослей-макрофитов прикамчатских вод. Т. 1. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2009. 218 с.
23. Клочкова Н.Г., Королева Т.Н., Кусиди А.Э. Атлас водорослей-макрофитов прикамчатских вод. Т. 2. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2009. 302 с.
24. Перестенко Л.П. Красные водоросли дальневосточных морей России. СПб.: Ольга, 1994. 331 с.
25. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (Accessed on: 04.02.2020).
26. Nagai M. Marine algae of the Kurile islands. I // J. Fac. Agricul. Hokkaido Imp. Univ. 1940. Vol. 46. 137 p.
27. Lindeberg M.R., Lindstrom S.C. Field guide to the seaweeds of Alaska. Fairbanks, 2010. 188 p.
28. Boo G.H., Lindstrom S.C., Klochkova N.C., Yotsukura N., Yang E.C., Kim H.G., Waaland J.R., Cho G.Y., Miller K.A., Boo S.M. Taxonomy and biogeography of *Agarum* and *Thalassiosiphon* (Laminariales, Phaeophyceae) based on sequences of nuclear, mitochondrial, and plastid markers // Taxon. 2011. Vol. 60, № 3. P. 831–840.
29. Климова А.В., Клочкова Т.А., Клочкова Н.Г. Внутривидовые формы *Alaria esculenta* (Laminariales, Ochrophyta) во флоре морских водорослей восточной Камчатки: первая ревизия // Вестник Камчатского государственного технического университета [Bulletin of Kamchatka State Technical University]. 2018. № 43. С. 74–86.
30. Клочкова Т.А., Климова А.В., Клочкова Н.Г. Распространение *Alaria esculenta* (Phaeophyceae, Laminariales) в Охотском море // Вестник Камчатского государственного технического университета [Bulletin of Kamchatka State Technical University]. 2019. Вып. 50. С. 46–56.
31. Евсеева Н.В. Распределение водорослей порядка Laminariales в прибрежной зоне южных Курильских островов // Растительные ресурсы. 2019. Т. 55, № 1. С. 5–22.
32. Selivanova O.N., Zhigadlova G.G. Marine Benthic Algae of the Commander Islands (Pacific Coast of Russia) with Checklist Revised in 2012 // ISRN Oceanography. 2013. Vol. 2013. 12 p. URL: <https://doi.org/10.5402/2013/470185>
33. Yoshida T., Suzuki M., Yoshinaga K. Checklist of marine algae of Japan (Revised in 2015) // Japanese Journal of Phycology. 2015. Vol. 63. P. 129–189.
34. Areschoug J.E. Observaciones phycologicae. Particula quinta. De Laminariaceis nonnullis (continuatio). Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis. 1884. Ser. 3, 12(11). P. 1–16.
35. Петров Ю.Е. Ламинариевые и фукусовые водоросли морей СССР: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1975. 54 с.
36. Coyer J., Hoarau G., van Schaik J., Luijckx P., Olsen J. Trans-Pacific and trans-Arctic pathways of the intertidal macroalga *Fucus distichus* L. reveal multiple glacial refugia and colonizations from the North Pacific to the North Atlantic // J. Biogeogr. 2011. Vol. 38. P. 756–771.
37. Клочкова Н.Г., Огородников В.С. Значение выбросов водорослей в жизни прибрежных экосистем // Ботанические исследования в азиатской России: материалы XI съезда Русского ботанического общества. Т. 1. Барнаул, 2003. С. 104–105.
38. Морошкин К.В. Водные массы Охотского моря. М.: Наука, 1966. 66 с.
39. Ростов И.Д., Юрасов Г.И., Рудых Н.И., Мороз В.В., Дмитриева Е.В., Набиуллин А.А., Храпченков Ф.Ф., Ростов В.И., Бунин В.М. Атлас по океанографии Берингова, Охотского и Японского морей. Владивосток: ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН, 2001. 106 с.
40. Старицын Д.К., Лобанова П.В. Межгодовая изменчивость течений в Японском и Охотском морях по данным спутниковых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11, № 1. С. 163–181.
41. Krumhansl K.A., Okamoto D.K., Rassweiler A., Novak M., Bolton J.J., Cavanaugh K.C., Connell S.D., Johnson C.R., Konar B., Ling S.D., Micheli F., Norderhaug K.M., Pérez-Matus A., Sousa-Pinto I., Reed D.C., Salomon A.K., Shears N.T., Wernberg T., Anderson R.J., Barrett N.S., Buschmann A.H., Carr M.H., Caselle J.E., Derrien-Courtet S., Edgar G.J., Edwards M., Estes J.A., Goodwin C., Kenner M.C., Kushner D.J., Moy F.E., Nunn J., Steneck R.S., Vásquez J., Watson J., Witman J.D., Byrnes J.E.K. Global patterns of kelp forest change over the past half-century // PNAS. 2016. Vol. 113, № 48. P. 13785–13790.

Информация об авторах
Information about the authors

Климова Анна Валерьевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук; старший научный сотрудник отдела науки и инноваций; annaklimovae@mail.ru

Klimova Anna Valerievna – Kamchatka State Technical University; Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683003; Candidate of Biological Sciences; Senior Researcher of Science and Innovation Department; annaklimovae@mail.ru

Матвеев Андрей Анатольевич – Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО); 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; специалист; аспирант; matveev.a.a@kamniro.ru

Matveev Andrey Anatolievich – Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Specialist; Postgraduate; matveev.a.a@kamniro.ru

УДК 582.272.7(265.52)

Н.Г. Клочкова, А.Н. Кашутин, Т.А. Клочкова

**РОСТ И РАЗМНОЖЕНИЕ МЕЧЕНЫХ РАСТЕНИЙ
FUCUS DISTICHUS SUBSP. *EVANESCENS* (PHAEOPHYCEAE, FUCALES)
В АВАЧИНСКОЙ ГУБЕ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)**

В период 01.04.2017–01.02.2018 гг. изучали рост и размножение меченых растений камчатской популяции *Fucus distichus*. Наблюдения вели за пятью размерными группами растений с 1, 2, 3, 4 и 5 дихотомиями. Каждая из них включала пять образцов. За указанный период меченые растения во время сизигийных отливов были измерены и обследованы 14 раз с периодичностью 1–2 раза в месяц. Далее анализировали данные по приросту их общей длины, длины ветвей каждого порядка, закладке и стадии зрелости рецептакулов. Статистическая обработка собранного материала показала, что среди изученных растений практически круглый год встречались растения со зрелыми яйцеклетками, антерозоидами, поставляющие в окружающую среду значительное количество зигот. Исключение составил зимний период (январь и февраль), характеризующийся отрицательной температурой воды, развитием на литорали, в зоне основного произрастания фукуса, припайного льда или плотного снежного покрова. Зимуют растения всех размерно-возрастных групп, имея большое количество рецептакулов в стадии зрелости, предшествующей полному созреванию и высыпанию зигот. Благодаря этому, они способны обеспечить активное весеннее размножение *F. distichus*. Второй пик активного размножения у этого вида был зарегистрирован в октябре. С октября по январь осевшие зиготы успевают сформировать ювенильные проростки. Растянутые сроки размножения отдельных растений и популяции *F. distichus* в целом наряду с высоким уровнем воспроизводства являются гарантией его сохранения в неблагоприятных природных и антропогенных условиях.

Ключевые слова: бурые водоросли, *Fucus distichus* subsp. *evanescens*, мечение растений, сезонное развитие, стадии зрелости рецептакулов, юго-восточная Камчатка.

N.G. Klochkova, A.N. Kashutin, T.A. Klochkova

**GROWTH AND REPRODUCTION OF LABELED PLANTS
OF *FUCUS DISTICHUS* SUBSP. *EVANESCENS* (PHAEOPHYCEAE, FUCALES)
IN THE AVACHA BAY (SOUTHEASTERN KAMCHATKA)**

The growth and propagation of *Fucus distichus* labeled plants from Kamchatka were studied in the time period from April 1, 2017 to February 1, 2018. Five groups of plants bearing 1, 2, 3, 4, and 5 dichotomies with 5 plants in each group were selected. During observation period, labeled plants were measured and examined during syzygy tides 14 times with a frequency of 1–2 times per month. The increase of their total length, length of branches of each dichotomy order and establishment, and maturity stage of receptacles were analyzed. Statistical processing of field-collected material revealed that plants with mature eggs and anterozoids, supplying significant amount of zygotes to the marine environment, were found all year around. Exception was the winter period from January to February, which was characterized by a sub-zero seawater temperature and development of landfast ice or dense snow cover in the subtidal zone, which is the main growth zone of *Fucus*. Plants of all size and age groups overwinter bearing a large number of receptacles in the maturity stage preceding complete maturation and exit of zygotes. Because of that they are capable of providing active spring propagation in *F. distichus*. The second peak of active reproduction in this species was recorded in October. From October to January, settled zygotes developed into juvenile seedlings. The extended propagation times of individual *Fucus* plants and population as a whole, along with a high level of reproduction, can guarantee preservation of this species in adverse natural and man-made conditions.

Key words: brown algae, *Fucus distichus* subsp. *evanescens*, plant labeling, seasonal development, maturity of receptacles, southeastern Kamchatka.

DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-55-65

Введение

Fucus distichus subsp. *evanescens* (С. Agardh) Т.Н. Powell, 1957 является одним из наиболее массовых видов литоральной альгофлоры северо-западной Пацифики. Его ареал охватывает Северное полушарие и простирается в арктических водах Северного Ледовитого океана [1], холодноумеренных и частично теплоумеренных водах Атлантического [2, 3] и Тихого океанов [4]. Данный вид является эдификатором и образует основной фон растительности в среднем горизонте литорали. Его массовое развитие в этой зоне шельфа обеспечивает биоразнообразие, стабильность и высокую продуктивность литорального макрофитобентоса.

В Авачинской губе *F. distichus* ранее имел практически повсеместное распространение и был одним из основных продуцентов литоральных альгоценозов. К началу нового тысячелетия в связи с высоким антропогенным загрязнением этого водоема его исходная альгофлора претерпела антропогенную деструкцию и потеряла более 2/3 своего видового состава [5]. *F. distichus* при этом оказался одним из немногих многолетних видов, сохранившихся в составе литоральных растительных сообществ. В настоящее время его заросли в Авачинской губе чрезвычайно разрежены, и занятые ими площади морского дна подвержены значительной флуктуации [6].

До получения нами достоверных данных по скорости роста *F. distichus* [7], в соответствии с данными О.В. Максимовой [8] и В.Б. Чмыхаловой [9], изучавших этот вид в Белом море и прикамчатских водах, было принято считать медленно растущим, формирующим в течение года только одно или два дихотомических ветвления. Исходя из этих представлений, считалось, что возраст фукуса соответствует количеству дихотомических разветвлений слоевища. Впервые сомнения по этому поводу высказали камчатские альгологи О.Н. Селиванова и Г.Г. Жигадлова [10], однако их утверждения были голословными. Данных регулярного изучения роста растений они не привели.

Наши наблюдения за мечеными растениями камчатской популяции фукуса, проведенные в 2017 г., позволили оценить темпы помесечного и суточного прироста слоевищ и в целом понять биологию его развития [7]. Данные этого эксперимента подтвердили мнения зарубежных исследователей, изучавших развитие *F. distichus* у берегов Ванкувера [11] и северной Атлантики [12, 13], о том, что скорость роста у него достаточно высокая и в течение одного вегетационного сезона после многократного ветвления он может достигать значительных размеров и при этом активно размножаться.

Мы в упомянутой выше работе [7] охарактеризовали динамику роста *F. distichus*, используя для этого данные помесечных измерений меченых растений. Наши исследования показали, что стратегия линейного роста у образцов фукуса, начавших свое эмбриональное развитие в разное время и имевших на момент мечения разное количество дихотомических ветвлений, разная. Она во многом определяется активностью их размножения и временем закладки и количеством заложенных рецептакулов.

Согласно полученным нами ранее данным растения, имевшие на момент мечения (апрель) одно, два, три, четыре и пять дихотомических разветвлений, имели разную скорость линейного роста: у самых маленьких, имевших одну дихотомию, она была наибольшей и в отдельные месяцы составляла 36,7 мм/мес или 1,16 мм/сут. К октябрю эти растения имели семь дихотомических ветвлений. В целом за 190 сут наблюдений они увеличили свои линейные размеры по сравнению с исходными почти в шесть раз и образовали шесть новых дихотомических ветвлений. Активность их размножения была невысокой, тем не менее, после появления третьего дихотомического ветвления на отдельных апикальных ветвях имела место закладка концептакулов.

Более взрослые меченые растения, имевшие 4-5 дихотомий, росли медленнее. У них в течение всего периода наблюдений появились только четыре новые дихотомии. Таким образом, в нашей предыдущей работе было показано, что в зарослях фукуса разновозрастные растения демонстрируют разную функциональную роль: развитие одних направлено на формирование фитомассы и продуктивности сообщества, других – в большей степени на поддержание функции воспроизводства популяции.

В настоящей статье мы продолжаем обсуждение результатов изучения развития вышеупомянутых меченых растений *F. distichus* и приводим данные о размножении разновозрастных растений, начавших ранневесеннее развитие с разным количеством дихотомических ветвей, активности закладки новых рецептакулов и скорости их созревания.

Материалы и методы

Изучение роста и развития *F. distichus* было проведено с 01.04.2017 г. по 01.02.2018 г. и охватило все сезоны года и все стадии развития растений от ранневесеннего активного линейного роста до активного предзимнего накопления фитомассы и зимовки. В феврале и марте из-за мощного ледового припая и высокого снежного покрова береговой линии меченые растения не просматривали и не измеряли. Для мечения в апреле 2017 г. у подножия сопки Мишенная (рис. 1, а) было выбрано легко опознаваемое, хорошо освещенное место, укрытое от разрушающего действия волн с небольшими по площади зарослями фукуса. В них были выбраны, измерены и помечены пластиковыми метками растения с 1, 2, 3, 4 и 5 дихотомиями, обозначенные как D₁, D₂, D₃, D₄ и D₅ (рис. 2, б–з). В каждой возрастной группе было помечено по пять образцов фукуса.

У выбранных растений 14 раз за период исследования с помощью металлической линейки измеряли общую длину слоевища, а у самой длинной ветви – длину каждой дихотомии. При этом ветвь первого порядка отмечали как L₁, второго порядка как L₂ и т. д. В ходе обследования у меченых растений состояния апикальных ветвей по их внешним признакам определяли состояние их зрелости и у каждого образца определяли количество фертильных ветвей (рецептакулов), находящихся в разной степени зрелости.



Рис. 1. Карта-схема района проведения исследований (1), стрелкой указано место произрастания меченых растений *Fucus distichus* в литоральной зоне в бухте Сероглазка (Авачинская губа).
Состояние меченых растений 13.05.2017 г. (2), 27.07.2017 г. (3), 19.10.2017 г. (4)

Fig. 1. Schematic map of the research area (Fig. 1), arrow points place of growth of labeled *Fucus distichus* plants in the tidal zone of Seroglazka Bay (Avacha Bay).

Condition of labeled plants on May 13, 2017 (Fig. 2), July 27, 2017 (Fig. 3), October 19, 2017 (Fig. 4)

Для ее определения на основе сопоставления внешнего вида рецептакулов и их внутреннего строения предварительно нами была разработана пятибалльная шкала их зрелости от Ф₀ до Ф₅ (рис. 2). Стерильными (С) считались верхушки без каких-либо признаков фертилизации. К стадии Ф₀ относили ветви, начавшие формирование рецептакулов. Определяли их по слегка увеличившейся толщине апикальной ветви, ее более светлому цвету, а также наличию едва заметных плоских крышек концептакулов. К стадии Ф₁ относили рецептакулы, имеющие концептакулы с чуть вздутыми крышками. Рецептакулы в этой стадии, особенно весной и в начале лета в период активного линейного роста растений, приобретают оливково-бурый цвет. К стадии Ф₂ заметны утолщенные рецептакулы, но все еще имеющие слабовыпуклые, но хорошо заметные, более светлые, чем окружающие их стерильные участки слоевища, крышки концептакулов. Их центральные

поры (остиолы) на этой стадии закрыты пробками или пучком парафизов. В данную фазу зрелости в концептакулах активно осуществляется закладка половых органов, но даже самые зрелые из оогониев еще не имеют делений, основная их масса представлена примордиями оогониев.



Рис. 2. Внешний вид кустиков *Fucus distichus*, несущих рецептакулы с разной степенью зрелости концептакулов: 1 – Ф0; 2–3 – Ф1; 4–5 – Ф2; 6–7 – Ф3; 8–9 – Ф4; 10–11 – Ф5

Fig. 2. Appearance of *Fucus distichus* plants bearing receptacles with different maturity of conceptacles: Fig. 1 – F0; Fig. 2–3 – F1; Fig. 4–5 – F2; Fig. 6–7 – F3; Fig. 8–9 – F4; Fig. 10–11 – F5

На следующей стадии Ф₃ рецептакулы становятся более толстыми и более темными. Крышки концептакулов приобретают хорошо выраженную выпуклость и становятся коническими. Важной особенностью внутреннего строения рецептакулов в этой фазе зрелости является формирование наружных оболочек оогониев, называемых экзохитон, и двойных внутренних оболочек – мезо- и эндохитона. Созревающие оогонии в фазе Ф₃ имеют плотное и более пигментированное содержимое. Их размеры в большинстве случаев близки к видоспецифическим, редкие из них поделенные, но основное большинство только готовится к мейозу и формированию яйцеклеток.

В стадии Ф₄ рецептакулы сильно раздутые из-за образующейся у них внутренней полости, наполненной воздухом или слизью, почти шарообразные, особенно в теплую половину года. Поверхность рецептакулов из-за множественного развития и разрастания концептакулов стано-

вится бородавчатой. В конических крышках концептакулов появляются отверстия для выхода половых продуктов. Большое количество оогониев в это время имеют темно-коричневый цвет и заполнены зрелыми яйцеклетками. В этой стадии растения уже начинают выбрасывать зрелые половые продукты.

В завершающей фазе зрелости Φ_5 рецептакулы приобретают грубую текстуру, рыжеватокоричневый цвет. Расположенные на них концептакулы имеют крупные крышки, расположенные по их центру отверстия (остиолы) обрамлены хорошо заметным валиком, широко открыты для выхода половых продуктов. Парафизы в концептакулах к этому времени практически отсутствуют. На завершающей стадии зрелости в конце стадии Φ_5 во внутренней полости концептакулов встречаются немногочисленные дозревающие оогонии и антеридии. Многие из них уже полностью опустошены. Вскоре после высева последних порций половых продуктов рецептакулы разрушаются или отламываются от несущей их ветви. Внешний вид растений, имеющих рецептакулы с разной степенью зрелости от Φ_0 до Φ_5 , показаны на рис. 2.

В ходе проведения наблюдений за развитием меченых растений помимо изменения линейных размеров ветвей в период между последним и следующим за ним исследованием определяли количество ветвей с разной степенью фертильности, по скорости изменения этого показателя судили о темпах фертилизации ветвей, скорости их созревания и перехода из одной фазы зрелости в другую.

Результаты и обсуждение

Полученные в ходе проведения настоящего исследования данные обследования состояния фертильности и измерения растений представлены ниже в форме таблиц. По представленным в них количественным показателям можно судить о динамике созревания у меченых растений рецептакулов и иметь представление о морфогенетическом развитии растений, выражающемся в увеличении у них общей длины, длины ветвей разных порядка, времени появления новых дихотомий и новых рецептакулов. Анализ представленных ниже количественных данных позволяет, кроме того, определить время прекращения роста ветвей того или иного порядка, судить об активности линейного роста слоевища в разные месяцы года. Анализ изменений во времени количества рецептакулов разной степени зрелости дает представление о скорости их созревания и перехода из одной фазы зрелости в другую. Выше было сказано о том, что выход в окружающую среду половых продуктов начинается в середине четвертой и первой половине пятой стадий зрелости рецептакулов. Данные, представленные в составленных нами таблицах, дают представление о количестве фертильных ветвей, находящихся в стадиях зрелости Φ_4 и Φ_5 , по которому можно выделить периоды наибольшей активности процессов размножения у растений, принадлежащих к разным возрастным группам.

Ниже в табл. 1 и 2 показано развитие во времени растений D_1 и D_2 . В них, как и в аналогичных таблицах, показывающих развитие остальных возрастных групп, приведены средние для группы значения всех показателей. Ошибки средних в таблицах не указаны из-за малой численности и выборки, но главным образом потому, что наши исследования показали, что одновозрастные растения развиваются достаточно синхронно и разница между размерными и количественными показателями у них столь мала, что ею можно пренебречь.

Таблица 1

Развитие меченых растений *Fucus distichus* (D_1) п произраставших в Авачинской губе в районе побережья, расположенном в бухте Сероглазка в период с 01.04.2017 по 01.02.2017 г.

Development of labeled plants of *Fucus distichus* with 1 dichotomy (D_1) from April 1, 2017 to February 1, 2018 in Segorlazka bay

№ п/п	Дата измерений	Число дихотомических ветвлений	Длина ветвей разного порядка (мм)							Высота растения	Общее количество рецептакулов	Стадии зрелости рецептакулов					
			L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇			Φ_0	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5
1	01.04.17	Д 1+	11	–	–	–	–	–	–	34	2	2	–	–	–	–	–
2	16.04.17	Д 1+	12	–	–	–	–	–	–	35	2	2	–	–	–	–	–
3	13.05.17	Д 2+	16	28	–	–	–	–	–	55	4	4	–	–	–	–	–
4	08.06.17	Д 2+	20	35	–	–	–	–	–	80	4	2	2	–	–	–	–
5	12.07.17	Д 5+	21	35	20	20	25	–	–	123	26	22	4	–	–	–	–

Окончание табл. 1

№ п/п	Дата измерений	Число дихотомических ветвлений	Длина ветвей разного порядка (мм)							Высота растения	Общее количество рецептакулов	Стадии зрелости рецептакулов					
			L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇			Φ ₀	Φ ₁	Φ ₂	Φ ₃	Φ ₄	Φ ₅
6	27.07.17	Д 5+	21	35	20	21	28	–	–	130	22	7	6	4	5	–	–
7	08.08.17	Д 6+	21	35	21	21	32	10	–	160	61	34	12	8	4	3	–
8	23.08.17	Д 6+	21	35	23	23	26	15	–	166	61	18	17	15	5	4	2
9	18.09.17	Д 6+	21	35	21	26	35	35	–	177	61	9	7	10	23	8	4
10	07.10.17	Д 7+	21	35	21	27	38	43	12	215	72	2	7	14	14	15	20
11	04.11.17	Д 7+	21	35	21	27	38	45	14	221	56	–	4	12	16	20	4
12	03.12.17	Д 7+	21	35	21	27	38	45	15	223	44	5	3	2	18	16	–
13	04.01.18	Д 7+	21	35	21	27	38	45	15	223	43	5	3	2	18	15	–
14	01.02.18	Д 7+	21	35	21	27	38	45	16	225	43	5	3	2	18	15	–

Анализ приведенных выше табл. 1 и 2 данных показывает, что у растений D₁, имевших на начало наблюдений только одну дихотомию, первые признаки фертилизации были зарегистрированы 8 июня, а первые рецептакулы в стадии Φ₅ были отмечены 23 августа. Это дает основание говорить о том, что период между закладкой концептакулов и их созреванием до стадии зрелости половых продуктов и высыпания зигот длился около 80 дней. Максимальное количество зрелых рецептакулов – 20 шт. – у растений D₁ было зарегистрировано 7 октября, когда они уже имели семь дихотомических ветвлений. Созрели они, как это видно из табл. 1, практически одновременно. Завершили размножение растения D₁ 4 ноября. Под зиму они ушли, также имея семь дихотомических ветвлений. При этом большее количество их апикальных ветвей, 34 из 43, или 79%, имели признаки зрелости рецептакулов в стадиях Φ₃ и Φ₄. С 3 декабря по 1 февраля состояние фертильности у них практически не изменилось, и зрелые концептакулы в это наиболее холодное время отсутствовали.

Таблица 2

Развитие меченых растений *Fucus distichus* (D₂), произраставших в Авачинской губе в районе побережья, расположенном в бухте Сероглазка в период с 01.04.2017 по 01.02.2018 г.

Development of labeled plants of *Fucus distichus* with 2 dichotomy (D₂) from April 1, 2017 to February 1, 2018 in Segorlaska bay

№ п/п	Дата измерений	Число дихотомических ветвлений	Длина ветвей разного порядка (мм)								Высота растения	Общее количество рецептакулов	Стадии зрелости рецептакулов					
			L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8			Φ0	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	Φ5
1	01.04.17	Д 2 +	10	13	–	–	–	–	–	–	36	6	6	–	–	–	–	–
2	16.04.17	Д 2 +	10	15	–	–	–	–	–	–	38	6	6	–	–	–	–	–
3	13.05.17	Д 2 +	10	24	–	–	–	–	–	–	55	6	6	–	–	–	–	–
4	08.06.17	Д 2 +	15	30	–	–	–	–	–	–	76	6	3	3	–	–	–	–
5	12.07.17	Д 4 +	16	30	20	22	20	–	–	–	115	14	6	5	3	–	–	–
6	27.07.17	Д 5+	16	30	20	27	27	–	–	–	128	24	10	8	5	1	–	–
7	08.08.17	Д 5+	16	30	20	27	34	–	–	–	133	24	8	7	6	2	1	–
8	23.08.17	Д 6 +	16	30	21	28	39	15	–	–	161	34	8	9	7	4	5	1
9	18.09.17	Д 7+	16	30	21	28	39	25	10	–	168	40	4	5	11	8	6	6
10	07.10.17	Д 7+	16	30	21	28	39	25	10	–	175	40	2	2	2	8	14	12
11	04.11.17	Д 7+	16	30	21	28	39	26	12	–	178	32	2	2	–	6	20	2
12	03.12.17	Д 7+	16	30	21	28	39	26	14	–	180	30	1	1	2	4	22	–
13	04.01.18	Д 8+	16	30	21	28	39	26	16	9	191	36	6	2	2	4	22	–
14	01.02.18	Д 8+	16	30	21	28	39	26	16	11	193	36	6	2	2	4	22	–

Такая стратегия развития вполне объяснима: в октябре и ноябре растения, как это показали наши наблюдения, завершили размножение и ушли под зиму с солидной порцией половых продуктов, оогониев и антеридиев, находящихся на завершающей стадии развития. Можно предполагать, что в следующем вегетационном сезоне их весеннее размножение будет более активным, чем на первом году жизни. У меченых растений D₂ первые признаки фертилизации рецептакулов появились также 8 июня, а первый зрелый рецептакул был зарегистрирован 23 августа. У этого растения период созревания пришелся на летнее время и был чуть короче. Размножились растения D₂ с 18 октября до 4 ноября. Под зиму они ушли стерильными, имея

восемь дихотомических ветвей. Основная часть рецептакулов у представителей этой возрастной когорты имела четвертую стадию зрелости, и она оставалась неизменной в течение всего зимнего периода, с декабря по февраль.

Сравнение морфогенеза и размножения растений D_2 с растениями D_1 показывает, что стратегия их сезонного развития в целом одинакова и направлена в большей мере на рост и созревание растений, чем на их размножение. За первый год вегетации представители этой возрастной группы успевают высеять небольшое количество половых продуктов с конца августа по начало ноября. Зимой рассеивание половых продуктов и зигот у них останавливается. Мы судим об этом по тому, что рецептакулы у этих растений с 3 декабря по 1 февраля не изменили состояния зрелости Φ_4 на Φ_5 .

У растений D_3 (табл. 3), имевших на период мечения три дихотомических ветвления, первые апикальные ветви, демонстрирующие признаки закладки концептакулов, появились раньше, чем у более молодых растений D_1 и D_2 , однако в размножение они, как и представители младшего возраста, вступили только 23 августа. Размножались они более активно и в течение более длительного периода – с конца августа до начала декабря. Наиболее активно концептакулы закладывались у них в июле. Так, при обследовании, проведенном нами 12.07.2017, признаки фертилизации имели только 20 апикальных ветвей, а самое большое общее количество рецептакулов – 44 – у растений D_3 было обнаружено 18.09.2017 и 7.10.2017.

Таблица 3

Развитие меченых растений *Fucus distichus* (D_3), произраставших в Авачинской губе в районе побережья, расположенном в бухте Сероглазка в период с 01.04.2017 по 01.02.2018 г.

Development of labeled plants of *Fucus distichus* with 3 dichotomy (D_3) from April 1, 2017 to February 1, 2018 in Segorlazka bay

№ п/п	Дата измерений	Число дихотомических ветвлений	Длина ветвей разного порядка (мм)									Высота растения	Общее количество рецептакулов	Стадии зрелости рецептакулов						
			L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇	L ₈	L ₉			Φ_0	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5	
1	01.04.17	Д 3 +	19	25	15	–	–	–	–	–	–	64	8	8	–	–	–	–	–	–
2	16.04.17	Д 3 +	19	26	20	–	–	–	–	–	–	72	8	8	–	–	–	–	–	–
3	13.05.17	Д 3 +	19	26	30	–	–	–	–	–	–	87	8	5	3	–	–	–	–	–
4	08.06.17	Д 3 +	19	26	45	–	–	–	–	–	–	101	8	3	1	4	–	–	–	–
5	12.07.17	Д 7 +	19	26	45	20	20	20	20	–	–	180	32	20	3	5	4	–	–	–
6	27.07.17	Д 7 +	19	26	45	20	20	20	35	–	–	200	32	15	5	6	4	2	–	–
7	08.08.17	Д 7 +	19	27	46	20	21	22	47	–	–	221	32	8	6	7	6	5	–	–
8	23.08.17	Д 7 +	19	27	46	20	21	22	59	–	–	260	32	2	4	8	11	3	4	–
9	18.09.17	Д 8 +	19	27	46	20	21	22	60	40	–	270	44	10	2	3	7	11	11	–
10	07.10.17	Д 8 +	19	27	46	20	21	22	61	48	–	284	44	4	3	2	4	8	23	–
11	04.11.17	Д 8 +	19	27	46	20	21	22	62	49	11	295	30	3	2	1	2	10	12	–
12	03.12.17	Д 8 +	19	27	46	20	21	22	62	49	12	296	20	2	2	2	1	11	2	–
13	04.01.18	Д 8 +	19	27	46	20	21	22	62	49	13	297	18	2	2	2	1	11	–	–
14	01.02.18	Д 9 +	19	27	46	20	21	22	62	49	13	297	24	8	2	2	1	11	–	–

У обсуждаемой группы меченых растений, как и у представителей групп D_1 и D_2 , с декабря по февраль состояние зрелости практически не менялось, и большая часть рецептакулов в зимнее время находилась в стадии зрелости Φ_4 , которая, как было указано выше, характеризуется раздутием рецептакулов, наличием в пространстве между концептакулами и в самих концептакулах большого количества альгинатной слизи. Она является не только запасным веществом, но также выполняет криопротекторную функцию [14], препятствуя повреждению созревающих половых продуктов. Проведенное нами ранее изучение внутреннего строения рецептакулов (неопубликованные данные) показало, что в то время как оогонии еще не имеют делений, в концептакулах встречаются уже вполне оформленные антеридии, следовательно, мужские половые продукты созревают раньше, чем женские.

В табл. 4 представлены результаты линейного роста и развития растений фукуса (D_4), которые на момент мечения имели по четыре дихотомических ветвления и 24 апикальные ветви: 12 с едва наметившимися крышками концептакулов, восемь – в стадии Φ_1 , три – в стадии Φ_2 и один – в стадии Φ_3 . Представители этой возрастной группы, судя по всему, начали свой рост еще осенью 2016 г., затем, имея несколько дихотомических ветвлений, они перезимовали.

В течение осени и последующего зимнего периода у них успели сформироваться по несколько рецептакулов с разной степенью зрелости. В середине мая только один из них был зрелости Φ_4 . Первые зрелые рецептакулы в стадии Φ_5 появились у них только во второй декаде июля.

Период размножения растений D_4 длился с июля до конца эксперимента. При этом самая активная его фаза началась в сентябре. Так, 23.08.2017, 18.09.2017 и 07.10.2017 растения этой возрастной группы имели 11, 13 и 19 рецептакулов соответственно. От общего числа фертильных ветвей этого растения рецептакулы Φ_4 составили до 57%. В те же даты проведения обследования состояния растений, 23.08.2017, 18.09.2017 и 07.10.2017, они имели самое большое общее количество рецептакулов: 40, 40 и 45 соответственно. В январе и феврале у представителей этой возрастной группы самыми многочисленными были рецептакулы, находящиеся в стадии развития Φ_5 . При этом в период с 04.01.2018 по 1.02.2018 ни один из рецептакулов Φ_4 не перешел в стадию зрелости Φ_5 . Это еще раз подтверждает наш вывод о том, что выход половых продуктов в самое холодное время года, неблагоприятное для прикрепления и прорастания зигот, приостанавливается. Под зиму меченые растения этой группы ушли с 19 рецептакулами в стадии зрелости Φ_4 . Они, как и более молодые растения D_1 – D_3 , не имели рецептакулов в стадии зрелости Φ_5 . К этому времени растения D_4 имели уже 10 дихотомических ветвлений, и его общая длина увеличилась с 62 до 250 мм, т. е. в четыре раза.

Таблица 4

Развитие меченых растений *Fucus distichus* (D_4), произраставших в Авачинской губе в районе побережья, расположенном в бухте Сероглазка в период с 01.04.2017 по 01.02.2018 г.

Development of labeled plants of *Fucus distichus* with 4 dichotomy (D_4) from April 1, 2017 to February 1, 2018 in Segorlazka bay

№ п/п	Дата измерений	Число дихотомических ветвлений	Длина ветвей разного порядка (мм)										Высота растения	Общее количество рецептакулов	Стадии зрелости рецептакулов					
			L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇	L ₈	L ₉	L ₁₀			Φ_0	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5
1	01.04.17	Д 4+	10	12	25	15	–	–	–	–	–	–	62	12	8	3	1	–	–	–
2	16.04.17	Д 4+	10	12	25	17	–	–	–	–	–	–	64	12	8	3	1	–	–	–
3	13.05.17	Д 4+	10	12	26	21	–	–	–	–	–	–	69	12	4	5	2	1	–	–
4	08.06.17	Д 4+	10	12	29	30	–	–	–	–	–	–	81	12	3	4	3	2	–	–
5	12.07.17	Д 6+	10	12	30	31	25	35	–	–	–	–	143	29	7	11	4	5	2	1
6	27.07.17	Д 6+	10	12	32	33	28	45	–	–	–	–	160	34	9	6	6	6	4	3
7	08.08.17	Д 6+	10	12	32	33	29	53	–	–	–	–	169	34	3	3	6	7	6	9
8	23.08.17	Д 7+	10	12	32	33	30	54	23	–	–	–	194	40	5	4	7	4	9	11
9	18.09.17	Д 7+	10	12	32	33	31	54	30	–	–	–	202	40	3	2	4	3	15	13
10	07.10.17	Д 8+	10	12	32	33	31	54	31	12	–	–	215	45	5	4	4	4	9	19
11	04.11.17	Д 8+	10	12	32	33	31	54	32	15	–	–	219	26	2	2	1	3	16	2
12	03.12.17	Д 9+	10	12	32	33	31	54	32	17	7	–	228	33	8	1	2	2	19	1
13	04.01.18	Д 9+	10	12	32	33	31	54	34	22	12	–	240	33	6	3	3	2	19	–
14	01.02.18	Д 10+	10	12	32	33	31	54	34	22	14	8	250	33	4	4	4	2	19	–

Растения D_5 имели совершенно отличный от представителей группы D_4 сценарий развития (табл. 5). Как и последние, они к моменту мечения были уже второгодними, то есть вегетирующими второй вегетационный сезон. На момент мечения, после осеннего рассеивания зигот, представители этой группы сохраняли в общей сложности 23 рецептакула с разной степенью фертильности, в том числе по три штуки в стадии зрелости Φ_5 . Поэтому данные представители фукуса приняли активное участие в весеннем воспроизводстве популяции и продолжали размножаться до июня включительно. С апреля до мая часть фертильных рецептакулов у них отвалилась, но в этот же период кустики D_5 дали новые дихотомические ветви. В июле и августе они «восстанавливали свою силу», росли и увеличивали массу, но, как видно из данных, приведенных в табл. 5, они не формировали новых рецептакулов со зрелостью Φ_4 и Φ_5 .

К концу второго сезона вегетации у представителей возрастной группы D_5 в результате увеличения количества дихотомических ветвлений появились новые апикальные ветви. К декабрю 44 из них уже имели признаки фертилизации. Удивительно, но вклад в воспроизводство популяции растений этого возраста был меньшим, чем растений возрастной группы D_4 , которые имели достаточно большое количество зрелых рецептакулов еще в июне. В июле и августе растения возрастной группы D_5 , как было сказано выше, практически не размножались. В сентябре –

октябре они вновь рассеяли некоторое количество зигот, а с ноября до начала февраля активность их размножения вновь снизилась, хотя следует отметить, что в его рецептакулах в это время шел активный процесс созревания половых продуктов.

Таблица 5

Развитие меченых растений *Fucus distichus* (D₅), произраставших в Авачинской губе в районе побережья, расположенном в бухте Сероглазка в период с 01.04.2017 по 01.02.2018 г.

Development of labeled plants of *Fucus distichus* with 5 dichotomy (D₅) from April 1, 2017 to February 1, 2018 in Segorlazka bay

№ п/п	Дата измерений	Число дихотомических ветвлений	Длина ветвей разного порядка (мм)										Высота растения	Общее количество рецептакулов	Стадии зрелости рецептакулов					
			L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇	L ₈	L ₉	L ₁₀			Φ ₀	Φ ₁	Φ ₂	Φ ₃	Φ ₄	Φ ₅
1	01.04.17	Д 5+	25	15	22	31	21	—	—	—	—	—	135	23	3	4	6	4	3	3
2	16.04.17	Д 5+	25	15	22	32	22	—	—	—	—	—	140	23	2	2	5	7	3	4
3	13.05.17	Д 5+	25	15	23	35	25	—	—	—	—	—	151	23	—	—	4	3	10	6
4	08.06.17	Д 6+	25	15	23	35	26	29	—	—	—	—	173	32	10	2	1	2	5	12
5	12.07.17	Д 6+	25	15	23	35	34	37	—	—	—	—	189	20	5	3	6	2	4	1
6	27.07.17	Д 6+	25	15	24	38	37	49	—	—	—	—	197	20	4	3	4	5	4	—
7	08.08.17	Д 7+	25	15	24	39	38	53	12	—	—	—	210	34	15	2	5	8	4	—
8	23.08.17	Д 7+	25	15	24	39	38	54	14	—	—	—	225	34	15	2	5	8	4	—
9	18.09.17	Д 8+	25	15	24	40	40	54	14	12	—	—	237	42	9	5	4	6	9	9
10	07.10.17	Д 8+	25	15	24	40	40	54	14	15	—	—	246	35	3	4	8	12	6	2
11	04.11.17	Д 9+	25	15	24	40	40	54	14	15	16	—	279	44	7	2	2	15	18	—
12	03.12.17	Д 9+	25	15	24	40	40	54	14	17	19	—	286	44	7	2	2	10	23	—
13	04.01.18	Д 9+	25	15	24	40	40	54	14	17	23	—	297	44	3	3	4	11	23	—
14	01.02.18	Д 10+	25	15	24	40	40	54	14	17	25	7	308	52	12	4	5	6	25	—

В целом анализ данных, приведенных в табл. 5, позволяет говорить, что размножение растений D₅ происходило иначе, чем растений возрастной группы D₄, – не столь активно, в течение более сжатого срока и порционно, т. е. достаточно вяло. Судя по тому, что в зиму растения D₅ ушли с большим количеством дозревающих половых продуктов можно предполагать, что, перезимовав, они продолжают свое развитие и в течение третьего вегетационного сезона.

Заключение

Обобщая результаты изучения меченых растений камчатской популяции *F. distichus* subsp. *evanescens*, можно говорить, что данный многолетний вид характеризуется относительно высокой скоростью роста и в течение одного вегетационного сезона, произрастая в литоральной зоне, способен формировать семь дихотомических ветвлений. В разные сезоны года активность размножения у фукуса разная, но, как видно из представленных в работе данных, происходит практически постоянно. Она приостанавливается только в течение короткого зимнего времени при отрицательной температуре воды. Однако, судя по нарастанию степени фертильности рецептакулов, у изучаемого нами вида даже в это время очень медленно продолжается развитие половых органов. До наступления зимних месяцев у растений всех возрастных групп успевают созреть половые продукты, яйцеклетки и антерозоиды и рассеяться образовавшиеся в результате их оплодотворения зиготы.

Зимуют представители возрастных групп, имея большое количество рецептакулов в стадии, предшествующей полному созреванию и полному высыпанию зигот. Именно поэтому после относительного зимнего покоя в марте у них, судя по всему, происходит дозревание половых продуктов, и в апреле – мае наблюдается ранневесенний пик массового размножения. Сложение календарных сроков, в течение которых разные меченые растения фукуса выбрасывали в окружающую среду зиготы, показывает, что размножение у камчатской популяции *F. distichus* происходит практически постоянно, кроме самых холодных месяцев года, января и февраля, когда литоральная зона – основное место произрастания фукуса – бывает покрыта припайным льдом и плотным снежным покровом. Растянутые сроки размножения и высокая активность зиготоношения являются гарантией успеха воспроизводства вида и сохранения его

популяций от вымирания в неблагоприятных условиях произрастания. Этой же причиной – гибкостью воспроизводства – можно объяснить и высокую способность вида к сохранению и расширению ареала.

Литература

1. *Виноградова К.Л.* Распространение водорослей-макрофитов в арктических морях России // Новости систематики низших растений. 1999. Т. 33. С. 14–24.
2. *Coyer J., Hoarau G., Outot-le-Secq M.-P., Stam W., Olsen J.* A mtDNA-based phylogeny of the brown alga genus *Fucus* (Heterokontae: Phaeophyta) // Molecular Phylogenetics and Evolution. 2006. Vol. 39. P. 209–222.
3. *Coyer J., Hoarau G., van Schaik J., Luijckx P., Olsen J.* Trans-Pacific and trans-Arctic pathways of the intertidal macroalga *Fucus distichus* L. reveal multiple glacial refugia and colonizations from the North Pacific to the North Atlantic // Journal of Biogeographics. 2011. Vol. 38. P. 756–771.
4. *Nagasato C., Terauchi M., Tanaka A., Motomura T.* Development and function of plasmodesmata in zygotes of *Fucus distichus* // Botanica Marina, 2015. Vol. 58. № 3. P. 229–238.
5. *Клочкова Н.Г., Березовская В.А.* Макрофитобентос Авачинской губы и его антропогенная деструкция. Владивосток: Дальнаука, 2001. 205 с.
6. *Кашутин А.Н., Климова А.В., Клочкова Т.А.* Воздействие ледового покрова на межгодовые изменения состояния литоральных зарослей бурой водоросли *Fucus distichus* subsp. *evanescens* в Авачинской губе (юго-восточная Камчатка) // Вестник Камчатского государственного технического университета [Bulletin of Kamchatka State Technical University]. 2018. Вып. 44. С. 88–99.
7. *Кашутин А.Н., Климова А.В., Клочкова Н.Г.* Сезонная динамика роста *Fucus distichus* subsp. *evanescens* (С. Agardh) Н.Т. Powell, 1957 (Phaeophyceae: Fucales) в Авачинской губе (юго-восточная Камчатка) // Биология моря. 2019. Т. 45. № 4. С. 231–239.
8. *Максимова О.В.* Некоторые сезонные особенности развития и определения возраста беломорских фукоидов // Донная флора и продукция краевых морей СССР. М.: Наука, 1980. С. 73–78.
9. *Чмыхалова В.Б.* Развитие бурой водоросли *Fucus evanescens* Ag. в прикамчатских водах: канд. дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский, 2005. 137 с.
10. *Селиванова О.Н., Жигадлова Г.Г.* Альгологические исследования на острове Старичков (восточная Камчатка). Жизненная стратегия, рост и размножение фукуса и ряда других видов морских водорослей // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2011. № 1. С. 24–33.
11. *Ang P.O.Jr.* Age- and size-dependent growth and mortality in a population of *Fucus distichus* // Mar. Ecol.: Prog. Ser. 1991. Vol. 78. P. 173–187.
12. *Mathieson A.C., Shipman J.W., O'Shea J.R., Hasevlat R.C.* Seasonal growth and reproduction of estuarine fucoid algae in New England // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1976. Vol. 25. P. 273–284.
13. *Sideman E.J., Mathieson A.C.* The growth, reproductive phenology, and longevity of non-tide-pool *Fucus distichus* (L.) Powell in New England // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1983. Vol. 68. P. 111–127.
14. *Кашутин А.Н., Шандин Е.А., Болотова П.Г.* Постэмбриональное развитие бурой водоросли *Fucus distichus* после длительного воздействия низкой отрицательной температуры // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: материалы XI Национальной научно-практической конференции (24–26 марта 2020 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2020. С. 87–91.

Информация об авторах Information about the authors

Клочкова Нина Григорьевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и природопользования; ninakl@mail.ru

Klochkova Nina Grigorevna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences; Professor of Ecology and Nature Management Chair; ninakl@mail.ru

Кашутин Александр Николаевич – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский, аспирант; Kashutin-an@yandex.ru

Kashutin Aleksandr Nikolaevich – Kamchatka State Technical University; Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683003; Postgraduate; Kashutin-an@yandex.ru

Клочкова Татьяна Андреевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, доктор философии биологии (Ph.D.), проректор по научной работе и международной деятельности, профессор кафедры экологии и природопользования; tatyana_algae@mail.ru

Klochkova Tatyana Andreevna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences; Ph.D, Vice-rector for Scientific work and international communications, Professor of Ecology and Nature Management Chair; tatyana_algae@mail.ru

УДК [574.52: 595.384](268.45)

А.Г. Дворецкий, В.Г. Дворецкий

**СИМБИОНТЫ И ОБРАСТАТЕЛИ КАМЧАТСКОГО КРАБА ВОСТОЧНОГО МУРМАНА
(ГУБА ДАЛЬНЕЗЕЛЕНЕЦКАЯ, БАРЕНЦЕВО МОРЕ) В ИЮЛЕ 2014 г.**

Камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* в Баренцевом море является видом-вселенцем. В настоящее время его популяция считается ценным биологическим ресурсом. В данной статье представлены результаты изучения симбионтов и обрастателей, поселяющихся на поверхности крабов. Для изучения состава их обрастателей использовали материалы, собранные в губе Дальнезеленецкая (Баренцево море) в летний период 2014 г. В ходе водолазных погружений были отловлены 45 особей камчатского краба. На их поверхности обнаружено 38 видов симбионтов и обрастателей. Обрастатели встречались относительно редко. Наиболее массовыми среди них были двустворчатые моллюски *Mytilus edulis* (экстенсивность заселения 40%). Среди симбиотических организмов доминировали мелкие ракообразные – копеподы *Tisbe furcata* и бокоплав *Ischyrocerus commensalis* (100%-ная встречаемость на половозрелых крабах). Копеподы заселяли преимущественно жабры, а бокоплав колонизировал конечности и ротовой аппарат хозяина. По сравнению с предыдущими годами исследований видовой состав ассоциированных организмов изменился несущественно, однако отмечены колебания в индексах заселенности, связанные с изменениями в размерном составе крабов и количестве крабов разных стадий линьки. Ассоциированные организмы не оказывали явного отрицательного воздействия на камчатского краба в исследованный период времени.

Ключевые слова: камчатский краб, Баренцево море, симбионты, обрастатели.

A.G. Dvoretzky, V.G. Dvoretzky

**SYMBIONTS AND SESSILE MICROBIOTA OF RED KING CRAB FROM EASTERN
MURMAN (DALNEZELENETSKAYA BAY, BARENTS SEA) IN JULY 2014**

Red king crab *Paralithodes camtschaticus* in the Barents Sea is a non-indigenous species. Its population is considered as a valuable biological resource. The study results of symbionts and sessile microbiota living on the body surface of their crustacean hosts are presented in the article. Materials collected in the Dalnezelenetskaya Bay (the Barents Sea) in the summer of 2014 were used to study the sessile microbiota composition. 45 specimen of the red king crab were caught during diving. 38 species of symbionts and sessile microbiota were found on their surface. They were met relatively rare. The most widespread species among them were the bivalve mollusks *Mytilus edulis* (settlement intensity – 40%). Small crustaceans – copepods *Tisbe furcata* and amphipods *Ischyrocerus commensalis* (100% occurrence on mature crabs) dominated among the symbiotic organisms. The copepods occupied mainly the gills, and amphipods colonized the limbs and mouthparts of the host. In comparison with previous years of research the species composition of associated organisms has not changed significantly, but there are fluctuations in the population indices associated with changes in the size composition of crabs and the number of crabs at different stages of molting. Associated organisms did not have a clear negative effect on the red king crab during the investigation.

Key words: red king crab, the Barents Sea, symbionts, sessile microbiota.

DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-66-72

Введение

Камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) – один из наиболее крупных по средней массе и размерам тела среди промысловых десятиногих ракообразных (Decapoda). Нативный ареал его обитания приурочен к Северной Пацифике [1, 2]. Новая популяция камчатского краба сформировалась в Баренцевом море в начале 1990-х гг. как результат интродукции данного вида, выполненной советскими учеными в 1960-х гг. [2, 3]. За период акклиматизации и освоения новой акватории камчатский краб стал важным компонентом экосистемы Баренцева моря. Численность вида росла по экспоненте [4], в результате этого были достигнуты показатели, позволившие начать его промысел, сначала научный (с 1994 г.), а потом и коммерческий (с 2004 г.) [3, 5]. Несмотря на высокую численность и прессинг на среду обитания, выражающийся в выедании бентоса и конкуренции с местными видами, краб не оказал заметного негативного

влияния на донные биоценозы Баренцева моря [6, 7] и добычу традиционных для данного региона объектов промысла – рыб (треска, пикша, мойва) и ракообразных (северная креветка) [5].

За последние годы отмечаются периоды роста и стабилизации общей численности и промыслового запаса краба, как в целом по морю, так и в отдельных прибрежных районах [3, 4, 8], а интерес к изучению экологии вида-вселенца не угасает. В настоящее время продолжают работы, направленные на отслеживание популяционной динамики камчатского краба [8–10], определение важных биологических показателей [11, 12] и разработку вопросов аквакультуры [13].

Важной задачей исследований чужеродных видов является мониторинг паразитов и других симбионтов, которые поселяются на теле хозяина-вселенца в новом месте обитания [14]. Такие работы представляют интерес, поскольку позволяют отслеживать возможную динамику биоразнообразия, оценивать влияние климатических изменений и потенциальных угроз в связи с возможным появлением новых патогенов [14, 15]. Для камчатского краба этот вопрос также остается актуальным, поэтому состояние сообществ ассоциированных с ним организмов и его эпимбионтов изучается на протяжении последних лет [14, 16, 17]. Подобные исследования имеют особое значение для прибрежных районов, где происходит размножение камчатского краба, а также рост и развитие ювенильных особей, которые служат основой для пополнения промыслового запаса [10–12].

Целью работы было изучение состава и количественной структуры сообщества симбионтов и обрастателей популяции краба, обитавшей в губе Дальнезеленецкая Баренцева моря в летний период 2014 г., сравнение полученных результатов с данными более ранних аналогичных исследований [17], а также причин, определяющих обнаруженные различия.

Материалы и методы

Материал был отобран во время экспедиционных морских прибрежных исследований, проводившихся Мурманским морским биологическим институтом КНЦ РАН в июле 2014 г. Отлов крабов производили с применением легководолазного снаряжения с глубин 8–32 м. Всего было выполнено девять водолазных разрезов, равномерно охватывающих исследуемую акваторию. В ходе биологического анализа крабов определяли их половую принадлежность и размерные характеристики. Половозрелыми считали крабов с шириной карапакса более 100 мм [8, 11, 12].

Отбор проб симбионтов и обрастателей выполняли по общепринятым методикам с учетом их локализации [16, 18, 19]. В качестве индексов заселенности использовали следующие стандартные величины: а) экстенсивность заселения – отношение количества заселенных крабов к общему числу собранных крабов (в %); б) средняя интенсивность заселения – количество особей симбионта, приходящееся на одного заселенного хозяина [16]. Средние величины (\bar{x}) представлены со стандартной ошибкой (SE). Для сравнения данных, выраженных в виде процентов, использовали таблицы сопряженности (критерий χ^2). Численные значения сравнивали между разными группами на основе однофакторного дисперсионного анализа (F) при нормальном распределении данных, в других случаях применяли тест Крускала – Уоллиса (H).

Результаты и обсуждение

За период исследований было отловлено 45 экз. камчатского краба: 20 неполовозрелых и 25 половозрелых. Среди крупных особей основную долю составляли самки (табл. 1).

Таблица 1

Размерный состав уловов камчатского краба из губы Дальнезеленецкая в июле 2014 г.

Ширина карапакса, мм	Самцы	Самки	Самцы	Самки
	Количество, экз.		Доля, %	
21–40	7	3	15,6	6,7
41–60	8	2	17,8	4,4
61–80	0	0	0,0	0,0
81–100	0	0	0,0	0,0
101–120	1	0	2,2	0,0
121–140	0	3	0,0	6,7
141–160	0	16	0,0	35,6
161–180	2	2	4,4	4,4
> 180	1	0	2,2	0,0

На камчатских крабах обнаружено 38 видов разной таксономической принадлежности. Их общий список кроме беспозвоночных животных включает красную водоросль *Odonthalia dentata* (табл. 2). Отметим, что 15 видов (39,5%) встречались на единичных крабах.

Таблица 2

Видовой состав и индексы заселенности камчатских крабов ассоциированными организмами в губе Дальнезеленевская в июле 2014 г.

Таксон	Экстенсивность, %	Интенсивность, экз.		
		$x \pm SE$	Min	Max
Algae				
<i>Odonthalia dentata</i> (Linnaeus) Lyngbye, 1819	2,2	1 ± 0	1	1
Hydrozoa				
<i>Obelia longissima</i> (Pallas, 1766)	2,2	–	–	–
Nemertini				
Nemertini g. sp. 1	4,4	4,5 ± 3,5	1	8
Nemertini g. sp. 2	4,4	1,5 ± 0,5	1	2
Polychaeta				
<i>Circeis armoricana</i> Saint-Joseph, 1894	2,2	13 ± 0	13	13
<i>Eumida sanguinea</i> (Ørsted, 1843)	6,7	1 ± 0	1	1
<i>Harmothoe imbricata</i> (L., 1767)	13,3	1,5 ± 0,3	1	3
<i>Harmothoe impar impar</i> (Johnston, 1839)	2,2	1 ± 0	1	1
Hirudinea				
<i>Crangonobdella fabricii</i> (Malm, 1863)	4,4	1 ± 0	1	1
<i>Johanssonia arctica</i> (Johansson, 1898)	15,6	1,7 ± 0,4	1	4
Bivalvia				
<i>Hiatella arctica</i> (Linnaeus, 1767)	17,8	3,4 ± 0,6	1	5
<i>Musculus discors</i> (Linnaeus, 1767)	2,2	1 ± 0	1	1
<i>Mytilus edulis</i> (Linnaeus, 1758)	40,0	3,7 ± 0,8	1	14
Gastropoda				
<i>Lacuna vineta</i> (Montagu, 1803)	6,7	2,7 ± 1,7	1	6
<i>Margarites</i> sp.	4,4	1 ± 0	1	1
Copepoda				
<i>Danielssenia typica</i> Boeck, 1873	2,2	1 ± 0	1	1
<i>Ectinosoma neglectum</i> Sars G.O., 1904	2,2	1 ± 0	1	1
<i>Ectinosoma normani</i> Scott T. & A., 1896	26,7	4,6 ± 1,2	1	16
<i>Halectinosoma gracile</i> (Scott T. & A., 1896)	2,2	2 ± 0	2	2
<i>Harpacticus chelifer</i> (O.F. Müller, 1776)	17,8	10,6 ± 3,9	1	32
<i>Harpacticus littoralis</i> Sars G.O., 1910	2,2	3 ± 0	3	3
<i>Harpacticus uniremis uniremis</i> Krøyer in Gaimard, 1842–1845 (?)	8,9	6,3 ± 1,4	3	10
<i>Mesochra pygmaea pygmaea</i> (Claus, 1863)	31,1	5,1 ± 1,8	1	26
<i>Tisbe furcata</i> (Baird, 1837)	55,6	56,7 ± 9,5	1	189
<i>Tisbe minor</i> (Scott T. & A., 1896)	33,3	8,1 ± 1,8	1	28
<i>Tisbe tenera</i> (Sars G.O., 1905)	6,7	4,7 ± 3,7	1	12
<i>Zaus abbreviatus</i> Sars G.O., 1904	11,1	1 ± 0	1	1
<i>Zaus goodsiri</i> Brady, 1880	2,2	1 ± 0	1	1
Amphipoda				
<i>Ischyrocerus anguipes</i> Krøyer, 1838	6,7	7 ± 4,5	2	16
<i>Ischyrocerus commensalis</i> Chevreux, 1900	55,6	84,5 ± 13,5	7	240
<i>Ischyrocerus latipes</i> Krøyer, 1842	6,7	1 ± 0	1	1
Cirripedia				
<i>Balanus balanus</i> (L., 1758)	2,2	1 ± 0	1	1
<i>Balanus crenatus</i> Brugiere, 1789	11,1	1,2 ± 0,2	1	2
Bryozoa				
<i>Callopora lineata</i> (L., 1767)	2,2	–	–	–
<i>Crisia denticulata</i> (Smitt, 1865)	2,2	–	–	–
<i>Patinella verrucaria</i> (Linnaeus, 1758)	2,2	–	–	–
<i>Scrupocellaria arctica</i> (Smitt, 1868)	4,4	–	–	–
Sipuncula				
<i>Phascolosoma</i> sp.	2,2	1 ± 0	1	1

На неполовозрелых крабах отмечен лишь один случай заселения ассоциированным организмом – двустворчатым моллюском *Musculus discors*. Другой представитель Bivalvia – мидия *Mytilus edulis*, напротив, была обычным эпибионтом. Общая экстенсивность ее заселения составила 40%, а экстенсивность заселения половозрелых крабов – 72%.

Остальные типичные обрастатели (несимбиотические малоподвижные или прикрепленные животные) были представлены брюхоногими моллюсками, усоногими раками и мшанками. В более ранние годы исследований на крабах часто встречался гидроид *Obelia longissima*. Экстенсивность заселения данным обрастателем половозрелых крабов в 2013 г. составила 27% [17], что было достоверно выше, чем в 2014 г. ($df = 1$, $\chi^2 = 5,65$, $p = 0,017$). Моллюски, гидроиды и мшанки встречаются и на других крупных ракообразных по всему Мировому океану, причем в ряде случаев отмечается симбиотический характер их связей с хозяевами [18, 20].

Эпифиты были представлены единично на самке камчатского краба с шириной карапакса 154 мм. В 2013 г. водоросли-макрофиты встречались чаще, их видовой состав включал четыре вида. В целом же водоросли являются нетипичными обитателями камчатского краба. В Баренцевом море они охотнее поселяются на крабах-пауках *Hyas araneus*, что связано с различиями в рационах питания плотоядных камчатских крабов и хиасов, предпочитающих растительную пищу [21].

Среди подвижных симбионтов наиболее часто на камчатских крабах встречались мелкие ракообразные. По видовому составу доминировали веслоногие раки (Copepoda), а по экстенсивности заселения – разноногие (Amphipoda).

Среди копепод традиционно [22] доминировали гарпактициды *Tisbe furcata* и *T. minor*. В предшествовавшем году экстенсивность заселения крупных крабов этими симбионтами составляла 98 и 46%. Эти значения не отличались от таковых в 2014 г. ($p > 0,05$). Такой же результат отмечен и для других массовых видов копепод. Средняя интенсивность заселения *Tisbe furcata* на крупных крабах в 2014 г. была ниже, чем в 2013 г. ($56,7 \pm 9,5$ против $102,0 \pm 26,0$ экз.), однако эти различия недостоверны ($df = 1$, $H = 0,86$, $p = 0,353$).

Самым распространенным симбионтом камчатского краба был бокоплав *Ischyrocerus commensalis*. Этот вид в последние годы стабильно заселяет 98–100% половозрелых камчатских крабов [16]. Средняя интенсивность заселения крабов этим видом не изменилась по сравнению с 2013 г. [17].

В отличие от *Ischyrocerus commensalis* экстенсивность заселения близкородственным видом *I. anguipes* претерпевает значительные колебания. Так, в 2013 г. этот индекс был равен 40%, а в 2012 г. – 16%. Достоверные различия отмечены при сравнении данных за 2014 и 2013 гг., а также 2013 и 2012 гг. ($p < 0,05$) [17]. В Баренцевом море бокоплав встречается также на местных видах крабов – северном литоде *Lithodes maja* и уже упоминавшемся *Hyas araneus*, правда, в гораздо меньших количествах [21, 23].

Общая экстенсивность заселения крабов составила 58%. В предшествовавшем 2013 г. этот показатель достигал 83%, различия достоверны ($df = 1$, $\chi^2 = 7,82$, $p = 0,005$). Такой результат обусловлен тем, что в 2013 г. доля неполовозрелых крабов (17%) была ниже, чем в 2014 г. (44%) [17]. Помимо этого укажем, что в 2014 г. было отмечено лишь два краба (4%) со старым экзоскелетом (стадия линьки 3), а в 2013 г. таковых особей почти в такой же по численности выборке было 14 экз. (24%) [17].

Известно, что неполовозрелые камчатские крабы линяют гораздо чаще, чем половозрелые, поэтому на их панцире не успевают сформироваться устойчивые поселения организмов [1, 2, 8]. Помимо этого площадь, доступная для заселения на половозрелых крабах, выше, чем на более мелких неполовозрелых [16]. Схожие тенденции имеют место и для других видов десятиногих раков [18, 20, 24].

Что касается крупных крабов, то для них важным фактором, влияющим на заселенность симбионтами и обрастателями, можно считать возраст экзоскелета. Так, на особях второй стадии линьки, которые линяли в марте – апреле 2014 г., среднее количество ассоциированных видов составило семь. Для крабов третьей стадии линьки (возраст экзоскелета 1–2 года) среднее значение этого показателя достигало уже 13,5 вида. Такая же ситуация отмечалась и в 2013 г. [17]. Дополнительно стоит указать на факт, что средняя интенсивность заселения для некоторых видов, срок жизни которых превышает один год (например, *Ischyrocerus commensalis*), как правило, выше на крабах третьей стадии линьки за счет накопления особей, принадлежащих к нескольким поколениям [25, 26].

Локализация симбионтов и обрастателей варьировала в зависимости от видовой принадлежности того или иного организма (табл. 3).

Таблица 3

Процентное распределение массовых ассоциированных организмов на разных участках тела камчатского краба в губе Дальнезеленецкая в июле 2014 г.

Таксон	Абдомен	Жабры	Карапакс	Конечности	Рот
Hydrozoa	0,0	0,0	50,0	50,0	0,0
<i>Ectinosoma normani</i>	9,2	0,0	27,8	35,2	27,8
<i>Mesochra pygmaea</i>	6,9	0,0	44,4	23,6	25,1
<i>Mytilus edulis</i>	28,3	6,0	6,0	47,8	11,9
<i>Hiatella arctica</i>	14,8	0,0	22,2	51,9	11,1
<i>Tisbe furcata</i>	0,0	99,9	0,0	0,1	0,0
<i>Tisbe minor</i>	3,2	47,6	28,6	9,5	11,1
<i>Ischyrocerus commensalis</i>	3,3	14,4	4,8	42,5	35,0
Bryozoa	50,0	0,0	33,3	0,0	16,7

Типичные прикрепленные формы – гидроиды, мшанки, моллюски – заселяли наиболее доступные и удобные для колонизации их планктонными личинками участки тела хозяина: конечности и карапакс. То же самое можно отметить и для некоторых видов веслоногих раков (*Ectinosoma normani* и *Mesochra pygmaea*). Более специализированные симбионты колонизировали жабры. Это касается, прежде всего, копепод *Tisbe* и, отчасти, амфипод *Ischyrocerus commensalis*. Причем для последнего вида характерна размерная сегрегация в расселении особей разных размеров: небольшие особи преобладали в жабрах, а крупные – на ротовом аппарате, где бокоплавы питаются остатками пищи хозяина [26]. Рачки средних размеров равномерно встречались на теле краба, но наибольшее их количество наблюдалось на конечностях, причем в большей части тех, которые находятся ближе к ротовому аппарату: на клешнях и первой паре ходильных ног. Такое неравномерное распределение указывает на внутривидовую конкуренцию в популяции, образующейся на теле краба [27]. Использование организмами разных видов всего тела хозяина в качестве субстрата отражает сложные межвидовые взаимодействия и позволяет более эффективно использовать пространство [28].

Мы не наблюдали случаев, когда массовое заселение симбионтами и/или обрастателями вело к явному ухудшению здоровья хозяев, как это отмечается в некоторых случаях [15], в связи с чем общий характер взаимоотношений можно охарактеризовать как комменсализм, более выгодный для ассоциированных организмов, которым краб предоставляет субстрат для поселения, обеспечивает пищей и осуществляет защиту от хищников.

Заключение

1. В губе Дальнезеленецкая Восточного Мурмана Баренцева моря в летний период на крабах формируется устойчивое сообщество ассоциированных организмов, в которое входят как обрастатели (преимущественно двустворчатые моллюски), так и симбионты, среди которых преобладают копеподы и амфиподы.

2. Сравнительный анализ выявил вариации в индексах заселенности камчатских крабов массовыми видами симбионтов и обрастателей в 2014 и 2013 гг. Изменения в экстенсивности заселения связаны со снижением доли молодежи и крабов поздних стадий линьки в 2014 г.

3. В июле на заселенность крабов наибольшее влияние оказывает размер особи и возраст экзоскелета хозяина.

4. Локализация симбионтов и обрастателей позволяет организмам равномерно заселять тело хозяина и зависит от тесноты их связей с хозяином. Не выявлено отрицательных эффектов для крабов в связи с поселением на них ассоциированных животных и растений.

Работа выполнена за счет финансирования Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ММБИ.

Литература

1. Камчатский краб в Баренцевом море / отв. ред. Б.И. Беренбойм. Мурманск: ПИНРО, 2003. 383 с.
2. Кузьмин С.А., Гудимова Е.Н. Вселение камчатского краба в Баренцево море. Особенности биологии, перспективы промысла. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2002. 236 с.

3. *Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G.* Red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) fisheries in Russian waters: historical review and present status // *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2018. Vol. 28. P. 331–353.
4. *Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G.* Inter-annual dynamics of the Barents Sea red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) stock indices in relation to environmental factors // *Polar Science*. 2016. Vol. 10. P. 541–552.
5. *Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G.* Commercial fish and shellfish in the Barents Sea: Have introduced crab species affected the population trajectories of commercial fish? // *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2015. Vol. 25. P. 297–322.
6. *Дворецкий А.Г.* Вселение камчатского краба в Баренцево море и его воздействие на экосистему (обзор). 1. Выедание бентоса // *Вопросы рыболовства*. 2012. Т. 13, № 1 (49). С. 18–34.
7. *Дворецкий А.Г.* Вселение камчатского краба в Баренцево море и его воздействие на экосистему (обзор). 2. Конкуренция с местными видами // *Вопросы рыболовства*. 2013. Т. 14, № 1 (53). С. 16–25.
8. *Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G.* Population dynamics of the invasive lithodid crab, *Paralithodes camtschaticus*, in a typical bay of the Barents Sea // *ICES Journal of Marine Science*. 2013. Vol. 70. P. 1255–1262.
9. *Дворецкий А.Г.* Вселение камчатского краба в Баренцево море и его воздействие на экосистему (обзор). 4. Промысел и социально-экономические аспекты // *Вопросы рыболовства*. 2014. Т. 15, № 1. С. 7–20.
10. *Стесько А.В.* Распределение и состояние запаса камчатского краба в территориальных водах России в Баренцевом море // *Вопросы рыболовства*. 2015. № 2. С. 175–192.
11. *Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G.* Size-at-age of juvenile red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) in the coastal Barents Sea // *Cahiers de Biologie Marine*. 2014. Vol. 55. P. 43–48.
12. *Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G.* Size at maturity of female red king crab, *Paralithodes camtschaticus*, from the coastal zone of Kola Peninsula (southern Barents Sea) // *Cahiers de Biologie Marine*. 2015. Vol. 56. P. 49–54.
13. *Ковачева Н.П.* Аквакультура ракообразных отряда Decapoda: камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* и гигантская пресноводная креветка *Macrobrachium rosenbergii*. М.: ВНИРО, 2008. 240 с.
14. *Дворецкий А.Г.* Вселение камчатского краба в Баренцево море и его воздействие на экосистему (обзор). 3. Ассоциированные организмы // *Вопросы рыболовства*. 2013. Т. 14, № 3 (55). С. 406–420.
15. *Gannon A.T., Wheatly M.G.* Physiological effects of an ectocommensal gill barnacle, *Octolasmis muelleri*, on gas exchange in the blue crab *Callinectes sapidus* // *Journal of Crustacean Biology*. 1992. Vol. 12. P. 11–18.
16. *Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G.* Epifauna associated with an introduced crab in the Barents Sea: a 5-year study // *ICES Journal of Marine Science*. 2010. Vol. 67. P. 204–214.
17. *Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г.* Исследования эпибионтов камчатского краба в губе Дальнезеленецкая летом 2013 года // *Рыбное хозяйство*. 2019. № 1. С. 43–46.
18. *Abello P., Villanueva R., Gili J.M.* Epibiosis in deep-sea crab populations as indicator of biological and behavioral characteristics of the host // *Journal of Marine Biological Association of the UK*. 1990. Vol. 70. P. 687–695.
19. *Mantelatto F. L., O'Brien J. J., Biagi R.* Parasites and symbionts of crabs from Ubatuba Bay, São Paulo state, Brazil // *Comparative Parasitology*. 2003. Vol. 70. P. 211–214.
20. *Fernandez-Leborans G.* Epibiosis in Crustacea: an overview // *Crustaceana*. 2010. Vol. 83. P. 549–640.
21. *Dvoretsky A.G.* Epibionts of the great spider crab, *Hyas araneus* (Linnaeus, 1758), in the Barents Sea // *Polar Biology*. 2012. Vol. 35. P. 625–631.
22. *Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G.* Copepods associated with the red king crab *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) in the Barents Sea // *Zoological Studies*. 2013. Vol. 52. Paper 17. P. 1–7.
23. *Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г.* Эпибионты и комменсалы северного литода (*Lithodes maja*, Decapoda, Lithodidae) в Баренцевом море // *Зоологический журнал*. 2019. Т. 98, № 4. С. 365–370.

24. Williams J.D., McDermott J.J. Hermit crab biocoenoses; a worldwide review of the diversity and natural history of hermit crab associates // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2004. Vol. 305. P. 1–128.

25. Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G. Distribution of amphipods *Ischyrocerus* on the red king crab, *Paralithodes camtschaticus*: Possible interactions with the host in the Barents Sea // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2009. Vol. 82. P. 390–396.

26. Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G. Population biology of *Ischyrocerus commensalis*, a crab-associated amphipod, in the southern Barents Sea: a multi-annual summer study // Marine Ecology. 2011. Vol. 32. P. 498–508.

27. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Межвидовые взаимоотношения симбиотических амфипод на камчатском крабе в Баренцевом море // Доклады академии наук. 2010. Т. 433, № 5. С. 715–717.

28. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Межвидовая конкуренция симбионтов и обрастателей камчатского краба в Баренцевом море // Доклады академии наук. 2011. Т. 440, № 3. С. 283–285.

Информация об авторах Information about the authors

Дворецкий Александр Геннадьевич – Мурманский морской биологический институт; 183010, Россия, Мурманск; кандидат биологических наук, заведующий лабораторией зообентоса; ag-dvoretsky@yandex.ru

Dvoretsky Alexander Gennadievich – Murmansk Marine Biological Institute; 183010, Russia, Murmansk; Candidate of Biological Sciences, Head of the Zoobenthos Laboratory; ag-dvoretsky@yandex.ru

Дворецкий Владимир Геннадьевич – Мурманский морской биологический институт; 183010, Россия, Мурманск; кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории планктона; v-dvoretsky@yandex.ru

Dvoretsky Vladimir Gennadievich – Murmansk Marine Biological Institute; 183010, Russia, Murmansk; Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Plankton Laboratory; v-dvoretsky@yandex.ru

УДК [591.524.12:595.384.12](265.5)

Н.А. Седова

ОСОБЕННОСТИ ЛИЧИНОЧНОГО РАЗВИТИЯ КРЕВЕТОК РОДА *SPIRONTOCARIS* (DECAPODA, THORIDAE) ИЗ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

В планктонных пробах, собранных у берегов Камчатки и Чукотки, обнаружены личинки 11 видов креветок из рода *Spirontocaris*. Выявлены наиболее надежные признаки для их видовой идентификации. Дана обобщенная характеристика морфологии личинок рода *Spirontocaris*. Описаны основные морфологические различия личинок разных видов в одной и той же стадии развития. Максимальная плотность личинок, отмеченная в июне 2015 г. в восточной части Охотского моря, составила 182 экз./м². Указаны сроки их появления в планктоне, продолжительность личиночного развития и глубины, над которыми происходит развитие зоеа. Высказано предположение, что в восточной части Охотского моря обитает по крайней мере еще два неизвестных для данного района вида рода *Spirontocaris*.

Ключевые слова: род *Spirontocaris*, личинки креветок, стадии развития, морфология, конечности, сегменты, шипы, щетинки, Камчатка, Чукотка.

N.A. Sedova

FEATURES OF LARVAL DEVELOPMENT OF SHRIMPS OF GENUS *SPIRONTOCARIS* (DECAPODA, THORIDAE) IN THE NORTHWEST PACIFIC

Larvae of 11 shrimp species of genus *Spirontocaris* were found in plankton samples collected at the coast of Kamchatka and Chukotka. The most reliable features for species identification have been identified. A generalized morphology of the larvae of genus *Spirontocaris* was given. The main morphological differences of the larvae of the corresponding stages were described. The maximum density of larvae recorded in June 2015 in the eastern part of the Okhotsk Sea was 182 ind/m². The time of larvae appearance in plankton, the duration of the larval development, and the depths above which zoea develops are indicated. It is assumed that in the eastern part of the Okhotsk Sea at least two species of genus *Spirontocaris* unknown for this region exist.

Key words: genus *Spirontocaris*, shrimps larvae, development stages, morphology, limbs, segments, spines, setae, Kamchatka, Chukotka.

DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-73-82

Введение

Spirontocaris Bate 1888 – род каридных креветок, относящихся к семейству Thoridae. До недавнего времени он был в семействе Hippolytidae. De Grave [1] показал неоднородность данной группы и на основе генетического анализа выделил несколько самостоятельных семейств, объединивших наиболее близкие виды. Почти все креветки, обитающие в северо-западной части Тихого океана, ранее относимые к семейству Hippolytidae, попали в семейство Thoridae.

В настоящее время род *Spirontocaris* насчитывает 20 видов [2], из которых для района исследования известно 10 видов: *Spirontocaris arcuata* Rathbun 1902; *S. brashnikovi* Kobjakova 1936; *S. brevidigitata* Kobjakova 1936; *S. intermedia* Makarov, Kobjakova 1936; *S. lamellicornis* (Dana 1852); *S. murdochi* Rathbun 1902; *S. ochotensis* (Brandt 1851); *S. phippsi* Kroyer 1841; *S. prionota* (Stimpson 1864); *S. spinus* (Sowerby 1805). Среди них имеются потенциально промысловые и перспективные виды [3, 4].

Личинки креветок этого рода в планктоне встречаются регулярно в течение всего вегетационного периода в небольшом количестве, как правило, не более 15 экз. на одной станции [5–8]. Глубины, над которыми были обнаружены личинки рода *Spirontocaris*, колеблются от 5 до 350 м. Достоверно ранее были описаны младшие личинки видов *S. arcuata*, *S. intermedia*, *S. murdochi* и *S. ochotensis* [9, 10]. Личинки *S. phippsi* и *S. spinus* описаны из планктона [11]. Имеется также описание отдельных стадий зоеа личинок из западнокамчатских вод, ошибочно отнесенных

к *S. intermedia* [12]. Кроме того, Р.Р. Макаров дает неполное описание личинок рода *Spirontocaris* из планктона восточной части Охотского моря.

Биология креветок из рода *Spirontocaris* изучена недостаточно. Отдельные сведения по их развитию имеются для северной [4] и восточной [13] частей Охотского моря. Для большинства дальневосточных видов имеются лишь отрывочные сведения о глубинах их обитания и температурных условиях [14]. При обработке проб из прикамчатских и смежных вод нами было обнаружено большое количество личинок, находящихся на разных стадиях развития и явно принадлежащих к роду *Spirontocaris*. Цель работы – описать особенности личиночного развития видов креветок рода *Spirontocaris*, обитающих в прикамчатских и сопредельных водах, и выявить надежные признаки для их видовой идентификации.

Материалы и методы

Материалом для данной работы послужили сборы планктона, выполненные по научной программе ЧукотГИНРО и КамчатНИРО в Анадырском заливе и в восточной части Чукотского моря в июле – сентябре 2010 г.; в восточной части Охотского моря в июне – июле 2015, 2016 и 2018 гг.; а также в тихоокеанских водах у юго-восточного побережья Камчатки весной 2014 и 2017 гг. (табл. 1). Для сборов планктона над глубинами 9–1800 м использовали ихтиопланктонную коническую сеть с диаметром входного отверстия 80 см и шагом ячеи 0,56 мм. В 2018 г. пробы собирали в прибрежной части над глубинами 5–15 м сетью Джели с диаметром входного отверстия 27 см и шагом ячеи 0,1 мм. Выполняли вертикальный тотальный лов в слое 500–0 м и от дна до поверхности при меньших глубинах. Минимальная глубина лова – 5 м.

Таблица 1

Использованный материал

Вид	Сроки взятия проб	Район сбора проб*		
		ЗК	ЮВК	БМ
<i>S. arcuata</i>	Август 2010	–	–	III, IV
	Июнь – июль 2015	I, II, III, IV, V	–	–
	Июнь 2016	III, IV, V, VI	–	–
	Апрель – май 2017	–	II, III	–
<i>S. brashnikovii</i>	Июнь – июль 2015	III	–	–
	Июнь 2018	I	–	–
<i>S. brevidigitata</i>	Август 2010	V, VI	–	–
	Июнь – июль 2015	V	–	–
	Июнь – 2016	I, III	–	–
<i>S. intermedia</i>	Март – июль 2014	–	IV	–
	Июнь – июль 2015	II, IV, V	–	–
	Июнь – 2016	I, IV	–	–
	Апрель – май 2017	–	I, II, III	–
<i>S. murdochi</i>	Август 2010	–	–	III, IV, V, VI
	Июнь – июль 2015	III, IV	–	–
	Июнь – 2016	I	–	–
	Апрель – май 2017	–	I, II, III, IV	–
<i>S. ochotensis</i>	Июнь – июль 2015	IV, VI	–	–
	Июнь – 2016	IV	–	–
	Апрель – май 2017	–	II	–
	Июнь 2018 г.	I, II	–	–
<i>S. phippii</i>	Март – июль 2014	–	IV	–
	Апрель – май 2017	–	II	–
<i>S. spinus</i>	Апрель – май 2017	–	II	–
<i>S. prionota</i>	Июнь – июль 2015	IV	–	–
<i>Spirontocaris</i> sp.1	Август 2010	–	–	I, IV, V, VI
	Июнь – июль 2015	III, V	–	–
	Июнь – 2016	I	–	–
	Апрель – май 2017	–	V	–
<i>Spirontocaris</i> sp.2	Июнь – июль 2015	IV, V	–	–
	Июнь – 2016	I, IV, V, VI	I, II, III	–
	Апрель – май 2017	–	–	–

* ЗК – восточная часть Охотского моря; ЮВК – юго-восточная Камчатка; БМ – Берингово море; I–VI – обнаруженные стадии зоэа.

Личинок, фиксированных в 2–4%-ном формалине, изучали под микроскопом при увеличении 32×, 56×, 120×. В каждой пробе определяли их таксономический состав и стадии развития. Общую длину личинки измеряли от конца роострума до заднего края тельсона при помощи окуляр-микрометра с точностью до 0,1 мм, длину карапакса – от основания роострума до заднего края карапакса. Подробно изучали строение карапакса, плеона, тельсона и отдельных конечностей. На основании общности морфологии и размеров было составлено 11 серий личинок.

Результаты и обсуждение

Шесть из обнаруженных в пробах видов были идентифицированы по описаниям Б.Г. Иванова, Э. Хейнса, Х. Сквайрса [9–11, 15–17] и других авторов (табл. 2). Кроме того, для *S. arcuata*, *S. murdochi*, *S. ochotensis* и *S. phippii* были выделены две морфологические формы. Одна из подобранных серий личинок оказалась морфологически близкой к зою *S. spinus* [11]. Наиболее близкий вид спиронтокарисов – *S. brevidigitata*, поэтому данные личинки были отнесены именно к нему. *S. prionota* – самый мелкий из известных видов креветок данного рода, обитающих в прикамчатских водах, поэтому к нему отнесли личинок, отличающихся особенно малыми размерами, слегка отстающих в развитии по сравнению с другими видами *Spirontocaris*. Личинки, отнесенные к *S. brashnikovi*, были пойманы только в прибрежной мелководной части западно-камчатского шельфа. Из всех известных для восточной части Охотского моря видов данного рода в этой зоне обитает только спиронтокарис Бражникова [14]. Два вида идентифицировать до конца не удалось. Зою *Spirontocaris* sp.1 отличались относительно небольшим количеством шипов на максиллале и более длинным роострумом. Личинки, обозначенные как *Spirontocaris* sp.2, оказались сходными с *S. intermedia*, но отличаются рядом признаков, не позволяющих отнести их к последнему виду. Оба вида в планктонных пробах встречались регулярно.

Таблица 2

Описания в научной литературе личинок рода *Spirontocaris*

Вид	Описанные стадии	Источник
<i>Spirontocaris arcuata</i> Rathbun, 1902	I	Haynes, 1981
<i>Sp. intermedia</i> Makarov & Kobjakova, 1936	I	Иванов, 1971
<i>Sp. murdochi</i> Rathbun, 1902	I–III	Haynes, 1981
<i>Sp. ochotensis</i> (Brandt, 1851)	I	Haynes, 1981
<i>Sp. phippii</i> (Kröyer, 1841)	II–IV	Squires, 1993; Pike, Williamson 1964; Stephensen, 1916
<i>Sp. spinus</i> (Sowerby, 1805)	I–IV, decapodid	Squires, 1993; Pike, Williamson, 1964

Изученные зою *Spirontocaris* различаются между собой по большинству внешних признаков незначительно, что сильно затрудняет их идентификацию. Максимальная изменчивость была выявлена в степени развития плеоподов, строении карапакса и тельсона. Длина отдельных особей соответствующей стадии у одного и того же вида может различаться в 1,2–1,4 раза. Прирост за одну стадию составляет от 5 до 34% общей длины. За весь период от первой стадии зою до декаподита личинки вырастают на 66,7–109,8%. Наименее изменчивыми и более надежными признаками для видовой идентификации оказалось вооружение максилл и максиллал, а также степень развития переоподов. *S. ochotensis* отличается от других видов отсутствием роострума, *S. brashnikovi* имеет дорзолатеральные шипы только на пятом плеональном сомите, *S. phippii* отличается большим количеством щетинок на тельсоне и более развитыми конечностями. Наиболее близкими по морфологии зою оказались *S. arcuata*, *S. murdochi*, *S. intermedia*, *Spirontocaris* sp.1 и *Spirontocaris* sp.2.

Развитие видов *Spirontocaris* из прикамчатских вод соответствует второй степени укорочения пелагического развития по Г. Торсону [18]. Большинство изученных видов имеют шесть стадий зю. Не удалось уточнить количество стадий для *S. phippii* и *S. spinus*, которые в приамериканских водах имеют более короткое развитие [11]. На основании морфологии конечностей данных видов можно предположить, что и в Тихом океане эти виды развиваются быстрее других. Ниже дана обобщенная характеристика личиночного развития рода *Spirontocaris* с учетом собственных и литературных данных.

Общая длина личинок креветок рода *Spirontocaris* может колебаться от 2,7–7,0 мм на I стадии до 5,0–8,5 мм на VI стадии зоза. Рострум может отсутствовать на всех личиночных стадиях (*S. ochotensis*, рис. 1, А, В), но у большинства видов он достаточно длинный (рис. 1, Г–Е). Шипы на роструме обычно у зоза отсутствуют. Исключение – *S. intermedia* V стадии (рис. 1, Г). Супра-орбитальные шипы у зоза I, как правило, отсутствуют. На более поздних стадиях они имеются у всех видов данного рода. Антеровентральный край карапакса у младших личинок, как правило, зубчатый, у старших зоза количество зубцов сокращается вплоть до полного исчезновения (рис. 2, Б–Г). Исключение – *S. brevidigitata* (рис. 2, А). У зоза этого вида 3–4 зубчика на антеровентральном крае сохраняются до V стадии. Во многих случаях количество зубчиков справа и слева различается на один или два. Птеригостомиальный шип всегда имеется.

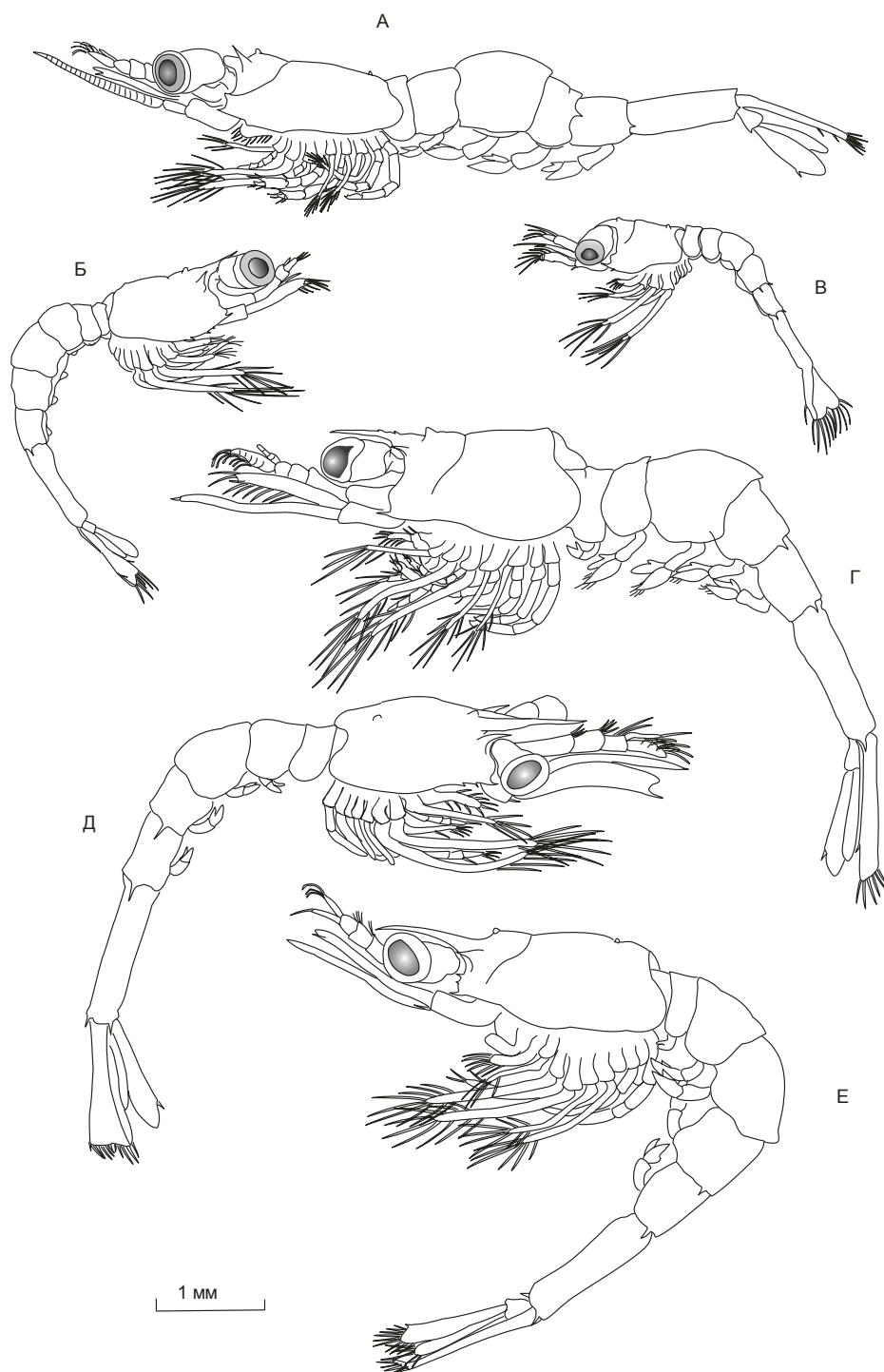


Рис. 1. Общий вид личинок некоторых видов *Spirontocaris*:
 А – *S. ochotensis* VI; Б – *S. brashnikovi* III; В – *S. ochotensis* I; Г – *S. intermedia* V;
 Д – *S. brevidigitata* III; Е – *Spirontocaris* sp.2 IV

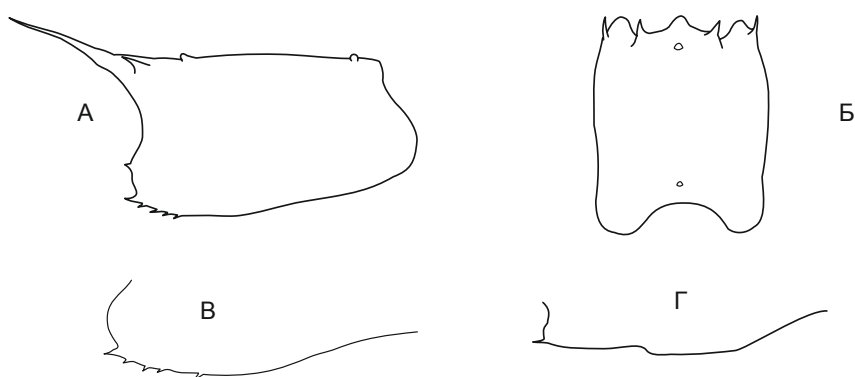


Рис. 2. Морфология карапакса: А – *S. brevidigitata* V; Б, Г – *S. ochotensis* IV; В – *S. arcuata* I

Дорзолатеральными шипами вооружены обычно четвертый и пятый плеональный сомиты. Лишь у некоторых видов, например у *S. brashnikovi*, шипы имеются только на пятом сомите (рис. 1, Б). На первой стадии зоэа анальный сомит слит с тельсоном, на второй стадии, как правило, – отделен (рис. 3, I–II). Задние углы последнего сомита у старших личинок остро оттянуты. Анальный шип на I стадии может отсутствовать. Тельсон имеет типичное для семейства строение и форму. У зоэа I–III он расширяется к концу, с выемкой на терминальном крае. По мере развития личинок тельсон постепенно сужается (рис. 3, III–VI). На стадии зоэа I на тельсоне у большинства видов семь пар щетинок, на II–III стадии – восемь пар. Исключение – *S. phippi*, у которого на I стадии восемь пар щетинок, а на остальных – девять пар. У старших личинок две-три пары щетинок превращаются в угловые и латеральные шипы. Уроподы у всех видов появляются только на III стадии зоэа. На III стадии эндоподит в 1,5–2 раза короче экзоподита, на терминальном конце у подавляющего большинства видов, кроме *S. phippi*, несет две короткие щетинки. Уроподы старших личинок вооружены большим количеством длинных щетинок. Шип на экзоподите уроподов короткий. Анальный шип у некоторых видов, например у *S. intermedia* и *S. brevidigitata*, появляется уже на I стадии зоэа. У большей части видов эта структура формируется на II стадии.

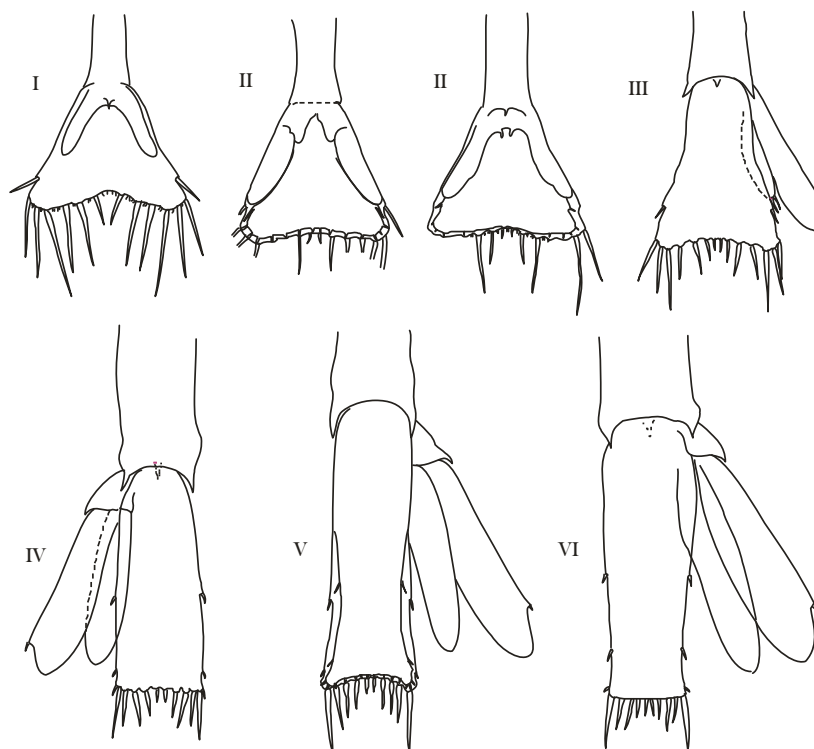


Рис. 3. Морфология тельсона отдельных стадий зоэа креветок рода *Spirontocaris*: I–VI – стадии зоэа

Основание антеннул (A1) на I стадии несегментированное. На стадиях II и III, иногда на IV, основание антеннул состоит из двух сегментов. У старших зоэа основание трехсегментное.

Эндоподит развивается постепенно (рис. 4). На конце экзоподита антенны (A2) у младших личинок отделено несколько члеников. Иногда небольшая членистость сохраняется до V стадии зоеа (например, у *S. murdochi* (рис. 5, Д)). Шип скафоцерита у личинок *Spirontocaris*, в отличие от большинства других родов, формируется уже на II стадии (рис. 5, Б). Как правило, шип заходит за край пластины, в некоторых случаях он короче. Жгутик антенн у зоеа I–III не расчленен. Обычно основание отделяется только на III–IV стадии зоеа (исключение – *S. phippi* и *S. ochotensis*). На конце жгутика у самых младших личинок имеется шип и длинная щетинка, отсутствующие у старших зоеа (рис. 5, А–В).

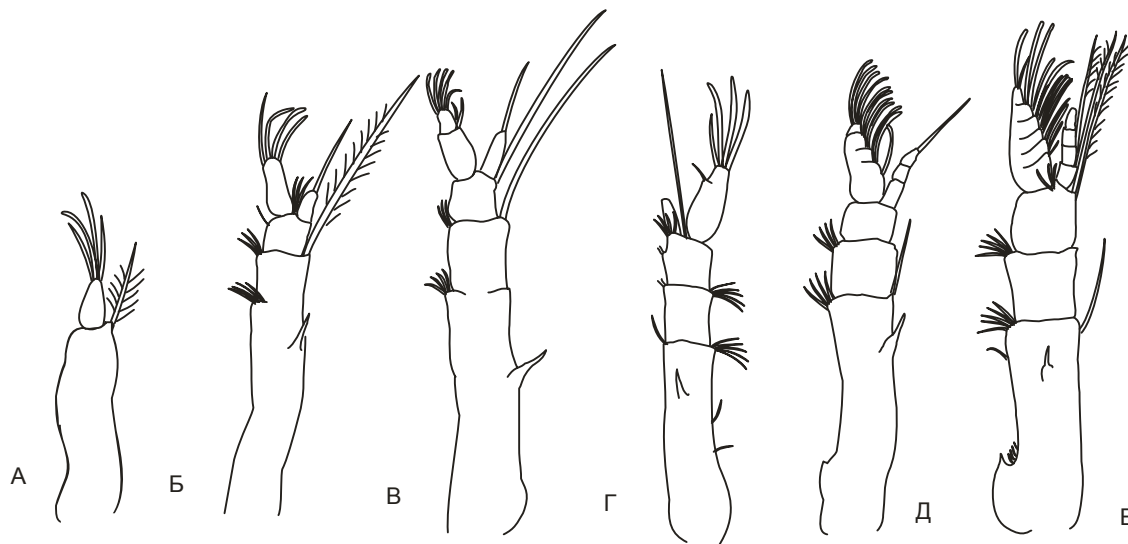


Рис. 4. Морфология антеннулы для отдельных стадий зоеа креветок рода *Spirontocaris*: А – *S. intermedia* I; Б – *S. murdochi* II; В – *S. murdochi* III; Г – *S. arcuata* III; Д – *S. arcuata* IV; Е – *S. ochotensis* VI

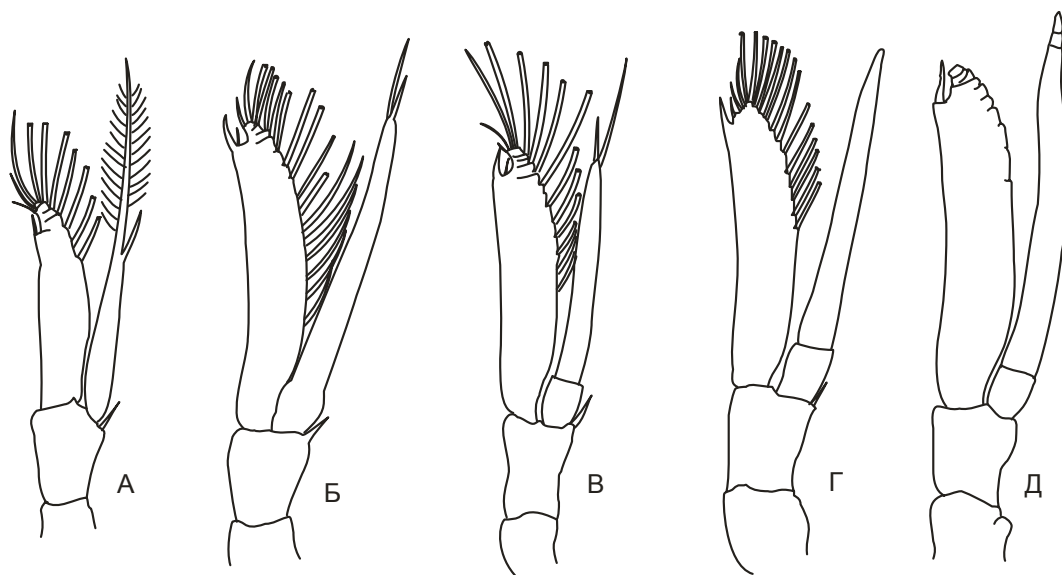


Рис. 5. Морфология антенны: А – *S. ochotensis* I; Б – *S. spinus* II; В – *S. ochotensis* II; Г – *S. ochotensis* IV; Д – *S. murdochi* V

Максиллула (Mx1) и максилла (Mx2) имеют строение, типичное для всего семейства. Эндоподит Mx1 несет пять колючих щетинок и один маленький шипик. Базиподит Mx1 вооружен у младших личинок 8–15 шипами, у старших – 10–24 шипами. Субтерминальная щетинка отсутствует. Экзоподит Mx2 (скафогнатит) несет различное количество щетинок (у I стадии – от 5 до 9). Количество щетинок на скафогнатите увеличивается постепенно и зависит не только от стадии развития, но и от размеров самой личинки. У более крупных личинок на экзоподите максиллы, как правило, имеется большее количество щетинок. Эта особенность нами ранее была отмечена также для представителей рода *Pandalus* [19].

Первая пара максиллипед (Mr1) на всех стадиях имеет хорошо развитый эпиподит и 4–5 терминальных щетинок на экзоподите. Примерно у половины изученных личинок на одной из Mr1 экзоподит несет четыре терминальные щетинки, а на другой – пять щетинок. На второй паре (Mr2) маленький эпиподит в виде бугорка появляется обычно только на V стадии зоза. Экзоподит Mr2 может нести от 8 до 16 терминальных щетинок. Эпиподит на Mr3 отсутствует, экзоподит Mr3 вооружен 8–16 терминальными щетинками.

Переоподы присутствуют на всех стадиях личиночного развития, хотя бы в виде хорошо заметных зачатков. Экзоподиты имеются на первой и второй парах переоподов на всех стадиях зоза. До III стадии зоза они, как правило, несегментированные, короткие, но с экзоподитами на первой и второй парах. Исключение – *S. phippsi*, у которого переоподы состоят из 5–7 членков уже на I стадии зоза [11]. Плавательные щетинки на первых двух парах появляются на IV стадии зоза. Обычно их не более 14. Клешни всегда имеются только на P1 и P2, у большинства видов они формируются только на IV–V стадии. У *S. phippsi* и *S. spinus* клешни формируются раньше. Как правило, клешня на первой паре мощнее, чем на второй. P3–P5 на всех стадиях одновствистые. На IV–V стадии зоза в основании переоподов и максиллипед появляются жабры.

У большинства видов плеоподы на I стадии зоза отсутствуют. Исключение – *S. phippsi*, *S. brevidigitata* и *S. spinus*. У этих видов плеоподы имеются хотя бы в виде бугорков. У более старших личинок плеоподы формируются с различной скоростью. Обычно у более крупных личинок они развиваются раньше. Короткие плавательные щетинки появляются у всех видов на пятой или шестой стадиях зоза. У некоторых видов зачаток *appendix interna* появляется уже на III стадии зоза, но чаще – на IV зоза. У зоза *S. phippsi* наблюдается гетерохрония в развитии конечностей, характерная для видов с более коротким развитием. Плеоподы и антеннулы у этого вида хорошо развиты уже на второй стадии зоза.

У некоторых экземпляров VI стадии зоза через покровы тельсона просвечивает следующая стадия развития. Видно, что это будет декаподитная стадия. Таким образом, можно считать, что креветки большинства видов рода *Spirontocaris* проходят через шесть стадий зоза. Декаподитная стадия для большинства видов не описана. В нашем материале эта стадия развития отсутствует.

В июне 2015 г. личинки рода *Spirontocaris* образовывали небольшие скопления в северной части западнокамчатского шельфа над глубинами до 100 м. Их максимальная численность составляла 182 экз./м². В 2016 г. их было мало, и отмечены они в основном на юге и на севере над глубинами 60–80 м, массовыми были зоза III стадии. В северной части личинки этого рода обнаружены на глубинах до 305 м, а на юге – только над малыми глубинами. Распределение личинок креветок рода *Spirontocaris* в прибрежных водах западной Камчатки в 2015 г. показано на рис. 6.

В Кроноцком заливе самые младшие личинки данного рода обнаружены в апреле 2017 г., а в мае они переходят во II и III стадии. В Авачинском заливе I стадия *Spirontocaris* отмечена с апреля по май, II – с апреля до июня, III впервые была поймана в конце апреля. В теплые годы в мае в пробах уже отсутствовали личинки I и II стадий и встречалась только III и IV стадия. В холодные годы II стадия была найдена только в июне. Но даже в холодные годы у некоторых видов рода *Spirontocaris* в июне уже имеются личинки предпоследней V стадии зоза [20].

В Анадырском заливе личинки данного рода обнаружены над глубинами 16–46 м, в Олюторо-Наваринском районе – над 22–109 м. Представители рода *Spirontocaris* присутствовали в половине проб из Олюторо-Наваринского района и в 22,2% проб из Анадырского залива. Числен-

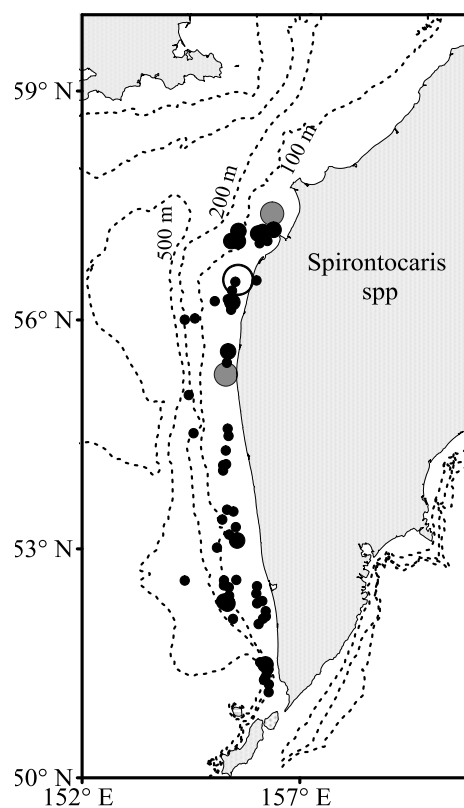


Рис. 6. Распределение личинок в восточной части Охотского моря летом 2015 г. Обозначения:
 • 1–10 экз./м² ● 10–50 экз./м²
 ● 50–200 экз./м² ○ 200–500 экз./м²

ность их не превышала 10,5 экз./м² в Анадырском заливе. Средняя численность в Олюторо-Наваринском районе составляла 9,4 экз./м². На отдельных станциях обнаружены скопления с плотностью 42–73,5 экз./м² над глубинами 33–88 м. В пробах отмечены личинки I–VI стадий. Преобладали самые старшие зоза [7].

Личинки креветок рода *Spirontocaris* начинают выходить в планктон раньше многих видов. Сроки вылупления у них растянуты на 2–3 недели. В районе юго-восточной Камчатки первые представители рода *Spirontocaris* в теплые годы начинают вылупление в конце февраля, в холодные – до начала апреля. В Охотском и Беринговом морях первые зоза появляются не ранее второй половины апреля, а в холодные годы – только в середине мая. Массовое их вылупление наблюдается с конца марта у юго-восточной Камчатки до конца апреля, у западной Камчатки и в Олюторо-Наваринском районе – во второй половине мая и продолжается до августа [21].

Максимальная продолжительность развития ранних личинок – около трех месяцев – отмечена в Авачинском заливе. В районе западной Камчатки ранние личинки развиваются за 2,5 месяца, так как вылупляются при более высоких температурах. Основная масса личинок *Spirontocaris* присутствует в планктоне в течение 60–80 дней и оседает на грунт в июле – августе. Поздние личинки появляются только в июне – июле, поэтому при более высоких температурах заканчивают метаморфоз через 50–57 дней в районе западной и юго-восточной Камчатки и за 80 дней – в северо-западной части Берингова моря. Оседание оказывается растянутым на 3–7 недель. Отдельные особи в Анадырском заливе присутствуют в меропланктоне до начала октября, у южных берегов Камчатки – до начала августа.

Заключение

Морфологические признаки, характерные для личинок семейства Thoridae, ранее были описаны достаточно подробно [12, 15, 22, 23]. Главные отличительные признаки, по которым зоза *Spirontocaris* отличают от других родов данного семейства, – наличие дополнительной щетинки на конце жгутика антенны у младших личинок и экзоподиты на первых двух парах переоподов на всех стадиях зоза. В результате наших исследований удалось выявить следующие дополнительные отличительные признаки:

- наличие шипа скафоцерита уже на второй стадии зоза;
- наличие анального шипа у младших личинок;
- наличие птеригостомиального шипа на всех личиночных стадиях;
- членистость скафоцерита у младших личинок;
- клешни на первых двух парах переоподов.

Была обнаружена большая индивидуальная изменчивость в строении переоподов и вооружении антеровентрального края карапакса, а также длине шипа скафоцерита и глубине выемки на терминальном крае тельсона. Эти особенности характерны для представителей большинства родов каридных креветок [21]. Достоверных различий в размерах зоза в разные годы не выявлено. Для большинства видов видовая идентификация возможна только после препарирования конечностей ротового комплекса, в некоторых случаях – переоподов и плеоподов.

Удалось уточнить видовую принадлежность девяти видов личинок рода *Spirontocaris*. Два вида остались неидентифицированными. Из имеющегося на данный момент списка видов для наших вод неописанным остается только *S. lamellicornis*, обнаруженный ранее в Беринговом море и у северных Курильских островов. В Охотском море этот вид не отмечен. Следовательно, в восточной части Охотского моря обитает по крайней мере еще два вида *Spirontocaris*, ранее неизвестных для данного района.

Ключ для видов рода *Spirontocaris* в настоящее время составить невозможно. Для этого требуется сделать подробные описания отдельных стадий существующих видов и произвести их окончательную идентификацию. Определение стадии зоза старших личинок в некоторых случаях затруднено, поскольку неизвестно количество стадий развития некоторых видов данного рода в прикамчатских водах. При определении стадии зоза в первую очередь целесообразно обращать внимание на строение антеннул, во вторую – на форму тельсона и расположение латеральных шипов. Основные закономерности развития личинок рода *Spirontocaris* в целом совпадают с данными, полученными для других каридных креветок. В отличие от многих других креветок,

младшие зоеа *Spirontocaris* развиваются в основном над внутренним шельфом. Это, очевидно, связано с эколого-биологическими особенностями взрослых форм, среди которых за пределами 250 м встречаются только *S. arcuata* и *S. spinus* [14].

Литература

1. De Grave S., Li C.P., Tsang, L.M., Chu, K.H., Chan, T.-Y. Unveiling hippolytoid systematics (rustacea, Decapoda, Hippolytidae): resurrection of several families // *Zoologica Scripta*. 2014. № 43. P. 496–507.
2. De Grave, S., Pentcheff N.D., Ahyong S.T., Chan T.-Y., Crandall K.A., Dworschak P.C., Felder D.L., Feldmann R.M., Franssen C.H.J.M., Goulding L.Y.D., Lemaitre R., Low M.E.Y., Martin J.W., Ng, P.K.L., Schweitzer C.E., Tan S.H., Tshudy D. & Wetzer R. A classification of living and fossil genera of decapod crustaceans. *The Raffles Bulletin of Zoology, Suppl.* 2009. Vol. 21. P. 1–109.
3. Бандурин К.В. Перспективы промысла креветок в прибрежье Северного Охотоморья // *Рыбное хозяйство*. 2003. № 4. С. 36.
4. Бандурин К.В. Креветки (Crustacea, Decapoda, Natantia) северной части Охотского моря: распространение, биология и перспективы промыслового использования: дис. ... канд. биол. наук. М., 2007. 218 с.
5. Макаров Р.Р. Разнос и распределение личинок десятиногих раков в планктоне западно-камчатского шельфа // *Океанология*. 1969. Т. 9, вып. 2. С. 306–317.
6. Седова Н.А. Распределение личинок креветок в районе западно-камчатского шельфа в 1999 и 2001 гг. // *Вопросы рыболовства*. 2004. Т. 5, № 2(18). С. 193–205.
7. Седова Н.А., Андронов П.Ю. Качественный состав и горизонтальное распределение личинок креветок в северо-западной части Берингова моря летом 2010 г. // *Вестник СВНЦ ДВО РАН*. 2013. № 1. С. 30–38.
8. Седова Н.А., Григорьев С.С. Распределение личинок креветок в районе юго-восточного побережья Камчатки весной 2009 года // *Вестник СВНЦ ДВО РАН*. 2013. № 3. С. 77–86.
9. Иванов Б.Г. Личинки некоторых дальневосточных креветок в связи с их систематическим положением // *Зоологический журнал*. 1971. Т. L, вып. 5. С. 657–665.
10. Haynes E.B. Early zoeal stages of *Lebbeus polaris*, *Eualus suckleyi*, *E. fabricii*, *Spirontocaris arcuata*, *S. ochotensis*, and *Heptacarpus camtschaticus* (Crustacea, Decapoda, Caridea, Hippolytidae) and morphological characterization of zoeae of *Spirontocaris* and related genera // *Fish. Bull. U.S.* 1981. 79 (3). P. 421–440.
11. Squires H.J. Decapod Crustacean Larvae from Ungava Bay // *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 1993. Vol. 10. 168 p.
12. Макаров Р.Р. Личинки креветок, раков-отшельников и крабов западнокамчатского шельфа и их распределение. М.: Наука, 1966. 164 с.
13. Sokolov V.I. Decapod Crustaceans of the Southwest Kamchatka Shelf: R/V “Professor Levanidov” collection in June 1996 // *Arthropoda Selecta*. 2001. Vol. 10 (2). P. 103–136.
14. Слизкин А.Г. Атлас-определитель крабов и креветок дальневосточных морей России. Владивосток: ТИПРО-центр, 2006. 216 с.
15. Haynes E.B. Morphological development, identification, and biology of larvae of Pandalidae, Hippolytidae, and Crangonidae (Crustacea, Decapoda) of the northern north Pacific Ocean // *Fish. Bull. U.S.* 1985. Vol. 83. P. 501–521.
16. Pike R.B., Williamson D.I. The larvae of some species of Pandalidae (Decapoda) // *Crustaceana*. 1964. № 6. P. 265–284.
17. Stephensen K. Zoogeographical investigations of certain fjords in Southern Greenland, with special reference to Crustacea, Pycnogonida, and Echinodermata // *Medd. om Grønland*. 1916. Vol. LIII. P. 232–238.
18. Thorson G. Reproductive and larval ecology of marine bottom invertebrates // *Biol.* 1950. Vol. 25, № 1. P. 1–45.
19. Sedova N.A., Grigoryev S.S. Morphological features of larvae of *Pandalus eous*, *P. goniurus*, and *P. tridentis* (Decapoda, Pandalidae) from near Kamchatka waters // *Zootaxa*. Magnolia Press, 2017. 4268 (3). P. 301–336.

20. *Седова Н.А., Тепнин О.Б.* Экология и распределение личинок каридных креветок у юго-восточных берегов Камчатки // Вестник Камчатского государственного технического университета [Bulletin of Kamchatka State Technical University]. 2019. Вып. 47. С. 96–108.

21. *Gurney R.* Larvae of Decapod Crustacea. London, Ray Society. 1942. 306 p.

22. *Lebour M.V.* The food of young clupeids // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 1921. № 12. P. 458–467.

23. *Седова Н.А.* Морфология и экология личинок каридных креветок морских вод Камчатки и Чукотки: монография. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2019. – 180 с.

Информация об авторе Information about the author

Седова Нина Анатольевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук; доцент; доцент кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры; sedova67@bk.ru

Sedova Nina Anatolievna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences; Docent; Assistant Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair; sedova67@bk.ru

УДК 597.2/.5 (265.5)

С.С. Григорьев**ЭКОЛОГИЯ НЕРЕСТА И РАННЕГО РАЗВИТИЯ
МОРСКИХ РЫБ ПРИКАМЧАТСКИХ ВОД**

Обсуждаются условия нереста и раннего развития морских рыб, обитающих вблизи полуострова Камчатка. Рассмотрены типичные водные биотопы, обеспечивающие нерест и раннее развитие рыб, а также характерные для этих биотопов ихтиосообщества. Наибольшую долю составляют виды, имеющие эпипелагические, мезопелагические и неритопелагические икринки. Доля сублиторальных, элиторальных и батипелагических икринок невысока, наименьшая она у литоральных икринок. После инкубационного периода в верхних и средних слоях воды личинки большинства видов продолжают пелагическое развитие, но опускаются в более глубокие слои. Большинство личинок, развивающихся из пелагических икринок, во всех исследуемых районах продолжают свое развитие в придонных слоях воды над шельфом (мезобентальное развитие). Соотношение видов рыб по биотопическим группировкам по районам исследования в прикамчатских водах меняется незначительно. На основании условий и способов нереста предложено выделить семь экологических групп морских рыб: эпипелагофилы, мезопелагофилы, батипелагофилы, литофилы, фитофилы, псаммофилы и наутикофилы.

Ключевые слова: ихтиофауна, нерест, экологические характеристики, биотопы, экологические группы.

S.S. Grigoriev**ECOLOGY OF SPAWNING AND EARLY DEVELOPMENT OF MARINE FISHES
IN ADJACENT KAMCHATKA WATERS**

Spawning and early development environments of marine fishes inhabiting along the Kamchatka Peninsula were discussed. Typical aquatic biotopes that allow spawning and early development of fishes, as well as those of the ichthyofauna community, were considered. The largest part are species having epipelagic, mesopelagic and neritopelagic eggs. The portion of sublittoral, elittoral, and bathipelagic eggs is low, littoral eggs has the smallest one. Larvae of most species after incubation in upper and middle layers continue to pelagic development, but fall into deeper layers. Most of larvae developing from pelagic eggs continue to develop in the bottom layers of water above the shelf (mesobenthial development) in all studied areas. The fish species correlation by biotopic groups in studied areas in adjacent Kamchatka waters varies slightly. It is proposed to distinguish seven ecological groups of marine fishes based on the conditions and habits of spawning: epipelagophiles, mesopelagophiles, bathipelagophiles, lithophiles, phytophiles, psammophiles and nauticophils.

Key words: ichthyofauna, spawning, ecological characteristics, biotopes, ecological groups.

*DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-83-98***Введение**

Известно, что приспособления рыб к условиям размножения и развития отражают в себе не только экологические моменты эмбрионального периода, но также существенные моменты всех остальных периодов жизни [1]. Разными исследователями выделено много различных экологических группировок рыб, различающихся по способу кладки икры, нерестовому поведению, построению гнезд, заботе о потомстве, эмбриоадаптации, экологической и физиологической адаптации и т. п. [2]. Эти адаптации обеспечивают успех выживания на всех этапах онтогенеза организма, а также приводят к образованию у рыб различных рас и форм. Многочисленные исследования репродуктивной биологии рыб позволили выяснить целый ряд ее особенностей у рыб разных систематических и экологических групп. Изучение разнообразия адаптаций, которые служат механизмом дифференциации популяций, необходимо для рационального ведения рыбного хозяйства, в частности для искусственного разведения, акклиматизации и интродукции, а также при ведении рационального промысла.

Целью исследования было выявление экологических группировок рыб, различающихся по условиям нереста и раннего развития. В задачи исследования входило изучение ихтиологического биоразнообразия, выявление и классификация типичных водных биотопов, обеспечивающих нерест и раннее развитие морских рыб, а также характерных для этих биотопов ихтиосообществ на акватории морских вод, прилежащих к полуострову Камчатка. При большом многообразии морских рыб в исследование были включены только те виды, для которых имеются какие-либо сведения по условиям нереста и раннего развития.

Материалы и методы

Материалом для работы послужили данные по раннему развитию рыб (икринки, личинки), собранные за период научных исследований автором, а также сотрудниками КамчатНИРО и ТИНРО, в период с 1984 по 2003 гг. в шельфовых районах Камчатки и смежных с ними морских водах (Охотское и Берингово моря, юго-восточное побережье Камчатки) при проведении съемок по учету численности икринок и личинок минтая и сельди, и при гидробиологических съемках, любезно переданные автору для публикации.

При проведении стандартных ихтиопланктонных съемок по учету численности икринок и личинок минтая для лова ихтиопланктона использовали ихтиопланктонную коническую сеть (ИКС-80) с диаметром входного отверстия 80 см и площадью входного отверстия 0,5 м², изготовленную в сливной части из сита с ячейей размером 0,55–0,56 мм. По стандартным сеткам станций в районах нереста промысловых рыб выполняли вертикальные ловы от дна до поверхности обычно на глубинах до 200 м, или при больших глубинах от глубины 200 м до поверхности. Как исключение, проводили ловы и на других горизонтах. Кроме ихтиопланктонных проб использовались многочисленные экземпляры икринок, личинок и мальков, собранные при гидробиологических исследованиях в ходе траловых съемок, прочих полевых сборов.

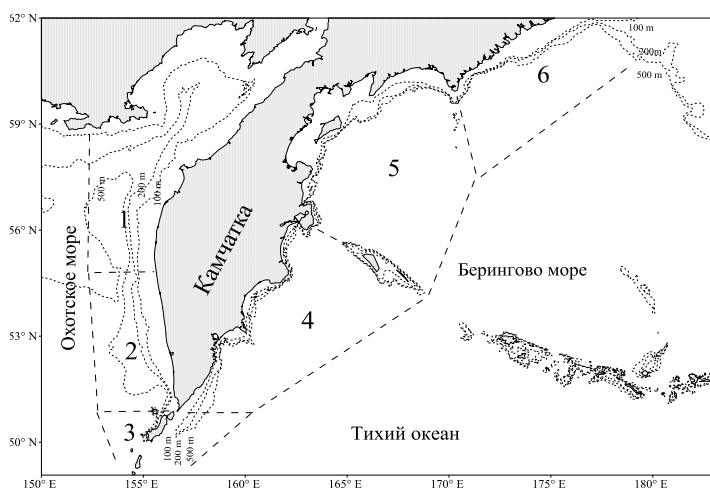


Рис. 1. Схема и условные границы районов исследования ранних стадий развития рыб прикамчатских вод:
1 – северная часть Охотского моря; 2 – западная Камчатка;
3 – Курильские о-ва; 4 – восточная Камчатка;
5 – юго-западная часть Берингова моря;
6 – северо-западная часть Берингова моря

Стандартными методами осуществляли сбор планктонных проб и биометрических данных (биоанализ), статистическую и компьютерную обработку. Для таксономической обработки использовали специальную литературу [3, 4]. Биотопические группировки названы в соответствии с Каталогом... [5]. Научные названия видов приведены в соответствии с современными международными базами данных (WoRMS, FishBase) [6, 7]. Для рассмотрения влияния условий среды на размножение и раннее развитие морских рыб были выделены семь морских прибрежных районов (рис. 1) с разными условиями среды обитания.

Результаты и обсуждение

Экологические особенности нереста. Морские рыбы северо-востока России, в том числе прикамчатских вод, на ранних стадиях развития очень разнообразны в отношении предпочитаемых биотопов, биологии развития и образа жизни. Многие типично морские виды, встречающиеся на ранних стадиях в толще воды, не являются чисто пелагическими. Будучи по своей сути донными или придонными, они проводят в пелагиали только часть жизненного

цикла. Обитают они там обычно в раннем возрасте, на стадиях икринки, личинки, малька, молоди, или наоборот – икринки у них донные, клейкие, личинки придонные, по мере развития мигрирующие в толщу воды.

По условиям нереста морских рыб северо-востока России, согласно классификации С.Г. Крыжановского [8], они делятся на две большие группы: 1) пелагофилы, откладывающие пелагические свободно плавающие икринки или икру в виде клейких лент; 2) бентофилы, откладывающие икру на субстрат, обычно в виде кладок, или выметывающие придонные свободно плавающие у дна или лежащие на грунте отдельные икринки. Рыбы с пелагической икрой составляют примерно 1/3 часть видов от всех обитающих в исследуемом районе видов с известными ранними стадиями. В основном это те виды, которые часто попадают в ихтиопланктонных пробах. Среди рыб с пелагической икрой некоторые виды (например, минтай, камбалы) могут нереститься вблизи дна, но их икринки после выметывания быстро всплывают и далее развиваются в пелагиали.

Примерно 2/3 видов относятся ко второй группе. На самом деле их доля, вероятно, больше, так как для большинства камчатских видов сведения о ранних стадиях развития отсутствуют или недостаточны из-за отсутствия в планктоне и трудностей получения материалов для исследования в связи с донным нерестом и ранним развитием. По аналогии с экологическими группами С.Г. Крыжановского, выделенными им для пресных вод [8], для морских рыб, проходящих эмбриональное развитие вблизи дна, также можно выделить несколько экологических групп:

1. *Литофилы* – откладывают икру обычно в виде кладок на каменистый и скальный грунты. Это самая значительная группа рыб, ее численность составляет более 45% от количества видов с неизвестными ранними стадиями развития. Сюда следует отнести представителей самых многочисленных по видовому разнообразию семейств скорпенообразных и окунеобразных. Если предположить, что большинство видов с неизвестными ранними стадиями развития, основная масса которых также из отрядов скорпенообразных и окунеобразных, то окажется, что литофилы по количеству видов составляют более половины от всех обитающих в этом районе видов.

2. *Псаммофилы* – откладывают икру преимущественно на песчаный грунт. Сюда можно отнести мойву, сайку, некоторых представителей семейств рогатковых, психролотовых и лисичковых.

3. *Фитофилы* – откладывают икру преимущественно на прикрепленные донные водоросли. Типичный представитель этой группы тихоокеанская сельдь. Также сюда можно отнести некоторых терпуговых и стихеевых.

4. *Батипелагофилы* – откладывают неприкрепленные, свободно лежащие на грунте или плавающие в придонном слое отдельные икринки. Это небольшая группа, куда входят треска и навага.

Всех типично морских рыб по способу нереста можно разделить на две группы: икромечущие (большинство видов) и живородящие (представители рода *Sebastes*, выметывающие подвижных личинок). Среди икромечущих рыб выделяются также две группы: рыбы, откладывающие пелагическую икру, и рыбы, откладывающие демерсальную, или донную, икру. В последней группе имеются виды, не охраняющие потомства и проявляющие о нем заботу. Большинство морских рыб северо-востока России (более 70 видов) откладывают демерсальную, клейкую икру, обычно развивающуюся в виде кладок на скальных, песчаных или илистых грунтах, камнях, водорослях. Соотношение отрядов морских рыб, выметывающих пелагические и донные икринки, показано на рис. 2.

По классификациям С.Г. Крыжановского и Г.В. Никольского [8, 9] всех рыб, откладывающих пелагические икринки, следует отнести к одной группе пелагофилов. Но в соответствии с особенностями пространственного и вертикального распределения развивающихся у них пелагических икринок и последующего постэмбрионального развития их можно разделить на отдельные экологические группировки.

Пелагическую икру имеют многие пелагические, преимущественно глубоководные рыбы, обитающие на крайних участках шельфа и глубже, такие как представители семейств Microstomatidae – малоротковые и Opisthoproctidae – опистопротковые. Это небольшие рыбы, размножающиеся и развивающиеся в пелагиали над большими глубинами. В осенне-зимний период они, вероятно, встречаются также за пределами шельфа. Их икринки и личинки развиваются над большими глубинами. При этом личинки некоторых видов имеют характерные стебельчатые глаза.

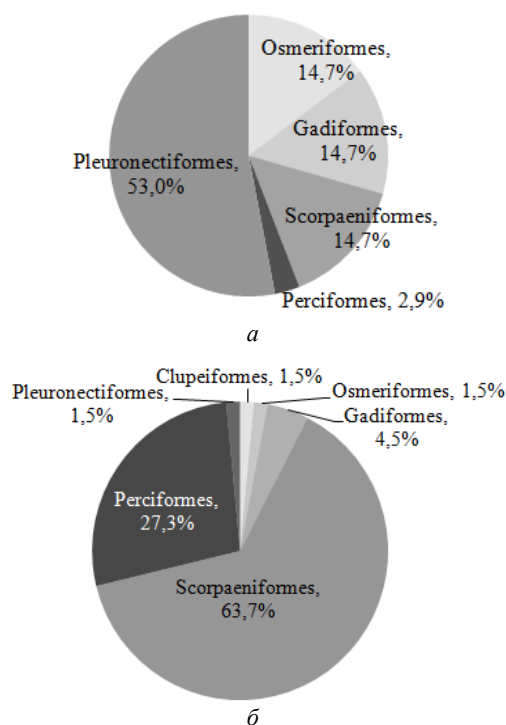


Рис. 2. Соотношение отрядов по количеству видов морских рыб прикамчатских вод с известными ранними стадиями развития, выметывающих пелагические (а) и донные (б) икринки

Представители семейства Macrouridae – долгохвостовые распространены на больших глубинах во всех океанах. В северной части Тихого океана они встречаются обычно над глубинами более 300 м. Места и сроки нереста неизвестны. Он, вероятно, происходит в зимне-весенний период на больших глубинах. Оболочка икринок у их некоторых видов имеет ячеистое строение. Личинки характеризуются удлинённым хвостом, отсутствием хвостового плавника и стебельчатым основанием грудного плавника. Длительность личиночной стадии небольшая. Молодь опускается на глубину. Некоторые виды этого семейства обитают в пелагиали в течение всего ювенольного периода [4, 13].

Экология пелагического эмбрионального и постэмбрионального развития. Пелагические икринки обычно свободноплавающие, но могут быть и в виде кладок. Так, икринки у представителей рода *Sebastolobus* выметываются в виде вытянутой желеобразной массы, плавающей у поверхности [4, 14]. Еще одна особенность пелагического развития – это выметывание вышедших из оболочек эмбрионов длиной 3,8–7,5 мм, что наблюдается у представителей рода *Sebastes*. Таксономический состав и экологические характеристики ранних стадий рыб морских прибрежных вод северо-востока России, выметывающих пелагическую икру (или личинок), приведен в табл. 1.

Таблица 1

Таксономический состав рыб морских прибрежных вод северо-востока России, выметывающих пелагическую икру или личинки и экологические характеристики их ранних стадий (икринки и личинки)

Таксономический состав	Районы* распространения видов	Сроки нереста	Биотопические группировки**	
			Икринки	Личинки
Отряд Osmeriformes – корюшкообразные				
Семейство Bathylagidae – батилаговые				
<i>Leuroglossus schmidti</i> Rass, 1955 – дальневосточная серебрянка	1–6	Ноябрь – декабрь	ЭП	ЭП
<i>Bathylagus ochotensis</i> Schmidt, 1938 – охотский батилаг	1–6	Январь – февраль	ЭП МП	ЭП МП
<i>Bathylagus pacificus</i> Gilbert, 1890 – тихоокеанский батилаг	1–6	Февраль – март	ЭП МП	ЭП МП
<i>Pseudobathylagus milleri</i> (Jordan & Gilbert, 1898) – батилаг Миллера	1–6	Нет данных	ЭП МП	ЭП МП

Бентопелагические рыбы из сем. Moridae – моровые, также распространены преимущественно в глубоководных районах. Предполагается, что икринки и личинки их пелагические. Личинки характеризуются ранним развитием лучей брюшных плавников, которые значительно удлинены [4, 10].

Среди тресковых рыб (сем. Gadidae) типично пелагическая икра только у одного вида – минтая (*Gadus chalcogrammus*), у азиатских берегов России повсеместно распространенного в прибрежных и шельфовых районах вплоть до Берингова пролива вдоль. Он нерестится с февраля по август у дна над глубинами 10–460 м в районах, характеризующихся повышенной продуктивностью [11]. Его икринки широко распространены в прибрежных водах с марта по май, поскольку продолжительность развития икринок не превышает одного месяца. По мере развития они поднимаются в средний и поверхностный слои и образуют там значительные концентрации. В рыбопромысловых исследованиях по численности икринок прогнозируют численность будущих поколений. Молодь стайная, мигрирует ближе к берегу и опускается в придонные слои [12].

Продолжение табл. 1

Таксономический состав	Районы* распростра- нения видов	Сроки нереста	Биотопические группировки**	
			Икринки	Личинки
Семейство Microstomatidae – малоротковые				
<i>Nansenia candida</i> Cohen, 1958 – белая нансеня	3,4	Нет данных	ЭП МП	ЭП МП
Сем. Opisthoproctidae				
<i>Macropinna microstoma</i> Chapman, 1939 – малоротая макропинна	3–6	Нет данных	МП	МП
Отряд Gadiformes – трескообразные Семейство Moridae – моровые				
<i>Laemonema longipes</i> Schmidt, 1938 – длинноперая лемонема	4–6	Нет данных	МП	ББ
Семейство Gadidae – тресковые				
<i>Gadus chalcogrammus</i> Pallas, 1814 – минтай	1–6	Февраль – август	НП	НП
Семейство Macrouridae – долгохвостовые Подсемейство Macrourinae				
<i>Albatrossia pectoralis</i> (Gilbert, 1892) – малоглазый макрурус	1–6	Нет данных	МП	ББ
<i>Coryphaenoides acrolepis</i> (Bean, 1884) – черный макрурус	1–6	Нет данных	МП	ББ
<i>Coryphaenoides cinereus</i> (Gilbert, 1896) – пепельный макрурус	1–6	Нет данных	МП	ББ
Отряд Scorpaeniformes – скорпенообразные Подотряд Scorpaenoidei – скорпеновидные Семейство Sebastidae – морские окуни Подсемейство Sebastinae				
<i>Sebastes melanostictus</i> (Matsubara, 1934) – крапчатый морской окунь	3–6	Весна	ЭП (Viv.)	МБ
<i>Sebastes alutus</i> (Gilbert, 1890) – тихоокеанский морской окунь	1–6	Весна	ЭП (Viv.)	МБ
<i>Sebastes polyspinis</i> (Taranetz & Moiseev, 1933) – многоиглый морской окунь	3–6	Весна	ЭП (Viv.)	МБ
Подсемейство Sebastolobinae				
<i>Sebastolobus alascanus</i> Bean, 1890 – аляскинский шипошек	2–6	Весна	ЭП	МБ
Подотряд Anoplopomatoidae – анаплопомовидные Семейство Anoplopomatidae – анаплопомовые				
<i>Anoplopoma fimbria</i> (Pallas, 1814) – угольная рыба	2–6	Зима – весна	ЭП	ББ
Отряд Perciformes – окунеобразные Подотряд Icosteoidae – тряпичниковидные Семейство Icosteidae – тряпичниковые				
<i>Icosteus enigmaticus</i> Lockington, 1880 – тряпичник	1–6	Лето – зима	НП	ЭП
Отряд Pleuronectiformes – камбалообразные Семейство Pleuronectidae – камбаловые				
<i>Atheresthes evermanni</i> Jordan & Starks, 1904 – азиатский стрелозубый палтус	1–6	Осень – зима	БП	МБ
<i>Atheresthes stomias</i> (Jordan & Gilbert, 1880) – американский стрелозубый палтус	2–6	Декабрь – март	БП	МБ
<i>Embassichthys bathybius</i> (Gilbert, 1890) – глубинная камбала	3–6	Зима – весна	НП	МБ
<i>Glyptocephalus stelleri</i> (Schmidt, 1904) – малорот Стеллера	1–3	Июнь – август	СЛ	СЛ
<i>Glyptocephalus zachirus</i> Lockington, 1879 – длинноперый малорот	4–6	Январь – июнь	МП	МБ
<i>Hippoglossoides dubius</i> Schmidt, 1904 – южная палтусовидная камбала	3	Апрель – июнь	НП	МБ
<i>Hippoglossoides elassodon</i> Jordan & Gilbert, 1880 – узкозубая палтусовидная камбала	1–6	Апрель – июнь	НП	МБ
<i>Hippoglossoides robustus</i> Gill & Townsend, 1897 – северная палтусовидная камбала	1–6	Апрель – июль	СЛ	МБ
<i>Hippoglossus stenolepis</i> Schmidt, 1904 – тихоокеанский белокорый палтус	1–6	Ноябрь – март	ЭЛ	МБ

Окончание табл. 1

Таксономический состав	Районы* распростра- нения видов	Сроки нереста	Биотопические группировки**	
			Икринки	Личинки
<i>Limanda aspera</i> (Pallas, 1814) – желтоперая камбала	1–6	Май – сентябрь	НП	МБ
<i>Limanda sakhalinensis</i> Hubbs, 1915 – сахалинская камбала	1–6	Июнь – август	НП	МБ
<i>Limanda proboscidea</i> Gilbert, 1896 – хоботная камбала	1–6	Июнь – сентябрь	НП	МБ
<i>Microstomus pacificus</i> (Lockington, 1879) – американский малорот	5–6	Август – ноябрь	МП	МБ
<i>Platichthys stellatus</i> (Pallas, 1787) – звездчатая камбала	1–6	Апрель – июль	СЛ	МБ
<i>Liopsetta glacialis</i> (Pallas, 1776) – полярная камбала	1–6	Январь – март	Л	СЛ
<i>Pleuronectes quadrituberculatus</i> Pallas, 1814 – желтобрюхая камбала	1–6	Апрель – июль	НП	МБ
<i>Reinhardtius hippoglossoides</i> (Walbaum, 1792) – черный палтус	1–6	Сентябрь – декабрь	ЭЛ	МБ

* Районы распространения (1–6) соответствуют таковым на рис. 1.

** Биотопические группировки (икринок и личинок): Л – литоральные (в приливно-отливной зоне); СЛ – сублиторальные (у дна от приливно-отливной зоны до нижней границы обитания водорослей, обычно до 50 м); ЭЛ – элиторальные (на шельфе, у дна, преимущественно над глубинами 50–100 м); МБ – мезобентальные (в придонных слоях воды над шельфом, 100–200 м); ББ – батибентальные (в придонных слоях воды за пределами шельфа над глубинами до 1000 м); ЭП – эпипелагические (в водной толще за пределами шельфа от поверхности до глубин 200 м); МП – мезопелагические (в средних слоях воды за пределами шельфа над глубинами до 1 000 м); НП – неритопелагические (в толще воды над шельфом); БП – батипелагические (в придонных слоях воды за пределами шельфа над глубинами до 1000 м). Viv. – (viviparous) живородящие рыбы.

Среди развивающихся пелагических икринок наибольшая доля видов приходится на нерито-, эпи- и мезопелагические группировки. Личинки большинства видов рыб с пелагическим развитием икринок относятся к мезопелагической группировке (рис. 3).

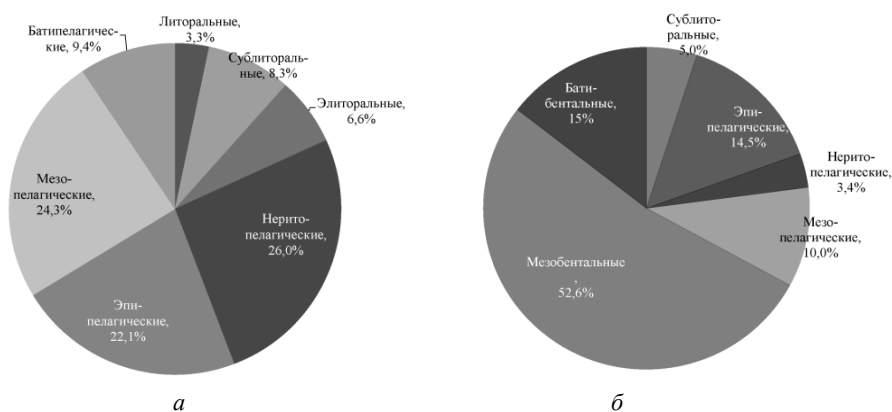


Рис. 3. Соотношение биотопических группировок развивающихся икринок (а) и личинок (б) для рыб с пелагическим эмбриональным развитием

Пелагические икринки обычно свободноплавающие. Так, икринки представителей рода *Sebastolobus* выметываются в виде вытянутой желеобразной массы, плавающей у поверхности. Еще одна особенность пелагического развития – это вымет вышедших из оболочек эмбрионов длиной 3,8–7,5 мм, что характерно для представителей рода *Sebastes*.

Во всех указанных на рис. 1 и в табл.1 районах наибольшую долю составляют виды, имеющие эпипелагические, мезопелагические и неритопелагические икринки. Доли видов с сублиторальными, элиторальными и батипелагическими икринками невысоки. Наименьшая она у литоральных икринок. В целом соотношение видов рыб, входящих в разные биотопические группировки, по районам исследования меняется незначительно. Обращает на себя внимание лишь несколько более низкое, чем в соседних районах, количество эпипелагических видов (в пределах 10%) в районе западной Камчатки, что можно объяснить наличием здесь обширной площади шельфа (рис. 4).

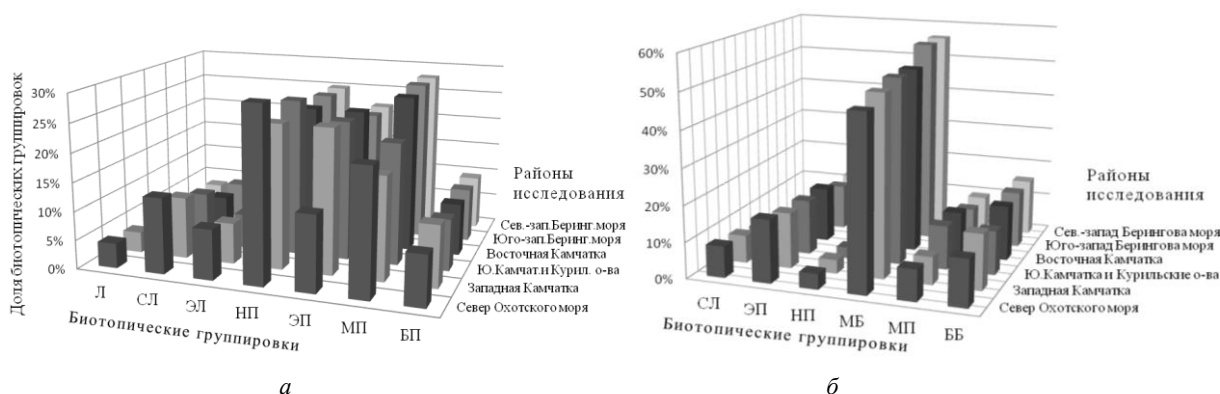


Рис. 4. Соотношение видов рыб по биотопическим группировкам в зависимости от преимущественного распределения развивающихся пелагических икринок (а) и соотношение видов рыб по биотопическим группировкам в зависимости от преимущественного распределения личинок, развивающихся из пелагических икринок (б). Обозначения экологических группировок: Л – литоральные, СЛ – сублиторальные, ЭЛ – элиторальные, НП – неритопелагические, ЭП – эпипелагические, МП – мезопелагические, БП – батипелагические

После инкубационного периода, протекающего в верхних и средних слоях воды, личинки большинства видов продолжают пелагическое развитие, но опускаются в более глубокие слои. Большинство личинок, развивающихся из пелагических икринок, во всех шести районах, продолжают свое развитие в придонных слоях воды над шельфом (мезобентальное развитие). Пелагические икринки большинства видов рыб (более 70%) развиваются в эпи- и мезопелагиали над шельфом и за его пределами. Однако личинки большинства видов с развивающейся пелагической икрой (также более 70%) продолжают свое развитие в придонных слоях над шельфом и за его пределами.

Кластерный анализ видов с развивающейся пелагической икрой на основании биологических и экологических данных, таких как районы распределения, сроки нереста, диаметр икринок, наличие или отсутствие жировой капли, приведен на рис. 5.

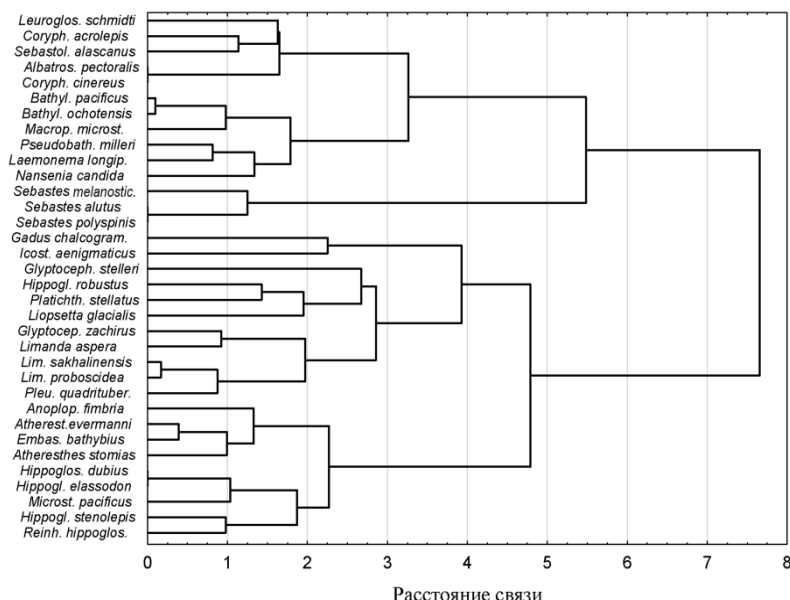


Рис. 5. Дендрограмма сходства видов с развивающимися пелагическими икринками по биологическим и экологическим признакам

Показано, что эти виды по своим биологическим и экологическим характеристикам довольно разнообразны, однако преобладают признаки, позволяющие разделить рыб с пелагическим нерестом на два основных кластера: преимущественно океанические (14 видов) и относительно прибрежные (20 видов).

Экология донного нереста и раннего развития при донном нересте. Большинство морских рыб северо-востока России (более 70 видов) откладывают донную, клейкую икру, обычно развивающуюся в виде кладок на скальных, песчаных или илистых грунтах, камнях, водорослях, и небольшое количество видов откладывают демерсальную, неклейкую или слабосклеивающуюся по дну. На скальных грунтах откладывают икру представители таких семейств типично морских рыб, как Cottidae, Hemitripterae, Psychrolutidae, Cyclopteridae, Liparidae. Личинки этих рыб, как правило, пелагические или придонно-пелагические. Личинки некоторых видов имеют присоску и могут прикрепляться к камням и к другим предметам.

Рыбы семейств Agonidae и Hexagrammidae откладывают икру в литоральной и прибрежной зоне преимущественно на придонные участки водорослей (ламинарии). Личинки их пелагические, скоплений не образуют. Восточная сельдь (*Clupea pallasii*) также откладывает икринки на растительность, но в прибрежной мелководной зоне. Молодь стайная, развивается вблизи берегов.

В узкой прибрежной полосе в прибойной зоне на песчаном грунте до глубины 3–4 м нерестится один вид из семейства корюшковых – мойва. Нерест длительный и массовый, происходит в июне – июле. Личинки пелагические, развиваются в значительных скоплениях у поверхности. Таксономическое разнообразие и экологические характеристики ранних стадий (икринки и личинки) рыб морских прибрежных вод северо-востока России, выметывающих донную (демерсальную) икру, показано в табл. 2.

Таблица 2

Таксономическое разнообразие и экологические характеристики ранних стадий (икринки и личинки) рыб морских прибрежных вод северо-востока России, выметывающих донную (демерсальную) икру

Таксономический состав	Районы распространения*	Сроки нереста	Биотопические группировки**	
			Икр.	Лич.
Отряд Clupeiformes – сельдеобразные				
Семейство Clupeidae – сельдевые				
<i>Clupea pallasii</i> Valenciennes, 1847 – восточная сельдь	АП	Март – июнь	Л	НП
Отряд Osmeriformes – корюшкообразные				
Семейство Osmeridae – корюшковые				
<i>Mallotus villosus</i> (Müller, 1776) – мойва	СЗТО	Июнь – июль	Л	НП
Отряд Gadiformes – трескообразные				
Семейство Gadidae – тресковые				
<i>Boreogadus saida</i> (Lepeschin, 1774) – сайка	ЧМ, ЗБМ	Октябрь – март	Л	МБ
<i>Eleginus gracilis</i> (Tilesius, 1810) – навага	СЗТО	Декабрь – февраль	СЛ	МБ
<i>Gadus macrocephalus</i> Tilesius, 1810 – треска	СЗТО	Декабрь – февраль	СЛ	МБ
Отряд Scorpaeniformes – скорпенообразные				
Подотряд Hexagrammoidei – терпуговидные				
Семейство Hexagrammidae – терпуговые				
Подсемейство Hexagramminae				
<i>Hexagrammos lagocephalus</i> (Pallas, 1810) – зайцеголовый терпуг	СЗТО	Июнь – август	Л	СЛ
<i>Hexagrammos octogrammus</i> (Pallas, 1814) – бурый терпуг	СЗТО	Август – сентябрь	Л	СЛ
<i>Hexagrammos stelleri</i> Tilesius, 1810 – пятнистый терпуг	СЗТО	Август – сентябрь	Л	НП
<i>Pleurogrammus monopterygius</i> (Pallas, 1810) – северный одноперый терпуг	СЗТО	Июнь – сентябрь	Л	НП
Подотряд Cottoidei – рогатковидные				
Семейство Cottidae – рогатковые				
<i>Enophris diceraus</i> (Pallas, 1787) – двурогий бычок	СЗТО	Декабрь – февраль	Л	НП
<i>Gymnocanthus detrisus</i> Gilbert & Burke, 1912 – широколобый шлемоносец	СЗТО	Декабрь – февраль	Л	НП
<i>Gymnocanthus pistilliger</i> (Pallas, 1814) – нитчатый шлемоносец	СЗТО	Декабрь – февраль	Л	НП
<i>Gymnocanthus tricuspis</i> (Reinhardt, 1830) – арктический шлемоносец	ЗБМ, ЧМ	Зима – весна	Л	НП
<i>Hemilepidotus gilberti</i> Jordan & Starks, 1904 – пестрый получешуйник	СЗТО	Август – сентябрь	Л	НП
<i>Hemilepidotus hemilepidotus</i> (Tilesius, 1811) – пятнистый получешуйник	ЗБМ, ВК	Зима – весна	Л	СЛ
<i>Hemilepidotus jordani</i> Bean, 1881 – белобрюхий получешуйник	СЗТО	Август – сентябрь	Л	НП
<i>Hemilepidotus zapus</i> Gilbert & Burke, 1912 – чешуехвостый получешуйник	ЮК СКО	Август – сентябрь	Л	НП

Продолжение табл. 2

Таксономический состав	Районы распространения*	Сроки нереста	Биотопические группировки**	
			Икр.	Лич.
<i>Megalocottus platycephalus</i> (Pallas, 1814) – дальневосточная широколобка	СЗТО	Декабрь – февраль	Л	НП
<i>Myoxocephalus jaok</i> (Cuvier, 1829) – керчак яок	СЗТО	Декабрь – январь	МБ	НП
<i>Myoxocephalus polyacanthocephalus</i> (Pallas, 1814) – многоиглый керчак	СЗТО	Декабрь – январь	МБ	НП
<i>Myoxocephalus stelleri</i> Tilesius, 1811 – мраморный керчак	СЗТО	Декабрь – февраль	Л	НП
Семейство Hemitripterae – волосатковые				
<i>Blepsias bilobus</i> Cuvier, 1829 – двулопастной бычок	СЗТО	Зима?	СЛ	НП
<i>Blepsias cirrhosus</i> (Pallas, 1814) – трехлопастной бычок	СЗТО	Февраль	СЛ	НП
<i>Hemitripterus villosus</i> (Pallas, 1814) – бычок-ворон	СЗТО	Сентябрь – ноябрь	Л	НП
Семейство Psychrolutidae – психролотовые				
<i>Dasycottus setiger</i> Bean, 1890 – щетинистый бычок	СЗТО	Неизвестны	МБ	НП
<i>Gilbertidia sigalutes</i> (Jordan & Starks, 1895) – мягкий бычок	ВК	Август	Л	НП
<i>Malacocottus zonurus</i> Bean, 1890 – черноперый бычок	СЗТО	Неизвестны	ББ	МБ
<i>Psychrolutes paradoxus</i> Günther, 1861 – психролот удивительный	СЗТО	Февраль – март	МБ	НП
Семейство Agonidae – лисичковые				
Подсемейство Agoninae				
<i>Podothecus accipenserinus</i> (Tilesius, 1813) – многоусая лисичка	СЗТО	Неизвестны	МБ	ЭЛ
<i>Podothecus sturioides</i> (Guichenot, 1869) – дальневосточная лисичка	СОМ ЮК	Неизвестны	СЛ	СЛ
<i>Sarritor leptorhynchus</i> (Gilbert, 1896) – тонкорылая лисичка	СЗТО	Неизвестны	МБ	ЭЛ
Подсемейство Anoplagoninae				
<i>Aspidophoroides monopterygius</i> (Bloch, 1786) – щитонос	СЗТО	Неизвестны	СЛ	ЭЛ
<i>Aspidophoroides olrikii</i> Lütken, 1877 – арктическая лисичка-аллигатор	ЗБМ ЧМ	Неизвестны	МБ	ЭЛ
Подсемейство Bathyagoninae				
<i>Bathyagonus nigripinnis</i> Gilbert, 1890 – черноперая лисичка	ВК ЮБМ	Неизвестны	МБ	МБ
Подсемейство Brachyoopsinae				
<i>Ocella dodecaedron</i> (Tilesius, 1813) – двенадцатигранная лисичка	СЗТО	Апрель – май	Л	СЛ
Подсемейство Hypsagoninae				
<i>Hypsagonus quadricornis</i> Valenciennes, 1829) – северный гипсагон	СЗТО	Неизвестны	МБ	МБ
<i>Leptagonus decagonus</i> – длинноусая лисичка	СОМ БМ	Июнь – июль	ЭЛ	ЭЛ
<i>Percis japonicus</i> (Pallas, 1769) – японская лисичка	СЗТО	Лето – осень	МБ	ЭЛ
Семейство Cyclopteridae – круглופерые				
<i>Aptocyclus ventricosus</i> (Pallas, 1769) – рыба-лягушка	СЗТО	Февраль – апрель	Л	МБ
<i>Eumicrotremus orbis</i> (Günther, 1861) – шаровидный круглופер	СЗТО	Осень – зима	Л	ЭЛ
Семейство Liparidae – липаровые				
<i>Liparis brashnikovii</i> Soldatov, 1930 – липарис Бражникова	ВК	Неизвестны	Л	МБ
<i>Liparis fabricii</i> Krøyer, 1847 – липарис Фабриция	ЗБМ ЧМ	Неизвестны	Л	ЭЛ
<i>Liparis greeni</i> (Jordan & Starks, 1895) – липарис Грина	ВК	Июнь	Л	ЭЛ
<i>Liparis latifrons</i> Schmidt, 1950 – полосатый липарис	СОМ ВК	Неизвестны	ЭЛ	ЭЛ
<i>Liparis ochotensis</i> Schmidt, 1904 – охотский липарис	СЗТО	Неизвестны	ЭЛ	ЭЛ
<i>Nectoliparis pelagicus</i> Gilbert & Burke, 1912 – пелагический морской слизень	СЗТО	Неизвестны	ЭЛ	МП
<i>Rhinoliparis barbifer</i> Gilbert, 1896 – многоусый морской слизень	СЗТО	Сентябрь – ноябрь	ББ	МБ
Отряд Perciformes – окунеобразные				
Подотряд Zoarcoidei – бельдюговидные				
Семейство Bathymasteridae – батимастеровые				
<i>Bathymaster signatus</i> Cope, 1873 – обозначенный батимастер	СЗТО	Март – май	ЭЛ	ЭЛ

Окончание табл. 2

Таксономический состав	Районы распространения*	Сроки нереста	Биотопические группировки**	
			Икр.	Лич.
Сем. Pholididae				
<i>Pholis fasciata</i> (Bloch & Schneider, 1801) – полосатый маслюк	СЗТО	Зима – весна	Л	СЛ
Сем. Stichaeidae				
Подсемейство Chirolophinae				
<i>Bryozoichthys lysimus</i> (Jordan & Snyder, 1902) – длинноперая мшанковая собачка	СЗТО	Зима – весна	МБ	МБ
<i>Chirolophis snyderi</i> (Taranetz, 1938) – северная мохнатоголовая собачка	СЗТО	Зима – весна	СЛ	СЛ
Подсемейство Lumpeninae				
<i>Acantholumpenus mackayi</i> (Gilbert, 1896) – колючий люмпен	СОМ ВК	Зима – весна	СЛ	СЛ
<i>Leptoclinus maculatus</i> (Fries, 1838) – пятнистый люмпен	СЗТО	Зима – весна	МБ	ЭЛ
<i>Lumpenella longirostris</i> (Evermann & Goldsborough, 1907) – длиннорылый люмпен	СЗТО	Зима – весна	МБ	МБ
<i>Lumpenus fabricii</i> Reinhardt, 1836 – люмпен Фабриция	ЗБМ	Зима – весна	Л	СЛ
<i>Lumpenus sagitta</i> Wilimovsky, 1956 – стреловидный люмпен	СЗТО	Зима – весна	Л	СЛ
Подсемейство Opisthocentrinae				
<i>Opisthocentrus ocellatus</i> (Tilesius, 1811) – глазчатый опистоцентр	СЗТО	Декабрь – январь	Л	СЛ
Подсемейство Stichaeinae				
<i>Ernogrammus hexagrammus</i> (Schlegel, 1845) – шестилинейный стихей	ЮК СКО	Зима – весна	СЛ	СЛ
<i>Stichaeus punctatus punctatus</i> (Fabricius, 1780) – пятнистый стихей	СЗТО	Зима – весна	Л	СЛ
Подсемейство Xiphisterinae				
<i>Alectrias alectrolophus</i> (Pallas, 1814) – морской петушок	СЗТО	Зима – весна	Л	Л
Семейство Anarhichadidae – зубатковые				
<i>Anarhichas orientalis</i> Pallas, 1814 – восточная зубатка	СЗТО	Зима	Л	СЛ
Семейство Ptilichthyidae – птилихтовые				
<i>Ptilichthys goodie</i> Bean, 1881 – птилихт	СЗТО	Весна	МБ	ЭЛ
Сем. Zaproridae				
<i>Zaprora silenus</i> Jordan, 1896 – запрора	СЗТО	Неизвестны	ББ?	ББ
Семейство Zoarcidae – бельдюговые				
Zoarcidae (<i>Gen.sp.</i>) <i>Zoarces elongatus</i> Кнер, 1868 – бельдюга	СЗТО	Неизвестны	ББ	ББ
Подотряд Trachinoidei – песчанковидные				
Семейство Ammodytidae – песчанковые				
<i>Ammodytes hexapterus</i> Pallas, 1814 – песчанка	СЗТО	Ноябрь – февраль	СЛ	ЭЛ
Семейство Trichodontidae – волосозубовые				
<i>Trichodon trichodon</i> (Tilesius, 1813) – северный волосозуб	СЗТО	Февраль	Л	ЭЛ
Отряд Pleuronectiformes – камбалообразные				
Семейство Pleuronectidae – камбаловые				
<i>Lepidopsetta polyxistra</i> Orr & Matarese, 2000 – северная двухлинейная камбала	СЗТО	Февраль – апрель	МБ	ЭЛ

*Распространение: СЗТО – северо-западная часть Тихого океана; АП – азиатское побережье России; ЧМ – Чукотское море; ЗБМ – западная часть Берингова моря; СОМ – северная часть Охотского моря; ВК – восточное побережье Камчатки; ЮК – южная оконечность Камчатки; СКО – северные Курильские острова.

**Биотопические группировки: Л – литоральные (в приливно-отливной зоне); СЛ – сублиторальные (у дна от приливно-отливной зоны до нижней границы обитания водорослей, обычно до 50 м); ЭЛ – элиторальные (на шельфе у дна, преимущественно над глубинами 50–100 м); МБ – мезобентальные (в придонных слоях воды над шельфом, глубины 100–200 м); ББ – батибентальные (в придонных слоях воды за пределами шельфа над глубинами до 1 000 м); НП – неритопелагические (в толще воды преимущественно над шельфом).

Донные икринки развиваются преимущественно на шельфе, включая приливно-отливную зону (литоральная, мезобентальная и сублиторальная зоны) (рис. 6). Личинки большинства видов с донным развитием икринок пелагические, развиваются в толще воды над шельфом.

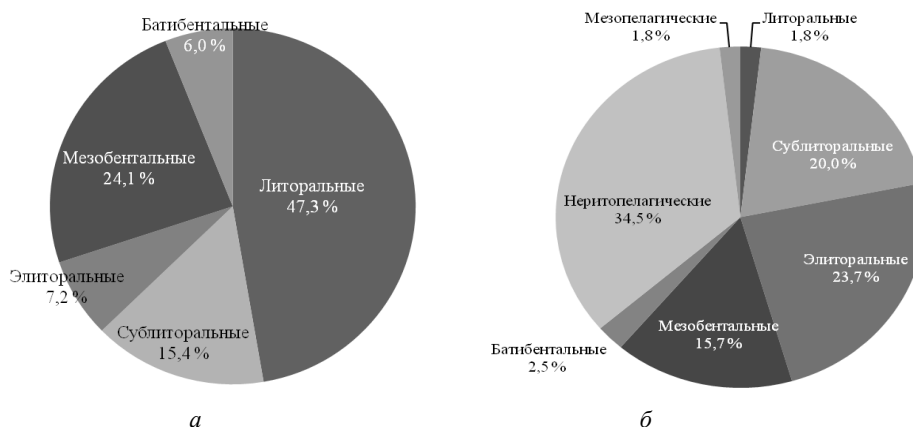


Рис. 6. Соотношение биотопических группировок развивающихся икринок (а) и личинок (б) для рыб с донным эмбриональным развитием

Икринки большинства видов с донным инкубационным развитием во всех исследованных районах развиваются преимущественно в приливно-отливной зоне и на верхних участках шельфа. Во всех исследованных районах донные икринки большинства видов развиваются на литорали (до 50% всех икринок). Несколько меньше видов имеют sublittoralное и мезобентальное личиночное развитие. Меньше всего элиторальных и батибентальных личинок (рис. 7). Личинки большинства видов рыб во всех исследованных районах проходят неритопелагическое развитие. Несколько меньше личинок с элиторальным, sublittoralным и мезобентальным развитием, но эти личинки также составляют существенную долю.

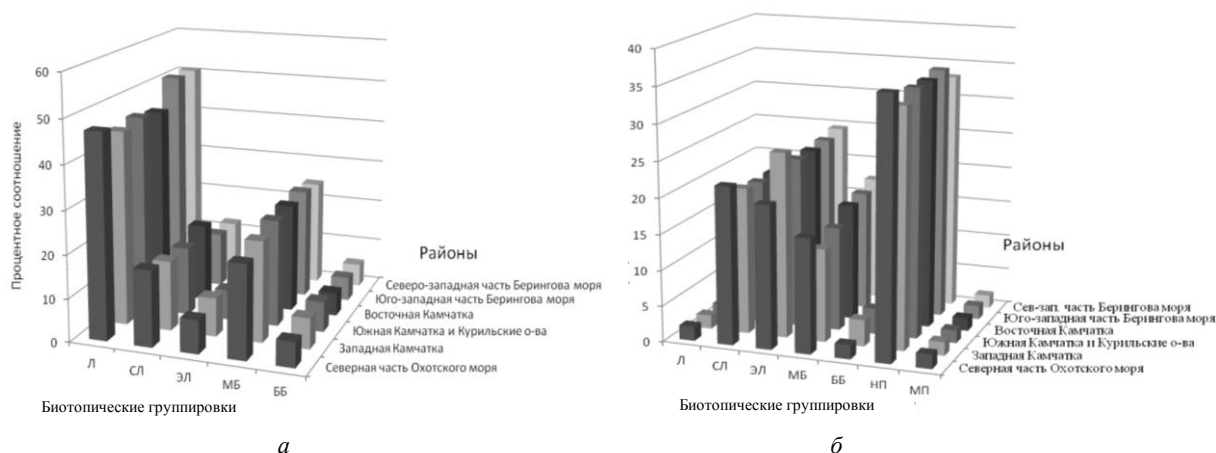


Рис. 7. Соотношение видов рыб по биотопическим группировкам в зависимости от преимущественного распределения развивающихся донных икринок (а) и соотношение видов рыб по биотопическим группировкам в зависимости от преимущественного распределения личинок, развивающихся из донных икринок (б) в исследуемых районах. Обозначения как на рис. 4

Кластерный анализ видов с развивающейся донной икрой на основании биологических и экологических данных, таких как плодовитость, сроки нереста, глубины нереста, субстраты нереста, приведен на рис. 8.

Показано, что эти виды по своим биологическим и экологическим характеристикам довольно разнообразны, поскольку основные их характеристики перекрываются. Нет четко выделяющихся кластеров. Представители наиболее многочисленных отрядов – Scorpaeniformes и Perciformes – входят во все основные кластеры. В этих кластерах довольно широкое разнообразие видов по своим биологическим и экологическим признакам.

Глубины откладывания икры морскими рыбами при ее донном развитии изменяются от прибрежной приливно-отливной зоны до глубин более 1 000 м. Большинство видов откладывают икру на шельфе, ближе к внешнему его краю. Нерест значительного числа видов отмечался до глубины 1 000 м и более (рис. 9).

Виды с известными глубинами нереста, откладывающие донную икру, распределяются следующим образом. На мелководье до глубины моря 50 м откладывают икру виды *Clupea pallasii*,

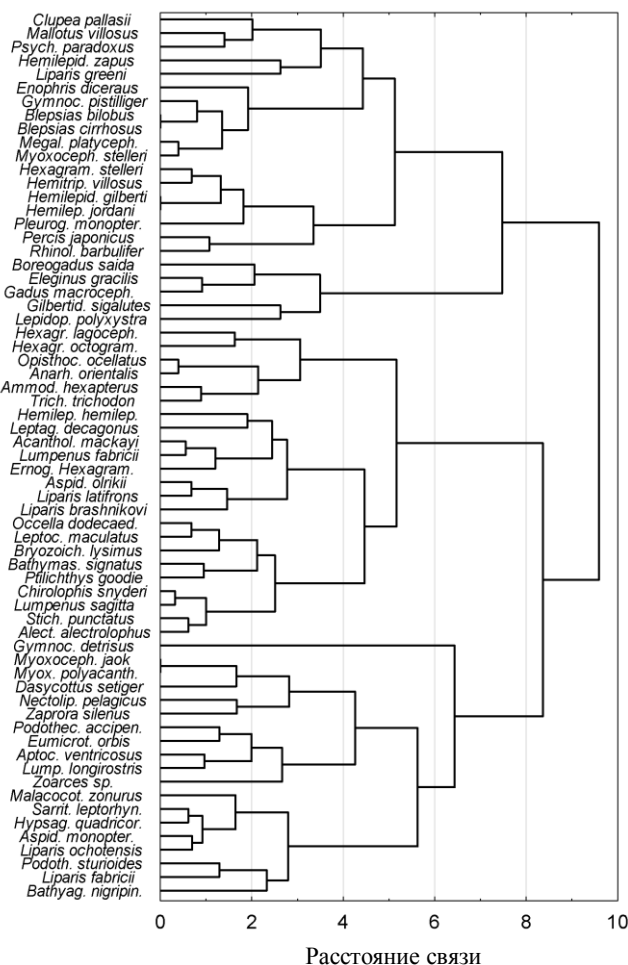
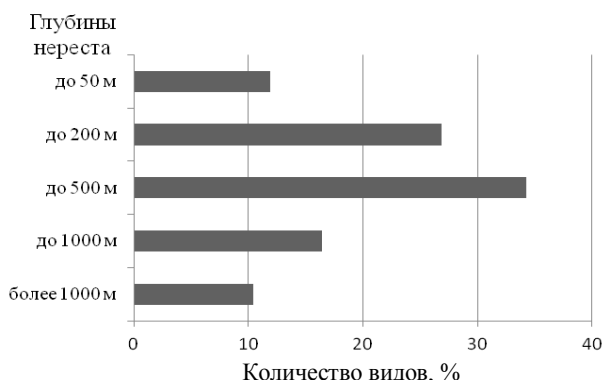


Рис. 8. Дендрограмма сходства видов с развивающимися донными икринками по комплексу биологических и экологических признаков

M. polyacanthocephalus, Dasycottus setiger, Podothecus accipenserinus, Leptagonus decagonus, Percis japonicas, Eumicrotremus orbis, Liparis ochotensis, Zaprora silenus.

Для следующих видов есть сведения о нересте на глубине более 1 000 м: *Malacocottus zonurus, Bathyagonus nigripinnis, Aptocyclus ventricosus, Nectoliparis pelagicus, Rhinoliparis barbulfifer, Lumpenella longirostris, Zoarcidae (Gen.sp.).*



Mallotus villosus, Boreogadus saida, Megalocottus platycephalus, Myxocephalus stelleri, Liparis greeni, Opisthocentrus ocellatus, Ernogrammus hexagrammus.

До глубины 200 м нерестятся виды: *Eleginus gracili, Hexagrammos octogrammus, H. stelleri, Hemilepidotus zapus, Blepsias bilobus, B. cirrhosus, Gilbertidia sigalutes, Ocella dodecahedron, Psychrolutes paradoxus, Liparis brashnikovi, L. fabricii, Pholis fasciata, Acantholumpenus mackayi, Leptoclinus maculatus, Lumpenus fabricii, Stichaeus punctatus, Alectrias alectrolophus, Anarhichas orientalis.*

Наибольшее число видов нерестится до глубины 500 м: *Gadus macrocephalus, Hexagrammos lagocephalus, Pleurogrammus monopterygius, Enophris diceraus, Gymnocanthus detrisus, G. pistilliger, G. tricuspis, Hemilepidotus hemilepidotus, Hemitripterus villosus, Podothecus sturioides, Sarritor leptorhynchus, Aspidophoroides monopterygius, Aspidophoroides olrikii, Hypsagonus quadricornis, Liparis latifrons, Bathymaster signatus, Bryozoichthys lysimus, Chirolophis snyderi, Lumpenus sagitta, Ptilichthys goodie, Ammodytes hexapterus, Trichodon trichodon, Lepidopsetta polyxystra.*

До глубины 1 000 м известен нерест следующих видов: *Hemilepidotus gilberti, H. Jordani, Myxocephalus jaok,*

Рис. 9. Соотношение по глубинам нереста видов с донной развивающейся икрой

Экологические группы морских рыб прикамчатских вод. Распределение рыб по биотопическим группировкам в районе северо-востока России существенно различается (табл. 3). Большинство (более 60%) типично морских рыб на северо-востоке России имеют демерсальную, или донную, обычно клейкую икру, что связано с разнообразными адаптациями в условиях различных придонных экосистем. Пелагическую икру выметывают почти все представители семейства

камбаловые (за исключением двухлинейной), все мезопелагические рыбы из семейств малоротковые (Microstomatidae), опистопротковые (Opisthoproctidae), моровые (Morigae), долгохвостовые (Macruridae), аноплогомовые (угольная рыба), некоторые тресковые (минтай), а также тряпичник (*Icosteus aenigmaticus*). Эпипелагическую икру в виде клейких лент выметывают некоторые представители семейства морских окуней (Sebastidae, род *Sebastolobus*), хотя большинство морских окуней, в частности все представители рода *Sebastes*, живородящие, выметывающие эмбрионы без оболочек. Личинки рыб, откладывающих донную икру, обычно пелагические. Исключение в этом отношении составляет небольшое количество придонных видов, обитающих в прибрежных водах. Их личинки развиваются среди камней, и некоторые из них имеют присоски, например у представителей семейств Cyclopteridae и Liparidae.

Таблица 3

Соотношение биотопических группировок по числу видов в морских районах прикамчатских вод

Биотопические группировки*	Приарктические воды Берингова моря	Берингово море и восточная Камчатка	Охотское море и западная Камчатка	Юг Камчатки и северные Курильские острова
Икринки				
<i>Пелагические</i>				
ЭП	8	11	11	12
МП	—	14	12	11
<i>Демерсальные</i>				
ЭЛ	24	44	36	40
СЛ	5	15	15	14
МБ, ББ	—	1	1	
Личинки				
ЭЛ	7	17	15	14
СЛ	6	12	12	12
НП	—	6	10	10
ББ	—	2	2	2
ЭП	24	29	29	30
МП, МБ	3	19	11	11

* Биотопические группировки:

ЭП – эпипелагические (в водной толще от поверхности до глубин 200 м)

МП – мезопелагические (в средних слоях воды за пределами шельфа над глубинами до 1 000 м);

ЭЛ – элиторальные (на шельфе у дна, преимущественно над глубинами 50–200 м);

СЛ – сублиторальные (у дна от приливно-отливной зоны до нижней границы обитания водорослей, обычно до 50 м);

МБ – мезобентальные (в придонных слоях воды над шельфом)

НП – неритопелагические (в толще воды над шельфом);

ББ – батибентальные (в придонных слоях воды за пределами шельфа над глубинами до 1 000 м).

По характеру откладывания икры ихтиофауна северо-востока России, включая прикамчатские воды, представляет собой большие, явно различающиеся экологические группы, связанные с местом нереста и раннего развития:

1. Бентопелагические рыбы, обитающие на верхних участках шельфа (шельфовые пелагофилы, эпипелагофилы). Это один представитель семейства Gadidae – тресковые, пелагическая рыба минтай *Gadus chalcogrammus* и большинство придонных рыб семейства Pleuronectidae. Икринки этих рыб пелагические, развиваются преимущественно над шельфом и в прибрежных районах.

2. Мезопелагические и бентопелагические рыбы, икра которых развивается преимущественно за пределами шельфа, у поверхности (внешельфовые пелагофилы, мезопелагофилы). Это рыбы, обитающие на крайних участках шельфа и вне его, такие как представители семейств Bathylagidae – батилаговые, Microstomatidae – малоротковые, Opisthoproctidae – опистопротковые, Morigae – моровые, Macrouridae – долгохвостые, Anoplopomatidae – аноплогомовые (угольная рыба *Anoplopoma fimbria*).

3. Батипелагические рыбы сем. Sebastidae, обитающие преимущественно на нижних участках шельфа и материковом склоне и выметывающие свободно плавающие личинки или эмбрионы в оболочке (батипелагофилы) (несколько видов морских окуней из рода *Sebastes*), либо плавающие на поверхности кладки икры в виде клейких лент (*Sebastolobus alascanus* – аляскинский шипошеч).

4. Типично донные рыбы, откладывающие икру на скальных грунтах (литофилы). Относятся представители таких семейств, как Cottidae, Hemitripterae, Psychrolutidae, Cyclopteridae и Liparidae. Личинки этих рыб, как правило, пелагические или придонно-пелагические. Личинки некоторых видов имеют присоску и могут прикрепляться к камням.

5. Донные и пелагические рыбы, откладывающие икру в литоральной прибрежной зоне преимущественно на придонные участки водорослей (фитофилы). К ним относятся рыбы семейств Agonidae и Hexagrammidae, а также восточная сельдь *Clupea pallasii* и тихоокеанская треска *Gadus macrocephalus*. Личинки их пелагические, скоплений не образуют.

6. Рыбы, откладывающие икру на песчаных грунтах (псаммофилы). Икринки демерсальные, слабосклеиваемые, свободно перекатываются по песчаному грунту, могут приклеиваться к различным предметам на грунте. Типичные представители навага *Eleginus gracilis* и сайка *Boreogadus saida*.

7. Рыбы, нерестящиеся в прибойной зоне или в узкой прибрежной полосе на песчаном и галечном грунте до глубины 10 м (наутикофилы, от латинского *nauticus* – прибойный). Оболочка икры клейкая. К этим рыбам можно отнести типично-пелагический вид мойву *Mallotus villosus*, а также придонных прибрежных рыб шестилинейного стихея *Ernogammus hexagrammus* и морского петушка *Alectrias alectrolophus*. Личинки пелагические, развиваются у поверхности.

Среди всех видов морских рыб в северо-западной части Тихого океана со сколько-нибудь известными условиями нереста и раннего развития почти половину можно отнести к литофилам, откладывающим икру или кладки икры на каменистый грунт. Виды с развивающейся пелагической икрой составляют немного более трети (рис. 10).

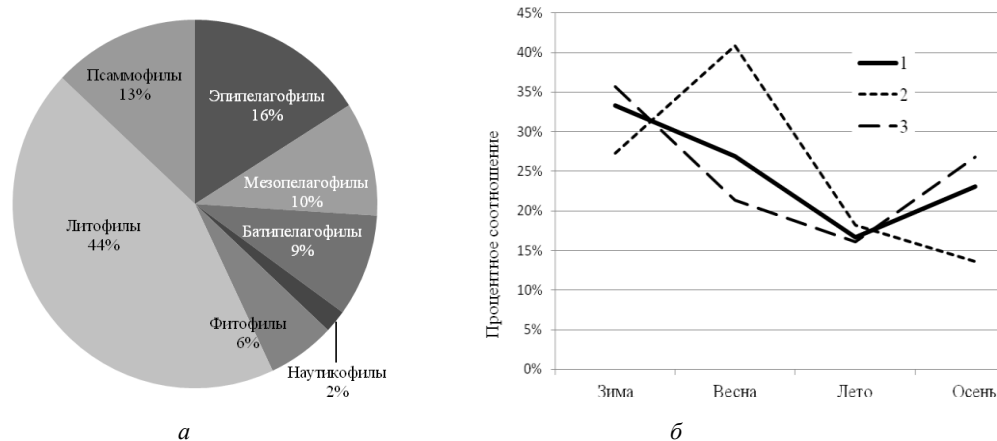


Рис. 10. Соотношение экологических групп видов морских рыб прикамчатских вод с известными ранними стадиями развития, выметывающих пелагические и донные (демерсальные) икринки, в зависимости от экологии нереста (а) и распределение этих видов по сезонам нереста (б).
 Обозначения: 1 – все виды, 2 – виды с пелагической икрой, 3 – виды с донной икрой

Между выделенными нами экологическими группами нет четких границ. Так, литофилы могут откладывать икру как на скальный грунт, так и на водоросли, прикрепленные к скалам. Исследователи находили икру, приклеенную к раковинам моллюсков и панцирю крабов. Некоторые рыбы откладывают икру в виде кладок (липаровые, стихеевые, маслоковые и др.). Икринки эпипелагофилов, развивающиеся преимущественно у поверхности, обычно выметываются в придонных слоях, например минтай, камбалы.

Условия нереста морских рыб характеризуются отсутствием значительных сезонных колебаний температуры воды. Поэтому нерест большинства видов рыб значительно растянут. Так, например, икринки минтая, пик нереста которого приходится на апрель, в уловах планктонных сетей встречались с февраля по ноябрь. Также имеются данные о преднерестовом состоянии минтая в Карагинском и Олюторском заливах в августе [15, 16] и о небольшом осеннем пике нереста [11]. Известно, что пелагические икринки развиваются преимущественно в весенне-летний период, что связано с массовым развитием фито- и зоопланктона, составляющего кормовую базу для личинок, находящихся на ранних стадиях развития. Большинство рыб, откладывающих донную и демерсальную икру, нерестятся в осенне-зимний период. Это может быть приспособлением для более раннего выхода их личинок в планктон для питания мелкими доступными формами планктонных организмов.

Заключение

Рыбы северо-востока России на всех стадиях развития очень разнообразны в отношении предпочитаемых биотопов, биологии и образа жизни. Относительно сходны условия развития типично пресноводных рыб. При этом многие виды, развивающиеся в пресных водоемах, не являются чисто пресноводными. Все проходные рыбы проходят раннее развитие в пресной воде и затем скатываются в море. Многие типично морские виды, встречающиеся на ранних стадиях в толще воды, не являются чисто пелагическими. Будучи по своей сути донными или придонными, они проводят в пелагиали только часть жизненного цикла. Обитание в пелагиали обычно имеет место в раннем возрасте, на стадиях икринки, личинки, малька, молоди, или наоборот: икринки донные, клейкие, личинки придонные, по мере развития мигрируют в толщу воды.

Типично морские рыбы отличаются большим разнообразием в отношении особенностей нереста. Все типично морские рыбы по способу откладывания икры делятся на четыре группы:

- 1) выметывающие пелагические отдельно плавающие икринки;
- 2) выметывающие пелагические кладки икры в виде клейких лент;
- 3) выметывающие донную (демерсальную) икру;
- 4) выметывающие предличинок (живородящие).

По характеру откладывания икры ихтиофауна северо-востока России, включая прикамчатские воды, может быть разделена на семь экологических групп по отношению к условиям нереста и раннего развития:

1. Эпипелагофилы – бентопелагические рыбы, обитающие преимущественно над верхними участками шельфа.
2. Мезопелагофилы – икра пелагическая, развивается преимущественно за пределами шельфа в мезопелагиали и у поверхности.
3. Батипелагофилы – обитающие преимущественно на нижних участках шельфа и материковом склоне и выметывающие свободно плавающих личинок или эмбрионы в оболочке.
4. Литофилы – типично донные рыбы, откладывающие икру на скальных грунтах шельфа.
5. Фитофилы – донные и пелагические рыбы, откладывающие клейкую икру в литоральной прибрежной зоне преимущественно на придонные участки водорослей.
6. Псаммофилы – откладывающие икру на песчаных грунтах на шельфе.
7. Наутикофилы – нерестящиеся в прибойной зоне или в узкой прибрежной полосе на песчаном и галечном грунте до глубины 10 м.

Пелагические икринки характерны для многих рыб, преимущественно пелагических, обитающих на шельфе и у его нижней границы. Несмотря на относительно небольшое количество видов, выметывающих пелагическую икру, этот способ нереста очень важен с рыбохозяйственной точки зрения, так как позволяет учитывать количество выметанной икры и рассчитывать по ней биомассу нерестового запаса и строить прогнозы по численности последующих поколений, как например, для минтая. Пелагические икринки обычно не имеют большого запаса питательных веществ, но имеют разные приспособления для увеличения плавучести (жировая капля, сложная структура оболочки, большое перивителлиновое пространство).

Большинство морских рыб прикамчатских вод откладывают донную, клейкую икру часто в виде кладок, приклеивающуюся к скальным, растительным или другим субстратам, или демерсальную, свободно лежащую на песчаных или галечных грунтах. Донные икринки, как правило, имеют значительный запас питательных веществ и прочную оболочку. Разнообразие в способах кладок представляет собой приспособительный механизм для преодоления конкуренции и обеспечения пищей развивающейся молоди. Личинки, вылупившиеся из донных икринок, обычно пелагические, что обеспечивает им необходимое питание при развитии.

Наибольшую долю в ихтиофауне северо-восточных вод России составляют виды, имеющие эпипелагические, мезопелагические и неритопелагические икринки. Доля сублиторальных, элиторальных и батипелагических икринок в ней невысока. Наименьшая доля литоральных икринок. В целом соотношение видов рыб по биотопическим группировкам по районам исследования в прикамчатских водах меняется незначительно.

После инкубационного периода в верхних и средних слоях воды личинки большинства видов продолжают пелагическое развитие, но опускаются в более глубокие слои. Большинство личинок, развивающихся из пелагических икринок, во всех исследуемых районах продолжают свое развитие в придонных слоях воды над шельфом (мезобентальное развитие).

Сроки нереста большинства морских рыб в пределах северных и умеренных широт растянуты в связи с отсутствием резких колебаний условий обитания. Смещение сроков нереста имеет приспособительный характер, так как обеспечивает появление молоди и ее рост в оптимальных температурных условиях.

Литература

1. Крыжановский С.Г. Эколого-морфологические закономерности развития карповых, вьюновых и сомовых рыб // Тр. Ин-та морфологии животных АН СССР. 1949. Вып. I. С. 5–332.
2. Иванков В.Н. Репродуктивная биология рыб. Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, 2001. 224 с.
3. Григорьев С.С. Ранние стадии рыб северо-востока России. Атлас-определитель. Владивосток: Дальнаука, 2007. 331 с.
4. Matarese A.C., Kendall A.W., Blood D.M., Vinter B.M. Laboratory guide to early life history stages of Northeast Pacific fishes. NOAA Technical Report NMFS 80. 1989. 652 p.
5. Каталог позвоночных Камчатки и сопредельных морских акваторий / под ред. Р.С. Моисеева и А.М. Токранова. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2000. 166 с.
6. The World Register of Marine Species (WoRMS). URL: <http://www.marinespecies.org/index.php>
7. AquaMaps Data sources: GBIF OBIS. URL: <http://www.fishbase.se/summary/22679>
8. Крыжановский С.Г. Экологические группы рыб и закономерности их развития // Изв. Тихоокеанского НИИ рыбн. хоз-ва и океанографии. 1948. Т. 27. С. 3–114.
9. Никольский Г.В. Экология рыб. М.: Высшая школа, 1963. 368 с.
10. Fahay M.P. Guide to the early stages of marine fishes occurring in the western North Atlantic Ocean, Cape Hatteras to the southern Scotian shelf // J. Northw. Atlant. Fish. Sci. 1983. № 4. 423 p.
11. Горбунова Н.Н. Размножение и развитие минтая *Theragra chalcogramma* (Pallas) // Труды ИО АН СССР. 1954. Т. 11. С. 132–195.
12. Григорьев С.С. Раннее развитие морских рыб северо-востока России. Морфо-биологическая характеристика, особенности распределения. Germany, Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 348 с. ISBN 978-3-659-34181-6.
13. Stein D.L. Description and occurrence of macrourid larvae and juveniles in the Northeast Pacific Ocean off Oregon. U.S.A: Deep-Sea Res. 1980. № 27a. P. 889–900.
14. Moser H.G., Ahlstrom E.H., Sandknop E.M. Guide to the identification of scorpionfish larvae (family Scorpaenidae) in the eastern Pacific with comparative notes on species of *Sebastes* and *Helocolenus* from other oceans: NOAA Tech. Rep. NMFS. Circ. 402, Natl. Oceanic Atmos. Adm., Natl. Mar. Fish. Serv., Seattle, WA 98115-0070. 1977. 71 p.
15. Балыкин П.А., Максименко В.П. Биология и состояние запасов минтая западной части Берингова моря // Биол. ресурсы шельфовых и окраинных морей. М.: Наука, 1990. С. 111–126.
16. Глубоков А.И. Биология и популяционная структура минтая *Therarga chalcogramma* северной части Берингова моря: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М: ВНИРО, 2005. 49 с.

Информация об авторе Information about the author

Григорьев Сергей Сергеевич – Камчатский филиал Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии; sgri@inbox.ru

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 Hydrobiology Laboratory; sgri@inbox.ru

УДК [574.52:594.1](265.53)

В.С. Жарников**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СРЕДЫ НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
MYA UZENENSIS (BIVALVIA: MYIDAE) В РАЗНЫХ РАЙОНАХ ТАУЙСКОЙ ГУБЫ
ОХОТСКОГО МОРЯ**

Представлены результаты изучения влияния условий среды на пространственное распределение *Mya uzenensis* на литорали некоторых районов Тауйской губы. Заселение и распределение моллюсков определяют в первую очередь горизонт литорали и тип грунта. Крупные моллюски обитают в основном на мягких грунтах в нижнем горизонте литорали, а более молодые особи сосредоточены на твердых фракциях грунта в среднем горизонте. В зависимости от температурного режима района скорость роста, плотность и биомасса в поселениях мии имеют значительные отличия. В прогреваемых районах, таких как Ольский лиман и бух. Весёлая, отмечались высокие показатели численности, биомассы и максимальные размеры моллюсков. Распресненные воды не оказывают существенного влияния на плотность и биомассу поселений этого моллюска, однако в непосредственной близости от источника опреснения средняя длина их раковин была больше, чем на расстоянии 200–300 м. Исследование влияния экологических факторов на рост, численность и биомассу *M. uzenensis* показали, что условия обитания этого моллюска в районах Ольского лимана и бух. Весёлая наиболее благоприятны.

Ключевые слова: *Bivalvia*, *Mya uzenensis*, литораль, тип грунта, температура воды, соленость, поселение моллюсков, длина раковины, Охотское море.

V.S. Zharnikov**ENVIRONMENTAL CONDITIONS INFLUENCE ON SPATIAL DISTRIBUTION
OF *MYA UZENENSIS* (BIVALVIA: MYIDAE) IN VARIOUS AREAS OF TAU I BAY,
THE SEA OF OKHOTSK**

The results of studying the environmental conditions influence on the spatial distribution of *Mya uzenensis* on the littoral in some areas of the Tau I Bay are presented. The population and distribution of mollusks on the littoral was determined primarily by the littoral horizon and the bottom type. Large mollusks inhabit mainly soft ground of the lower horizon, and younger specimens are concentrated on solid fractions of the bottom on the middle horizon. Depending on the thermal regime of the region the growth rate, density and biomass of *Mya* populations have significant differences. The high abundance, biomass, and maximum sizes of mollusks were noted in the hearted areas, such as the Olsky Estuary and the Veselaya Bay. The desalinated waters don't significantly affect the density and biomass of the mollusk settlements; however, the average mollusk shell close to the desalination source was longer than those apart 200–300 m. The study of the environmental factors influence on the growth, abundance, and biomass of *M. uzenensis* showed that this mollusk living conditions in the areas of the Olsky Estuary and the Veselaya Bay are most favorable.

Key words: *Bivalvia*, *Mya uzenensis*, littoral zone, substrate, water temperature, salinity, mollusk settlement, shell length, Sea of Okhotsk.

DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-99-107

Введение

Одним из основных представителей биоты морской литорали являются двустворчатые моллюски. Участвуя в жизни прибрежных сообществ в качестве фильтраторов и детритофагов, они являются одним из важнейших гарантов экологического равновесия. На мягких грунтах двустворки нередко создают основу зооценозов инфауны [1]. Неслучайно эта группа моллюсков издавна была предметом научных исследований. С каждым годом интенсивность вылова гидробионтов во всем мире возрастает. При этом среди морских беспозвоночных представители *Bivalvia* занимают одно из первых мест [2].

Mya uzenensis Nomura et Zinbo, 1937 широко распространена в пределах бореальной зоны. Она селится на участках дна с большим количеством песка, гальки, камней и относится к литорально-верхнесублиторальным видам. В научной литературе ранее упоминалась под названием *Mya priapus* Tilesius, 1822 (мия обыкновенная). Ф.С. Мак-Нейл в своем обзоре рода *Mya* [3] признал их синонимичность. Поселения этого моллюска в Охотском море встречаются в нижнем, редко среднем горизонтах литорали, а в зал. Петра Великого (Японское море) обсуждаемый вид обнаружен в сублиторали, на глубинах до 20 м. В Охотском и Беринговом морях этот вид живет при достаточно низкой температуре воды, на юге Приморья – при 15°C [4, 5], он выносит широкий диапазон солености – от нормальной морской до почти нулевой в опресненных эстуариях.

Все морские двустворчатые моллюски, обитающие в дальневосточных морях, могут употребляться в пищу, однако промысловыми среди них считаются только виды, имеющие крупные размеры и образующие естественные скопления на небольших глубинах, удобных для ведения промысла. Целесообразность добычи того или иного моллюска зависит от рентабельности промысла и стоимости переработки улова и полученной из него пищевой или кормовой продукции [1]. Оценка запасов и сведения о распределении *M. uzenensis* на литорали северных районов материкового побережья Охотского моря до сих пор отсутствуют.

Тауйская губа – наиболее прогреваемый участок северной части Охотского моря. Она имеет множество бухт, лиманов, опресненных эстуариев. Высокая амплитуда приливно-отливных колебаний и пологий берег обуславливают наличие здесь широкой литорали, удобной для формирования поселений *M. uzenensis*. Биология развития этого вида также мало изучена. В научной литературе имеются лишь скудные данные по размерному составу, плотности и биомассе его поселений в отдельных небольших по протяженности участках Тауйской губы. В настоящей работе описывается влияние условий среды на рост, биомассу и плотность поселений *M. uzenensis*, а также особенности ее пространственного распределения в литоральной зоне шельфа. Дана оценка запасов этого вида в обследованных нами районах Тауйской губы.

Материалы и методы

Материалом для данной работы послужили пробы двустворчатого моллюска *M. uzenensis*, собранные с июня по октябрь 2019 г. на литорали Тауйской губы (Охотское море) в районе Ольского лимана, бух. Весёлой и в зал. Одян (п-ов Кони) (рис. 1). Всего за указанный период исследований было собрано 138 количественных проб зообентоса, измерено и взвешено 846 экз. данного вида. В местах сбора моллюсков отобрано 26 проб грунта, пройдено 13 гидробиологических разрезов.

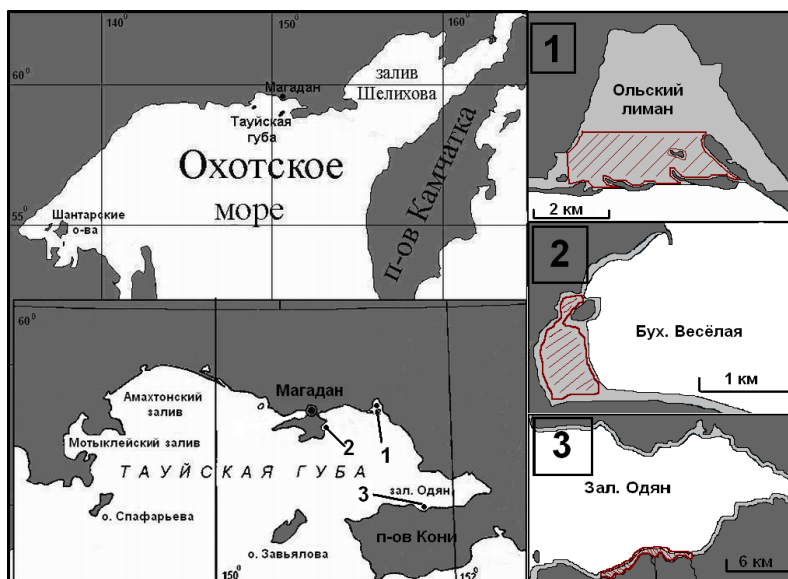


Рис. 1. Карта-схема районов сбора проб: 1 – Ольский лиман; 2 – бух. Весёлая; 3 – зал. Одян, п-ов Кони. Штриховые линии – площадь литорали с оценкой запасов *M. uzenensis*

Сбор проб моллюсков проводили в непосредственной близости к устьям ручьев и рек и в 200–300 м от них. Температуру и соленость морской воды в местах взятия проб регистрировали прибором Horiba U-5000G (Japan, Advanced Techno Co., Ltd.). Для выявления глубин массового обитания *M. uzenensis* на литорали использовали стандартный метод гидробиологических исследований. Для этого вдоль воображаемой прямой, начиная с верхнего этажа среднего горизонта литорали до нижней границы нижнего горизонта, с помощью квадратной рамки 40×40 см через каждые 50–100 м (в зависимости от длины разреза) отбирали количественные пробы. При этом на каждой станции сбора отбирали по три пробы зообентоса.

Учетную рамку бросали случайным образом на литораль, весь мягкий грунт с площади, очерченной рамкой, выкапывали совком и промывали через набор почвенных сит с разным размером ячеи: 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; <0,25 мм. Оставшийся на ситах грунт тщательно просматривали, с помощью пинцета отбирали обнаруженные в нем моллюски и помещали их в пластиковые контейнеры. На этикетках указывали время сбора, номера разреза и станции, номер пробы, тип грунта и глубину нахождения моллюсков. Механический состав грунта определяли по соотношению веса каждой из фракций грунта и по их процентной доле.

Живые особи *M. uzenensis* после обсушивания взвешивали с точностью до 0,1 г на электронных весах и измеряли у них длину раковины. Возраст моллюсков определяли путем подсчета годичных колец роста на раковине. Запасы мии оценивали путем умножения средней биомассы (г/м²) на площадь полосы литорали в обследованном районе. На представленных ниже рисунках и в таблицах указан размах колебания средних показателей изученных характеристик.

В Тауйской губе наблюдаются неправильные полусуточные отливы. Во время сизигия продолжительность осушения нижнего горизонта литорали составляет 1–3 ч, среднего – 5–7 ч, верхнего – 10–13 ч. Границы горизонтов литорали определили по П.В. Ушакову [6] (рис. 2).

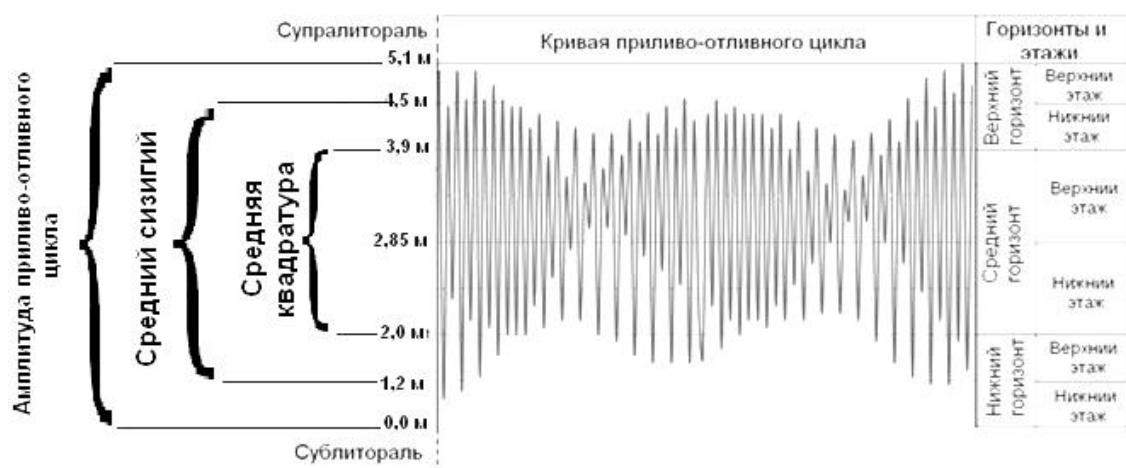


Рис. 2. Схема вертикальной зональности на литорали Тауйской губы [6]

Результаты и обсуждение

Распределение *M. uzenensis* по горизонтам литорали в бух. Веселая. Отдельные участки берега бухты сложены тонкозернистыми грунтами, которые широкой полосой тянутся вдоль берега во время отлива. Их протяженность составляет около 500 м. Состав флоро-фаунистических группировок позволяет без труда выделить границы горизонтов литорали. Поселения мии с максимальными значениями плотности и биомассы были обнаружены в среднем горизонте литорали, они достигали $(78,4 \pm 26,4)$ экз./м² и $(1656,3 \pm 200)$ г/м² соответственно. Средняя длина раковин моллюсков в этом районе была $(47,2 \pm 2,13)$ мм, а масса – $(42,7 \pm 17,1)$ г. Средний возраст моллюсков составил шесть лет (табл. 1).

В нижнем горизонте литорали эти показатели были ниже – $(34,7 \pm 2,94)$ экз./м² и $(1\,484,2 \pm 251)$ г/м², однако средняя длина и масса моллюсков здесь значительно превышали аналогичные показатели у моллюсков, обитающих в среднем горизонте. Они составили $(59,3 \pm 4,2)$ мм и $(42,7 \pm 17,1)$ г. Возраст собранных здесь особей составил в среднем восемь лет (табл.1). В верхнем горизонте литорали представители изучаемого вида отсутствовали.

Таблица 1

Характеристика поселений *Mya uzenensis* в разных горизонтах литорали бухты Весёлая

Показатель	Средний горизонт литорали	Нижний горизонт литорали
Плотность (экз./м ²)	78,4 ± 26,45	34,7 ± 2,94
Биомасса (г/м ²)	1656,3 ± 200	1484,2 ± 251
Средняя масса одного моллюска (г)	21,1 ± 4,5	42,7 ± 17,1
Средняя длина раковины (мм)	47,2 ± 2,13	59,3 ± 4,2
Средний возраст (лет)	6	8

Таким образом, в бух. Весёлая наиболее крупные особи мии обитают в нижнем горизонте литорали. Их быстрому росту и увеличению массы способствуют краткость периода осушения, возможность длительного нахождения в воде, где они могут постоянно питаться.

В среднем горизонте литорали встречаются более молодые моллюски (рис. 3), вероятно, в летнее время эта часть площади морского дна лучше прогревается, приливо-отливные течения приносят сюда большое количество органических остатков и детрита. Высокая концентрация питательных веществ в литоральных ваннах и в воде, заполняющей норку моллюска в отлив, делает возможным питание мии в условиях осушения [7]. Благоприятные условия обитания в среднем горизонте литорали способствуют образованию наиболее высокой плотности и биомассы в поселении за счет молодых моллюсков. Однако полноценный рост и выживаемость в нижнем горизонте литорали им обеспечивает возможность постоянного питания планктоном и использования для дыхания растворенного кислорода приливных вод. Фильтрация же воды в ограниченном объеме литоральных ванн или норок менее предпочтительна.

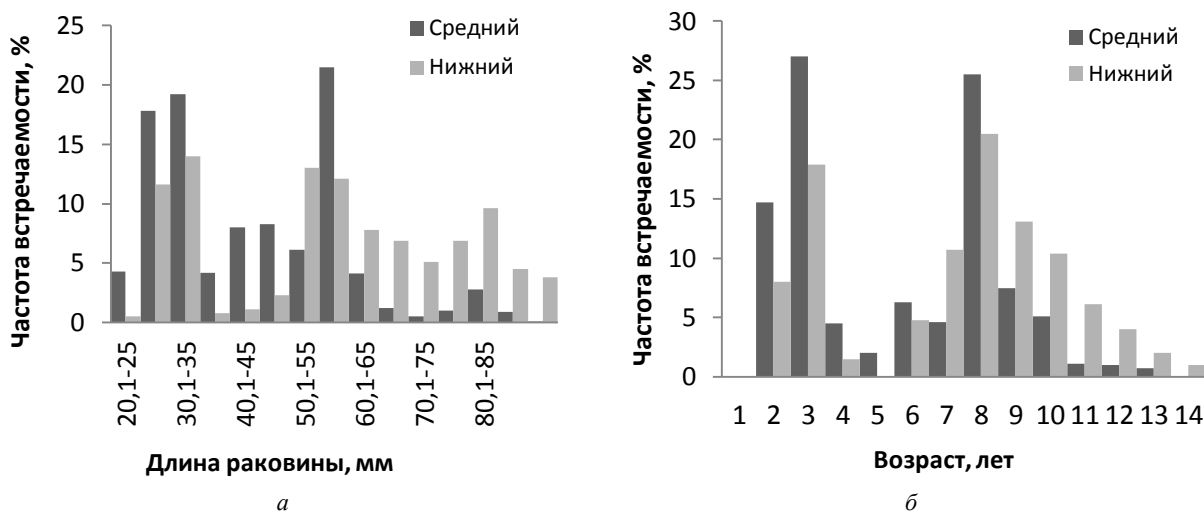


Рис. 3. Размерная (а) и возрастная (б) структура поселений *Mya uzenensis* в нижнем и среднем горизонтах литорали в бух. Весёлая

Влияние типа грунта на распределение *M. uzenensis* на литорали. Распределение моллюсков на различных видах грунта рассмотрено на примере микропопуляции, обитающей в Ольском лимане. В исследуемом районе встречались все виды грунтов, пригодных для обитания закапывающихся форм моллюсков. По нашему мнению, вторым по значимости фактором, обуславливающим плотность заселения и глубины обитания *M. uzenensis* на литорали Тауйской губы является тип грунта. Мия обитает на песчаных (размер зерна 0,1–1 мм), гравийных (1–10 мм) и галечных грунтах (10–100 мм) с разной пропорцией гранулометрических частиц (песок : гравий : галька). На пелитовых (<0,001 мм) и алевритовых (0,01–1 мм) грунтах мия не обитает.

В Ольском лимане в местах обитания мии встречались смешанные грунты. В зависимости от доли участия гранулометрических частиц в их сложении они условно разделены нами на три типа:

- мягкие, в которых доля песка составляет 70–95%, а гравия – 5–30%;
- средние твердые, в которых доминируют песок и гравий, встречается немного гальки. Первый обычно составляет 30–60%, второй – 30–50%, содержание последней колеблется от 10 до 20%;
- твердые, которые состоят на 50–60% из гравия и на 20–50% гальки, примесь песка с гравием составляет небольшое количество, лишь 10–30%.

Минимальные значения численности и биомассы в поселении *M. uzenensis* отмечены на мягких грунтах ($(42,7 \pm 14,15)$ экз./м², $(2765,3 \pm 253)$ г/м²), именно здесь встречались моллюски с максимальной длиной и массой раковин. Средние показатели этих значений достигали $(73,7 \pm 3,2)$ мм и $(64,6 \pm 13,2)$ г. (табл. 2). Максимальная численность ($(94,6 \pm 19,46)$ экз./м²) и биомасса ($(4286,5 \pm 210)$ г/м²) мии приурочены ко второму типу грунтов. Он на побережье Ольского лимана встречался чаще всего. Однако в приустьевой части лимана ближе к открытому побережью Тауйской губы доминировали твердые фракции грунта. Там в поселениях присутствовали моллюски, имеющие меньшие размерно-весовые показатели. У них средняя длина и масса раковины составили соответственно $(59,26 \pm 5,1)$ мм и $(28,48 \pm 6,1)$ г (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики поселений *Mya uzenensis* на участках побережья Ольского лимана с разными грунтами

Показатель	Тип грунта		
	Мягкие фракции	Среднетвердые фракции	Твердые фракции
Плотность (экз./м ²)	42,75 ± 14,15	94,6 ± 19,46	103,5 ± 22,83
Биомасса (г/м ²)	2765,3 ± 253	4286,5 ± 210	2948 ± 201
Средняя масса одного моллюска (г)	64,6 ± 13,2	45,3 ± 10,6	28,48 ± 6,1
Средняя длина раковины (мм)	73,7 ± 3,2	65,2 ± 4,6	59,26 ± 5,1
Средний возраст (лет)	9	8	7

Анализ размерной и возрастной структуры поселений мии на разных типах (рис. 4) грунтов показал, что в Ольском лимане на твердых фракциях встречаются в основном молодые моллюски, на мягких – старшие особи, с размерами раковины 47,2–87,5 мм в возрасте 4–13 лет.

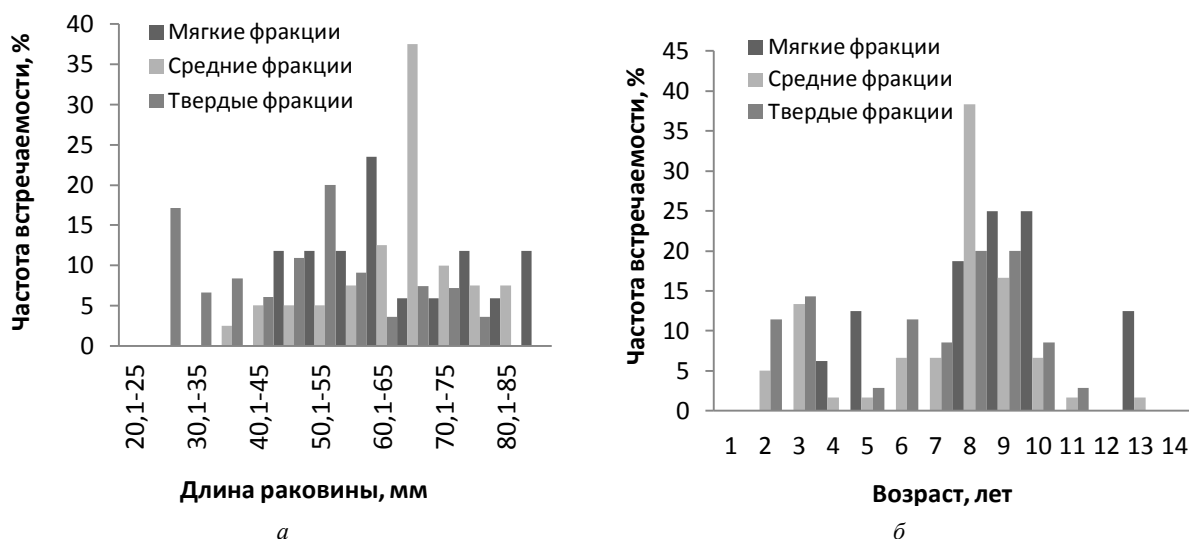


Рис. 4. Размерная (а) и возрастная (б) структура поселения *Mya uzenensis* на разных грунтах

Вероятно, наиболее подходящими для оседания молодежи являются твердые грунты, так как встречается больше мелких особей, однако по мере роста моллюсков зарывание их в твердый грунт становится более затруднительным, и организмы закапываются на небольшую глубину. В отдельные годы с суровыми зимами возможны довольно длительное промерзание грунта и гибель мий, находящихся на небольшой глубине (5–10 см) в твердых грунтах. Мягкие грунты более благоприятны для обитания крупных особей, способных глубоко закапываться (до 40 см) и противостоять зимнему промерзанию грунта.

По мнению Н.В. Максимовича [8], для мии свойственна высокая гибель особей на самых ранних стадиях развития, в частности на стадии оседания и перехода к донному образу жизни. Вероятно, для существования молодых моллюсков менее благоприятны мягкие фракции грунта, их нестабильность в связи со сносом поверхностных слоев током воды и перемещением частиц относительно друг друга. Молодь, не успевшая закопаться глубоко в грунт, может вымываться и уноситься течением воды. А совсем молодые ювенальные особи могут перетираться частицами грунта и неспособны закрепиться в грунте. Следует отметить, что в бух. Весёлая и зал. Одян в местах, где среди подвижных грунтов разбросаны валуны и глыбы, плотность и биомасса по-

селений мии несколько превышают таковые на открытых участках. Камни, по всей видимости, защищают животных от прибоя, вымывания их из грунта и перепахиванию во время движения льда на литорали в весенний период.

Во многих обследованных нами районах Тауйской губы отмечено полное отсутствие сеголеток, однако мы неоднократно находили большое количество особей 2–3-летнего возраста в поселениях, расположенных в непосредственной близости к зарослям *Zostera marina*. По мнению И.Б. Щербаковой [7], заросли морской травы являются более удобными для оседания личинок мий. Со временем по мере их роста плотная дерновина из подземных побегов zostеры препятствует зарыванию молодых моллюсков на глубину, поэтому молодь мий вынуждена перемещаться в горизонтальном направлении в места многолетних поселений этих моллюсков. По данным Н.В. Максимовича и А.В. Герасимова [9], возможен приток молодежи в популяцию за счет мигрирующих ювенильных особей, и это достаточно обычный способ пополнения молодью поселений мии. Возможно, в исследованных нами поселениях имеет место аналогичное явление.

Влияние температуры воды на рост, биомассу и плотность поселений *M. uzenensis*. Значения показателей плотности и биомассы в поселении *M. uzenensis* менялись в зависимости от района обитания. Так, в зал. Одян средняя плотность и биомасса поселения мии имели низкие показатели и составили $(33,1 \pm 7,2)$ экз./м² и $(991,4 \pm 202,9)$ г/м². Максимальные средние величины отмечались в районе Ольского лимана – $(75,2 \pm 18,9)$ экз./м² и $(3\ 210,4 \pm 321)$ г/м² (табл. 3). Чаще всего поселения мии встречались в виде мозаичных скоплений на площади от 0,5 до 5 м². Вне скоплений встречались мии от 1 до 19 экз./м² и от 5 до 1 100 г/м². Следует отметить, что при наличии подходящих грунтов скопления моллюсков занимали 25–40% площади литорали.

Таблица 3

Средние показатели плотности и биомассы и запасы *Mya uzenensis* в литоральной зоне разных районов Тауйской губы

Район	Плотность поселения, экз./м ²	Биомасса, г/м ²	Площадь обследованной литорали, км ²	Запасы в скоплениях (вне скоплений), т	Всего запасов, т
Ольский лиман	$75,2 \pm 18,9$	$3210,4 \pm 321$	4,3	6000 (1635)	7635
Бухта Весёлая	$56,4 \pm 19,9$	$1520,2 \pm 146,1$	0,2	98 (43)	141
Залив Одян	$33,1 \pm 7,2$	$991,4 \pm 202,9$	1,58	260 (134)	394

Сравнительный анализ локальных особенностей возрастных изменений длины раковины в исследованных районах Тауйской губы показывает, что моллюски растут с разной интенсивностью. Например, на Ольском лимане у мии в возрасте шести лет средние размеры длины раковины составляли $(55,5 \pm 5,3)$ мм, в бух. Весёлая – $(54 \pm 6,6)$ мм, и наиболее мелкие особи были отмечены в зал. Одян $(46 \pm 5,7)$ мм. Со временем эти различия в размерах несколько сглаживаются. Так, у моллюсков в возрасте 12 лет в районе Ольского лимана длина раковины составляет $(75,5 \pm 2,9)$ мм, в бух. Весёлая $(74 \pm 3,6)$ мм, а в зал. Одян $(69,2 \pm 4,4)$ мм (рис. 5).

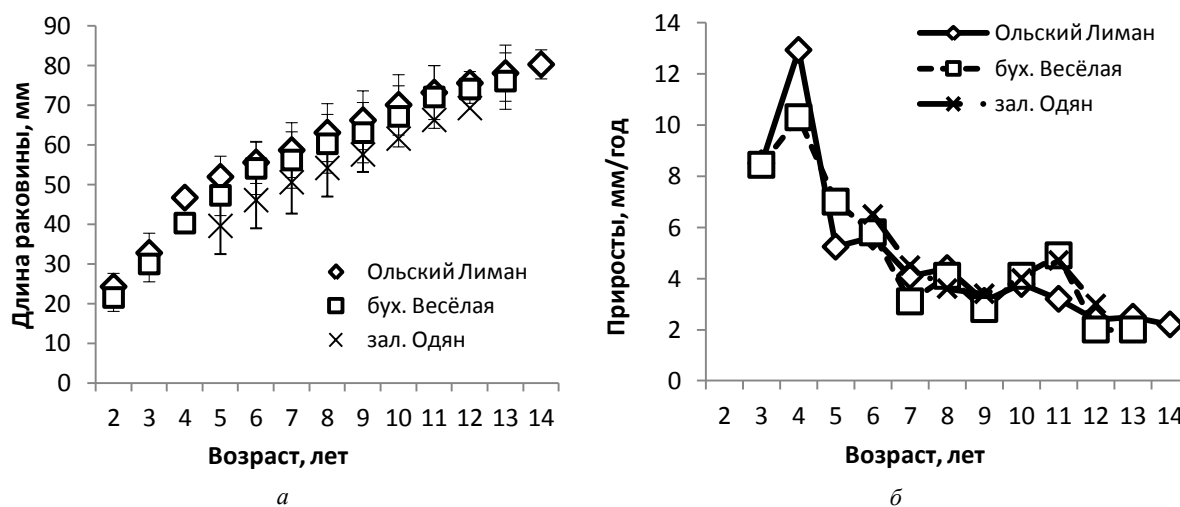


Рис. 5. Возрастные изменения длины раковины (а) и ежегодного прироста (б) *Mya uzenensis* в разных районах Тауйской губы

Различия поселений мии по плотности и биомассе, скорости роста, вероятно, зависят от температурного режима прибрежных акваторий. Благодаря наличию больших площадей осушки в районах Ольского лимана (5 000 м) и бух. Весёлая (500–700 м), вода на мелководье во время отливов прогревается сильнее. Ольский лиман и бух. Весёлая являются наиболее защищенными от сильного волнения и тепловодными прибрежными районами Тауйской губы. Там температура воды к концу июля достигает 13–17°C, и до середины августа на мелководье она практически не изменяется. Прибрежье зал. Одян в районе р. Кулькуты является наиболее открытым участком, характеризуется относительно высокой прибойностью (I – степень прибойности по классификации Гурьяновой и др., [10, 11]) и относится ко второму биономическому типу [12, 13]. За счет открытости района и влияния речного стока р. Орохолинджа, Кулькуты, Бугурчан и различных мелких ручьев температура воды в летнее время здесь на 2–3°C ниже (10–14°C), чем на Ольском лимане и в бухте Весёлая. Кроме всего, именно температурные условия отражаются на росте, плотности поселения и биомассе мии в этом районе.

Рост моллюсков – важнейший интегральный показатель, по характеру которого можно судить о благоприятном влиянии на них окружающей среды в том или ином местообитании [14]. Одним из главных факторов, определяющих величину годового прироста особей, является ее размер к концу первого года развития [15]. Моллюски, занявшие субстрат раньше остальных, успевают достичь больших размеров до наступления зимы и, следовательно, отличаются более быстрым ростом в течение последующей жизни [16]. С возрастом сглаживание размеров мии из разных мест обитания в Тауйской губе, вероятно, связано с выживаемостью более приспособленных и имеющих более высокий темп роста особей, достигающих наиболее крупных размеров в возрасте 12–14 лет, тогда как другие экземпляры не доживают до 10-летнего возраста.

Влияние солёности воды на рост, биомассу, плотность поселений и распределение *M. uzenensis* на литорали. Распределение моллюсков в зависимости от солёности на литорали рассмотрено в зал. Одян в районе р. Кулькуты и в Ольском лимане в районе старого русла р. Ола. Солёность во время приливо-отливных течений в непосредственной близости от источника опреснения (10–20 м) менялась от 5 до 28‰, на удалении 200–300 м – в пределах 17–28‰. Минимальная солёность на поверхности воды (5–17‰) в прибрежье наблюдалась во время отливных течений из-за распреснения речным стоком, в фазу приливов солёность, наоборот, повышалась до 28‰. Следует отметить, что на изменения солёности оказывают влияние постоянные ветра, образующие сгонно-нагонные явления. В результате солёность во время прилива может повышаться на 5–10‰ [17].

Изучение показателей плотности и биомассы поселений мии в непосредственной близости от источника опреснения и на расстоянии 200–300 м от него существенных различий не выявило (табл. 4). Отличия между этими районами недостоверны из-за высокого размаха колебаний средних показателей плотности и биомассы.

Таблица 4

Влияние опреснения воды на плотность поселений и биомассу *M. uzenensis* в различных районах Тауйской губы

Район	Поселение мии в непосредственной близости от источника опреснения (10–20 м)		Поселение мии на расстоянии 200–300 м от источника опреснения	
	экз./м ²	г/м ²	экз./м ²	г/м ²
Ольский лиман (р. Ола)	79,7 ± 8,9	3650,3 ± 185,3	76,8 ± 12,3	3120 ± 256
Зал. Одян (р. Кулькуты)	32,6 ± 4,5	1125,5 ± 171,3	35,78 ± 6,7	1020 ± 183,1

В непосредственной близости от источника опреснения средняя длина раковины мии в Ольском лимане составила (61,3 ± 4,8) мм и в зал. Одян (52,4 ± 4,5) мм, а на расстоянии 200–300 м – (57,5 ± 4,6) мм и (48,4 ± 3,8) мм соответственно. Подобные результаты изучения размерно-массовых показателей моллюсков в районах с разной солёностью получены и в Белом море. Там представители вида, обитающие в эстуарии, достигали больших размеров и массы, чем у открытого побережья [18]. По данным В.Я. Бергера [19], эстуарные моллюски отличаются большей плодовитостью, однако период их полового созревания совпадает с таковым у моллюсков, обитающих на открытом побережье. На первый взгляд, может показаться, что данные противоречат многочисленным наблюдениям за размножением моллюсков [14, 20], свидетельствующим о том, что их рост в условиях низкой солёности угнетается.

В нашем случае это не так. Это вызвано большей длительностью обводнения нижнего и среднего горизонтов литорали и по сравнению с моллюсками открытого побережья, обитаю-

щими преимущественно на среднем горизонте литорали, и большей продолжительностью периода питания. Более высокий темп роста моллюсков, кроме того, обусловлен снижением пищевой конкуренции в олигомикстных биоценозах, которые встречаются в кутовых участках эстуариев [21]. Также на эстуарные поселения мии благотворное влияние оказывает менее продолжительное время обсыхания во время отлива.

Эксперименты В.Я. Бергера [19], проведенные на беломорских моллюсках, показали, что живущие в литоральной зоне представители *Mya arenaria* устойчивы к пресной воде на протяжении около 100 ч, тогда как виды, живущие в сублиторали, например *Margarites helicinus*, погибают при снижении солености до 17–18‰. Способность *M. uzenensis* закапываться в грунт, условия существования в грунте, плотная герметизация мантийной полости, большая выпуклая раковина, позволяющая запасать жидкость в мантийной полости, обеспечивают этому виду высокую устойчивость к сильному и экстремальному понижению солености среды обитания в весеннее время во время паводкового периода и в теплое время года при выпадении большого количества атмосферных осадков.

Заключение

M. uzenensis широко распространена в северных районах Охотского моря. На примере изучения ее поселений в Тауйской губе, характеризующейся разнообразием условий обитания моллюсков, наличием разных подвижных грунтов, разными прибойностью, соленостью и температурным режимом, показано, что в зависимости от разных условий обитания моллюски отличаются размерно-массовыми показателями. Наиболее крупные особи *M. uzenensis* обитают на нижнем горизонте литорали, где условия жизни наиболее благоприятны, а короткий период осушения способствует нахождению их длительное время в воде, где они могут постоянно питаться планктоном и осуществлять жаберное дыхание. Преимущественным местом оседания личинок являются районы, прилежащие к зарослям морской травы, позже молодые моллюски перемещаются преимущественно на открытые участки литорали.

Особенности заселения и распределения моллюсков на литорали определяется типом грунта. В мягких грунтах размерно-массовые показатели и численность моллюсков более низкие, чем в твердых, однако именно в песчаном грунте встречались наиболее крупные моллюски с длиной раковины ($73,7 \pm 3,2$) мм. Максимальная численность ($(94,6 \pm 19,46)$ экз./м²) и биомасса ($(4286,5 \pm 210)$ г/м²) мии приурочены к средним фракциям грунта. На твердых грунтах встречались особи небольшого размера ($(59,26 \pm 5,1)$ мм).

Температура воды в значительной степени определяет активность жизнедеятельности *M. uzenensis*. Летний прогрев воды на пологих участках дна до 13–17°C приводит к увеличению численности и биомассы мии до $(75,2 \pm 18,9)$ экз./м² и $(3\,210,4 \pm 321)$ г/м². Снижение температуры воды в летнее время на 2–3°C, до 10–14°C приводит к снижению численности до $(33,1 \pm 7,2)$ экз./м² и биомассы до $(991,4 \pm 202,9)$ г/м², то есть более чем в два и три раза соответственно.

Соленость воды, как показали наши исследования, не оказывает существенного влияния на показатели плотности и биомассы, тем не менее в непосредственной близости к источнику опреснения средняя длина раковин у мии была больше, чем на расстоянии 200–300 м. Мы связываем это с более благоприятными условиями питания и снижением конкуренции за пищевые ресурсы. В целом следует отметить высокую эврибионтность и эвригалинность *M. uzenensis*, которым способствуют морфологическая организация и поведенческие реакции этого вида.

В исследуемых районах Тауйской губы запасы *M. uzenensis* в скоплениях и вне скоплений на площади 4,3 км² в Ольском лимане составили 7635 т, в бух. Весёлая на площади 0,2 км² – 141 т и в зал. Одян 1,58 км² – 394 т. Общий запас *M. uzenensis* на исследуемой площади литорали площадью 6,08 км² составил 8170 т. При освоении 7% моллюсков с длиной раковины более 65 мм к вылову в трех исследуемых районах рекомендуем ежегодно 154,2 т.

Проведенные исследования позволяют говорить о том, что *M. uzenensis* – вид, перспективный для промыслового использования, и он может быть одним из объектов вылова в Тауйской губе. Изучение влияния экологических факторов на рост и развитие моллюсков, плотность их поселения и накопление биомассы свидетельствуют о том, что наиболее перспективными районами промысла *M. uzenensis* здесь являются Ольский лиман и бух. Весёлая.

Литература

1. Ромейко Л.В. Двустворчатые зарывающиеся моллюски камчатского шельфа и перспективы их использования // Вестник Камчатского государственного технического университета [Bulletin of Kamchatka State Technical University]. 2002. № 1. С. 34–43.
2. FAO yearbook: Fishery statistics (catches and kindings). 1990. P. 70.
3. Mac Neil F.S. Evolution and distribution of the genus *Mya*, tertiary migrations of Mollusca // Geol. Surv. Prof. Pap., 483. G. U. S. Govern. Print. Off., Washington, 1965. P. 1–51.
4. Скарлато О.А. Двустворчатые моллюски умеренных широт западной части Тихого океана. Л.: Наука, 1981. 480 с.
5. Кафанов А.И. Двустворчатые моллюски шельфов и континентального склона северной Пацифики: аннот. указ. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. 200 с.
6. Ушаков П.В. Литораль Охотского моря // Докл. АН СССР. М.; Л.: АН СССР, 1951. Т. 76. № 1. С. 127–130.
7. Щербакowa И.Б. Двустворчатый моллюск *Mya arenaria* в экосистемах литорали Белого моря: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2006. 28 с.
8. Максимович Н.В. О закономерностях организации популяции морских двустворчатых моллюсков: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2004. 48 с.
9. Максимович Н.В., Герасимова А.В. Долговременный мониторинг литоральных поселений двустворчатых моллюсков (Mollusca, Bivalvia) в губе Чула (Белое море) // Морские и пресноводные биосистемы севера Карелии. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004. С. 95–120.
10. Гурьянова Е.Ф., Загс И.Г., Ушаков П.В. Литораль Кольского залива. Ч. 3 // Тр. Лен. общ. естествоисп. 1930а. Т. 60. Вып. 2. С. 17–107.
11. Гурьянова Е.Ф., Загс И.Г., Ушаков П.В. Литораль Западного Мурмана // Иссл. морей СССР. 1930б. Вып. 11. С. 47–104.
12. Кусакин О.Г. К фауне и флоре осушной зоны острова Кунашир // Труды пробл. и тематич. совещ. Зоол. ин-та АН СССР. 1956. Вып. 6. С. 98–115.
13. Кусакин О.Г. Некоторые закономерности распределения фауны и флоры в осушной зоне южных Курильских островов // Исслед. Дальневосточных морей. 1961. Вып. 7. С. 312–343.
14. Мина М.Ф., Клевезаль Г.А. Рост животных. М.: Наука, 1976. 291 с.
15. Максимович Н.В., Лысенко В.Н. Рост и продукция двустворчатого моллюска *Macta insongria* в зарослях зостеры бухты Витязь Японского моря // Биология моря. 1986. № 1. С. 25–30.
16. Герасимова А.В., Максимович Н.В. О закономерностях организации поселений массовых видов двустворчатых моллюсков Белого моря // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2009. Сер. 3, вып. 3. С. 82–97.
17. Чернявский В.И., Радченко Я.Г. Физико-географическая характеристика Тауйской губы Охотского моря // Биологические основы развития лососеводства в Магаданском регионе. СПб., 1994. С. 10–24.
18. Бергер В.Я., Ковалева Н.М. Соленосные адаптации и характер распределения брюхоногого моллюска *Littorina saxatilis* в эстуариях Кандалакшского залива Белого моря // Экспериментальная экология морских беспозвоночных. Владивосток, 1976. С. 23–26.
19. Бергер В.Я. Эвригалинность морских моллюсков, морфофункциональные и эволюционные аспекты: дис. ... д-ра биол. наук. Л., 1980. – 510 с.
20. Kinne O. Salinity – animals – invertebrates // Marine ecology. London etc., 1971. Vol. 1, № 2. P. 820–995.
21. Бергер В.Я. Адаптации морских моллюсков к изменениям солености среды. Л.: Наука, 1986. 214 с.

Информация об авторе Information about the author

Жарников Вячеслав Сергеевич – Институт биологических проблем Севера Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИБПС ДВО РАН); 685000, Магадан; кандидат биологических наук, лаборатория ихтиологии; lzharnikov@mail.ru

Zharnikov Vyacheslav Sergeevich – Institute of Biological Problems of the North, Far East Branch, Russian Academy of Science (IBPN FEB RAS); 685000, Magadan; Candidate of Biological Sciences, Laboratory of Ichthyology; lzharnikov@mail.ru

РЕДАКЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 594.35:591.5

Т.А. Клочкова, Р.В. Ким, Г.Х. Ким

РАЗВИТИЕ ЗАДНЕЖАБЕРНОГО МОЛЛЮСКА *PLACIDA BABAI* (GASTROPODA, OPISTHOBRANCHIA) В ИСКУССТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

На основе изучения материалов, собранных у побережья Кореи, дается первое подробное описание стадий жизненного цикла заднежаберного моллюска *Placida babai* (Gastropoda, Opisthobranchia). Взрослые особи этого вида моллюсков являются синхронными гермафродитами и становятся половозрелыми, когда размер их тела достигает 10 мм и более в длину. В лабораторных условиях один моллюск в течение жизни откладывает яйца 7–10 раз, по 1–2 кладки за один раз. Планктотрофные велигеры вылупились через 8–14 дней после откладки яиц при температуре 20°C. Для велигеров экспериментальным путем был подобран фитопланктонный корм, *Isochrysis galbana* и *Tetraselmis suecica*. Донные личинки, которые живут на растениях макроводоросли *Bryopsis plumosa* и питаются его протоплазмой, развиваются в крошечных слизней (2–3 мм длины) за 1 неделю.

Ключевые слова: биология развития, донная личинка, жизненный цикл, молекулярная идентификация, планктотрофный велигер, *Placida babai*.

DOI: 10.17217/2079-0333-2017-39-55-64

Опечатка

Исправления к статье Т.А. Клочкова, Р.В. Ким, Г.Х. Ким. 2017. Развитие заднежаберного моллюска *Placida babai* (Gastropoda, Opisthobranchia) в искусственных условиях // Вестник Камчатского государственного технического университета [Вестник КамчатГТУ, ISSN 2079-0333]. Том 39. С. 55–64.

В связи с допущенной технической ошибкой при наборе текста, извещаем читателей и авторов об изменении авторства вышеуказанной статьи. Настоящим извещаем, что авторство статьи изменено на:

Р.В. Ким, Т.А. Клочкова, Г.Х. Ким. 2017. Развитие заднежаберного моллюска *Placida babai* (Gastropoda, Opisthobranchia) в искусственных условиях // Вестник Камчатского государственного технического университета [Вестник КамчатГТУ, ISSN 2079-0333]. Том 39. С. 55–64.

DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-108-109

CORRIGENDUM

УДК 594.35:591.5

T.A. Klochkova, R.W. Kim, G.H. Kim

DEVELOPMENT OF MOLLUSK *PLACIDA BABAI* UNDER LABORATORY-CONTROLLED CONDITIONS (GASTROPODA, OPISTHOBRANCHIA)

This paper presents the first detailed description of the life cycle of mollusk *Placida babai* (Gastropoda, Opisthobranchia) collected from the coast of Korea. Adult mollusks are synchronous hermaphrodites; individuals become sexually mature when their body size reaches >10 mm in length. In laboratory conditions, one adult mollusk can lay eggs 7–10 times, laying 1 or 2 egg ribbons each time. Thereafter, planktotrophic veligers hatched within 8–14 days at temperature 20°C. Feeding experiments showed that veligers feed on the microalgae *Isochrysis galbana* and *Tetraselmis suecica*. Bottom larvae that live and feed on the macroalgae *Bryopsis plumosa* develop into juvenile slugs (2–3 mm long) within 1 week.

Key words: biology of development, bottom larva, life cycle, molecular identification, planktotrophic veliger, *Placida babai*.

DOI: 10.17217/2079-0333-2017-39-55-64

Corrigendum

Corrections to the paper by T.A. Klochkova, R.W. Kim, G.H. Kim. 2017. Development of mollusk *Placida babai* under laboratory-controlled conditions (Gastropoda, Opisthobranchia) // Bulletin of Kamchatka State Technical University [Vestnik KamchatGTU, ISSN 2079-0333]. Vol. 39. P. 55–64.

We inform our readers and authors about a technical error that occurred during typesetting of the authorship of paper cited above. We herein inform that the authorship should be changed as follows:

R.W. Kim, T.A. Klochkova, G.H. Kim. 2017. Development of mollusk *Placida babai* under laboratory-controlled conditions (Gastropoda, Opisthobranchia) // Bulletin of Kamchatka State Technical University [Vestnik KamchatGTU, ISSN 2079-0333]. Vol. 39. P. 55–64.

DOI: 10.17217/2079-0333-2020-51-108-109

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:

05.11.00 – приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы:

05.11.01 – Приборы и методы измерений (по видам измерений) (технические науки);

05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (технические науки);

05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (по отраслям) (физико-математические науки).

05.18.00 – технология продовольственных продуктов:

05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки);

05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ (технические науки);

05.18.17 – Промышленное рыболовство (технические науки).

03.02.00 – общая биология:

03.02.08 – Экология (биологические науки);

03.02.04 – Зоология (биологические науки);

03.02.10 – Гидробиология (биологические науки);

03.02.14 – Биологические ресурсы (биологические науки).

В рамках общих направлений предпочтение 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 языке.

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);

– 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

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 признанные высококвалифицированные ученые, имеющие степень доктора или кандидата наук с учетом их научной специализации в соответствующих областях науки.

Рукописи, получившие положительную оценку рецензентов, принимаются к опубликованию в журнале на заседании редколлегии журнала.

Рукописи, получившие рекомендации по доработке, отправляются авторам с замечаниями рецензентов. Доработанный вариант и письмо с ответами на замечания рецензентов необходимо прислать в редак-

цию в указанный срок для повторного рецензирования. Датой представления считается дата поступления в редакцию исправленной рукописи статьи.

В случае если рукопись получила отрицательную оценку рецензентов, автор получает мотивированный отказ в опубликовании.

Решение редакционной коллегии о принятии статьи к печати или ее отклонении сообщается авторам.

Оригиналы рецензий хранятся в редакции журнала в течение пяти лет.

Копии рецензий представляются в Министерство науки и образования РФ при поступлении в редакцию журнала соответствующего запроса.

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.

Приложение 1

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)	

Приложение 2

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

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

Управление Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций по Камчатскому краю
Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ТУ41-00292 от 06 декабря 2016 года

Главный редактор Н.Г. Клочкова
Научный редактор Т.А. Клочкова

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

Адрес редакции, издателя, типографии:

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 27.03.2020 г.
Формат 60*84/8. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman
Авт. л. 10,67. Уч.-изд. л. 11,06. Усл. печ. л. 13,25
Тираж 500 экз. Заказ № 4

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» 81288

Цена свободная

Отпечатано участком оперативной полиграфии издательства
ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет»