

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

48

2019

Петропавловск-Камчатский

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Клочкова Н.Г. (главный редактор)	доктор биологических наук, директор центра научного образования, научных и инновационных проектов Камчатского государственного технического университета
Клочкова Т.А. (научный редактор)	доктор биологических наук, доктор философии биологии (Ph.D.), профессор кафедры экологии и природопользования 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, Head of Center for Scientific Education, Research and Innovation Projects, Kamchatka State Technical University
Klochkova T.A. (Scientific Editor)	Doctor of Biological Sciences, Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Professor of Ecology and Nature Management Chair, Kamchatka State Technical University
Olkhina O.V. (Executive Secretary)	Head of Publishing House, Kamchatka State Technical University
Belavina O.A. (Technical Secretary)	Candidate of Chemical Sciences, Head of the Patenting and Scientific Qualification Activity Sector of Science and Innovation Department, Kamchatka State Technical University
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

Дуленин А.А., Кудревский О.А. Использование легкого телеуправляемого необитаемого подводного аппарата для морских прибрежных гидробиологических исследований.....	6
Сивоконь В.П., Лапшов Д.В., Белов О.А. Диагностические признаки нестандартного проявления нелинейности в электрических сетях.....	18
Ковалева О.А., Здравова Е.М., Киреева О.С. Перспективы использования концентрированных ягодных соков в технологии мясных продуктов	28
Крылова И.В., Ефимова М.В., Ефимов А.А. Применение кукумарии в качестве добавки в макаронные изделия.....	36
Уколов А.И., Родионов В.П., Старовойтов П.П. Гидрокавитационное струйное удаление внутренностей у обезглавленных рыб	43

РАЗДЕЛ II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Волобуев В.В., Горохов М.Н., Голованов И.С., Хованская Л.Л., Ямборко А.В. Нерка <i>Oncorhynchus nerka</i> (Walbaum) северо-восточной части материкового побережья Охотского моря	49
Горбачев В.В., Смирнов А.А. Влияние эколого-биологических и генетических факторов на внутривидовую структуру тихоокеанской сельди (<i>Clupea pallasii</i>).....	59
Дьякова Н.А., Гапонов С.П., Сливкин А.И. Изучение накопления тяжелых металлов и мышьяка и оценка влияния поллютантов на содержание флавоноидов у <i>Polygonum aviculare</i> (Caryophyllales, Polygonaceae)	71
Клочкова Т.А., Дахно О.А., Дахно Т.Г. Влияние экстрактов водорослей на раннее развитие земляники садовой в условиях Камчатки	78
Клочкова Т.А., Климова А.В., Клочкова Н.Г. Перспективы использования камчатских ламинариевых водорослей в региональном растениеводстве	90
Седова Н.А. Экологическая классификация каридных креветок (Decapoda, Caridea) из прикамчатских вод по типу личиночного развития	104
Чернышук Д.К., Иваченко Л.Е., Голохваст К.С. Изменчивость активности кислой фосфатазы у сои (<i>Glycine soja</i>) в условиях токсического воздействия сульфатов кадмия и меди	116
Правила оформления рукописей статей.....	125

Contents

SECTION I. TECHNICAL SCIENCES

Dulenin A.A., Kudrevskiy O.A. The use of lightweight remote operated vehicle for marine coastal hydrobiological investigations	6
Sivokon V.P., Lapshov D.V., Belov O.A. Diagnostic signs of non-standard nonlinearity display in electric networks	18
Kovaleva O.A., Zdrabova E.M., Kireeva O.S. Prospects of concentrated berry juices use in the technology of meat products.....	28
Krylova I.V., Efimova M.V., Efimov A.A. The use of cucumaria as an additive in pasta products	36
Ukolov A.I., Rodionov V.P., Starovoitov P.P. Hydro-cavitation jet removal of viscera in decapitated fish.....	43

SECTION II. BIOLOGICAL SCIENCES

Volobuev V.V., Gorokhov M.N., Golovanov I.S., Khovanskaya L.L., Yamborko A.V. Sockeye salmon <i>Oncorhynchus nerka</i> (Walbaum) from the north-eastern continental coast of the Okhotsk sea.....	49
Gorbachev V.V., Smirnov A.A. Influence of ecologic-biologic and genetic factors on intraspecific structure of pacific herring (<i>Clupea pallasii</i>).....	59
Dyakova N.A., Gaponov S.P., Slivkin A.I. Accumulation of heavy metals and arsenic and effect of polluting substances on flavonoid content in <i>Polygonum aviculare</i> (Caryophyllales, Polygonaceae).....	71
Klochkova T.A., Dakhno O.A., Dakhno T.G. Effect of the seaweed extracts on early development of garden strawberry in Kamchatka's conditions	78
Klochkova T.A., Klimova A.V., Klochkova N.G. Prospects of using laminariacean algae from Kamchatka in the regional horticulture	90
Sedova N.A. Ecological classification of caridean shrimps (Decapoda, Caridea) from adjacent kamchatka marine waters based on larval development	104
Chernyshuk D.K., Ivachenko L.E., Golokhvast K.S. Variability of acid phosphatase activity in soybean (<i>Glycine soja</i>) under conditions of toxic influence of cadmium and copper sulfates	116
Manuscripts guidelines	125

РАЗДЕЛ I. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 57.087:574.5

А.А. Дуленин, О.А. Кудревский

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕГКОГО ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО НЕОБИТАЕМОГО
ПОДВОДНОГО АППАРАТА ДЛЯ МОРСКИХ ПРИБРЕЖНЫХ
ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В работе обобщен опыт авторов по использованию в морских гидробиологических исследованиях прибрежной зоны легких телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА). Полученные с их помощью данные позволяют составить целостное представление о донных ландшафтах и распределении на морском дне эпибентосных организмов, их технические возможности обеспечивают полную обратную связь аппарата с оператором, высокую скорость работы, значительную глубину погружения, достаточно точное географическое позиционирование. ТНПА имеют относительно низкую стоимость. Дополнительным преимуществом телеуправляемых аппаратов является отсутствие законодательного регулирования и регламентации их работы, как это имеет место при проведении водолазных работ. Основным недостатком использования ТНПА является невозможность систематического отбора проб. Оптимально их использование в сочетании с техническими приспособлениями и методами сбора материала, обеспечивающими регулярный отбор проб – дражным, дночерпательным, водолажным. Методы организации и проведения гидробиологических исследований с использованием ТНПА аналогичны методам водолазных съемок, но имеют ряд технических особенностей. Исследования авторов показывают, что они пригодны для подводного ландшафтного картирования, проведения промысловой разведки донных беспозвоночных, качественного и количественного учета массовых гидробионтов.

Ключевые слова: морские гидробиологические исследования, прибрежная зона, телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА).

A.A. Dulenin, O.A. Kudrevskiy

**THE USE OF LIGHTWEIGHT REMOTE OPERATED VEHICLE FOR MARINE COASTAL
HYDROBIOLOGICAL INVESTIGATIONS**

In this paper, we discuss personal experience on the use of lightweight unmanned remote operated vehicles (ROVs) in marine hydrobiological investigations of the marine coastal zone. The data obtained by operating ROVs allows making a complete picture of the sea bottom landscapes and on distribution of epibenthic organisms. The technical capabilities of ROVs provide full feedback of the device with operator and high speed of work and also give a significant depth of immersion and quite accurate geographical positioning. ROVs have a relatively low cost. Their additional advantage is the lack of legislative regulation during operation comparing to the case of scuba diving operations. The main disadvantage of their use is the impossibility of systematic sampling. The optimal use of ROVs is realized in combination with technical devices and methods of material collection, which ensure regular sampling such as dredging, bottom-sampling and diving. The methods of organization and conduction of hydrobiological investigations using ROVs are similar to diving surveys methods; however, they have a number of technical peculiarities. Our study shows that ROVs are suitable for underwater landscape mapping, field exploration of bottom invertebrates, qualitative and quantitative accounting of abundant hydrobionts.

Key words: marine hydrobiological investigations, coastal zone, remote operated vehicle (ROV).

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-6-17

Введение

В ранее опубликованных работах первого автора, посвященных оптимизации процессов изучения состояния морских биоресурсов и проведения с этой целью учетных съемок [1–3] констатируется, что основным фактором, сдерживающим развитие промыслово-биологических

исследований в прибрежной зоне РФ, является сокращение финансирования НИР, особенно в части экспедиционных исследований. Поэтому в последние десятилетия в большинстве регионов российского Дальнего Востока полноценные гидробиологические учетные съемки в прибрежной зоне проводятся редко, нерегулярно, а то и вообще не проводятся. Исключение в этом отношении составляет Приморский край и северо-западная часть Охотского моря, относящаяся к Хабаровскому краю. Как следствие возникает проблема дефицита сведений о состоянии прибрежных экосистем и биологических ресурсов прибрежной зоны. Между тем такие сведения необходимы для разработки прогнозов вылова промысловых организмов, эффективного управления ресурсами, оценок ущерба окружающей среде от хозяйственной деятельности, проведения природоохранных мероприятий, а также для решения ряда других практических и научных задач.

Вопросы разработки, апробации и популяризации технических средств и методов, упрощающих и удешевляющих проведение подводных гидробиологических исследований, весьма актуальны, особенно если они направлены на получение визуальных данных о донной биоте. Такие сведения необходимы в связи с тем, что традиционно применяемые для ведения учетных гидробиологических съемок «слепые» орудия сбора проб макробентоса: тралы, драги, дночерпатели, ловушки и др. в силу своей селективности неизбежно дают значительно искаженную информацию о составе, структуре поселений и распределении гидробионтов [4–7]. В связи с этим получаемые с их помощью количественные оценки нуждаются в корректировке путем введения в расчеты коэффициентов уловистости, оценок площадей облова, выявления групп неучитываемых и недоучитываемых организмов и т. д. Поэтому крайне желательна корректировка и дополнение сведений, получаемых «слепыми» орудиями лова, данными непосредственных видеонаблюдений.

В гидробиологии с давних пор применяются водяные фонари-бентовизоры. Однако их использование в морских акваториях ограничено глубинами 6–8 м. Для изучения населения больших глубин они не подходят. В гидробиологии известен опыт установки на дне видеокамер, не связанных с поверхностью, но такие камеры не предназначены для работы в реальном времени. Иногда используют буксируемые необитаемые подводные аппараты [8], однако они не компактны и не управляемы, поэтому едва ли следует говорить о перспективах их широкого применения.

Наилучшие способы получения визуальной информации о подводной биоте – использование водолазного метода сбора материала, подводных привязных видеокамер, а также ТНПА – телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов [9]. Последние незаменимы для изучения донных ландшафтов, состава и структуры сообществ макроэпибентоса и решения ряда других задач. Следует признать, что только непосредственное наблюдение позволяет исследователю адекватно оценивать состояние донных сообществ. В настоящей статье анализируется опыт использования ТНПА и преимущества передаваемой с их помощью научной информации перед таковой, получаемой от подводных привязных видеокамер и данных водолазных обследований.

В последние десятилетия ТНПА все шире применяют для разного рода подводных работ. Общие сведения об их использовании хорошо представлены в сети Интернет [10–12]. В научной литературе имеются работы, посвященные анализу изображений, полученных под водой для описания и учета донных организмов [8, 13, 14]. Однако сведения о методических аспектах организации исследований с применением ТНПА и особенностях их использования при проведении гидробиологических съемок еще нуждаются в систематизации. На официальных сайтах производителей ТНПА они отсутствуют и ограничены указаниями на то, что использование телеуправляемых подводных аппаратов требует приобретения специальных навыков.

Практика гидробиологических исследований, действительно, показывает, что недостаточно просто обеспечить исследователя прибором для проведения подводной видеосъемки и технической инструкцией по его применению. Использование его путем слепого следования «стандартным методам» без учета реальных особенностей изучаемых объектов приводят не только к увеличению трудозатрат, времени и стоимости проведения съемок, но часто и к значительному обесцениванию получаемых результатов [2, 6]. Это диктует необходимость осмысления и обобщения опыта использования исследовательских приборов и выработки четких алгоритмов их применения в соответствии с характером проводимых работ.

В настоящей работе сделана попытка обобщить имеющиеся у авторов результаты использования ТНПА в гидробиологических исследованиях и дать рекомендации по организации гидробиологических исследований с их использованием.

Материалы и методы

Проанализированы результаты работы, проведенной в 2017 и 2018 гг. в северо-западной части Татарского пролива ТНПА «Rovbuilder-150» российского производства в течение около 20 рабочих часов. Для выявления особенностей проведения гидробиологических съемок с использованием аппарата результаты, полученные с его помощью, сравнивали с результатами гидробиологических водолазных съемок в северо-западных частях Охотского моря и Татарского пролива в период 1999–2016 гг., которые были проведены специалистами Хабаровского филиала ТИНРО-Центра (в настоящее время – Хабаровский филиал ВНИРО).

Всего за это время было выполнено около 6 тыс. водолазных гидробиологических станций, из которых около 600 – первым автором настоящей статьи. Дополнительно результаты работы ТНПА «Rovbuilder-150» сравнивали с результатами исследований, полученными при помощи привязных видеокамер собственного кустарного производства, производства КНР и фирмы AquaVue (США), в ходе их использования в течение 50 рабочих часов в период с 2008 по 2016 гг. в тех же районах побережья. Указанные исследования выполняли в соответствии с общими методическими рекомендациями, изложенными в работах [2, 15]. Съемки с маломерных судов проводили в соответствии с разработанными нами подходами [3]. Отметим, что конкретные методики проведения съемок в разных районах дальневосточного побережья приведены в наших ранних публикациях [16–19].

Эксплуатацию ТНПА и выявление особенностей его работы проводили в режиме ходовых испытаний с учетом ранее полученного опыта [2]. Осмотры дна при помощи ТНПА и подвесных камер выполняли с борта надувной лодки длиной 4,5 м с подвесным мотором и с борта пластикового катера Yamaha Fish-22 длиной 6,6 м, снабженного закрытым кубриком для размещения оборудования. Обследовали глубины от 1 до 30 м на удалении от 50 до 1 000 м от берега. Методики конкретных исследований меняли в зависимости от поставленных задач. Дно осматривали в отдельных точках, обследуя по 100–500 м² его поверхности. Дополнительно выполняли трансекты, ориентированные перпендикулярно берегу. При их выполнении на основании анализа видеоизображений выделяли основные ландшафты [20] и биоценозы, характеризующиеся поясным распределением. Осмотры проводили как стационарно, так и по мере движения. В ленточных биоценозах при необходимости выполняли трансекты, ориентированные параллельно берегу. Осмотры поселений гидробионтов проводили в ходе движения аппарата галсами. В отдельных случаях определяли координаты границ распространения тех или иных гидробионтов.

Для относительной оценки эффективности практического использования обсуждаемых способов сбора гидробиологических данных был проведен опрос пяти экспертов, являющихся специалистами-водолазами, имеющими опыт гидробиологических исследований и управления ТНПА и привязными подводными видеокамерами [21]. Им было предложено оценить эффективность разных способов получения гидробиологических данных по 21 показателю. Для каждого из анализируемых способов: водолазного, с использованием привязных видеокамер и с использованием ТНПА – подсчитывали сумму выставленных экспертами баллов. Наиболее эффективным признавали способ с самым высоким средним баллом, вычисленным на основании показаний всех экспертов.

Результаты и обсуждение

Организация и стоимость исследований. Поскольку водолазные работы являются особо тяжелым и особо вредным видом деятельности, они жестко регламентированы. Поэтому организация водолазной станции в соответствии с Межотраслевыми правилами безопасности труда при проведении водолазных работ [22] недоступна для множества организаций, занимающихся гидробиологическими исследованиями. В связи с этим главное преимущество использования ТНПА и привязных видеокамер по сравнению с водолазными исследованиями видится в отсутствии законодательного регулирования их работы. Это делает возможным проведение гидробиологических исследований с помощью таких приборов силами любой научно-исследовательской организации.

Одним из ключевых вопросов при этом является стоимость оборудования и выполнения работ. Стоимость ТНПА разных модификаций, пригодных для прибрежных гидробиологических исследований, в зависимости от количества дополнительного оборудования составляет от 200 до 1 500 тыс. руб. Для проведения большинства видов прибрежных исследований вполне доста-

точно аппарата стоимостью около 400 тыс. руб., что вполне доступно для научно-исследовательских организаций. Привязные видеокамеры много дешевле – от 10–15 тыс. руб. за безымянную камеру китайского производства и до порядка 100 тыс. руб. за профессиональные камеры отечественных производителей. В то же время стоимость оборудования водолазной станции составляет не менее 2–4 млн руб.

Отметим также, что для работы с небольшими ТНПА (как и для работы с привязной камерой) достаточно 2–3 человек – судоводителя, оператора-гидробиолога и, возможно, техника, в то время как минимальный состав группы при работе водолазной станции – пять человек (три водолаза, водолазный врач-физиолог, научный сотрудник). Уже только поэтому стоимость водолазных работ много выше, чем работ с использованием ТНПА и привязных камер.

Объем и габариты оборудования, необходимого для проведения работ, также несопоставимы. Так, комплекс ТНПА занимает 3–4 багажных места (аппарат, кейс с блоком управления, катушка с кабель-тросом и, при необходимости, портативная электростанция), которые легко переносят два человека. Комплекс привязной камеры – это 1–2 багажных места, тогда как оборудование водолазной станции занимает не менее 15 багажных мест, что является фактором, ограничивающим возможности проведения прибрежных исследований. Благодаря небольшим габаритам и минимальному количеству обслуживающего персонала ТНПА и привязные камеры могут успешно работать с малых и маломерных судов, в то время как полноценное функционирование водолазной станции в условиях гидробиологических съемок участков большой протяженности возможно только при использовании среднетоннажного судна, что на 1–2 порядка увеличивает стоимость экспедиционных исследований.

Оператора ТНПА можно подготовить за достаточно короткое время. Особые требования к состоянию его здоровья при этом не предъявляются. Для водолазов же необходимо продолжительное обучение, регулярные медицинские осмотры, переаттестации и т. д. [22]. Кроме того, в своем большинстве водолазы не являются специалистами-гидробиологами, что отражается на результатах сбора гидробиологических проб, количественных и качественных данных [2].

Особенности подготовки и эксплуатации ТНПА. Сведения, необходимые для подготовки телеуправляемых аппаратов к работе, содержатся в руководствах по эксплуатации и на официальных сайтах производителей [12], однако при их подготовке к морским экспедиционным гидробиологическим исследованиям следует учитывать специфику последних. Так, наиболее качественные изображения донных объектов можно получить при стационарном расположении ТНПА на дне. Для этого аппарату необходимо перед началом работы обеспечить легкую отрицательную плавучесть, закрепив на его лыжах небольшие грузы и убедившись, что аппарат легко садится на грунт без работы вертикальных движителей. Без такой предварительной подготовки детальное рассмотрение мелких объектов на дне и получение качественных изображений может быть существенно затруднено. Подготовка ТНПА к эксплуатации и его рабочая проверка занимает не более 10–15 мин, что значительно меньше времени, необходимого для подготовки к работе водолаза. Наиболее удобна в этом смысле привязная камера, которая готова к работе уже через 3–5 мин.

Управлять ТНПА «с нуля» невозможно – требуется некоторая теоретическая подготовка и практическое обучение оператора, которое по времени сопоставимо со временем обучения автомобилиста. При этом следует иметь в виду, что управление аппаратом осуществляется в трех плоскостях и значительно отличается от управления привычными транспортными средствами. В качестве пульта управления используется джойстик Sony PlayStation 2. Основная трудность на начальных этапах обучения заключается в необходимости добиваться точного расположения ТНПА на необходимом для ведения качественной видеосъемки расстоянии, под необходимым углом к объекту исследования. Следует быть готовым к тому, что в первое время качество получаемого материала может оказаться довольно низким. Однако уже через короткое время, после приобретения оператором уверенности в своих действиях, оно значительно повышается. В целом управление ТНПА (при отсутствии серьезного дополнительного оснащения) вполне доступно для самостоятельного освоения.

Получение гидробиологических данных. Ключевые преимущества ТНПА и привязных камер по отношению к водолазному способу гидробиологических исследований заключаются в большой рабочей глубине и неограниченном времени пребывания под водой. Стандартный режим гидробиологической водолазной съемки, позволяющий на практике обходиться без

декомпрессии, подразумевает работу на глубинах до 20 м. Работы на глубинах от 20 до 40 м проводятся в течение непродолжительного времени (как правило, не более 10 минут на грунте) и обязательно предусматривают остановки для декомпрессии при подъеме. На глубинах свыше 40 м водолазные гидробиологические исследования обычно не проводятся. В то же время даже дешевые привязные камеры обеспечивают осмотр дна на глубинах 20–50 м, а профессиональные – до 400 м. Относительно недорогие ТНПА отечественного производства могут работать на глубинах 50–150 м, что обеспечивает сбор большей части необходимых в прибрежных исследованиях данных.

Использование ТНПА и привязных видеокамер устраняет проблему «испорченного телефона», возникающую при работе с водолазом, не имеющим биологического образования. Описания донной биоты с чужих слов, как известно, страдают значительными искажениями, а отбор количественных проб нередко сопровождается ошибками, поскольку обратная связь с водолазом обычно невозможна. Получить дополнительное задание он может только после подъема на поверхность, а выполнить его – только при повторном погружении. Это осложняет проведение водолажных съемок, увеличивает их продолжительность и вносит затруднения в истолкование результатов.

Неплохой уровень обратной связи в реальном времени исследователь получает при использовании привязных видеокамер, поскольку, имея возможность видеть дно, может «на ходу» корректировать работу. Однако привязные видеокамеры являются пассивными орудиями наблюдения, не способными самостоятельно передвигаться и корректировать свое местоположение. Их положение в пространстве нестабильно, они раскачиваются волнением, под действием течений, возникающих при движении судна и т. п. Нахождение камеры в подвешенном состоянии мешает стабильному получению качественного изображения дна. Утяжелив камеру, можно положить ее на грунт и тем добиться стабильного качества изображения, но при этом выбор нужного ракурса объекта будет затруднен, а детальное рассмотрение небольших объектов зачастую невозможно. Дешевые привязные камеры часто не имеют возможности записи изображения, поэтому пригодны только для грубых рекогносцировочных работ – промысловой разведки и первичного выделения макроэпибентосных сообществ. Однако, если работы ограничиваются подобными задачами, привязную камеру в виду ее компактности, дешевизны и простоты использования можно рассматривать как оптимальный исследовательский прибор.

При работе с камерой в стандартном исполнении возможен только глазомерный учет плотности и проективного покрытия гидробионтов. Дооснащение привязных камер лазерными указками или иными приспособлениями, позволяющими обозначать на дне участки с определенной площадью, дало бы возможность проводить количественный учет гидробионтов. В настоящее время они, насколько известно авторам, такими приспособлениями штатно не оснащаются. Тем не менее вполне возможно дооборудование подвесной камеры раздвижной телескопической крестовиной с расположенными на ее концах лазерными указками. В этом случае изменение длины ног крестовины позволило бы регулировать учетную площадь. Кроме того, такое решение помогло бы вести количественный учет гидробионтов на трансектах с полосой учета, ограниченной указками. Без больших затруднений можно самостоятельно изготовить гораздо более простые приспособления, например, металлические треноги, ограничивающие разные учетные площади (0,1; 0,25; 0,5; 1 м²) в зависимости от размеров и плотности учитываемых объектов. Подобные приспособления не решат проблему строгого учета гидробионтов на трансектах, но позволят организовать их учет на пробных площадках.

При необходимости детального обследования сообществ макробентоса, осмотра отдельных участков дна и получения их качественных изображений лучше всего использовать ТНПА. Способность аппарата к активному перемещению и наличие у него функции удержания глубины и курса обеспечивают его относительно стабильное положение или независимое от внешних воздействий перемещение в пространстве. Наиболее качественное изображение получается при посадке аппарата на дно, а возможность произвольно выбрать место посадки и наличие поворотных видеокамер дает возможность съемки объекта в нужном ракурсе. Запись видео в разрешении FullHD на карту памяти камеры аппарата или его на жесткий диск обеспечивает полное документирование работы.

Оперативность в подготовке к работе, отсутствие у операторов ограничений по показателям здоровья, возможность для специалистов-гидробиологов самостоятельно проводить визуальное обследование дна и корректировать работу аппарата обеспечивают весьма высокую скорость

проведения работ посредством ТНПА и привязных видеокамер по сравнению с водолазным методом. Так, водолазная съемка 35-мильного участка прибрежной зоны в западной части Татарского пролива в 1999 г., выполненная с борта среднетоннажного судна, заняла в общей сложности две недели. Обследование этого же участка с борта маломерного судна при помощи привязной видеокамеры, когда водолаз спускался под воду для отбора проб в заранее выделенных местах, заняло три дня [23]. Далее, регулярные водолазные обследования одного и того же участка побережья, проводившиеся в 2011–2016 гг., требовали около двух дней, в 2017–2018 гг. с использованием ТНПА были выполнены менее, чем за один рабочий день. Таким образом, следует признать, что использование привязных видеокамер и ТНПА позволяет существенно сократить продолжительность работ.

Сравнение эффективности ТНПА с привязной видеокамерой и водолазом приведены в таблице. Среднее количество баллов по результатам экспертного оценивания разных способов получения гидробиологических данных весьма близко: ТНПА – 86, водолаз – 82, привязная видеокамера – 81. Критерии оценки разных способов исследования и возможности их сравнения вызвали дискуссию среди экспертов. При сопоставимости результатов наивысший средний балл получил ТНПА. По мнению опрошенных, эти аппараты могут использоваться для проведения прибрежных гидробиологических исследований.

Обобщенная оценка эффективности разных способов получения гидробиологических данных

Показатель	Привязная видеокамера	ТНПА	Водолаз
Безопасность	Очень высокая	Высокая	Средняя
Квалификация	Низкая	Средняя	Высокая
Погодозащищенность	Высокая	Средняя	Хорошая
Габариты	Малые	Средние	Большие
Скорость подготовки к работе	Высокая	Средняя	Низкая
Удобство работы	Малое	Среднее	Высокое
Скорость работы	Средняя	Высокая	Низкая
Маневренность	Отсутствует	Высокая	Очень высокая
Глубина погружения	Средняя	Высокая	Низкая
Время под водой	Неограниченное	Неограниченное	Довольно малое
Возможности описания ландшафта	Плохие	Хорошие	Отличные
Возможности определения видов	Плохие	Посредственные	Отличные
Возможности отбора проб	Отсутствуют	Плохие	Отличные
Возможности фото/видео	Посредственные	Хорошие	Отличные
Трансляция видео	Посредственная	Отличная	Отсутствует
Запись видео	Отсутствует	Отличная	Отличная
Энергонезависимость	Высокая	Высокая	Посредственная
Возможность работы с лодки	Отличная	Посредственная	Хорошая
Доступность для исследователя	Высокая	Средняя	Малая
Общая стоимость	Низкая	Средняя	Высокая
Сложность регламентирования	Отсутствует	Отсутствует	Критическая

Методы проведения гидробиологической съемки при помощи ТНПА в целом совпадают с таковыми для водолазных съемок [2, 15]. Расположение разрезов и станций при выполнении работ у протяженных морских побережий со сменой характера берегов и поясным расположением биотопов на дне должно соответствовать типическому принципу [24]. Вдоль однотипных побережий и при относительно однородном характере дна и донной биоты разрезы выполняются через равные промежутки, от 0,5 км до 10 миль, в зависимости от задач исследования. Более частыми разрезы делают при проведении ресурсных съемок с целью оценки запасов и оконтуривания поселений донных гидробионтов, более редкими – при сборе данных сравнительно-экологического характера. В местах изменения характера берега, рельефа дна, типов грунта, общего характера донной биоты делают дополнительные разрезы. Их делают также у основания и вершины мысов, на входных мысах, в средней и кутовой частях бухт. У мысов и в бухтах в связи с выраженной сменой топических условий разрезы следует выполнять чаще, чем у открытых побережий.

Известную проблему при проведении гидробиологических исследований с помощью ТНПА составляет относительно низкая точность позиционирования. Оснащение недорогого телеуправляемого аппарата системами подводного позиционирования увеличивает стоимость комплекса на порядок, что для большинства видов прибрежных исследований вряд ли оправдано. Поэтому

позиционирование осуществляется с судна, на котором базируется ТНПА. Добиться относительного совпадения координат судна и аппарата можно только при выполнении точечного вертикального погружения, желательно, на якорю и при отсутствии течений. Иначе из-за сноса судна, особенно в движении, минимальная ошибка позиционирования будет приблизительно соответствовать двукратному значению глубины погружения, то есть около 20 м при погружении на 10 м и до 200 м при погружении на 100 м. Это вполне приемлемо, поскольку соответствует общему характеру смены биотических поясов с глубиной и точности позиционирования при проведении классических водолазных съемок. На мелководьях наблюдается частая смена биоценозов, что требует определения координат с довольно высокой точностью. С увеличением глубины пояса становятся шире, их границы все более размываются, что позволяет снизить точность позиционирования. Для достижения приемлемой точности определения координат необходимо следить, чтобы ТНПА всегда находился «на коротком поводке» под судном, своевременно выбирая слабинку кабель-троса. Схема прохождения гидробиологического разреза легким ТНПА показана на рис. 1.

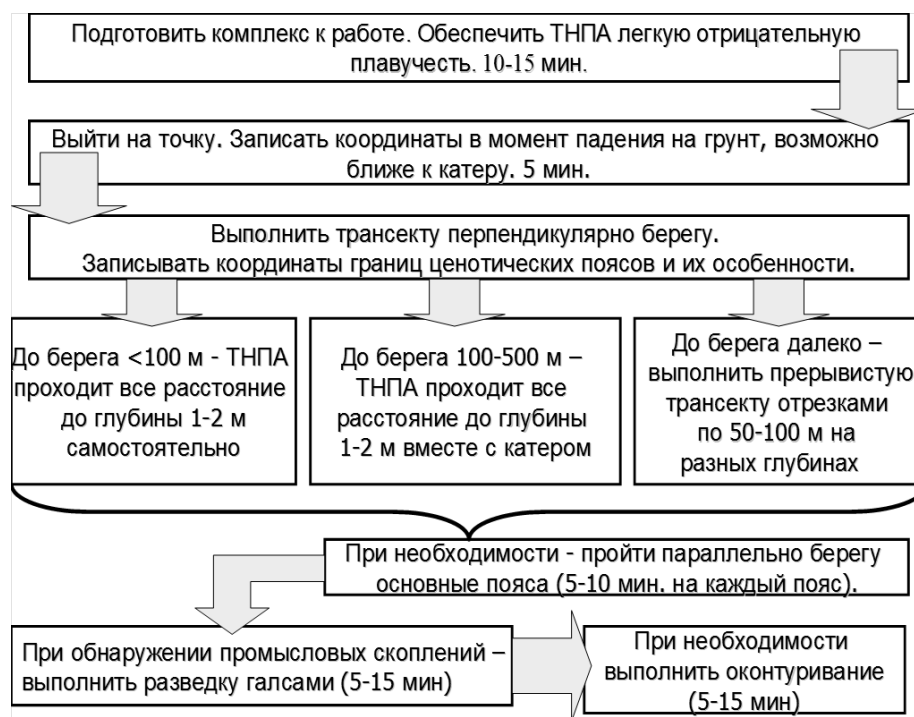


Рис. 1. Общий порядок прохождения гидробиологического разреза легким ТНПА

Выполнять точечные погружения следует только для повышения точности географической привязки, где это необходимо. Точечных осмотров дна, особенно на мелководьях, следует избегать, поскольку из-за высокой дискретности сложения, дробности и пестроты донных ландшафтов и бентосных сообществ малых глубин результат осмотра с большой вероятностью будет случайным. Обеспечить повторяемость результатов при точечных осмотрах затруднительно, поскольку практически сложно обеспечить попадание «снаряда» второй раз в одну и ту же «воронку». Поэтому основным методом исследования при помощи ТНПА является выполнение трансект, позволяющих осматривать участки дна значительной протяженности. В этом случае исследователь получает информацию обо всех основных особенностях участка, что хорошо обеспечивает повторяемость результатов. Исходя из этого принципа, выполнение слишком коротких трансект не имеет смысла, их длина, как правило, должна составлять не менее 30–50 м.

При работе с маломерных судов, большая скорость передвижения и автономность ТНПА, по сравнению с водолазом, позволяет вместо серии станций, выполнять короткие разрезы (до 500–1 000 м) в виде сплошных, ориентированных перпендикулярно берегу трансект. Такой подход позволяет осмотреть все ценотические пояса, отметив координаты их границ и наиболее типичные участки и получив намного более полную, по сравнению с водолажным способом, картину распределения биоты. Если разрез более длинный, целесообразно продолжать его выполнение в виде серии более коротких (100–200 м) трансект.

Когда возникает необходимость обследовать отдельные ценоотические пояса, следует выполнить на разрезе серию параллельных берегу трансект, пересекающих основную в координатах расположения их типичных участков. Для сбора общих гидробиологических сведений параллельные трансекты могут быть относительно короткими (50–100 м). При необходимости установить границы промысловых скоплений, длина параллельных трансект может быть много больше.

При необходимости оконтурить отдельные скопления гидробионтов, целесообразно выполнить серию галсов с поворотами на границах скопления. Относительно небольшие поселения с четко выраженными границами (с периметром до 1–2 км) можно оконтуривать, проводя ТНПА вдоль границы скопления. Алгоритм работы с легким ТНПА показан в виде блок-схемы (рис. 2).

При работе ТНПА с борта среднетоннажного судна гибкость и оперативность работы маломерных плавсредств теряется. В этом случае общая схема исследования будет повторять методику водолазной съемки: перпендикулярные берегу разрезы из серий станций, каждая из которых будет представлять трансекту с максимальной протяженностью, соответствующей длине кабель-троса. Съемка в движении будет возможна только на существенном удалении от берега, а возможности маневрирования при этом будут сильно ограничены. Такая организация работы оправдана только для тяжелых ТНПА, работающих на больших глубинах. Подробное обсуждение гидробиологических исследований при помощи тяжелых ТНПА не входит в задачи настоящей работы. Что касается прибрежных исследований, даже если они проводятся на среднетоннажных судах, следует стремиться к тому, чтобы работа с ТНПА осуществлялась с борта базирующихся на них специальных маломерных судов – лодок, ботов, катеров – аналогично тому, как организуются водолазные съемки на специализированных НИС. Маломерные суда для работы с ТНПА обязательно должны иметь тент, навес либо кубрик. Это необходимо для обеспечения оператору комфортных условий наблюдения, так как сколь-нибудь продолжительное время смотреть в монитор при естественном дневном свете невозможно. Кроме того, необходима защита аппаратуры от дождя и брызг.

Формализация результатов и получение количественных данных. Простое заполнение стандартных бланков, таблиц и т. п., в которых отражены результаты визуальных наблюдений, вряд ли может считаться хорошим примером формализации, поскольку такие наблюдения в значительной мере субъективны и не лишены искажений [2]. Строго говоря, они не соответствуют критерию научности К. Поппера [25] – принципиальной проверяемости и опровергаемости. Проблемы формализации результатов и анализа фото- и видеозаписей в настоящее время решают при помощи систем искусственного интеллекта, распознавания образов и т. п., применяя их для вполне практических задач, например, оценки запасов гребешков [14]. Однако на практике выполнять количественный учет можно более простыми способами. Поскольку наиболее качественные изображения получаются при неподвижном положении аппарата, при необходимости количественного учета гидробионтов можно выполнять серии из 20–50 посадок ТНПА на грунт, делая их через равные промежутки времени или равные расстояния. Подсчет гидробионтов на скриншотах во время этих посадок даст репрезентативный количественный материал. При обследовании протяженных участков с однородной биотой посадки аппарата можно выполнять через определенное расстояние (например, через каждые 50–100 м) в точках с заранее выбранными координатами. Если обследуется относительно небольшая агрегация промысловых видов, посадки можно выполнять через небольшие промежутки времени (например, через каждые 10–20 с).

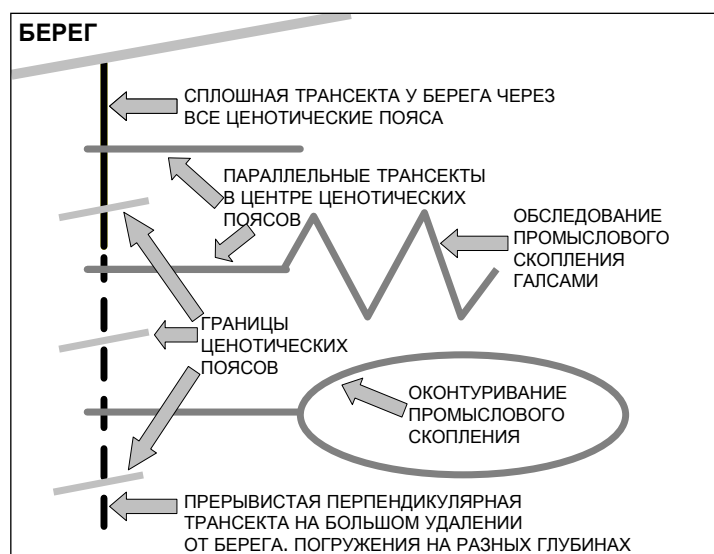


Рис. 2. Графическая схема движения легкого ТНПА при проведении гидробиологического разреза

Кроме того, серии скриншотов через равные промежутки времени можно делать по мере проведения видеозаписи при медленном относительно равномерном движении аппарата над дном по трансекте, естественно, при условии, что качество изображения достаточно хорошее, а учитываемые объекты достаточно крупны (гребешки, друзы мидий, морские ежи и т. п.). В некоторых случаях для количественного учета гидробионтов вполне пригоден простой их подсчет во время проведения гидробиологического разреза.

Запись видео достаточно вести в разрешении HD (1280*720) или FullHD (1920*1080) в зависимости от необходимой и возможной детализации, с частотой 15–30 кадров в секунду. Устанавливать более высокие разрешение и частоту кадров для подводных видеосъемок не имеет смысла из-за относительно низкой прозрачности водной среды и небольшой скорости перемещения аппарата в воде. Результативность работы напрямую зависит от прозрачности воды. Если водолаз целый ряд задач может выполнять вслепую, то работа ТНПА в мутной воде будет полностью безрезультатна. Поэтому на мелководьях, до глубин 10–15 м, не следует начинать работу в первые сутки после шторма. Частично проблему видеосъемки в умеренно мутной воде решает черно-белая видеозапись. Начиная с 10 м глубины весьма важную роль при подводной видеосъемке, даже в дневное время, играет искусственное освещение. Это обстоятельство часто не учитывается операторами, которые довольствуются естественным освещением. В особенности это касается водолазов, освоивших управление ТНПА, но привыкших работать при естественном освещении. Между тем искусственное освещение при помощи осветителей с регулируемым спектром и мощностью позволяет весьма значительно улучшить качество картинки, облегчить зрительное восприятие изображения, и, что наиболее важно для количественного и качественного учета гидробионтов, многократно увеличить детализацию картинки (рис. 3). Управление освещением, как и управление движением, требует навыка и вырабатывается по мере приобретения опыта.



Рис. 3. Однотипные участки дна, снятые при естественном (слева) и искусственном (справа) освещении.
Справа видны офиуры, сидячие полихеты, мианки, губки, гидроиды, водоросли, неразличимые слева

Отбор проб. Отбор гидробионтов при помощи ТНПА весьма проблематичен. Эти аппараты снабжены двух- или трехпальными манипуляторами. Однако нужно понимать, что в настоящее время возможности манипуляторов ограничены и несравнимы с возможностями отбора руками и специальными инструментами в ходе водолажных работ. Водолаз способен с весьма высокой скоростью в любых количествах собирать разноразмерных представителей макробентоса, выкапывать их из грунта, использовать водолазные дночерпатели, срезать растения, отделять от субстрата прикрепленных животных, сортировать и укладывать сборы прямо под водой и т. п.

Водолаз собирает образцы, практически не отвлекаясь на работу рук. Манипулятор лишен таких возможностей и предназначен только для того, чтобы захватить один объект. Навыки захвата требуют тренировки, а сбор каждого объекта – отдельного времени. При этом захват мелких или очень крупных объектов может быть затруднен или невозможен.

Производителями аппаратов проблема сбора образцов решена лишь отчасти. Так, ООО «Ровбилдер» для своих ТНПА предлагает модифицированную конструкцию со специальным расположением манипулятора [26]. Собранные с его помощью объекты они предлагают перемещать в расположенную на дне корзину. Следует признать, что подобная работа более трудоемка, чем водолазные сборы, но таким образом все-таки можно собрать достаточное для биологического анализа количество крупных донных животных. Сбор под водой иных образцов, например, прикрепленных крупных бурых водорослей или мидий при помощи ТНПА, по-видимому, невозможен. Впрочем, следует осознавать, что в данном случае речь идет не столько о недостатке, сколько о естественных ограничениях в использовании любого прибора. Сбор достаточно полных сведений о донной биоте не может ограничиваться единственным способом [2, 15], и использование ТНПА целесообразно сопровождать водолажными, дражными и дночерпательными сборами в зависимости от особенностей изучаемых объектов, глубин и грунтов.

В исполнении обсуждаемого в работе ТНПА (как любого технического устройства) имеются недостатки. Они связаны, прежде всего, с мелкосерийным характером производства, влекущим за собой элементы кустарности изготовления, избыточную громоздкость, отсутствие влагозащиты блока управления, отсутствие возможности подключения штатных аккумуляторных батарей, и т. п. Телеуправляемый аппарат «Ровбилдер-150» показывает на мониторе, но не записывает телеметрические данные – глубину и курс. В аппаратах других ценовых категорий, упомянутых выше, и других производителей эти недостатки могут отсутствовать. Поэтому при выборе техники исследователь должен руководствоваться соображениями оптимальной функциональности и приемлемой цены.

Перспективные направления исследований. ТНПА идеально подходят для задач ландшафтного картирования морского дна [20]. Легкие ТНПА весьма удобны для промысловой разведки, оценки запасов и оконтуривания поселений промысловых макрофитов (сахарин, анфельции, морских трав) и эпибентосных беспозвоночных (морских гребешков, мидий, устриц, морских ежей, трепанга, кукумарии и т. п.). Кроме того, возможен учет массовых эндобентосных организмов, которые зарываются в грунт не полностью (двустворчатые моллюски рода *Serripes*), оставляют на поверхности сифоны (двустворчатые моллюски рода *Spisula*, *Panopea*), венчики (полихеты рода *Pectinaria*), характерные следы жизнедеятельности (полихета пескожил – *Abarenicola pacifica*) и т. п. В известной степени ТНПА пригодны для оценки видового состава и описания сообществ морских растений и животных. Их, кроме того, можно использовать для оценки численности видов, плотности их поселений, выявления характера миграций подвижных бентосных и нектонных организмов, образующих значительные концентрации (крабов, рыб, кальмаров и т. д.).

При проведении комплексных экосистемных исследований на протяженных участках побережья целесообразно использование разных методов сбора информации и проб гидробионтов. Именно это позволит получить наиболее полные данные об экологическом состоянии обследуемых районов и их биологических ресурсах. Изучение физиономического облика биоценозов имеет исключительную ценность для анализа их состава и структуры [27]. Проведение масштабных съемок с использованием ТНПА тем более целесообразно, что систематические сведения о внешнем облике сообществ макробентоса имеются только до глубин 12–20 м, на которых проводятся регулярные водолазные съемки. Что касается больших глубин, до сих пор имеются довольно отрывочные сведения об их физиономии и населении. Систематическое использование ТНПА позволит восполнить этот пробел. Во время таких исследований имеет смысл проводить сравнительную оценку эффективности сбора данных с использованием разных методов сбора информации и орудий отбора гидробиологических проб.

Заключение

В настоящее время ТНПА представляется оптимальным средством визуального исследования макроэпибентоса в прибрежной зоне. По сумме своих эксплуатационных характеристик ТНПА – «золотая середина» между водолажным способом и использованием привязных подводных видеокамер. Основными преимуществами их использования являются получение исследо-

вателем целостного представления о характере донных ландшафтов и распределении эпибентосных организмов, полная обратная связь с оператором, возможность документирования данных, высокая скорость проведения гидробиологических исследований, возможность обследований больших глубин, относительно низкая стоимость, отсутствие жестких требований к здоровью операторов этих аппаратов.

Основной недостаток ТНПА – неспособность выполнять систематический отбор проб. Наилучшие результаты в проведении гидробиологических съемок могут быть достигнуты при использовании наряду с ТНПА других способов сбора материала: дражного, дночерпательного, водолазного, восполняющих недостатки получения информации с помощью подводных аппаратов.

Использование ТНПА требует формирования специальных навыков, которые приобретаются по мере накопления у их операторов исследовательского опыта. В целом методические требования к использованию ТНПА для проведения гидробиологических исследований те же, что и при проведении водолазных съемок. Телеуправляемые аппараты – идеальные приборы для подводного ландшафтного картирования и промысловой разведки донных беспозвоночных, они вполне приемлемы для качественного и количественного учета гидробионтов.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам лаборатории прибрежных экосистем ВНИРО, и особенно заведующему этой лабораторией к.б.н. М.В. Переладову, а также начальнику отдела глубоководного оборудования ННЦБМ В.А. Денисову за оказанные ими консультации по вопросам применения ТНПА для гидробиологических исследований.

Литература

1. Дуленин А.А. О применимости визуальных наблюдений для оценки обилия макрофитов на примере сахарины японской северо-западной части Татарского пролива // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Часть 1. – Петропавловск-Камчатский, 2016б. – С. 80–84.
2. Дуленин А.А. Некоторые методические проблемы водолазных гидробиологических учетных съемок и пути их разрешения // Известия ТИНРО. – 2017. – Т. 170. – С. 231–244.
3. Дуленин А.А. Комплексный подход к организации прибрежных рыбохозяйственных исследований в условиях сокращения их финансирования // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление: сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 85-летию Камчатского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2017. – С. 112–118.
4. Переладов М.В. К вопросу об уловистости крабовых ловушек // X Съезд Гидробиологического общества при РАН: тез. докл. / отв. ред. Алимов А.Ф., Адрианов А.В. – Владивосток: Дальнаука, 2009. – С. 307–308.
5. Жирков А.И. при участии Азовского А.И., Максимовой О.В. Жизнь на дне. Био-география и био-экология бентоса. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 453 с.
6. Волвенко И.В. Технические проблемы адекватной интерпретации результатов траловых съемок и пути их решения // Известия ТИНРО. – 2013. – Т. 172. – С. 282–293.
7. Эффективная площадь облова крабов ловушками в северо-западной части Татарского пролива / В.И. Островский, О.Б. Ткачева, А.В. Харитонов, В.Н. Шаленко // Известия ТИНРО. – 2014. – Т. 178. – С. 1–10.
8. Sheehan E., Rodriguez-Rodriguez D., Foster N. et al. A comparative study of towed underwater video methodology to monitor benthic habitats in Marine Protected Areas. – Ifremer, Sussex IFCA and Marine Institute for the Protected Area Network Across the Channel Ecosystem (PANACHE) project. INTERREG programme. – 2014. – 46 p.
9. Ляхов Д.Г. Современные задачи подводной робототехники. // Подводные исследования и робототехника. – 2012. – № 1 (13). – С. 14–23.
10. Remotely operated underwater vehicle [Электронный ресурс]. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Remotely_operated_underwater_vehicle (дата обращения: 12.03.2018).

11. ГНОМ – телеуправляемый подводный аппарат [Электронный ресурс]. – URL: <https://gnomrov.ru/> (дата обращения: 12.03.2019).
12. Rovbuilder [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rovbuilder.com/index.html> (дата обращения: 12.03.2018).
13. Sameoto J.A., Lawton P., Strong M.B. An approach to the development of a relational database and GIS applicable scheme for the analysis of video-based surveys of benthic habitats. – Fisheries and Oceans Canada Biological Station. – St. Andrews, 2008. – 40 p.
14. Kannappan P., Walker J.H., Trembanis A., Tanner H.J. Identifying sea scallops from benthic camera images // Limnology and Oceanography: Methods. – 2014. – № 12. – P. 680–693.
15. Методические рекомендации по учету запасов промысловых гидробионтов в прибрежной зоне / Е.И. Блинова, О.Ю. Вилкова, Д.М. Милютин, О.А. Пронина, В.А. Штрик. – М.: ВНИРО, 2005. – 80 с.
16. Дуленина П.А., Дуленин А.А. Обоснование вывода корбикулы японской (*Corbicula japonica* Prime, 1864) из Красной книги Хабаровского края // Известия ТИНРО. – Т. 165. – 2011. – С. 65–73.
17. Дуленин А.А. Распределение сублиторальной растительности материкового побережья Охотского моря (в пределах Хабаровского края) // Известия ТИНРО. – 2015. – Т. 180. – С. 107–127.
18. Дуленин А.А., Гусарова И.С. Широтные изменения состава и структуры растительности в северо-западной части Татарского пролива // Биология моря. – 2016. – Т. 42, № 4. – С. 272–279.
19. Дуленина П.А. Фауна и распределение двустворчатых моллюсков северо-западной части Татарского пролива и Амурского лимана: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Хабаровск: ХфТИНРО, 2018. – 25 с.
20. Арзамасцев И.С., Преображенский Б.В. Атлас подводных ландшафтов Японского моря. – М.: Наука, 1990. – С. 51–57.
21. Резник А.Д. Книга для тех, кто не любит статистику, но вынужден ею пользоваться. – СПб.: Речь, 2008. – 264 с.
22. Межотраслевые правила безопасности труда при проведении водолазных работ: приложение к приказу № 269 Минздравсоцразвития России от 13 апреля 2007 г. – М.: Минздравсоцразвития РФ, 2007. – 144 с.
23. Дуленин А.А., Сидяков Ю.В., Черниченко И.С. Сообщества макробентоса сублиторали северо-западной части Татарского пролива и Охотского моря (в границах Хабаровского края) // Сборник научных трудов Хабаровского филиала Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2010. – С. 115–137.
24. Фадеев В.И., Лукин В.И. К методике подводных гидробиологических исследований верхней сублиторали в условиях подвижных морских экспедиций // Подводные гидробиологические исследования. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. – С. 21–34.
25. Popper K. The logic of scientific discovery. – London and New York: Routledge, 2002. – 513 p.
26. Аппарат для сбора морепродуктов [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=dMol2wEp2Ys> (дата обращения: 12.03.2019).
27. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. – М.: Логос, 2001. – 264 с.

Информация об авторах Information about the authors

Дуленин Александр Алексеевич – Хабаровский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ХабаровскНИРО); 680028, Россия, Хабаровск; кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник; dulenin@mail.ru

Dulenin Alexander Alexeevich – Khabarovsk branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (KhabarovskNIRO), 680028, Russia, Khabarovsk; Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher; dulenin@mail.ru

Кудревский Олег Александрович – Хабаровский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ХабаровскНИРО); 680028, Россия, Хабаровск; ведущий инженер; seafrog@bk.ru

Kudrevskiy Oleg Alexandrovich – Khabarovsk branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (KhabarovskNIRO); 680028, Russia, Khabarovsk; Leading Engineer; seafrog@bk.ru

УДК 621.3.018.783.4:621.316.178

В.П. Сивоконь, Д.В. Лапшов, О.А. Белов**ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ НЕСТАНДАРТНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ
НЕЛИНЕЙНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Использование импульсных блоков питания привело к тому, что большинство потребителей электросетей имеют нелинейные характеристики, что негативно сказывается на уровне высших гармоник и, соответственно, качестве электроэнергии. Высокий уровень гармоник способствует проявлению геомагнитно-индуцированных токов, диагностику которых можно осуществлять путем оценки вариаций высших гармоник. Однако собственные гармоники сети могут маскировать процесс формирования их геомагнитно-индуцированными токами. Следовательно, актуальна задача поиска нестандартных диагностических признаков присутствия в сетях геомагнитно-индуцированных токов и неисправностей оборудования. Нелинейным процессам свойственно формирование не только высших гармоник, но и целый ряд других явлений, например амплитудной модуляции. В результате поиска новых подходов в диагностике параметров промышленного тока показана возможность амплитудной модуляции четных гармоник сети, установлены возмущения акустического диапазона, возбуждаемые асинхронными двигателями. Обнаруженные физические явления могут быть использованы в диагностике геомагнитно-индуцированных токов в электрических сетях и неисправностей асинхронных двигателей.

Ключевые слова: нелинейность в электрических сетях, интергармоники, амплитудная модуляция, геомагнитно-индуцированные токи.

V.P. Sivokon, D.V. Lapshov, O.A. Belov**DIAGNOSTIC SIGNS OF NON-STANDARD NONLINEARITY DISPLAY
IN ELECTRIC NETWORKS**

The use of pulsed power supplies led to the fact that most consumers of electrical networks have nonlinear characteristics, which negatively affects the level of higher harmonics and, accordingly, the quality of electricity. A high level of harmonics contributes to the manifestation of geomagnetic-induced currents, which can be diagnosed by evaluating variations in higher harmonics. However, the intrinsic harmonics of the network can mask the formation of their geomagnetic-induced currents. Therefore, the urgent task is to find non-standard diagnostic signs of geomagnetic-induced currents and equipment faults in the networks. Nonlinear processes are peculiar to the formation of not only higher harmonics, but also a number of other phenomena, such as amplitude modulation. As a result of searching for new approaches in the industrial current parameters diagnosis, the possibility of amplitude modulation of the even-numbered harmonics of the network is shown, and disturbances in the acoustic range excited by asynchronous motors are established. The detected physical phenomena can be used in the diagnosis of geomagnetic-induced currents in electrical networks and asynchronous motor faults.

Key words: nonlinearity in electric networks, interharmonics, amplitude modulation, geomagnetic-induced currents.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-18-27

26 марта 2019 г. президентом США подписана директива «Executive Order on Coordinating National Resilience to Electromagnetic Pulses». Под электромагнитными импульсами здесь подразумевается влияние на инфраструктуру США геомагнитно-индуцированных токов. Поставленные в этом документе задачи свидетельствуют о важности и актуальности этого направления. Поскольку проявление геомагнитно-индуцированных токов напрямую связано с высшими гармоническими составляющими и аналогичных программ в РФ не существует, то имеет смысл обратиться к нормативной базе РФ.

В ГОСТ 32144–2013 [1] несинусоидальность напряжения определяется как «значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40 порядка в процентах напряжения основной гармонической составляющей в точке передачи электрической энергии». Ограничиться рассмотрением только высших гармонических составляющих, на наш взгляд, нецелесо-

образно, поскольку в этом же документе имеется следующий раздел «Интергармонические составляющие напряжения», в котором указано что «уровень интергармонических составляющих напряжения электропитания увеличивается в связи с применением в электроустановках частотных преобразователей и другого управляющего оборудования». Допустимые уровни интергармонических составляющих напряжения электропитания находятся на рассмотрении.

Очевидно, что четкого определения интергармоник и ограничений, накладываемых на них в документе, не имеется, хотя количество «частотных преобразователей и другого управляющего оборудования» растет значительными темпами. Возможно, это вызвано тем обстоятельством, что подобные явления у нас в стране мало изучены.

Европейским стандартом EN 50160 [2] интергармоники определяются как токи или напряжения, не являющиеся кратными основной частоте переменного тока. Под такое определение подпадают процессы, имеющие совершенно разный генезис.

Между тем, из радиотехники проявления нелинейности известны, например в виде:

– интермодуляции, когда в результате нелинейного взаимодействия двух колебаний, имеющих разные частоты f_1 и f_2 , формируется колебание с частотами

$$f_{\text{инт}} = \mp m_1 f_1 \mp m_2 f_2;$$

– субгармоник, колебания, частоты которых не кратны основной частоте

$$f_{cr} = f \cdot n,$$

где $n = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots$;

– амплитудной модуляции, когда при воздействии на нелинейный элемент двух колебаний формируется третье, описываемое как

$$U(t) = U_0 \cos \omega t + \frac{MU_0}{2} \cos((\omega + \Omega)t) + \frac{MU_0}{2} \cos((\omega - \Omega)t), \quad (1)$$

где U_0 – амплитуда несущего колебания, ω – его круговая частота, Ω – круговая частота модулирующего колебания, M – глубина модуляции.

Следовательно, если исходить из определения стандарта EN 50160, то все проявления нелинейности, описанные выше, подпадают под понятие интергармоники, поскольку их частоты, в большинстве своем, не кратны основной частоте.

В радиотехнике частота ω называется несущей, а компоненты $\omega - \Omega$ и $\omega + \Omega$ называются соответственно нижней и верхней боковыми частотами. Для реализации амплитудной модуляции необходимо чтобы $\omega \gg \Omega$, а амплитуда модулирующего сигнала должна быть меньше амплитуды несущей, в противном случае будет иметь место перемодуляция, которая не позволит провести корректные наблюдения. Известно, что гармоники сети образуют ряд 100, 150, 200, 250, ... Гц. Ранее нами было показано [5], что для диагностики геомагнитно-индуцированных токов в большей степени пригодны четные гармоники, поскольку они малы по величине по сравнению с нечетными. Следовательно, в качестве возможной несущей частоты следует рассматривать вторую гармонику, частота которой равна 100 Гц, а модулирующая частота должна быть значительно меньше 100 Гц. Проанализируем возможные варианты получения колебаний с частотой значительно ниже 100 Гц. Обнаружение амплитудной модуляции как продукта нелинейного взаимодействия позволяет по-новому подойти к оценке присутствия в электрических сетях геомагнитно-индуцированных токов [3–5].

Методы исследований

Известен способ, в котором для оценки параметров сети используется специальный генератор [6]. При всей привлекательности подобного решения требуется достаточно сложное оборудование. Мы предположили, что источник необходимого нам напряжения может присутствовать в электрической сети, поскольку она насыщена нелинейными потребителями, имеющими разнообразные спектры. Сложность состояла в выборе источника, который можно было бы иденти-

фицировать. Если исходить из того, что $\Omega \ll 100$ Гц, то число колебаний в минуту должно быть значительно меньше 6 000. Такая величина попадает в диапазон рабочих параметров двигателей, например 1 200 оборотов в минуту соответствует частоте 20 Гц. В последнее время широкое распространение получили асинхронные двигатели с регулируемой скоростью вращения вала. Как правило, в этом случае используется прибор – инвертор, – который вырабатывает напряжение необходимой частоты.

В идеале на выходе инвертора должно быть синусоидальное напряжение с необходимой частотой. Однако, как показано в [7], происходящие в системе процессы намного сложнее. Каждая трехфазная гармоническая составляющая напряжения создает в двигателе вращающееся магнитное поле, период которого зависит от периода гармоники, а направление вращения от порядка чередования фаз, вследствие чего отсутствуют гармоники, кратные двум и трем. Пятая, одиннадцатая и последующие гармоники имеют чередование фаз, противоположное чередованию фаз основной гармоники, вследствие чего они создают поля, вращающиеся в противоположном направлении в сравнении с направлением вращения поля, созданного основной гармоникой. Седьмая, тринадцатая и далее гармоники имеют чередование фаз, совпадающее с чередованием фаз основной гармоники, вследствие чего они создают поля, вращающиеся, совпадающие с направлением вращения поля, созданного основной гармоникой.

Результаты и обсуждение

Мы решили экспериментально оценить спектральный состав асинхронного двигателя с частотным регулированием скорости вращения вала. Для этого использовали асинхронный двигатель и инвертор [8]. Измерения показали сложную волновую форму напряжения на входе двигателя (рис. 1). Надпись «Left Chanel» в верхней части рис. 1 показывает канал записи. Для всех измерений он был одинаковым. Из рис. 1 видно, что форма напряжения далека от синусоидальной, и в ней присутствуют высокочастотные составляющие, с частотой около 4 кГц, к рассмотрению которых вернемся позднее.

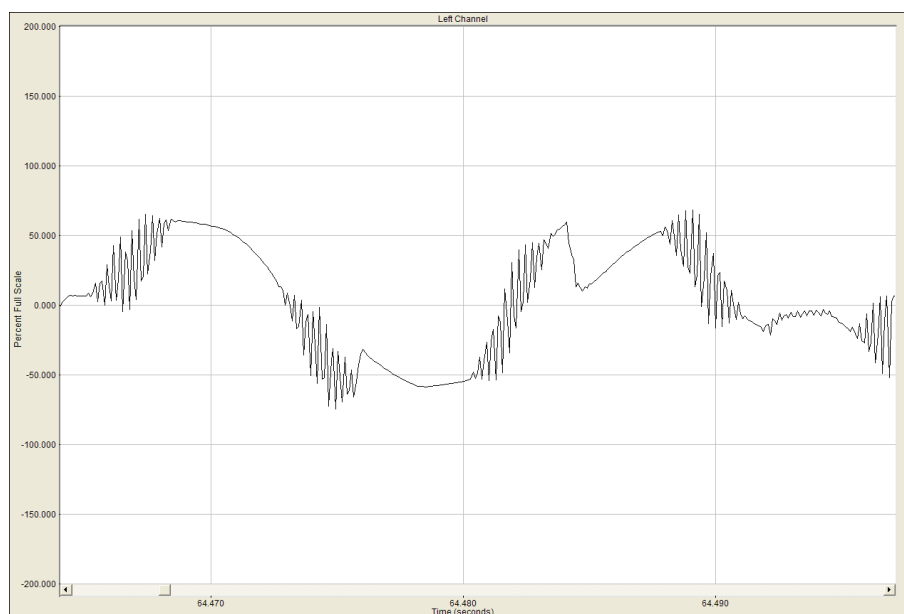


Рис. 1. Волновая форма напряжения на асинхронном двигателе:
по оси абсцисс отложено время в секундах, по оси ординат – амплитуда в относительных единицах

Fig. 1. Wave form voltage on an asynchronous motor:
the abscissa axis shows the time in seconds, the ordinate axis is the amplitude in relative units

Для идентификации напряжения, характерного для асинхронного двигателя с изменяющейся скоростью вращения вала, записали форму напряжения для разных скоростей от 2 000 до 750 об/мин с шагом 250 об/мин и временем записи каждого шага около одной минуты. В результате получена спектрограмма, приведенная на рис. 2.

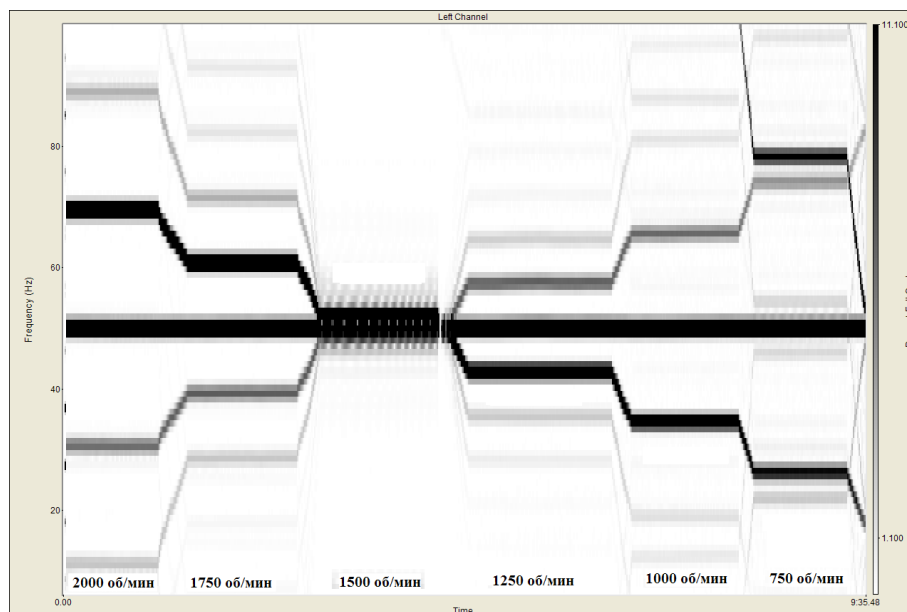


Рис. 2. Вариации спектра напряжения для разных скоростей вращения вала двигателя: по оси абсцисс отложена скорость вращения асинхронного двигателя, по оси ординат частота в герцах

Fig. 2. Variations of the voltage spectrum for different speeds of rotation of the motor shaft the abscissa axis shows the rotational speed of an induction motor, the ordinate axis shows frequency in hertz

Из рис. 2 видно, что наблюдаемый процесс крайне нелинейный, тем не менее переход от одной скорости двигателя к другой четко фиксируется изменением характера спектральных линий.

В правой части рисунка показана шкала интенсивности спектральных линий. Из анализа рис. 2 можно сделать вывод о том, что в спектре присутствуют частоты значительно ниже 100 Гц. Это может служить признаком возможной реализации амплитудной модуляции гармоник сети с использованием асинхронных двигателей с инвертором.

Продолжая наблюдения [3–5] за вариациями высших гармоник сети, мы обнаружили спектры, имеющие признаки амплитудной модуляции. В качестве примера на рис. 3 показана спектрограмма записи, произведенной 21 июля 2018 г., в 13:30 локального времени, в г. Петропавловске-Камчатском.

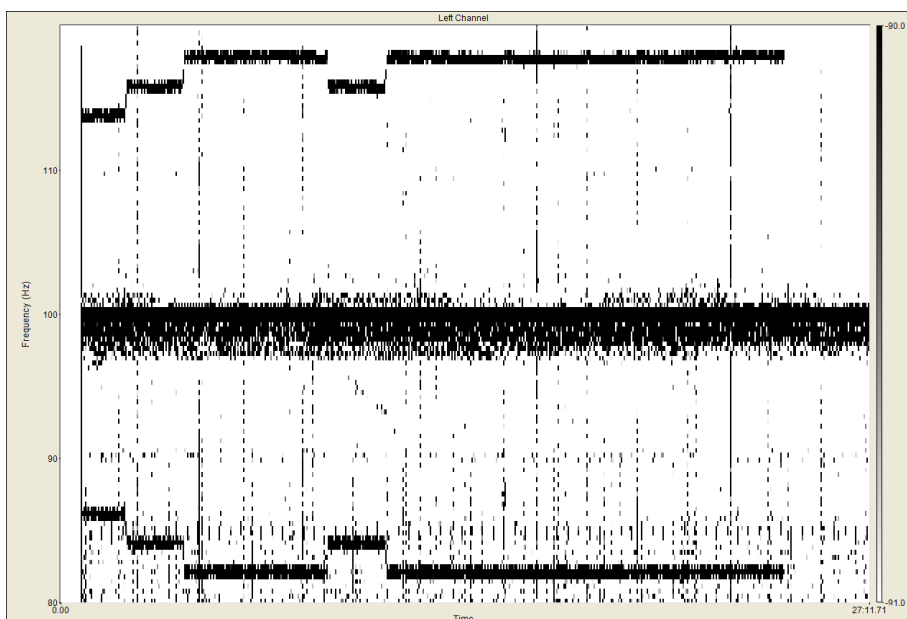


Рис. 3. Спектрограмма напряжения сети: по оси абсцисс отложено время в секундах, по оси ординат частота в герцах

Fig. 3. Network voltage spectrogram the abscissa axis shows the time in seconds, the ordinate axis shows frequency in hertz

Продолжительность зафиксированного сигнала составила 24 мин 19 с. Переходы по частоте происходили через 1,5–2–6–2 мин, вариации частоты при этом составляли около 2 герц. Если считать вторую гармонику сети несущей, то модулирующая частота изменялась соответственно: 13,7–15,8–17,8–15,8–17,8 Гц. Чтобы убедиться в том, что мы имеем дело с амплитудной модуляцией, необходимо сравнить уровень боковых частот, которые должны быть близки по величине. При этом их частоты должны быть симметричны относительно несущей, а в спектре должна присутствовать модулирующая частота.

Установив соответствующий диапазон анализируемых частот, получим спектр, представленный на рис. 4. В нем боковые частоты симметричны относительно несущей частоты со сдвигом ± 17 Гц; амплитуды боковых частот сопоставимы; присутствует частота, равная частотному сдвигу боковых частот 17 Гц.

Следовательно, имеет место амплитудная модуляция высших гармонических составляющих, но только четных. Это связано, вероятнее всего, с тем, что амплитуда четных гармоник значительно меньше амплитуд нечетных гармоник.

Если пересчитать частоты, присутствующие на спектрограмме (рис. 4), в обороты в минуты, получим 822, 948, 1068, 948, 1 068, что соответствует диапазону оборотов регулируемого асинхронного двигателя. Из выражения (1) следует, что из полученных нами данных можно определить глубину модуляции M , как

$$M = \frac{2U_6}{U_0},$$

где U_6 – амплитуда боковой частоты.

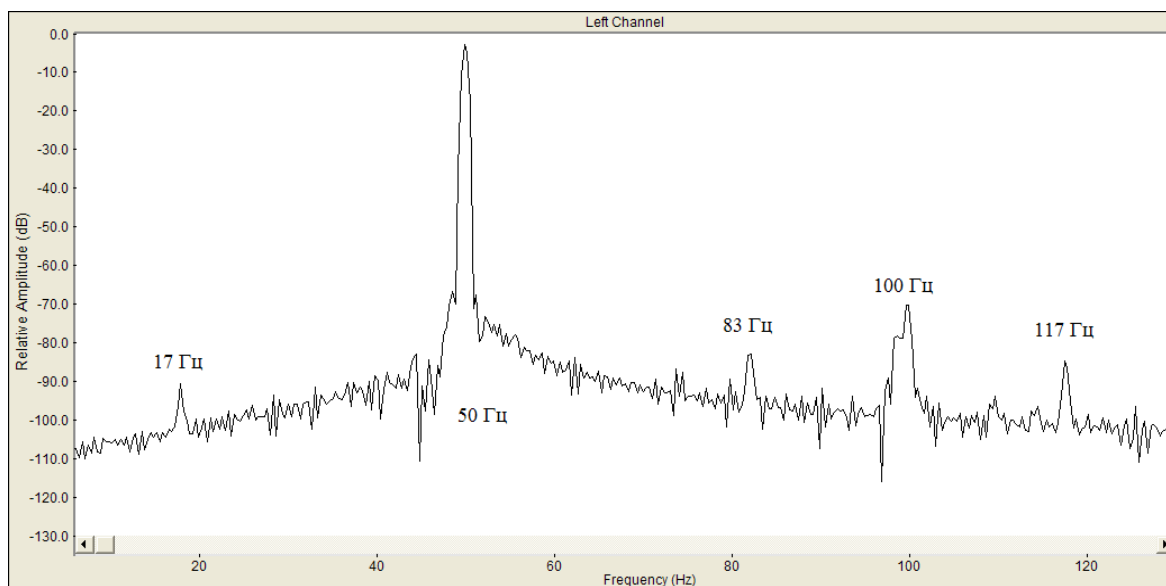


Рис. 4. Спектр в полосе 200 Гц: по оси абсцисс частота в Гц, по оси ординат – относительная амплитуда в дБ

Fig. 4. Spectrum in the 200 Hz band: the abscissa axis is the frequency in Hz, and the y axis is the relative amplitude in dB

Поскольку модулирующий сигнал и высшие гармоники – процессы независимые, то изменение любого из них, если наше предположение об амплитудной модуляции правильно, должно коррелировать с изменением глубины модуляции. С этой целью сделаны выборка и обработка этих величин в разное время записи (рис. 5). Из рисунка следует, что изменение амплитуды второй гармоники (несущей) приводит к изменению глубины модуляции, что полностью соответствует выражению (1). Дополнительно проведена оценка корреляции этих процессов: она составляет $-0,966$, что может служить дополнительным подтверждением правильности вывода о том, что нами выявлено нестандартное проявление нелинейных процессов в электрических сетях в виде амплитудной модуляции четных гармоник промышленного тока.

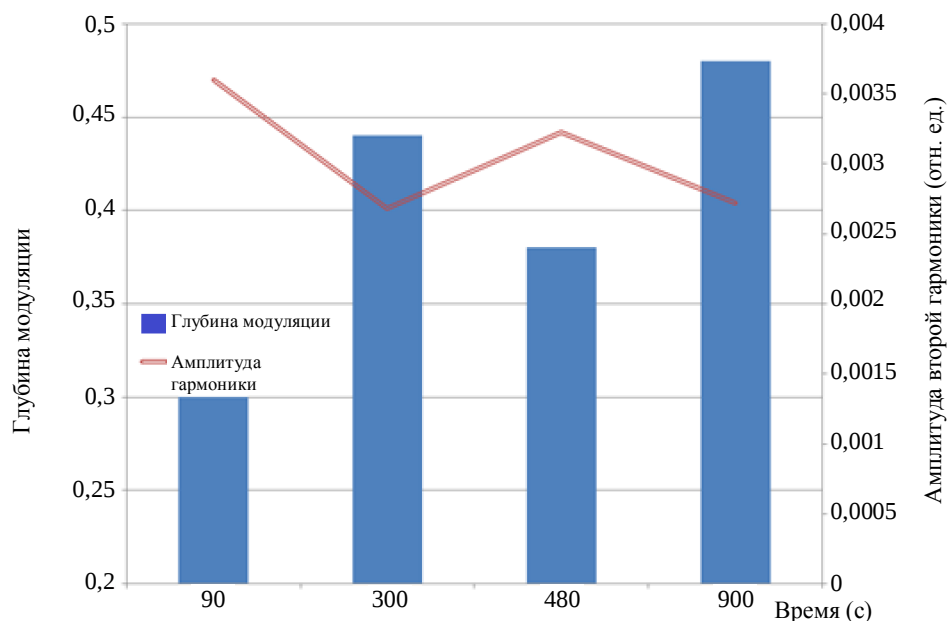


Рис. 5. Сопоставление глубины модуляции и амплитуды второй гармоники промышленного тока

Fig. 5. Comparison of the modulation depth and the amplitude of the second harmonic of the industrial current

Если измерить период высокочастотных колебаний, показанных на рис. 1, можно рассчитать их среднюю частоту, которая находится в пределах 4 кГц. Согласно ГОСТ 32144–2013 [1] измерения высших гармоник ограничиваются сороковой гармоникой, то есть частотой 2 кГц. Записи, ранее производимые нами с целью экономии памяти компьютера, производились с частотой дискретизации, позволяющей фиксировать указанный диапазон частот. Поскольку обнаруженные колебания имеют значительно отличающуюся величину, была проведена запись с повышенной частотой дискретизации, а именно 64 000 Гц, что позволило зафиксировать спектр в полосе до 32 кГц. В результате на спектрограмме удалось выявить более сложную картину, нежели только эти высокочастотные колебания (рис. 6). На рисунке виден ряд высокочастотных возмущений, значительно превышающий уровень шумов. Спад спектра на частотах выше 20 кГц объясняется, вероятнее всего, полосой пропускания внешней звуковой платы, которая используется при записи. При большей полосе частот звуковой платы, скорее всего, мы бы увидели и более высокочастотные возмущения.

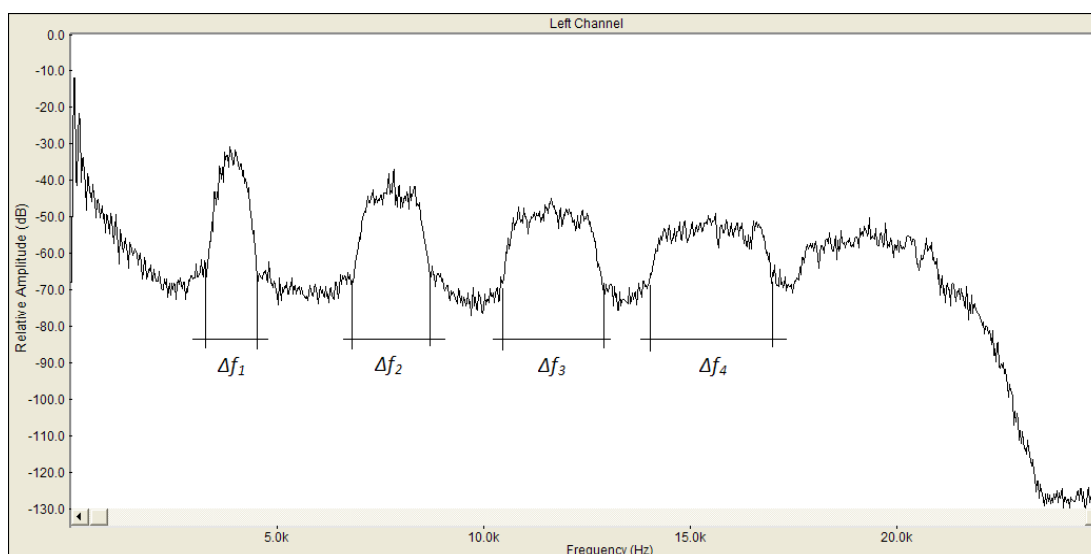


Рис. 6. Спектр напряжения на двигателе в широкой полосе частот: по оси абсцисс частота в Гц, по оси ординат – относительная амплитуда в дБ

Fig. 6. The voltage spectrum of the motor in a wide frequency band: the abscissa axis frequency in Hz, the ordinate axis is the relative amplitude in dB

На представленном выше рис. 6 обращают на себя два обстоятельства: 1) возмущения занимают определенную полосу частот, что не характерно для гармонических колебаний и вероятнее всего обусловлено формой напряжения, отличающейся от синусоиды, например прямоугольной; 2) полосы частот возмущений существенно отличаются: $\Delta f_1 < \Delta f_2 < \Delta f_3 < \Delta f_4$.

Анализ данных, приведенных на рис. 6, также показывает, что имеет место определенная закономерность: чем выше средняя частота возмущения, тем шире полоса его частот.

Прямоугольная форма напряжения используется в инверторе при реализации широтно-импульсной модуляции с частотой 4 кГц, поэтому можно предположить, что источником импульсов является инвертор.

Различие возмущений в полосе частот, вероятнее всего, обусловлено следующим механизмом. Форма возмущений, в особенности первого, сильно напоминает резонансную кривую колебательной системы. Полоса пропускания таких систем зависит от ее добротности и потерь в ней

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q},$$

где f_0 – резонансная частота, Q – добротность системы.

Показатель Q в свою очередь равен

$$Q = \frac{\rho}{R},$$

где ρ – волновое сопротивление, R – сопротивление потерь. Известно, что при увеличении частоты подаваемого на двигатель напряжения растут потери в сердечнике двигателя. Следовательно, увеличение полосы возмущения с ростом частоты объясняется ростом потерь в двигателе, что приводит и к уменьшению амплитуды возмущения, что видно на рис. 6.

Поскольку изменение скорости двигателя осуществляется изменением частоты подаваемого на него напряжения, можно предположить, что наблюдаемые возмущения обусловлены инвертором. Однако измерения, проведенные на разных скоростях вращения (различных частотах), показали, что характер возмущений, частота и полоса частот, не зависят от режима работы инвертора (рис. 7).

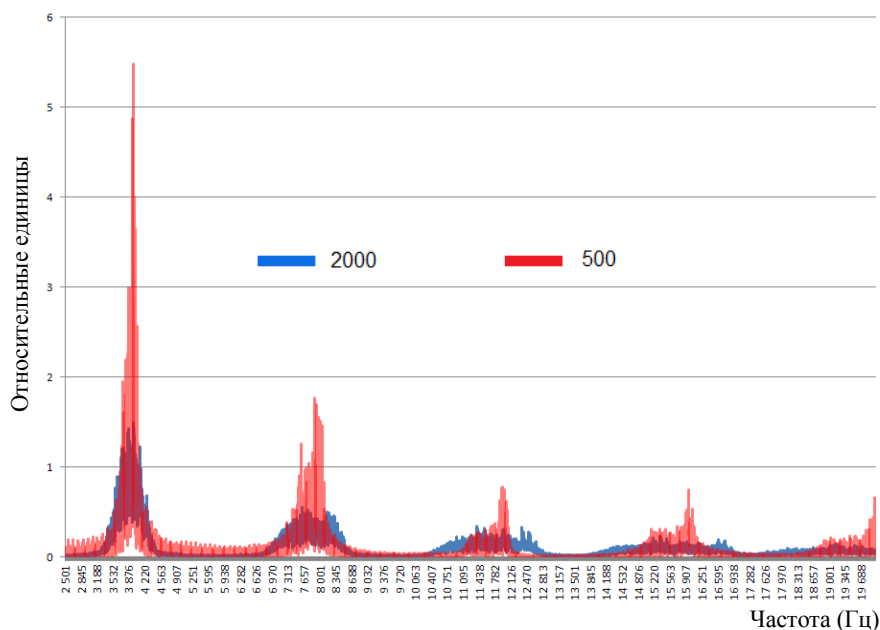


Рис. 7. Возмущения для скоростей двигателя 500 и 2 000 оборотов в минуту

Fig. 7. Perturbations for engine speeds of 500 and 2 000 revolutions per minute

Приведенный рис. 7 характеризует качественно, но не количественно отсутствие существенной связи возмущений с режимом работы инвертора. Для количественной оценки нами использовалась функция корреляции спектров возмущений для разных скоростей вращения двигателя. Корреляция оценивалась относительно спектра при вращении ротора двигателя со скоростью 2 000 оборотов в минуту (рис. 8).

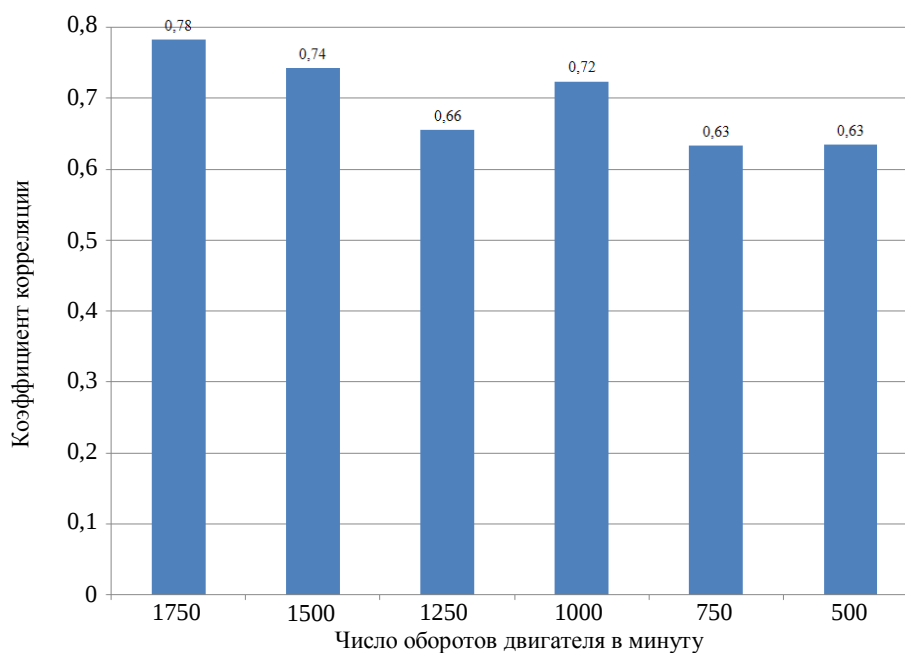


Рис. 8. Корреляция спектров возмущений для разных режимов двигателя

Fig. 8. Correlation of perturbation spectra for different engine modes

Очевидно, что при существенном изменении спектра (рис. 2) при изменении режима двигателя коэффициент корреляции остается высоким, что может свидетельствовать о привязке генезиса возмущения к двигателю.

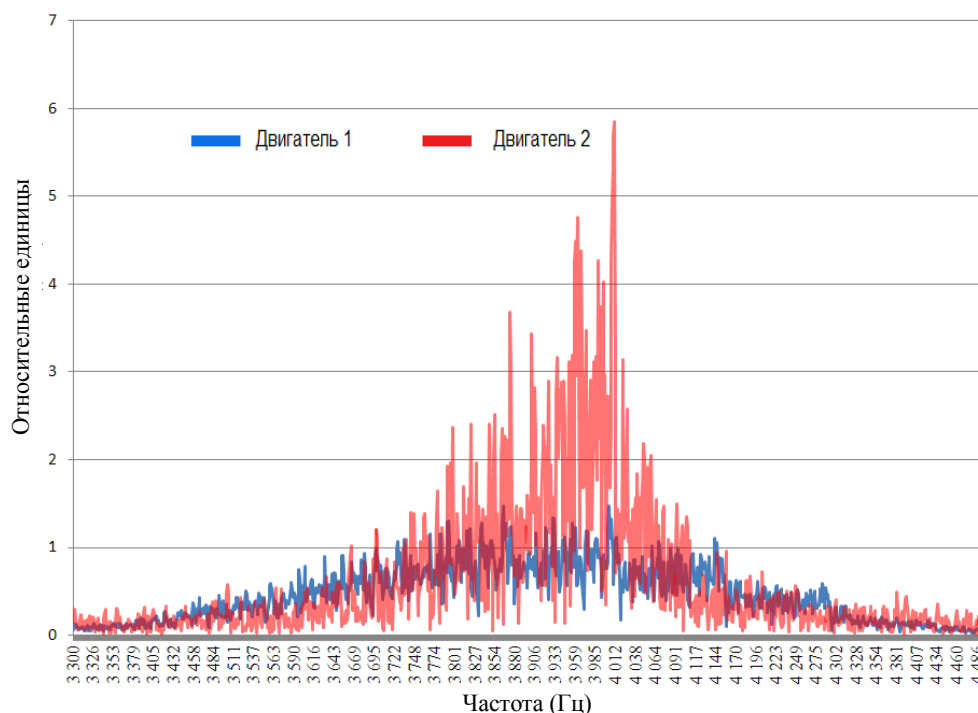


Рис. 9. Сопоставление спектров возмущений двух двигателей

Fig. 9. Comparison of perturbation spectra of two engines

Высказывались предположения, что такие возмущения характерны именно для двигателя, на котором проводились эксперименты в силу его каких-то конструктивных особенностей. Произвели замену двигателя на двигатель несколько большей мощности и провели записи напряжений. Сравнение полученных результатов нагляднее проявляется при совмещении возмущений одного и того же порядка разных двигателей на одном графике (рис. 9).

Сопоставление спектров возмущений двух двигателей показывает, что отдельные параметры возмущений, такие как амплитуда, спектральное распределение отличаются, но структура возмущений остается неизменной.

Причиной подобных возмущений, вероятнее всего, являются процессы, описываемые в [9], а именно: «Электромагнитный шум в асинхронных двигателях вызывается радиальными периодическими усилиями, возникающими в статоре. Эти так называемые максвелловы силы обязаны взаимодействию магнитных полей в зазоре. Собственные частоты электромагнитных шумов двигателей зависят от их габаритов и полнотности».

Далее в [9] приводятся эмпирические значения частот, исходя из высоты оси двигателя. Есть в этом ряду и зафиксированная нами частота 4 кГц, но этой частотой рассмотрение вопроса и ограничивается, в то время как нами зафиксирован целый ряд таких возмущений. Наличие такого ряда невозможно объяснить, не используя понятий временной и пространственной структур. В качестве аналога можно привести антенну в виде симметричного вибратора. Такая антенна запитывается генератором гармонических колебаний и имеет ряд резонансов на длинах волн, кратных длине вибратора. Нечто подобное, вероятно, имеет место в асинхронных двигателях. Питающее напряжение меняется во времени по определенному закону, а магнитное поле в двигателе образует пространственную структуру. Если расширить аналогию с антенной, то для асинхронного двигателя характерной скоростью, вероятнее всего, будет скорость звука, для электромагнитной волны – скорость света. Если принять, что скорость звука составляет 330 м/с, то длина его волны для частоты 4 кГц составит 8,25 см, что практически совпадает с высотой оси двигателя.

Такое совпадение наводит на мысль о возможности использования обнаруженного эффекта для диагностики состояния асинхронного двигателя, с применением подходов, описанных в работах [10, 11].

Заключение

Показана возможность амплитудной модуляции четной гармоники промышленного тока в электрических сетях, насыщенных нелинейными потребителями.

Установлено наличие высокочастотных шумов в асинхронных двигателях с инверторами, обусловленных резонансными явлениями.

Высокочастотные возмущения имеют несколько максимумов, по крайней мере, пять, занимающих звуковые и более высокие частоты.

Наличие возмущений может привести к существенному ухудшению электромагнитной совместимости асинхронных двигателей, использующих инверторы, и радиотехнического оборудования судов.

Литература

1. ГОСТ 32144–2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.
2. Standard EN 50160. Voltage Characteristics in Public Distribution Systems [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.cdtechnics.be/542-standard-en-50160-voltage-characteristics-in.pdf> (дата обращения: 15.11.2018).
3. Сивоконь В.П., Сероветников А.С., Писарев А.В. Высшие гармоники как индикатор геомагнитно-индуцированных токов // Электро. – 2011. – № 3. – С. 30–34.
4. Сивоконь В.П., Сероветников А.С. Геомагнитно-индуцированные токи в электрических сетях Камчатки // Электро. – 2013. – № 3. – С. 19–22.
5. Сероветников А.С., Сивоконь В.П. Вариации спектра тока трансформатора, подверженного воздействию геомагнитно-индуцированных токов // Электро. – 2015. – № 1. – С. 15–19.
6. Lechner H. et al. Amplitude modulation of control signals over electrical power lines utilizing the response of tuning fork filters: patent USA 4782322.
7. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.
8. Галишиников Ю.П., Сенигов П.Н., Карпеш М.А. Электрические машины. Часть 2. Асинхронные машины. Руководство по выполнению базовых экспериментов. ЭМ.001 РБЭ (904). – Челябинск: ООО «Учебная техника», 2005. – 76 с.

9. ГОСТ 60034–17–2009. Машины электрические вращающиеся. Руководство по применению асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при питании от преобразователей. – М.: Стандартинформ, 2010.

10. Пантина А.И., Белов О.А. Контроль технического состояния судовых асинхронных двигателей на основе характеристик внешнего электромагнитного поля // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2017. – Т. 13, № 1. – С. 32–36.

11. Белов О.А. Интегрированные системы технической диагностики электроустановок // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2013. – № 25. – С. 5–8.

Literature

1. GOST 32144–2013. Standards of quality of electrical energy in general-purpose power supply systems. – М.: Standardinform, 2014.

2. Standard EN 50160. Voltage Characteristics in. Public Distribution Systems [Electronic resource]. – URL: <http://www.cdtechnics.be/542-standard-en-50160-voltage-characteristics-in.pdf> (data circulation: 11/15/2018).

3. Sivokon V.P., Serovetnikov A.S., Pisarev A.V. Higher harmonics as an indicator of geomagnetic-induced currents // Electro. – 2011. – № 3. – P. 30–34.

4. Sivokon V.P., Serovetnikov A.S. Geomagnetic-induced currents in electric networks of Kamchatka // Electro. – 2013. – № 3. – P. 19–22.

5. Serovetnikov A.S., Sivokon V.P. Variations of the current spectrum of a transformer subject to geomagnetically induced currents // Elektro. – 2015. – № 1. – P. 15–19.

6. Lechner H. et al. Amplitude modulation of control signal: patent USA 4782322.

7. Schreiner R.T. Mathematical modeling of ac electric drives with semiconductor frequency converters. – Ekaterinburg: UB RAS, 2000. – 654 p.

8. Galishnikov Yu.P., Senigov P.N., Karpesh M.A. Electric cars. Part 2. Asynchronous machines. A guide to performing basic experiments. EM.001 RBE (904). – Chelyabinsk: Teaching Equipment LLC, 2005. – 76 p.

9. ГОСТ 60034–17–2009. Rotary electric machines. Guidelines for the use of asynchronous motors with a squirrel cage rotor powered by converters. – М.: Standardinform, 2010.

10. Pantina A.I., Belov O.A. Control of the technical condition of shipboard asynchronous engines based on the characteristics of the external electromagnetic field // Electrotechnical and Informational Complexes and Systems. – 2017. – Vol. 13, № 1. – P. 32–36.

11. Belov O.A. Integrated systems for technical diagnostics of electrical installations // Vestnik of Kamchatka State Technical University. – 2013. – № 25. – P. 5–8.

Информация об авторах Information about the authors

Сивоконь Владимир Павлович – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН; доктор технических наук, профессор кафедры энергетических установок и электрооборудования судов; vsivokon@mail.ru

Sivokon Vladimir Pavlovich – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS; Doctor of Technical Sciences, Professor of Electrical and Radio Equipment of Ships Chair; vsivokon@mail.ru

Лапшов Денис Вадимович – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; курсант

Lapshov Denis Vadimovich – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky, Cadet

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 Electrical and Radio Equipment of Ships Chair; boa-1@mail.ru

УДК 637.5.035:664.92:634.7

О.А. Ковалева, Е.М. Здравова, О.С. Киреева**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ЯГОДНЫХ СОКОВ
В ТЕХНОЛОГИИ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ**

Продукция мясной промышленности является основным источником полноценного животного белка в рационе питания населения. Особенности биохимического состава и свойств отечественного мясного сырья обосновывают необходимость поиска новых технологий переработки мяса с целью получения готовых продуктов с высокими потребительскими характеристиками. Весьма перспективно использование в технологии создания конкурентоспособных мясных продуктов ягодного сырья и продуктов его переработки – концентрированных соков. Высокое содержание органических кислот в концентрированных ягодных соках позволяет использовать соки в качестве бактериостатических компонентов при производстве мясных продуктов: в качестве ингредиента посолочной смеси или компонента защитного покрытия для готовых мясoproductов. Проведенные исследования показали улучшение качественных показателей и органолептических характеристик новых мясных продуктов, выработанных с применением концентрированного ягодного сока. Установлено, что концентрированные соки в мясной системе проявляют бактериостатические свойства, а также антиоксидантную активность, что пролонгирует сроки годности продукта.

Ключевые слова: мясные продукты, концентрированный сок черники, концентрированный сок красной смородины, посолочная смесь, органолептический анализ, бактериостатические свойства, защитные покрытия.

O.A. Kovaleva, E.M. Zdrabova, O.S. Kireeva**PROSPECTS OF CONCENTRATED BERRY JUICES USE IN THE TECHNOLOGY
OF MEAT PRODUCTS**

Meat industry products provide main source of animal proteins in the human diet. Peculiarities of the biochemical composition and properties of domestic raw meat justifies the need to search for new technologies for its processing in order to obtain final products with high characteristics desirable for consumers. Using berry raw materials and concentrated berry juices in the technology of creating competitive meat products is quite promising. High content of organic acids in concentrated berry juices allows to use them as bacteriostatic components in the production of meat products, such as ingredients of the curing mixture or components of protective coating for finished meat products. Our study showed improved quality indicators and organoleptic characteristics of new meat products, which were produced using concentrated berry juices. Concentrated berry juices in the meat system exhibited bacteriostatic properties, as well as antioxidant activity, which prolonged the shelf life of the meat product.

Key words: meat products, concentrated bilberry juice, concentrated red currant juice, curing salt mixture, organoleptic analysis, bacteriostatic properties, protective coatings.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-28-35

Введение

Продукция мясной промышленности занимает особую нишу в структуре сельскохозяйственного производства, так как является основным источником полноценного животного белка в рационе питания населения страны. По данным Росстата, объем промышленного производства мяса в январе 2019 г. составил 209,9 тыс. т, что на 10,2% больше аналогичного периода 2018 г., мясных и мясосодержащих полуфабрикатов (охлажденных и замороженных) – 264,8 тыс. т, (прирост 13,8%), колбасных изделий – 168,8 тыс. т (прирост 1,8%). В сельскохозяйственных организациях в январе 2019 г. произведено 75,3 тыс. т говядины, 325,1 тыс. т свинины и 502,1 тыс. т мяса птицы (кур) [1].

Особенности биохимического состава и функционально-технологических свойств отечественного мясного сырья требуют поиска новых технологий переработки мяса сельскохозяйственных животных и птицы с целью получения готовых продуктов с высокими потребительскими

характеристиками. Кроме того, создание и внедрение отечественных конкурентоспособных технологий в области производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции является одним из направлений реализации Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы.

Одной из таких современных технологий является использование в производстве мясных продуктов растительного сырья, которое применяется с целью повышения функционально-технологических свойств мясных систем, улучшения органолептических характеристик, повышения пищевой ценности и сбалансированности состава мясopодуKтов, а также обогащения продуктов из мяса животных и птицы эссенциальными нутриентами и придания продуктам функциональных свойств [2–4]. Весьма перспективно использование в технологии создания конкурентоспособных мясных продуктов ягодного сырья и продуктов его переработки, которые являются источником витаминов, минеральных веществ, органических кислот и биофлавоноидов. Одним из продуктов переработки ягодного сырья является концентрированный сок. Технологии получения концентрированного ягодного сока позволяют использовать некондиционное сырье с низкими потребительскими характеристиками, но высокой пищевой ценностью. Переработка низкосортного и некондиционного сырья позволит обеспечить безотходность технологии переработки ягод, а особенности технологических режимов получения концентрированных соков способствуют повышению пищевой ценности конечного продукта за счет удаления влаги и увеличения концентрации сухих веществ.

Ниже представлены результаты исследований по использованию концентрированных ягодных соков в технологии производства мясных продуктов.

Материалы и методы

Для проведения исследований использовались следующие материалы:

- концентрированный сок из черники, содержащий 70,0% сухих веществ (компания Dinamic Health Laboratories, производство США);
- контрольный образец (К) – сыровяленая свинина, выработанная из филейной части свинины (loindesuilla) по ТУ 9213–001–31148759–2015 «Изделия мясные сушено-вяленые: «Бастурма» и «Суджук»;
- мясной образец (П-1) – сыровяленая свинина, выработанная с использованием сока черники с содержанием 18,5% сухих веществ;
- мясной образец (П-2) – сыровяленая свинина, выработанная с использованием сока черники с содержанием 35,0% сухих веществ.

Концентрированный сок из черники разбавляли дистиллированной водой для мясного образца П-1 из расчета 1 : 4, для мясного образца П-2 разведение 1 : 2. Предварительно разведенный до указанного выше содержания сухих веществ сок вводили методом инъектирования на этапе посола.

- концентрированный сок красной смородины сорта «Голландская красная», полученный выпариванием при температурах ниже 50°C и разрежении 10^{-6} Па на запатентованной установке (патент РФ № 2338979 от 20.11.08) [5];
- концентрированный сок красной смородины сорта «Голландская красная», полученный путем высокотемпературного выпаривания ($t = 101\ 103^{\circ}\text{C}$) при атмосферном давлении [6];
- съедобные защитные покрытия на основе концентрированного сока смородины и структурообразователей: желатина пищевого марки П-11 (ГОСТ 11293-2017) и крахмала картофельного (ГОСТ Р 53876–2010);
- карпаччо из мяса птицы сырокопченое (ТУ 9213-263-01597945-2003);
- карпаччо из мяса птицы сырокопченое в съедобном защитном покрытии с концентрированным соком красной смородины и раствором крахмала (К-1);
- карпаччо из мяса птицы сырокопченое в съедобном защитном покрытии с концентрированным соком красной смородины и раствором желатина (К-2).

Определение массовой доли влаги проводили согласно ГОСТ 33319-2015, белка – ГОСТ 25011–2017, жира – ГОСТ 2304225011-2015, общей золы – ГОСТ 3172725011-2012, перекисного числа – согласно ГОСТ 34118-2017, кислотного числа – ГОСТ Р 55480-2013, тиобарбитурового числа – ГОСТ Р 55810-2013, выявление и подсчет количества плесневых грибов – согласно ГОСТ 10444.12-2013, определение водородного показателя (рН) – ГОСТ Р 51478-99

(ИСО 2917-74). Сенсорный анализ экспериментальных образцов проводили по 9-балльной шкале. Оценку бактериостатического эффекта (количество КМАФАнМ на поверхности изделия) применения концентрированного сока из черники проводили путем инкубирования посевов при температуре $30 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 72 ч с дальнейшим подсчетом количества колоний плесневых грибов, выросших на чашках Петри, с использованием исследовательского микроскопа Leica MZ16 в проходящем свете.

Результаты и обсуждение

Положительная динамика изменения сенсорных и бактериостатических свойств мясных продуктов при добавлении в мясную систему растительных ингредиентов обсуждалась в работе зарубежных авторов [7]. Потребительская оценка мясного продукта проводится по шкале, включающей ряд органолептических показателей, и является важным фактором, определяющим спрос.

Важным показателем при разработке сыровяленых мясных изделий из свинины является вкус образцов. В последнее время большим спросом пользуются деликатесные мясные продукты со специфическими ароматом и вкусом, которые сформированы целенаправленным воздействием на мясное сырье. Результаты проведенного нами органолептического анализа показали, что образец П-1 имеет слабо выраженный ягодный вкус, обусловленный степенью обезвоженности концентрированного сока черники. Образец П-2 имеет выраженный ягодный, кисло-сладкий вкус, приятный аромат, который придает продукту пикантность. Балльная оценка результатов сенсорного анализа показала, что контрольный образец К получил самый низкий балл по вкусовым характеристикам – 5,73 балла, опытные образцы превосходили контрольный: образец П-1 – 7,72 балла, образец П-2 – 8,46 балла (табл. 1).

Таблица 1

Сенсорный анализ мясных образцов

Образец	Внешний вид	Цвет	Аромат	Консистенция	Вкус	Средний общий балл
Мясной образец П-1	$7,57 \pm 0,21^*$	$6,62 \pm 0,22$	$7,63 \pm 0,31$	$7,52 \pm 0,31$	$7,72 \pm 0,25^*$	$7,59 \pm 0,27$
Мясной образец П-2	$7,82 \pm 0,25$	$6,93 \pm 0,18^*$	$7,43 \pm 0,34^*$	$7,88 \pm 0,24$	$8,46 \pm 0,22$	$8,05 \pm 0,26$
Контрольный образец К	$7,51 \pm 0,24$	$6,15 \pm 0,22$	$7,64 \pm 0,28$	$6,64 \pm 0,24$	$5,73 \pm 0,21$	$6,78 \pm 0,24^*$

* $p \leq 0,05$ (вероятность ошибки).

Внешний вид мясных продуктов не зависит от разведения и концентрации сока в составе посолочной смеси. При увеличении концентрации сока в образце П-2 продукт приобретает более насыщенную окраску и более выраженный аромат с оттенками черники. Соответственно балльная оценка по указанным органолептическим показателям – 6,93 балла по цвету и 7,43 балла по аромату.

Данные сенсорной оценки дают возможность предположить, что увеличение концентрации сока и присутствующих в нем органических кислот улучшает структуру опытных образцов. В образцах П-1 и П-2 с использованием сока консистенция однородная и более выраженная по сравнению с контрольным образцом (7,52 балла, 7,88 балла и 6,64 балла соответственно). Результаты сенсорного анализа показали, что опытные образцы с применением концентрированного сока из черники имеют более высокие баллы по сравнению с контрольным образцом. Самый высокий средний балл получил мясной продукт из свинины П-2 с массовой долей концентрированного сока из черники 35,0%.

Анализ химического состава мясных образцов показал, что продукты с применением концентрированного сока черники удерживают больше влаги. В контрольном образце массовая доля влаги составила 37,43%, в образце П-1 – 39,77%, в образце П-2 – 39,83% (табл. 2). Более высокой влажности продуктов соответствует более высокий показатель pH – 4,8 в контрольном образце, 5,7 и 5,6 в опытных образцах П-1 и П-2 соответственно.

Увеличенное содержание влаги привело к снижению содержащихся в мясных опытных продуктах белков и жиров. Однако за счет содержащихся в концентрированном черничном соке

углеводов (представленных преимущественно пектинами и фруктозой) массовая доля углеводов в опытных образцах была выше.

Таблица 2

Химический состав мясных образцов

Показатель	Контроль	Мясной образец П-1	Мясной образец П-2
Массовая доля влаги, %	37,43 ± 0,13	39,77 ± 0,02*	39,83 ± 0,04
Массовая доля белка, %	24,21 ± 0,14	23,44 ± 0,19*	23,56 ± 0,15*
Массовая доля жира, %	15,71 ± 0,16	14,18 ± 0,14	14,29 ± 0,21
Массовая доля углеводов, %	2,19 ± 0,04	2,74 ± 0,03*	3,08 ± 0,03
Массовая доля золы, %	2,19 ± 0,02	2,61 ± 0,05	2,69 ± 0,04*
Концентрация водородных показателей, pH	4,8	5,7*	5,6*

* $p \leq 0,05$.

В продуктах с применением сока черники показано более высокое содержание минеральных веществ, состоящих из эссенциальных микро- и макроэлементов. В настоящий момент проводятся исследования по количественному содержанию микро- и макроэлементному составу готовых мясных изделий с целью оценки их потенциальных функциональных свойств.

Микробиологическими исследованиями установлено, что количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов зависит от концентрации введенного в посолочную смесь концентрированного сока черники. Как показали исследования, при увеличении содержания сухих веществ в концентрированном соке черники количество КМАФАнМ в продукте уменьшается (табл. 3).

Таблица 3

Содержание КМАФАнМ в мясных образцах

Образец	КМАФАнМ, КОЕ в 1 г
Мясной образец П-1	$0,572 \cdot 10^3$
Мясной образец П-2	$0,531 \cdot 10^3$
Контрольный образец К	$0,601 \cdot 10^3$

Ингибирующий эффект роста микрофлоры в продукте может быть обусловлен тем, что концентрированный сок черники содержит в своем составе биологически активные вещества и ингибиторы окислительных процессов, органические кислоты (лимонную, яблочную, янтарную, аскорбиновую) [8]. Высокое содержание органических кислот в концентрированных ягодных соках позволяют использовать соки в качестве бактериостатических компонентов при производстве мясных продуктов. Причем возможно не только вводить концентрированный сок в состав продукта в качестве компонента посолочной смеси, но и использовать его для защиты поверхности мясoproductов от микробной контаминации, включая сок в состав защитных покрытий. Для этих целей был выбран концентрированный сок красной смородины, полученный при разных параметрах концентрирования.

С целью оптимизации органолептических характеристик защитных покрытий с концентрированным соком красной смородины в состав покрытий вносили сахар в концентрации 40% и 50% от массы вносимого сока. Согласно литературным данным сахар является консервантом, ограничивающим рост микрофлоры [9–10]. Увеличение концентрации сахара повышает его консервирующие свойства за счет снижения активности воды в системе.

Органические кислоты, содержащиеся в концентрированном соке, снижают pH составов покрытий до значений 2,76–3,17 и способствуют ограничению жизнедеятельности гнилостной микрофлоры, для которых кислая среда губительна. В связи с этим исследование бактериостатических свойств концентрированных соков проводили относительно плесневых грибов, способных выдержать низкие значения pH среды.

Рост микрофлоры на субстратах, которыми являлись составы пищевых покрытий с концентрированным соком красной смородины и с разным содержанием сахара, исследовали после термостатирования образцов при температуре $25 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 7 сут. Результаты исследований показали, что рост микрофлоры зависит от способа получения сока (рис. 1).



Рис. 1. Рост микрофлоры на составах пищевых покрытий:

- 1 – раствор крахмала, сок (1 способ), сахар (40%); 2 – раствор желатина, сок (1 способ), сахар (40%);
 3 – раствор крахмала, сок (1 способ), сахар (50%); 4 – раствор желатина, сок (1 способ), сахар (50%);
 5 – раствор крахмала, сок (2 способ), сахар (40%); 6 – раствор желатина, сок (2 способ), сахар (40%);
 7 – раствор крахмала, сок (2 способ), сахар (50%); 8 – раствор желатина, сок (2 способ), сахар (50%);
 9 – раствор крахмала, сахар (40%); 10 – раствор желатина, сахар (40%);
 11 – раствор крахмала, сахар (50%); 12 – раствор желатина, сахар (50%)

Результаты идентификации плесневых грибов, поражающих поверхность исследуемых образцов, представлены на рис. 2. Так, на 7-е сут эксперимента на опытных образцах отмечена большая площадь поражения колониями плесневых грибов и образование слипшихся (сросшихся) колоний. Установлено, что поверхность образцов № 1 и № 3 поражена плесневыми грибами рода *Aspergillus*, *Penicillium* и *Mucor*. На образце № 2 наблюдался рост колоний плесеней рода *Penicillium* и *Mucor*, на образце № 4 – рост колоний плесневых грибов рода *Aspergillus*. На образцах № 5–8, содержащих концентрированный сок красной смородины второго способа получения и сахар, спустя 7 сут с начала эксперимента рост микрофлоры не наблюдался. На контрольных образцах (№ 9–12) отмечено появление конидий плесневых грибов. На поверхности образца № 9 зафиксирован рост плесневых грибов рода *Aspergillus*, образцов № 10 и № 11 – рост плесневых грибов рода *Penicillium* и *Aspergillus*. На поверхности образца № 12 отмечено появление мицелия и конидий колоний плесневых грибов рода *Aspergillus*.

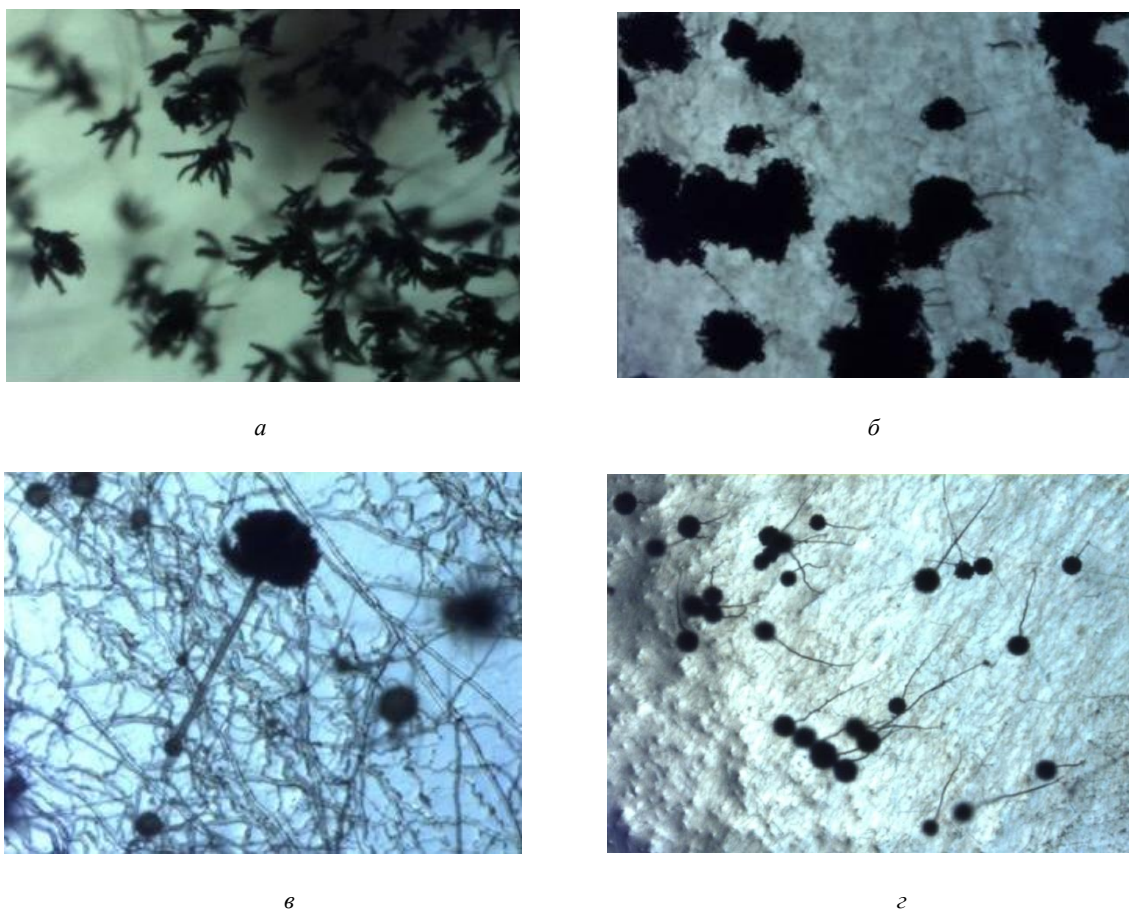


Рис. 2. Колонии плесневых грибов рода *Penicillium* (а), *Aspergillus* (б, в), *Mucor* (г). Увеличение = 200×

Повышение концентрации сахара в образцах снижает количество выросших колоний плесневых грибов, что подтверждает зависимость консервирующих свойств сахара от его концентрации. Добавление к растворам структурообразователей концентрированного сока красной смородины первого способа получения повышает количество выросших колоний и площадь поражения образцов плесневыми грибами, что объясняется спецификой получения концентрированного сока при пониженных температурах. Добавление к растворам структурообразователей сахара и концентрированного сока красной смородины, полученного вторым способом, помогает сдерживать развитие микрофлоры за счет снижения показателя pH среды (органические кислоты в составе сока), а также за счет увеличения концентрации растворенных веществ (внесение сахара) и, следовательно, повышения осмотического давления субстрата, которое приводит к плазмолизу микробных клеток.

Результаты проведенных исследований подтверждают целесообразность применения в составе съедобных защитных покрытий концентрированного сока красной смородины, полученного вторым способом. Исследования антиокислительных свойств концентрированного сока

в составе защитных покрытий проводили на модельных образцах карпаччо из мяса птицы в покрытии и без него.

Степень гидролитической порчи продуктов оценивали в процессе хранения контрольного и опытных образцов сырокопченых продуктов (при $t = 0-4^{\circ}\text{C}$) по изменению кислотного числа жира. Для оценки окислительной порчи образцов сырокопченых продуктов исследовали перекисное и тиобарбитуровое число в процессе хранения модельных образцов (рис. 3).

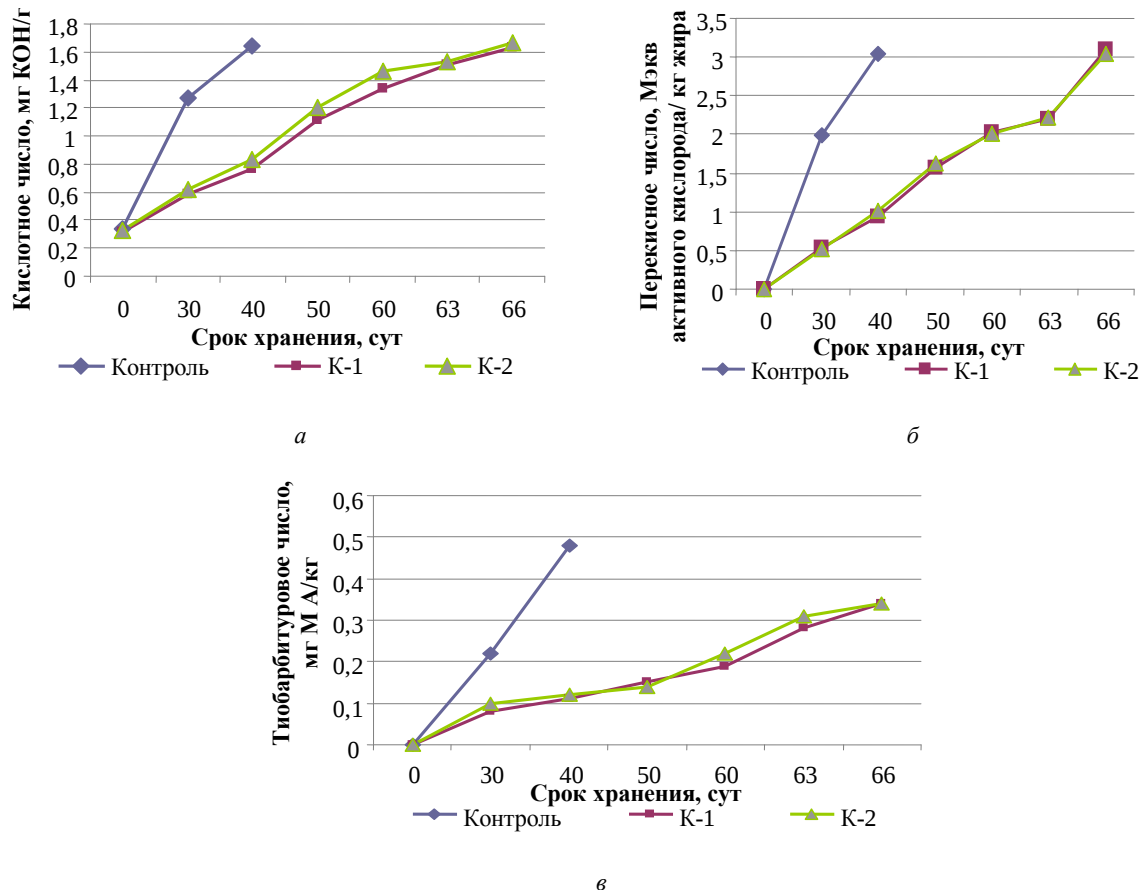


Рис. 3. Изменение кислотного (а), перекисного (б) и тиобарбитурового (в) чисел в процессе хранения продуктов

Проведенные исследования показали, что концентрированный сок красной смородины проявляет антиоксидантные свойства и способствует замедлению окислительной (перекисное и тиобарбитуровые числа) и гидролитической (кислотное число) порчи жировой фракции сырокопченых продуктов из мяса птицы в защитных покрытиях с концентрированным соком, в сравнении с контрольным образцом без покрытия.

Закключение

Ягодное сырье и продукты его переработки содержат ряд фенольных соединений и биофлавоноидов, обладающих антиоксидантными свойствами, а также обладают противовирусной и антибактериальной активностью [11–12]. Как показали результаты проведенного нами исследования, концентрированные ягодные соки, применяемые при производстве мясопродуктов, улучшают качественные показатели и органолептические характеристики последних, включая их аромат, вкус, консистенцию, что позволяет повысить качество, безопасность и конкурентоспособность продукции, предотвратить ее микробиологическую порчу и увеличить сроки годности, что является одной из основных задач Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации.

Литература

1. Обзор рынков за 01.03.2019 [Электронный ресурс]: Рынок мяса. – URL: <http://mcx.ru/ministry/departments/departament-ekonomiki-investitsiy-i-regulirovaniya-rynkov/industry-information/info-obzor-rynkov-za-01-03-2019/> (дата обращения: 06.03.2019).

2. *Ukrainets A.I., Pasichniy V.M., Zheludenko Y.V.* Antioxidant plant extracts in the meat processing industry // *Biotechnologia Acta.* – 2016. – № 2. – P. 19–27.
3. *Михалева Е.В., Ренева Ю.А.* Исследование функциональных свойств и составление рецептуры мясных фаршей с использованием растительного сырья // *Московский экономический журнал.* – 2018. – № 4. – С. 45.
4. Совершенствование технологии производства изделий колбасных вареных с использованием растительного сырья / *О.О. Курышев, Н.И. Мосолова, И.Ф. Горлов, И.С. Даниелян* // *Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование.* – 2017. – № 3 (47). – С. 191–195.
5. Устройство для удаления влаги в вакууме: пат. 2338979 Рос. Федерация. Заявл. 19.06.07; опубл. 20.11.08.
6. Способ получения съедобного защитного покрытия для мясных продуктов: пат. 2501280 Рос. Федерация. №2012130793/13; заявл. 18.07.2012; опубл. 20.12.2013, Бюл. № 35. 4 с.
7. *Perez-Alvarez J.A, López J.F.* Overview of meat products as functional foods. Technological strategies for functional meat products development. – 2008. – P. 1–17.
8. *Ковалева О.А., Киреева О.С.* Применение съедобных покрытий в технологии сырокопченых продуктов из мяса птицы // *Развитие аграрной науки как важнейшее условие эффективного функционирования агропромышленного комплекса страны: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (8 октября 2018 г.)* – Чебоксары, 2018. – С. 58–60.
9. *Сидоров М.А., Корнелаева Р.П.* Микробиология мяса и мясопродуктов: учеб. пособие. 3-е изд., исправл. – М.: Колос, 2000. – 240 с.: ил.
10. *Жарикова Г.Г.* Микробиология продовольственных товаров. Санитария и гигиена: учебник для вузов. 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2007. – 304 с.
11. *Ершова И.В.* Содержание биологически активных фенольных соединений в сибирских плодах и ягодах // *Достижения науки и технологии АПК.* – 2016. – Т. 30, № 9. – С. 44–47.
12. *Макарова Н.В., Зюзина А.В.* Сравнительное исследование антиоксидантных свойств яблочно-ягодных соков // *Известия вузов. Пищевая технология.* – 2012. – № 1. – С. 22–24.

Информация об авторах **Information about the authors**

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

Kovaleva Oksana Anatolyevna – Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin; 302019, Russia, Orel; Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Director of the Innovative Research Testing Center for Collective Use; kovaleva7812@gmail.com

Здрабова Екатерина Михайловна – Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина; 302019, Россия, Орел; кандидат технических наук, научный сотрудник Инновационного научно-исследовательского испытательного центра коллективного пользования; katerina.zdrabova@yandex.ru

Zdrabova Ekaterina Mikhailovna – Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin; 302019, Russia, Orel; Candidate of Technical Sciences, Scientific Researcher of the Innovative Research Testing Center for Collective Use; katerina.zdrabova@yandex.ru

Киреева Ольга Сергеевна – Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина; 302019, Россия, Орел; кандидат технических наук, научный сотрудник Инновационного научно-исследовательского испытательного центра коллективного пользования; kireevagos@mail.ru

Kireeva Olga Sergeevna – Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin; 302019, Russia, Orel; Candidate of Technical Sciences, Scientific Researcher of the Innovative Research Testing Center for Collective Use; kireevagos@mail.ru

УДК 563.961:664.691/.694

И.В. Крылова, М.В. Ефимова, А.А. Ефимов**ПРИМЕНЕНИЕ КУКУМАРИИ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ В МАКАРОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ**

Традиционные макаронные изделия, изготовленные, как правило, из пшеничной муки и воды, имеют невысокую пищевую ценность, в связи с чем в последние годы их обогащают разными нутриентами. В статье обоснована возможность включения в рецептуру макаронных изделий в качестве обогащающей добавки высушенной и измельченной до порошкообразного состояния кукумарии охотской (*Cucumaria okhotensis*). Она, судя по литературным данным, характеризуется высокой пищевой ценностью, содержит спектр незаменимых биологически активных функциональных компонентов. Разработан способ получения из кукумарии мелкодисперсного порошка, содержание воды в котором не превышает 3%. Определено рациональное количество добавляемой в макаронное тесто сушеной измельченной кукумарии – 5 г на 100 г муки. При данном соотношении компонентов цвет, форма, вкус, запах, целостность макаронных изделий после варки были оценены по максимальному баллу, вкус и запах добавки кукумарии оценен как умеренный. Проведенные исследования расширяют возможности обогащения макаронных изделий за счет включения в их состав весьма ценной с биологической точки зрения добавки из кукумарии.

Ключевые слова: макаронные изделия, кукумария, сушка, измельчение, органолептические показатели, качество.

I.V. Krylova, M.V. Efimova, A.A. Efimov**THE USE OF CUCUMARIA AS AN ADDITIVE IN PASTA PRODUCTS**

Traditional pasta products, which are usually made with wheat flour and water, have a low nutritional value, and, therefore, in recent years they are enriched with various nutrients. In this paper, we discuss the possibility of including dried powdered *Cucumaria okhotensis* as an enriching additive in the pasta formulation. According to literary data it is characterized by a high nutritional value and contains a variety of essential biologically active functional components. The method for obtaining fine cucumaria powder with a water content not exceeding 3% was developed. The rational amount of dried powdered cucumaria added to the pasta dough is 5 g per 100 g of flour. With this ratio, the colour, shape, taste, smell, and the pasta integrity after cooking were evaluated by the maximum score. The taste and smell of cucumaria additive was evaluated as moderate. The conducted studies expand the possibilities of enriching pasta products with a valuable, from biological point of view, additive from cucumaria.

Key words: pasta products, cucumaria, drying, trituraion, organoleptic characteristics, quality.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-36-42

Введение

Макаронные изделия относятся к продуктам массового потребления. Россия находится на 4-м месте в мире по производству макаронных изделий и на 19-м месте по их потреблению, достигшему в начале текущего века 6 кг в год на человека [1]. В связи с этим макаронные изделия являются наиболее удобным объектом, с помощью которого можно корректировать пищевую ценность любого рациона питания в необходимом направлении, обогащая их разными добавками [1–3].

Традиционные макаронные изделия, изготавливаемые из двух ингредиентов – муки и воды, характеризуются практически полным отсутствием в них таких важных для организма человека веществ, как полноценные белки, витамины, макро- и микроэлементы, пищевые волокна. Данный недостаток определяет необходимость обогащения макаронных изделий путем включения в их рецептуру натуральных добавок, характеризующихся ценным химическим составом [4]. В качестве таких добавок применяют овощную продукцию (томаты, свеклу, морковь, шпинат), морскую капусту, куркуму, грибы, мясо лососевых, сепию каракатицы, яйцопродукты, сухое молоко, рыбный белковый концентрат. На рынке макаронных изделий продукция диетического и функционального назначения, обогащенные макаронные изделия и изделия повышенной пи-

щевой ценности занимают небольшой сегмент. Пока он не превышает 1% [1–2]. Кукумария в качестве обогащающей добавки в макаронные изделия еще никем не использовалась, хотя в последние десятилетия мировая пищевая индустрия проявляет все большую заинтересованность в расширении направлений использования биоресурсов океана, занимающих существенное место в обеспечении населения биологически активными веществами уникальной химической природы.

В прикамчатских водах обитает четыре вида кукумарий, из них кукумария охотская (*Cucumaria okhotensis*) является наиболее распространенной. Ее уловы у западной Камчатки, например, могут достигать 2 т за получасовое траление [5]. Съедобная часть кукумарии представлена оболочкой, массовая доля которой составляет 36–40% [5–6]. Содержание белка в оболочке составляет 8–11,6%, липидов – 0,6–0,7%, углеводов – 0,4–0,9%. Кукумария характеризуется высоким содержанием биологически активных веществ, обладающих антибактериальной и физиологической активностью, почти полным набором водорастворимых, а также жирорастворимых витаминов групп А и F [7]. Она включает в свой состав гексозамины (0,38–0,50 мг/г) и тритерпеновые гликозиды (0,68–0,75 мг/г), обладающие широким спектром биологического действия [8–9]. В оболочке кукумарии содержится хондроитинсульфат – физиологически активное вещество, в состав которого и входят гексозамины [6].

Отметим, что названные выше химические соединения входят в состав коммерческих препаратов противодартритного действия. Хондроитинсульфат является основным компонентом связочной ткани, хряща, суставной жидкости, межпозвоночных дисков, регулирует фосфорно-кальциевый обмен, регенерирует связочную ткань. Содержание гексозаминов в оболочке кукумарии намного выше, чем в мантии и щупальцах осьминога, мускуле морского гребешка, мясе криля, мантии без кожи кальмара, мясе краба, креветки, мантии мидии, оболочке трепанга (почти в два раза). По содержанию гексозаминов оболочка кукумарии уступает лишь коже осьминога и икре морского ежа [10].

Целебные свойства кукумарии обусловлены также присутствием в ней фосфолипидов, полиеновых жирных кислот, каротиноидов. Значительно содержание ненасыщенных жирных кислот (65–68%), из них около 50% приходится на незаменимую эйкозапентаеновую кислоту. Липиды кукумарий устойчивы к окислению благодаря наличию в них нативных антиоксидантов. Исходя из критериев биологической ценности, оболочку кукумарии можно рассматривать как ценный компонент функциональных продуктов питания, обладающий лечебным и лечебно-профилактическим действием.

Ниже представлены результаты исследований, направленных на разработку рецептуры макаронных изделий с добавлением кукумарии и способа ее обработки, направленного на получение порошкообразного продукта.

Материалы и методы

Для изготовления образцов макаронных изделий использовали кукумарию, соответствующую требованиям ТУ 9265-005-33620410-03 «Кукумария мороженая» [11]. Макарунное тесто готовили из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта, соответствующей требованиям ГОСТ Р 52189–2003 «Мука пшеничная. Общие технические условия» [12]. В качестве контрольного образца изготавливали макаронные изделия без добавок по «классической» рецептуре [13–14] для мягкого теплого (55–60°C) замеса. Влажность теста при мягком замесе 33–34%. В качестве экспериментального образца изготавливали макаронные изделия с добавлением кукумарии.

Предварительно размороженную кукумарию шинковали на полоски шириной 0,8–10 мм и сушили инфракрасным излучением в электросушилке ЭСБИК-1,25/220 «Икар» при температуре 65°C [15] до содержания воды 3% для повышения хрупкости при измельчении. Из-за высокой плотности тканей кукумарии в процессе ее сушки делали перерывы для перераспределения воды, перемещающейся из внутренних слоев оболочки кукумарии к поверхностным [15–16].

Высушенную кукумарию измельчали до состояния мелкодисперсного порошка (10–40 мкм) в кофемолке «Bosh» и просеивали порошок через лабораторное сито с размером ячеек 50 мкм. Порошок из кукумарии вносили непосредственно в муку. Основным критерием выбора способа внесения кукумарии в тесто являлось обеспечение равномерности ее распределения. В соответствии с существующими рекомендациями по внесению витаминно-минеральных добавок в мучные изделия [17], добавка должна быть порошкообразной и вноситься на стадии замеса теста способом сухого смешивания.

Органолептические показатели макаронных изделий определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 31964–2012 «Изделия макаронные. Правила приемки и методы определения качества» [18].

Результат и обсуждение

Сушку кукумариин вели при температуре 65°C, позволяющей, с одной стороны, обеспечить достаточно высокую скорость процесса, с другой – сохранить в готовом сухом продукте полезные вещества. Изменение содержания воды в тканях кукумариин в процессе сушки показано на рис. 1. Из представленного рисунка видно, что наиболее интенсивно шинкованная кукумариин теряла воду в течение первых 4 ч сушки. В следующие 4 ч скорость удаления воды оставалась

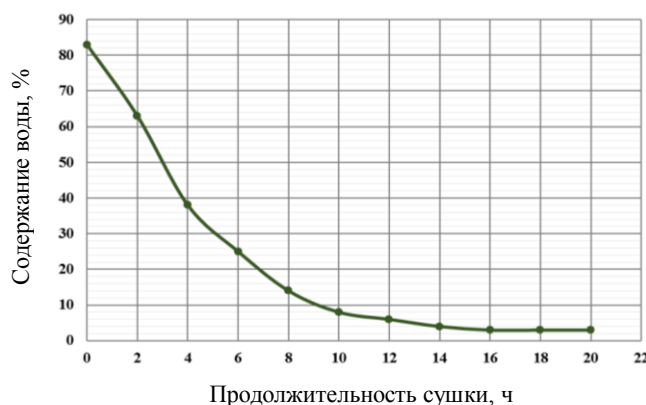


Рис. 1. Изменение содержания воды в тканях кукумариин

еще достаточно высокой, но меньшей, чем в первые 4 ч; затем, по мере приближения к значению равновесной влажности, она заметно падала, и только через 16 ч ткани кукумариин достигали трехпроцентной влажности. Таким образом, общая продолжительность сушки шинкованной мантии кукумариин при заданной температуре составила, как это показано в нашем эксперименте, 18 ч. При этом выход сухого продукта составил 25,2% от его исходной массы.

Макаронное тесто для исследования было изготовлено в соответствии с рецептурой, приведенной в табл. 1. Следует отметить, что внесение в тесто добавки кукумариин не оказало влияния на его реологические свойства. После замеса макаронного теста из него с помощью пресса Pasta Maker S 350 и лапшерезки формовали лапшу размером (7–8)×(90–100) мм. Сушили ее в инфракрасной сушилке «Икар» при температуре 40°C до тех пор, пока содержание воды в готовом продукте не снижалось до 13%. По мере испарения из изделий воды происходила их усадка. По окончании сушки размеры лапши уменьшились на 6–8%.

Таблица 1

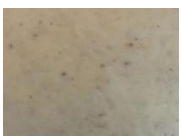
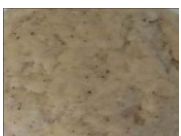
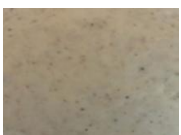
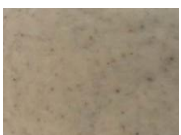
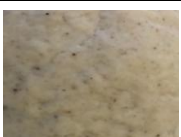
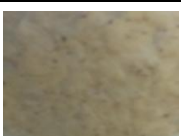
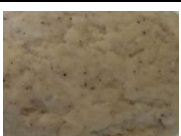
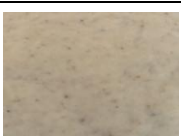
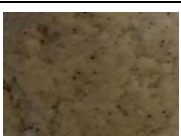
Рецептуры макаронного теста из пшеничной муки с добавлением кукумариин

Образец	Количество порошка кукумариин, г / 100 г муки	Количество воды, г / 100 г муки	Образец	Количество порошка кукумариин, г / 100 г муки	Количество воды, г / 100 г муки
К (контроль)	0	28,8	П11	5,5	31,4
П1	0,5	29,0	П12	6,0	31,6
П2	1,0	29,3	П13	6,5	31,8
П3	1,5	29,5	П14	7,0	32,1
П4	2,0	29,7	П15	7,5	32,3
П5	2,5	30,0	П16	8,0	32,5
П6	3,0	30,2	П17	8,5	32,8
П7	3,5	30,4	П18	9,0	33,0
П8	4,0	30,7	П19	9,5	33,2
П9	4,5	30,9	П20	10,0	33,5
П10	5,0	31,1	–	–	–

Приемлемость дозы вносимого порошка кукумариин определяли в готовых изделиях до варки и после варки по органолептическим показателям, а также по показателю сохранения целостности лапши после варки. Внешний вид образцов макаронного теста, приготовленного из пшеничной муки с добавлением порошка кукумариин, и внешний вид макаронных изделий приведены в табл. 2.

Таблица 2

Внешний вид образцов теста и макаронных изделий из пшеничной муки с добавлением кукумарии

Образец	Внешний вид теста (×10)	Внешний вид готового изделия	Образец	Внешний вид теста (×10)	Внешний вид готового изделия
К (контроль)			П11		
П1			П12		
П2			П13		
П3			П14		
П4			П15		
П5			П16		
П6			П17		
П7			П18		
П8			П19		
П9			П20		
П10			—	—	—

Из представленной табл. 2 видно, что в тесте (при десятикратном увеличении изображения) заметны вкрапления частиц порошка кукумарины коричневатого цвета. В тесте, в присутствии воды, частицы порошка кукумарины набухали и, соответственно, увеличивались в размерах в 8–10 раз. При увеличении дозы вносимого порошка цвет как макаронного теста, так и готовых изделий становился более насыщенным, более темным. Все образцы характеризовались равномерностью окраски.

Результаты органолептической оценки готовых макаронных изделий с добавкой кукумарины представлены на рис. 2 (более высокому качеству соответствует более высокий балл; вкус и запах добавки кукумарины определяли по степени выраженности).

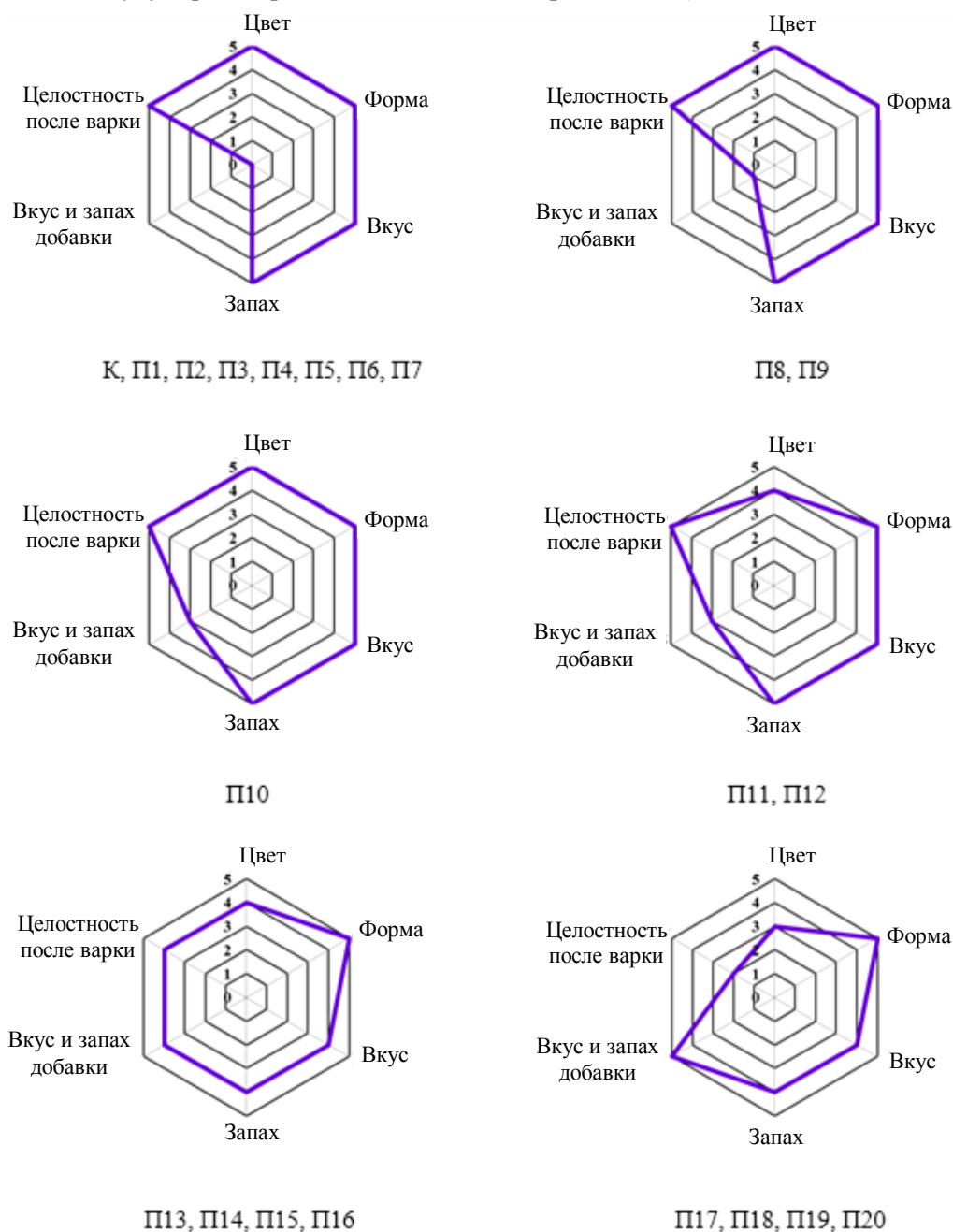


Рис. 2. Профилограммы качества макаронных изделий с кукумариной

Как видно из рис. 2, по органолептическим показателям наиболее приемлемым оказался образец П10: цвет, форма, вкус, запах, целостность после варки были оценены по максимальному баллу, вкус и запах добавки кукумарины оценен как умеренный. Для образцов П1–П9 выраженность вкуса и запаха добавки оказалась недостаточной. Для образцов П11 и П12 был занижен показатель цвета – темный, а для образцов П13–П20 уже было отмечено нарушение целостности после варки. Это объясняется отсутствием в кукумарины структурообразующих компонентов,

обладающих связывающими свойствами, при понижении содержания клейковины за счет процентного снижения дозировки пшеничной муки. Для образцов П17–П20 также был отмечен слишком выраженный вкус и запах морепродукта.

Заключение

Таким образом, на основе проведенных исследований нами была обоснована возможность использования кукумарии в качестве добавки в макаронные изделия из пшеничной муки. Результаты эксперимента показали, что наилучшими органолептическими свойствами обладала лапша из макаронного теста, приготовленного с дозировкой 5 г порошка кукумарии на 100 г пшеничной муки. Введение в состав макаронных изделий кукумарии позволяет отнести такие изделия к категории функциональных пищевых продуктов, предназначенных для ежедневного употребления, оказывающих благотворное влияние на здоровье потребителей.

Анализ литературных данных показывает, что ресурсы *Cucumaria okhotensis* в прикамчатских водах достаточны для организации ее устойчивого промысла [5, 19], который в настоящее время ведется разными рыбодобывающими предприятиями, однако спектр изготавливаемой из кукумарии продукции ограничен, и выпускаемая продукция не пользуется большим спросом у жителей Камчатки. Разработанная нами технология производства макаронных изделий, обогащенных кукумарией, применима для расширения ассортимента продукции с использованием данного вида морских биологических ресурсов. В силу ограниченного только северными приазиатскими водами распространения *Cucumaria okhotensis* обогащенные ею макаронные изделия могли бы стать брендовой камчатской продукцией и благодаря высокой пищевой ценности заслужить хорошую репутацию у потребителей.

Антиокислительные свойства кукумарии определяют потенциальную возможность повышения в макаронных изделиях содержания липидов (например, за счет замены части пшеничной муки на овсяную). Использование кукумарии как добавки в продукты массового потребления отвечает положениям «Основ государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года» и «Стратегии социально-экономического развития Камчатского края до 2025 года» [20–21].

Литература

1. Осипова Г.А. Теоретическое и экспериментальное обоснование разработки новых видов макаронных изделий повышенной пищевой ценности: автореф. дис. ... д-ра тех. наук. – Орел, 2012. – 418 с.
2. Корячкина С.Я., Осипова Г.А. Макароны: способы повышения качества и пищевой ценности. – Орел: Труд, 2006. – 276 с.
3. Корячкина С.Я., Осипова Г.А. Нетрадиционные источники белка в производстве макаронных изделий повышенной биологической ценности // Известия вузов. Пищевая технология. – 2007. – № 5–6. – С. 36–37.
4. Бахитов Т. Ржаной белковый концентрат в производстве макаронных изделий // Хлебопродукты, 2009. – № 5. – С. 46–47.
5. Богданов В.Д., Карпенко В.И., Норинов Е.Г. Водные биологические ресурсы Камчатки: Биология, способы добычи, переработка. – Петропавловск-Камчатский: ХК «Новая книга», 2005. – 264 с.
6. Сафронова Т.М., Дацун В.М., Максимова С.Н. Сырье и материалы рыбной промышленности: учебник. – СПб.: Лань, 2013. – 336 с.
7. Витамины кукумарии и их сохранность при тепловой обработке / Л.Ю. Саватеева, В.И. Теплова, В.К. Черкашин, Л.К. Черкашин // Экспресс-информация. – М., 1987. – Вып. 3. – С. 20–22.
8. Анисимов М.М., Чирва В.Я. О биологической роли тритерпеновых гликозидов // Успехи современной биологии. – 1980. – № 6. – С. 573–582.
9. Батраков С.Г., Гиршович Е.С., Дрожжина Н.С. Тритерпеновые гликозиды с антигрибковой активностью, выделенные из морской кубышки *Cucumaria japonica* // Антибиотики. – 1980. – № 6. – С. 408–411.
10. Байдалинова Л.С., Яржомбек А.А. Биохимия сырья водного происхождения. – М.: Моркнига, 2011. – 506 с.

11. ТУ 9265-005-33620410-03. Кукумария мороженная. – Владивосток: Центр сертификации «Восток-ТЕСТ», 2003. – 20 с.
12. ГОСТ Р 52189–2003. Мука пшеничная. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 8 с.
13. Введение в технологии продуктов питания / *И.С. Витол, В.И. Горбатюк, Э.С. Горенков* и др.; под ред. А.П. Нечаева. – М.: ДеЛи плюс, 2013. – 720 с.
14. *Осипова Г.А.* Технология макаронного производства: учеб. пособие для вузов. – Орел: ОрелГТУ, 2009. – 152 с.
15. *Карлина А.Е.* Безотходная технология пищевых продуктов и биологически активных добавок из кукумарий дальневосточных морей: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Владивосток, 2009. – 24 с.
16. *Афанасьева А.Е.* Технология производства сушеной кукумарии // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – № 8. – С. 194–198.
17. *Спиричев В.Б., Шатнюк Л.Н., Позняковский В.М.* Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Наука и технология / под ред. В.Б. Спиричева. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2005. – 548 с.
18. ГОСТ 31964–2012. Изделия макаронные. Правила приемки и методы определения качества. – М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.
19. *Степанов В.Г., Панина Е.Г., Шапоров Р.А.* Видовой состав голотурий дальневосточных морей России, VIII: объем таксонов, общий характер распределения // Вестник Камчатского государственного технического университета [Bulletin of Kamchatka State Technical University]. – 2016. – Вып. 36. – С. 88–96.
20. Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года [Электронный ресурс]: распоряж. правительства РФ от 25 октября 2010 г. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
21. Стратегия социально-экономического развития Камчатского края до 2025 года [Электронный ресурс]. Доступ с инф.-правового портала «Гарант.Ру».

Информация об авторах **Information about the authors**

Крылова Ирина Викторовна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; аспирант; irina_71_vik@mail.ru

Krylova Irina Viktorovna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Postgraduate; irina_71_vik@mail.ru

Ефимова Марина Васильевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук; заведующая кафедрой технологий пищевых производств; efimova-ff@mail.ru

Efimova Marina Vasilyevna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences, Head of the Food Production Technologies Chair; efimova-ff@mail.ru

Ефимов Андрей Анатольевич – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат технических наук; доцент кафедры технологий пищевых производств; efimoff-a@mail.ru

Efimov Andrej Anatolyevich – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Food Production Technologies Chair; efimoff-a@mail.ru

УДК 639.2/.3:664.95

А.И. Уколов, В.П. Родионов, П.П. Старовойтов**ГИДРОКАВИТАЦИОННОЕ СТРУЙНОЕ УДАЛЕНИЕ ВНУТРЕННОСТЕЙ
У ОБЕЗГЛАВЛЕННЫХ РЫБ**

Работа продолжает цикл статей авторов, посвященных изучению возможности использования гидродинамической суперкавитации для удаления внутренностей у обезглавленных рыб с целью внедрения данного метода в производственную деятельность предприятий рыбной промышленности. Выполненные эксперименты позволили определить оптимальный диапазон давления насосной установки, необходимый для обеспечения данного процесса. Установлено, что при использовании разработанных авторами кавитаторов очистка рыбы от внутренностей без разрушения ее тела происходит при давлении от 0,5 МПа до 1,5 МПа. Компьютерное моделирование этого процесса подтвердило наличие концентрированной паровой фазы во внутреннем объеме брюшной полости рыбы. Однако за счет фазового перехода у поверхности тела рыбы наблюдается уменьшение давления и скорости потока, что способствует сохранению целостности продукта.

Ключевые слова: давление, кавитация, моделирование, очистка, переработка рыбы, удаление внутренностей.

A.I. Ukolov, V.P. Rodionov, P.P. Starovoitov**HYDRO-CAVITATION JET REMOVAL OF VISCERA IN DECAPITATED FISH**

This work continues a series of our papers on the possibility of using hydrodynamic super-cavitation to remove the viscera in decapitated fish with the aim of introducing this method in the production activities of fish industry enterprises. Our experiments allowed to determine the optimal pressure range of the pumping unit, which is necessary to ensure this process. It was established, when using the developed cavitators, it is possible to clean fish from the viscera at a pressure from 0,5 MPa to 1,5 MPa without destroying its body. The computer simulation of this process confirmed the presence of a concentrated vapor phase in the internal volume of the fish abdominal cavity. However, due to the phase transition a decrease in pressure and flow rate at the surface of the fish body was observed, that contribute to preserving integrity of the product.

Key words: pressure, cavitation, simulation, cleaning, fish processing, viscera removal.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-43-48

Введение

Рыба и морепродукты являются важнейшими компонентами пищи человека, поскольку являются источниками белков, жиров, минеральных веществ, содержат такие физиологически важные элементы, как калий, кальций, магний, железо, фосфор и комплекс необходимых для организма человека витаминов. Оптимизация процесса выпуска готовой рыбной продукции связана с внедрением в системы производства высокотехнологичного оборудования, которое решало бы задачу получения рыбного сырья, его хранения и транспортировки.

Исследовательские учреждения и коммерческие компании прилагают усилия для автоматизации и рационализации различных производственных процессов [1], например, использование роботов и автоматизированных систем в процессах захвата и обработки рыбы, операции по ее убою, снятию кожного покрова, филетировке и др. Однако скорость автоматизированной обработки рыбы тормозит ручное вмешательство, такое как мойка тушки и ее очистка от внутренностей.

Для удаления у рыбы внутренностей вспарывают ее брюшную полость и ножом или другим приспособлением механически удаляют ее внутренние органы (рис. 1, а). Наряду с этим на предприятиях рыбной промышленности используют ленточные пилы для распиловки рыб машины для отсекания голов, шкуроемные и другие машины (рис. 1, б).



Рис. 1. Ручное вспарывание брюшной полости рыбы (а) и механическое обезглавливание рыбы (б)

Особенно эффективная технология очистки, используемая в настоящее время для удаления внутренностей рыб, основана на кавитации – процессе образования в потоке жидкости пузырьков и их последующего схлопывания, сопровождающегося шумом и гидравлическими ударами, образованием в жидкости за счет снижения локального давления кавитационных пузырьков, или пустот, содержащих разреженный пар. Кавитация используется в ряде производственных процессов, таких как очистка оптических устройств и высокоточных приборов [2], обезжиривание металлических объектов и удаление с деликатных поверхностей частиц микронных, субмикронных размеров. Физическая сущность кавитации является приемлемой с экологической точки зрения. Более того, она предотвращает риск бактериального загрязнения обрабатываемой поверхности, и это успешно используется при обработке воды [3–5].

Предполагается, что основным очищающим агентом служит кавитационный пузырек, который возникает при растяжении жидкости сверх ее прочности. Пузырьки колеблются в объеме, а затем растут из-за суммарного притока газов, растворенных в жидкости. Коллапс пузыря при резонансе может быть достаточно сильным, чтобы разбить отдельные пузырьки на более мелкие фрагменты. Динамика отдельных пузырьков определяет физический механизм очистки, который включает напряжение сдвига, создаваемое мгновенным движением пузырьков, и возвратную струю, распространяющуюся к твердой поверхности [6–8].

Однако кавитационная очистка имеет и побочный эффект. Схлопывание пузырьков часто сопровождается ударной эмиссией от сильного коллапса и гидравлическим ударом от столкновения реактивной струи с твердым телом [9], что приводит к повреждению обрабатываемой поверхности. Чтобы управлять динамикой кавитации, очищающий раствор перенасыщается газом. Это приводит к снижению порога возникновения кавитации и может смягчить вынужденный коллапс пузырьков.

В настоящей статье представлены результаты изучения возможности кавитационной очистки обезглавленной рыбы путем гидрокавитационного струйного удаления ее внутренностей и приведены данные компьютерного моделирования этого процесса.

Материалы и методы

Эксперименты по удалению внутренностей рыб путем кавитационной очистки выполняли на представителях семейства карповые толстолобиках (род *Hypophthalmichthys*) и сазанах (*Cyprinus carpio*). Длина их тела при этом колебалась от 30 до 50 см, а масса от 2 до 4 кг. Для гидрокавитационной очистки брюшной полости рыбы под водой использовали разработанные нами и защищенные патентами РФ техническое устройство [10–11] и способ очистки [12]. Для удаления внутренностей рыбу вначале обезглавливали. Затем с помощью разработанного нами метода удаляли внутренности рыбы. Схема этого процесса представлена на рис. 2, а. Согласно представленной на нем схеме в брюшную полость тушки, заполненную внутренними органами, через анальное отверстие резонатором кавитации подается кавитационный струйный поток, содержащий газопаровые пузырьки (рис. 2, б).

Анализ распределения гидродинамических и кавитационных характеристик потока жидкости выполнен при помощи компьютерного моделирования в программной среде ANSYS Workbench 19.1. Для построения геометрии сопла и области истечения струи выбрана программа Design Modeler, которая интегрирована в комплекс ANSYS Workbench 19.1. Размеры в модели соответствовали таковым у сопла, использованного в эксперименте.

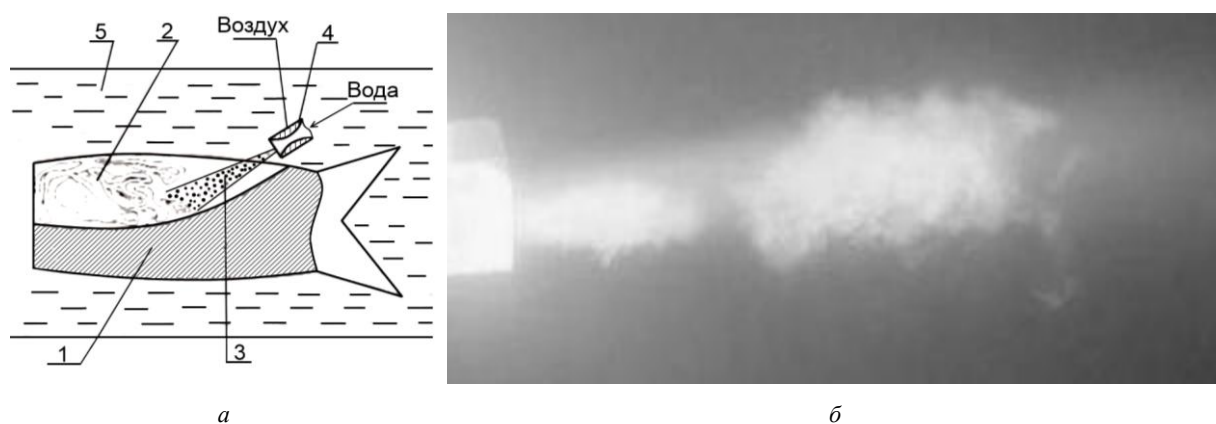


Рис. 2. Схема способа удаления внутренностей у обезглавленных рыб (а): 1 – брюшная полость тушки, 2 – внутренности рыбы, 3 – газопаровые пузырьки, 4 – резонатор кавитации, 5 – водная среда. Внешний вид на кавитационный пульсирующий поток (б)

С учетом осесимметричности процессов, происходящих в затопленной струе, истекающей из цилиндрического канала, была построена двухмерная геометрия модели сечением плоскостью по центральной линии струи, которая при помощи команды Revolve передана вращению относительно оси x на угол 45° . Подобная модель способствует созданию качественной расчетной сетки, удобна для указания сечений входа (Inlet), выхода (Outlet), плоскости симметрии (Symmetry) и стенок установки (Walls) и позволяет получить значимые результаты решения за относительно небольшое время. Сеточная модель сгенерированная тетраэдрического типа состояла из 0,9 млн элементов и 158 тыс. узлов.

Решение задачи в CFX – Solver, основанное на конечно-объемном методе, проходило в два этапа. Начало формирования задачи в препроцессоре CFX связано с заданием материала тела основного домена и опорного давления. Для этого во вкладке «Основные настройки» (Basic Settings) были выбраны «вода» (Material – Water) и давление (Reference Pressure) – 0,1 МПа. Особенности процесса течения жидкости, указанные во вкладке «Fluid Models», соответствовали однородной несжимаемой жидкости при изотермических условиях истечения. Температура жидкости составляла 25°C . Моделью турбулентности потока была выбрана вкладка Shear Stress Transport (SST). SST модель хорошо рассчитывает течения как вблизи стенки, так и в остальном потоке. Она стабильна и не требует больших вычислительных ресурсов [13, 14]. Параметры входа (Inlet) заданы в окне Mass and Momentum – полное давление (Total Pressure) 1 МПа, выхода (Outlet) – статическое давление (Static Pressure) 0,05 МПа.

Для анализа кавитационных характеристик струи на панели Details of Default Domain in Flow Analysis во вкладке «Основные настройки» (Basic Setting) в поле определения жидкости и газа (Fluid and Particle Definition) добавлена область «Vapour». Материалом выбран водяной пар при 25°C (Water Vapour at 25°C), Reference pressure – 100 кПа, модель жидкости (Fluid Models) однородная (Homogeneous), процесс изотермический. Кавитация задана на вкладке «Модели жидкости и пара» (Fluid pair Models), опция – Cavitation. Во входном сечении Inlet определена объемная доля воды (Water-1) и пара (Vapour-0).

В ANSYS CFX предоставляется выбор между моделью кавитации, основанной на уравнении Рэлея – Плессета, и «пользовательским» (User Defined) вариантом, в котором могут дополнительно указываться математические выражения для определения скорости межфазного массопереноса или давления насыщенного пара, а также могут устанавливаться дополнительные параметры, используемые по умолчанию в модели Рэлея – Плессета.

При моделировании использована функция кавитации в ANSYS CFX, которая основана на уравнении Рэлея – Плессета:

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{2}{3} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{2\sigma}{\rho R} = \frac{p_n - p}{\rho}, \quad (1)$$

где R – радиус кавитационного пузырька, p_n – давление внутри пузырька (в модели давление насыщенных паров), p – локальное давление в жидкости (абсолютное давление CFD-решателя), ρ – плотность жидкости, σ – коэффициент поверхностного натяжения между жидкостью и паром.

Поскольку решить уравнение (1) в общем виде невозможно, в модели Рэлея – Плессета ANSYS CFX его упрощают, пренебрегая вторым порядком и не учитывая поверхностное натяжение жидкости:

$$\frac{dR}{dt} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_n - p}{\rho}}.$$

Модель Рэлея – Плессета учитывает два фактора: скорость роста пузырька и статистический характер распределения пузырьков в кавитационном потоке. Объемная доля пара в ячейке учитывается статистически на основе определения числа зародышей n и их радиуса R_0 и определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{4}{3} \pi R_0^3 n.$$

Реализуемая в ANSYS CFX модель кавитации Рэлея – Плессета требует задания таких параметров, как средний диаметр пузырька и давление насыщенного пара. Основной диаметр пузырьков пара (Main diameter) в уравнении Рэлея – Плессета выбран $2 \cdot 10^{-6}$ м, давление насыщенных паров (Saturation Pressure) с учетом температуры моделируемой жидкости 25°C $p_n = 3170$ Па. Остальные параметры моделирования, выбранные по умолчанию, считаются стандартными для большинства кавитационных течений.

Результаты и обсуждение

Данные проведенных экспериментов по гидрокavitационному струйному удалению внутренних у обезглавленных рыб показывают, что при перепаде давления на срезе кавитатора, равного 0,5–1,5 МПа и скорости потока жидкости 32 м/с, статическое давление в струйном потоке становится ниже давления насыщенных паров. Это приводит к образованию, росту и схлопыванию газовых пузырьков, что, в свою очередь, приводит к колебаниям динамического давления струйного потока. Его внешний вид показан на рис. 2, б. За счет гидравлических взрывов и схлопывания газовых пузырьков непосредственно перед внутренностями рыбы, заграждающими движение кавитационной струи, происходит срыв внутренних и вынос их через головной срез рыбы.

Проведенные нами эксперименты показали, что очистка рыбы от внутренних начиналась при перепаде давления на резонаторе кавитации 0,5 МПа. При перепаде давления на резонаторе кавитации 1,5 МПа происходило резкое увеличение производительности очистки, за счет увеличения как динамического давления, так и количества газопаровых пузырьков в струйном кавитационном пульсирующем потоке, срывающим и уносящим внутренности рыбы. При этом внутренняя поверхность тушки рыбы не травмировалась. Увеличение давления в рабочем потоке свыше перепада давления 1,5 МПа приводило к разрушению брюшной полости рыбы.

Для смягчения струйного кавитационного воздействия на поверхность тела тушки и увеличения производительности процесса очистки брюшной полости рыб от внутренних в струйный поток дополнительно вводился воздух. Он демпфировал динамическое силовое струйное воздействие на поверхность тела тушки и способствовал сохранению ее целостности.

На рис. 3 белым цветом показана область паровой фазы внутри полости рыбы. Ее объем был рассчитан в ходе анализа распределения гидродинамических и кавитационных характеристик потока жидкости, выполнен при помощи компьютерного моделирования. Как видно из рис. 3,

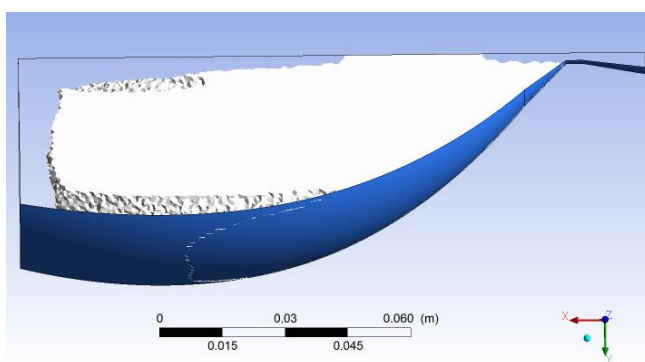


Рис. 3. Область паровой фазы внутри полости рыбы

содержание пара в брюшной полости рыбы составляет более половины от общего объема. Этого достаточно для эффективного извлечения внутренних рыбы кавитатором. При давлении на входе в насадку 1 МПа и использовании рекомендованного в наших патентах инструмента [10–12] удавалось получить кавитационную струю, длиной более 15 см, достаточную для практически мгновенной очистки всего объема внутренней полости рыбы и сохранения у нее целостности брюшной

стенки. Увеличение скорости потока на срезе сопла приводит к падению давления ниже насыщенного пара и фазовому переходу. Ближе к телу рыбы давление за счет кавитации мало отличается от атмосферного (рис. 4, а), а механическое воздействие на внутренности оказывают в основном схлопывающиеся кавитационные пузырьки. Произведенные нами расчеты показывают, что высокие скорости потока возникают на оси струи (рис. 4, б), а около стенок брюшной полости скорость падает до 2–6 м/с, и вода только вымывает разрушенные кавитацией внутренности.

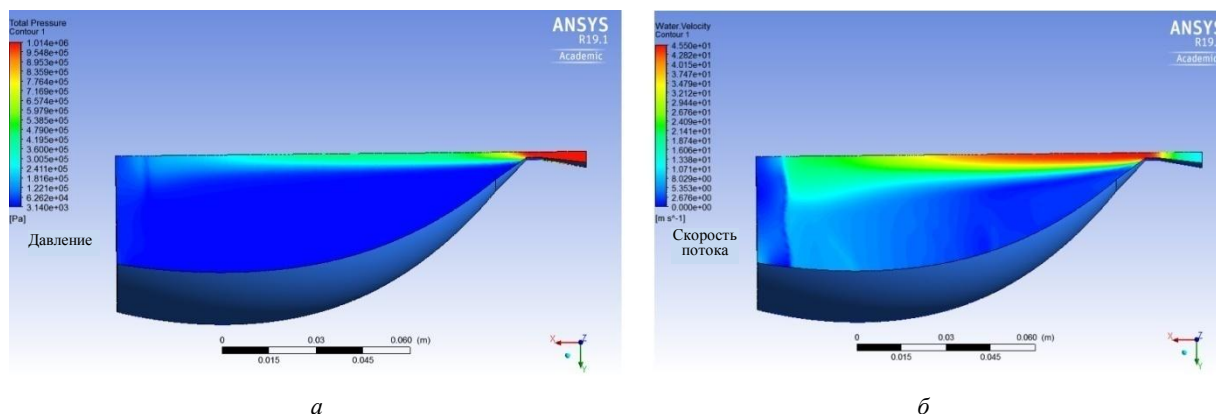


Рис. 4. Распределение полного давления (а) и скорости потока воды (б) в сечении модели брюшной полости рыбы

Критический перепад давления в кавитационной струе возникает на суженном участке сопла, что приводит к зарождению и отрыву от твердой поверхности кавитационной каверны. Паровые пузырьки потоком воды движутся по направлению к очищаемым участкам рыбы, где и претерпевают коллапс, оказывая эрозионное воздействие на внутреннюю стенку брюшной полости.

Заключение

В ходе экспериментов было показано, что при использовании разработанных авторами кавитаторов очистка рыбы от внутренностей без нарушения ее целостности происходит при давлении от 0,5 МПа до 1,5 МПа. Компьютерное моделирование процесса кавитационной очистки показало, что разработанный нами метод использования механического рабочего инструмента весьма эффективен за счет создания в брюшной полости рыбы достаточно протяженного, высокоскоростного кавитационного потока с высоким давлением. Предлагаемый нами способ весьма удобен в использовании, позволяет сохранить целостность тела рыб и, следовательно, высокое качество товарной продукции. Немаловажным его преимуществом является экологическая безопасность процесса очистки.

Рыба, как известно, принадлежит к скоропортящимся пищевым продуктам. Кавитация позволяет не только эффективно очищать наружную и внутреннюю поверхность рыбы, но и оказывает на обрабатываемую поверхность антибактериальное действие. Последнее обстоятельство, безусловно, способствует увеличению сроков переработки рыбы и транспортировки полученного из нее продукта.

Дополнительным преимуществом разработанного нами способа первичной обработки сырья является то, что он не требует разработки сложной технологической и проектной документации для создания новых и изменения существующих технологических процессов. Его применение способно обеспечить высокое качество продукции и максимальную производительность оборудования при минимальных затратах энергии.

Литература

1. Experimental study of effectiveness of robotic cleaning for fish-processing plants / L.A.L. Giske, E. Bjørlykhaug, T. Løvdaal, O.J. Mork // Food Control. – 2019. – Vol. 100. – P. 269–277.
2. Mason T.J. Ultrasonic cleaning: a historical perspective // Ultrasonics Sonochemistry. – 2016. – Vol. 29. – P. 519–523.
3. Hydrodynamic cavitation in combination with the ozone, hydrogen peroxide and the UV-based advanced oxidation processes for the removal of natural organic matter from drinking water / M. Cehovin, A. Medic, J. Scheideler // Ultrasonics Sonochemistry. – 2017. – Vol. 37. – P. 394–404.

4. Rotation generator of hydrodynamic cavitation for water treatment / *M. Petkovšek, M. Zupanc, M. Dular, T. Kosjek, E. Heath, B. Kompare, B. Širok* // Separation and Purification Technology. – 2013. – Vol. 118. – P. 415–423.
5. The issue of cavitation number value in studies of water treatment by hydrodynamic cavitation / *A. Šarc, T. Stepišnik-Perdih, M. Petkovšek, M. Dular* // Ultrasonics Sonochemistry. – 2017. – Vol. 34. – P. 51–59.
6. Particle adhesion and removal mechanisms in post-CMP cleaning processes / *A.A. Busnaina, H. Lin, N. Moumen, J.W. Feng, J. Taylor* // IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing. – 2002. – Vol. 15 – P. 374–382.
7. Particle cleaning technologies to meet advanced semiconductor device process requirements / *H.F. Okorn-Schmidt, F. Holsteyns, A. Lippert, D. Mui, M. Kawaguchi, C. Lechner, P.E. Frommhold, T. Nowak, F. Reuter, M.B. Piqué, C. Cairós, R. Mettin* // ECS Journal of Solid State Science and Technology. – 2014. – Vol. 3 – P. N3069–N3080.
8. *Henry C., Minier J.-P.* Progress in particle resuspension from rough surfaces by turbulent flows // Progress in Energy and Combustion Science. – 2014. – Vol. 45. – P. 1–53.
9. Scaling laws for jets of single cavitation bubbles / *O. Supponen, D. Obreschkow, M. Tinguely, P. Kobel, N. Dorsaz, M. Farhat* // Journal of Fluid Mechanics. – 2016. – Vol. 802. – P. 263–293.
10. Устройство для гидрокavitационной очистки поверхностей под водой: пат. 2522793 RU: B63B59/08, B08B3/02 / *Родионов В.П.*; заявитель и патентообладатель Родионов В.П. – № 2013108458/11; заявл. 27.02.2013; опубл. 20.07.2014. – 13 с.
11. Кавитатор Родионова В.П.: пат. 2568467 Рос. Федерация. № 2014142566; заявл. 22.10.2014; опубл. 20.11.2015. – 7 с.
12. Способ Родионова В.П. гидродинамической очистки поверхности: пат. № 2635232 Рос. Федерация; № 2016134995; заявл. 29.08.2016; опубл. 09.11.2017. – 21 с.
13. *Уколов, А.И., Родионов В. П. Старовойтов П. П.* Моделирование колеса центробежного насоса с максимальным эффектом кавитации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2017. – № 5. – С. 910–919.
14. *Уколов, А.И. Родионов В.П.* Верификация результатов численного моделирования и экспериментальных данных влияния кавитации на гидродинамические характеристики струйного потока // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Естественные науки». – 2018. – № 4. – С. 102–114.

Информация об авторах Information about the authors

Уколов Алексей Иванович – Керченский государственный морской технологический университет; 298309, Россия, Республика Крым, Керчь; кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры математики, физики и информатики; ukolov_aleksei@mail.ru

Ukolov Alexey Ivanovich – Kerch State Maritime Technological University; 298309, Russia, Kerch, Republic of Crimea; Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Mathematics, Physics and Informatics Chair; ukolov_aleksei@mail.ru

Родионов Виктор Петрович – Керченский государственный морской технологический университет; 298309, Россия, Республика Крым, Керчь; доктор технических наук, доцент, консультант отдела обеспечения научно-исследовательской деятельности; vik-rodio@yandex.ru

Rodionov Victor Petrovich – Kerch State Maritime Technological University; 298309, Russia, Kerch, Republic of Crimea; Doctor of Technical Sciences, Docent, Consultant of Research Activities Providing Department; vik-rodio@yandex.ru

Старовойтов Павел Петрович – Керченский государственный морской технологический университет; 298309, Россия, Республика Крым, Керчь, курсант; tornzaz@gmail.com

Starovoitov Pavel Petrovich – Kerch State Maritime Technological University; 298309, Russia, Kerch, Republic of Crimea; Cadet; tornzaz@gmail.com

РАЗДЕЛ II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 639.2.03:639.211(265.53)

В.В. Волобуев, М.Н. Горохов, И.С. Голованов, Л.Л. Хованская, А.В. Ямборко

НЕРКА *ONCORHYNCHUS NERKA* (WALBAUM) СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
МАТЕРИКОВОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОХОТСКОГО МОРЯ

В статье обобщены ранее опубликованные и приведены новые сведения о самом малочисленном из тихоокеанских лососей виде *Oncorhynchus nerka*, обитающем в водоемах северной части материкового побережья Охотского моря. Представлены данные о ее биологических показателях, структуре популяций, естественном воспроизводстве и хозяйственном использовании. Показано, что в Магаданской области нерка характеризуется относительно небольшими размерами и массой тела – 58–60 см и 2,5–2,8 кг. По условиям воспроизводства она делится на лимнофильный и реофильный экотипы, размножающиеся в озерах и руслах рек. Преобладающим экотипом является лимнофильный. Установлено, что в изученных популяциях наравне с проходной формой вида присутствуют неотенические жилые особи нерки, весь жизненный цикл которых проходит в нативных озерах. Среди жилой нерки 86–94% составляют самцы. Особенностью репродуктивной экологии лимнофильной нерки является то, что в период размножения карликовые жилые особи совместно с проходными образуют единый нерестовый пул.

Ключевые слова: возраст, воспроизводство, нерка, промысел, размерно-весовая характеристика, северо-запад Охотского моря.

V.V. Volobuev, M.N. Gorokhov, I.S. Golovanov, L.L. Khovanskaya, A.V. Yamborko

SOCKEYE SALMON *ONCORHYNCHUS NERKA* (WALBAUM)
FROM THE NORTH-EASTERN CONTINENTAL COAST OF THE OKHOTSK SEA

In this paper, we summarized previously published and newly obtained data on the least abundant Pacific salmon species, *Oncorhynchus nerka*, which is distributed on the northern continental coast of the Okhotsk sea. The data on its biological characteristics, population structure, natural reproduction and economic use are presented. It was stated that sockeye salmon from Magadanskaya oblast is characterized by a relatively small size (58–60 cm in length) and body weight (2,5–2,8 kg). Under the conditions of reproduction, it is divided into limnophilic and rheophilic ecotypes, which breed in the lakes and river mouths. The dominant ecotype is limnophilic one. It was found that in the studied populations along with the migratory species, there are neotenic landlocked individuals of sockeye salmon, the entire life cycle of which takes place in native lakes. 86–94% of the landlocked sockeye salmon are male individuals. The reproductive ecology peculiarity of limnophilic sockeye salmon is that during breeding season dwarf landlocked individuals together with migratory fish form a single spawning pool.

Key words: age, reproduction, sockeye salmon, fishery, size and weight characteristics, northwest of the Okhotsk sea.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-49-58

Введение

На североохотоморском побережье материка повсеместно распространены и основными объектами лососевого промысла являются горбуша, кета и кижуч. Нерка встречается только в ряде водоемов. Наиболее крупные ее популяции обитают в бассейнах рек Ола и Гижига, Охота и Иня. Добывается она в небольшом количестве как объект рекреационного рыболовства и в качестве прилова при промысле горбуши и ранней формы кеты. В соответствии с условиями размножения нерка делится на два экотипа: лимнофильный и реофильный. В популяциях нерки, обитающих в бассейнах рек Охота, Иня, Ола, обитает лимнофильный экотип [1–3], в р. Гижига – реофильный.

Согласно имеющимся в литературе данным, в конце 1920-х гг. заход производителей нерки в оз. Большое Уегинское (старое название Аглыкыть) достигал 100 тыс. рыб [4], в 1960-х гг.

ее численность снизилась до 10–20 тыс. рыб [1], и только в начале 2000-х годов ее заходы опять возросли до 42 тыс. рыб [5]. Численность ольской популяции нерки в 1996 г. составила 10 тыс. рыб [3]. В бассейне р. Иня она в те годы не учитывалась, однако нерестовый фонд только одного оз. Хэл-Дэги позволяет предполагать, что таковая могла достигать нескольких тысяч рыб. В бассейне р. Гижига численность популяции нерки в 1960-е годы составляла до 1 тыс. рыб, она и до сих пор ежегодно попадает в прилове при промышленном лове лососей. Судя по встречаемости в уловах, небольшие по численности низкопродуктивные популяции нерки существуют в других крупных реках региона: Парень, Авекова, Вархалам, Наяхан, Вилига, Яма, Яна, Тай. Кроме того, известно, что реофильная нерка заходит на нерест в малые реки североохотморского побережья длиной 19–22 км (Кулькуты, Быструха), и в некоторые средние водотоки протяженностью 50–90 км (Хоботá, Сиглан). Исследования нерки в озерно-речных системах были проведены как в Магаданской области (басс. рек Ола, Гижига), так и в сопредельном административном регионе (Охотский район Хабаровского края), который до 2000 г. контролировался МагаданНИРО, являясь продолжением единого в географическом отношении участка ее ареала [1, 6].

По срокам и местам размножения выделяют раннюю (весеннюю) и позднюю (летнюю) темпоральные расы нерки. Ранняя нерка воспроизводится преимущественно в притоках, впадающих в озера или в русловую часть рек, поздняя – в основном на литорали озер. Однако жестких различий по местам размножения у нерки обеих рас нет [7–8]. В пределах ареала существуют ее локальные стада без четко выраженных сезонных рас, стада переходного типа и стада с четко выраженными сезонными расами. Считается, что внутривидовая дифференциация у нерки на весеннюю и летнюю расы является следствием дизруптивного отбора [7].

На североохотморском побережье материка представлены популяции нерки с летним ходом на нерест. Численность практически всех ее популяций находится в депрессивном состоянии, в некоторых водотоках численность проходных рыб невелика, но высока численность резидентной нерки, развивающейся по карликовому типу, например, в озерно-речных системах Уегинской или Хэл-Дэги [1–2]. Целью настоящей публикации является обобщение имеющихся разрозненных сведений о нерке северной части материкового побережья Охотского моря и представление данных, основанных на новых сборах материалов начала XXI в.

Материал и методы

Материалы по численности заходов нерки в водотоки северо-западной части Охотского моря были собраны в разные годы сотрудниками МагаданНИРО. В 1969 г. О.А. Никулин и В.В. Волобуев обследовали оз. Большое Уегинское, расположенное в среднем течении р. Охота, впадающей в Охотское море, где ими было собрано 110 экз. проходной нерки, 46 экз. молоди и 58 экз. жилой резидентной нерки. В течение сентября 1982 г. В.В. Волобуев, А.Ю. Рогатных проводили исследования оз. Хэл-Дэги, расположенного в верхнем течении р. Иня, впадающей в Охотское море. Там было собрано 156 экз. нерки, из которых проходная форма составила 36 экз., молодь – 11 экз., карликовая резидентная форма – 109 экз. В августе 2010 г. материал по нерке (149 экз.: 124 экз. проходной, 13 экз. молоди, 12 экз. карликовой жилой) был собран И.С. Головановым, Л.Л. Хованской в оз. Киси, расположенном в верховье р. Ланковая – главном притоке р. Ола. В разные годы, с 1969 по 2018 гг., был собран материал по проходной нерке из приустьевой части рек Авекова, Гижига, Ола, Быструха. При этом общее количество рыб, подвергнутых биологическому анализу, достигло 1 485 штук: проходная форма нерки 1 236 экз., резидентная – 179 экз., молодь – 70 экз. Отлов рыб производили закидным неводом и ставными сетями с разным размером ячеи. Сбор и обработка материала проведены по И.Ф. Правдину [9]. Гонадо-соматический индекс (ГСИ) определяли как отношение массы гонад к массе рыбы, умноженное на 100.

Результаты и обсуждение

Обработка данных указанных выше полевых исследований позволила определить биологические характеристики нерки, обитающей в северо-западной части Охотского моря. В трех исследованных нерестово-выростных водоемах нерки (озера Большое Уегинское, Хэл-Дэги и Киси) воспроизводится лимнофильная нерка. В оз. Большое Уегинское в конце августа – сентябре на литорали наблюдается присутствие проходной нерки и карликовых самцов и самок, участвующих в размножении [1]. Молодь нерки до ската в море обитает в эпилимнионе озера, где питается зоопланктоном. Скат молоди в море происходит после одного (54,5%) и двух лет (45,5%) пребывания в озере.

Оз. Большое Уегинское находится на высоте 400 м над уровнем моря, в 200 км от устья р. Охота. Площадь озера 2,5 км², средняя глубина 16 м, максимальная – 28 м [6]. По своему происхождению оно относится к пойменному типу [10]. Рыбное население озера представлено неркой *Oncorhynchus nerka* (Walbaum), кижучем *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum), озерным гольцом-нейвой *Salvelinus neiva* Taranetz, пестроногим подкаменщиком *Cottus poecilopus* Heckel, озерным гольяном *Phoxinus phoxinus* Pallas, девятииглой колюшкой *Pungitius pungitius* (L.).

В 1969 г. проходная нерка здесь была представлена рыбами пяти возрастных групп (табл. 1). Преобладали рыбы возрастных групп с тремя проведенными в море годами – 75,4% (1.3 – 40,9% и 2.3 – 34,5%) (табл. 1). Средняя длина взрослой нерки разных возрастных групп колебалась от 44 до 64 см, масса тела – от 0,91 до 3,12 кг. Размеры и масса рыб, проводивших в море большее число лет, были более высокими. Показатели их абсолютной плодовитости были невысокими в связи с небольшими размерами рыб.

Таблица 1

Биологические показатели проходной нерки озера Большое Уегинское (по О.А. Никулину, [1])

Показатели	Возраст, лет				
	1.2	2.1	1.3	2.2	2.3
Длина по Смитту, см	45,0	44,2	57,4	53,2	64,5
Масса тела, г	972	910	2 190	1 578	3 119
Абсолютная плодовитость, икр.	1 892	–	2 869	2 563	3 533
Количество рыб	15	2	45	10	38

Примечание. Здесь и далее первая цифра записи возраста обозначает число лет жизни в пресных водах, вторая – время, проведенное в море. Данные по самцам и самкам пересчитаны по средневзвешенной и объединены.

Молодь нерки в оз. Большое Уегинское составила 46,9% от общего количества одновременно нагуливающих здесь молоди и карликовых особей (табл. 2 и 3). Молодь была представлена рыбами четырех возрастных классов: 0+, 1+, 2+ и 3+ лет. Самой многочисленной была возрастная группа сеголетков – 82,6%.

Таблица 2

Биологические показатели молоди нерки озера Большое Уегинское (по О.А. Никулину, [1])

Возраст, лет	Длина по Смитту, см	Масса тела, г	N
0+	8,7	11,8	38
1+	19,3	80,0	6
2+	20,5	89,0	1
3+	28,5	234,0	1

Следует отметить довольно высокий темп роста молоди и карликовых особей в оз. Большое Уегинское, что подчеркнуто в публикации О.А. Никулина [1]. Молодь, развивающаяся по карликовому типу, начинает созревать в возрасте двухлеток (1+). Их доля в выборке составила 80,8%. Среди жилой нерки были встречены самки, однако их доля составила лишь 5,8% (3 экз.) от общего количества резидентной нерки.

Таблица 3

Биологические показатели карликовой нерки озера Большое Уегинское

Возраст, лет	Длина по Смитту, см	Масса тела, г	N
1+	18,5	74,0	42
2+	25,5	175,5	2
3+	28,1	254,1	8

Озерно-речная система Хэл-Дэги включает в себя 15 озер разной величины. Наиболее крупное из них оз. Хэл-Дэги, площадь его зеркала составляет 8,75 км². Все данные озера имеют ледниковое происхождение. Расположены они на высоте 990 м над уровнем моря. Средняя глубина составляет 20 м, максимальная – 28 м [2]. Ихтиофауна оз. Хэл-Дэги представлена неркой, двумя формами озерного гольца *Salvelinus* sp. – «белым» и «красным», восточно-сибирским подвидом хариуса *Thymallus arcticus pallasii* Val. и бычком-подкаменщиком *Cottus poecilopus* Heckel.

В оз. Хэл-Дэги проходная нерка (36 экз.) была представлена семью возрастными группами: 1.1, 1.2, 2.1, 1.3, 2.2, 3.1, 2.3. Доминировали рыбы возрастной группы 2.1 (45,7%). Длина проходной нерки варьировала от 45 до 58 (52,1) см, масса тела – от 0,75 до 2,60 (1,67) кг.

В уловах доля молоди нерки по отношению к резидентной форме составила 10%. По темпу роста карликовая нерка опережает одновозрастную молодь. Жилая карликовая нерка встречалась в уловах в озерах Хэл-Дэги и Нижнее. В оз. Хэл-Дэги она была представлена в основном самцами (85,7%), доля самок составила 14,3%. В оз. Нижнее были встречены только карликовые самцы нерки. Жилые самцы из оз. Нижнее отличались от одновозрастных самцов оз. Хэл-Дэги меньшими показателями длины и массы тела: в среднем на 6 см и 95 г, что, по-видимому, свидетельствует о бедности его кормовой базы. В оз. Хэл-Дэги резидентная нерка созревает в возрасте 2+ лет. Доминируют возрастные группы трехлетних (2+) и четырехлетних (3+) рыб. Их суммарная численность составляла 90,8% (табл. 4). Показатели их длины варьировали от 17,2 до 26,0 см и составляли в среднем 22,1 см, показатели массы колебались от 55 до 210 г. и в среднем достигали 124,7 г. Абсолютная плодовитость карликовых самок была небольшой – 130–566 (329 в среднем) икринок при их диаметре 4,5–4,8 мм [2].

Таблица 4

Биологические показатели резидентной нерки озера Хэл-Дэги

Возраст, лет	Длина по Смитту, см			Масса тела, г			ИАП, икр.	N	%
	самцы	самки	оба пола	самцы	самки	оба пола			
2+	$18,9 \pm 0,2$ 17,2–24,7	–	$18,9 \pm 0,2$ 17,2–24,7	$75,1 \pm 2,2$ 55–150	–	$75,1 \pm 2,2$ 55–150	–	47	43,1
3+	$24,6 \pm 0,1$ 21,5–26,0	$24,7 \pm 0,3$ 23,7–25,6	$24,6 \pm 0,1$ 21,5–26,0	$164,5 \pm 2,7$ 110–210	$142 \pm 8,6$ 120–170	$162,3 \pm 2,7$ 110–210	$295 \pm 3,0$ 265–326	52	47,7
4+	$24,9 \pm 0,3$ 24,0–26,0	$25,2 \pm 0,2$ 24,7–25,5	$25,0 \pm 0,2$ 24,0–26,0	$181,7 \pm 7,9$ 160–210	$170 \pm 10,0$ <u>140–180</u>	$177,0 \pm 6,2$ 140–210	351 ± 12 130–566	10	9,2
Среднее	$21,8 \pm 0,3$ 17,2–26,0	$24,8 \pm 0,2$ 23,7–25,6	$22,1 \pm 0,3$ 17,2–26,0	$122,0 \pm 4,9$ 55–210	$154,4 \pm 7,8$ 120–180	$124,7 \pm 4,6$ 55–210	$329 \pm 7,1$ 130–566	109	100

Примечание. Здесь и далее над чертой приведена средняя арифметическая $\pm$ ошибка средней, под чертой – пределы варьирования признака.

Оз. Киси расположено в верховьях крупнейшего нерестового притока р. Ола – р. Ланковая. Площадь зеркала озера достигает 4,56 км², максимальная глубина – 13,5 м. Западная часть озера глубоководная, восточная, напротив, мелководная. Из юго-восточной части озера вытекает р. Ланковая, по которой нерка заходит на нерест в озеро. В состав ихтиофауны оз. Киси входят следующие виды: нерка, восточно-сибирский подвид хариуса, жилая кунджа *Salvelinus leucomaenis* (Pallas), девятиглая колюшка *Pungitius pungitius* (L.), трехглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* L., мальма *Salvelinus malma* (Walbaum), речной гольян *Phoxinus phoxinus* (L.).

В нерестово-выростном водоеме нерки оз. Киси возрастной состав ее проходной формы был представлен семью возрастными группами, среди них доминировали рыбы в возрасте 2.2 и 2.3 лет. На их долю приходилось 38,7% и 26,6% рыб соответственно. В уловах преобладали особи, которые провели два года в пресных водах (67,7%) и два года в море (55,6%) (табл. 5).

Таблица 5

Биологические показатели проходной формы нерки озера Киси

Возраст, лет	Длина тела по Смитту, см			Масса тела, кг			ГСИ, в % от массы целой		ИАП, икр.	Доля самок, %	экз.	%
	самцы	самки	оба пола	самцы	самки	оба пола	самцы	самки				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.2	$50,2 \pm 0,9$ 44,5–54,1	59,8	$51,0 \pm 1,2$ 44,5–59,8	$1,24 \pm 0,13$ 0,89–1,43	–	$1,24 \pm 0,13$ 0,89–1,43	–	–	–	9,1	11	8,9
1.3	$54,4 \pm 1,9$ 48,3–68,0	62,3	$55,0 \pm 1,9$ 48,3–68,0	$1,59 \pm 0,19$ 1,09–3,34	2,71	$1,69 \pm 0,20$ 1,09–3,34	–	16,42	4673	7,7	13	10,5
2.1	$38,3 \pm 1,1$ 37,0–40,5	–	$38,3 \pm 1,1$ 37,0–40,5	$0,60 \pm 0,06$ 0,52–0,72	–	$0,60 \pm 0,06$ 0,52–0,72	–	–	–	0	3	2,4
2.2	$51,5 \pm 0,4$ 46,3–60,0	$56,8 \pm 3,3$ 52,0–63,0	$51,8 \pm 0,4$ 46,3–63,0	$1,45 \pm 0,04$ 1,01–2,42	$2,11 \pm 0,44$ 1,48–2,95	$1,49 \pm 0,05$ 1,01–2,95	$2,96 \pm 0,32$ 2,56–3,58	$16,69 \pm 0,86$ 15,00–17,83	4343 ± 771 3477–5880	6,3	48	38,7

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.3	56.0 ± 1.7 48,0–70,3	58.5 ± 1.1 48,4–63,7	57.0 ± 1.1 48,0–70,3	2.00 ± 0.20 1,16–4,21	2.25 ± 0.18 0,95–2,87	2.09 ± 0.14 0,95–4,21	4.35 ± 0.18 4,17–4,53	15.47 ± 1.11 12,02–22,68	3771 ± 384 1906–5649	42,4	33	26,6
3.2	51.3 ± 1.8 41,2–59,6	56.3 ± 2.3 54,0–58,5	52.3 ± 1.6 41,2–59,6	1.50 ± 0.16 0,77–2,24	2.06 ± 0.31 1,75–2,37	1.61 ± 0.15 0,77–2,37	3,35	17.29 ± 1.00 16,28–18,29	3185 ± 1185 2000–4370	20,0	10	8,1
3.3	62.0 ± 2.9 53,0–67,5	62,0	62.0 ± 2.4 53,0–67,5	2.56 ± 0.32 1,69–3,27	2,52	2.55 ± 0.26 1,69–3,27	–	15,31	3696	16,7	6	4,8
Общее	52.7 ± 0.6 37,0–70,3	58.4 ± 0.8 48,4–63,7	53.7 ± 0.5 37,0–70,3	1.60 ± 0.07 0,52–4,21	2.25 ± 0.13 0,95–2,95	1.71 ± 0.06 0,52–4,21	3.49 ± 0.32 2,56–4,53	16.01 ± 0.63 12,02–22,68	3857 ± 284 1906–5880	17,7	124	100

Средняя длина проходной нерки была 53,7 см (при варьировании длины от 37,0 до 70,3 см), средняя масса – 1,71 кг (при размахе варьирования признака от 0,52 до 4,21 кг), что, как показано на рис. 1, намного больше, чем у жилой формы вида. Наибольшие размеры имели особи с более продолжительным морским периодом жизни (табл. 5). ГСИ самцов изменялся от 2,56 до 4,53, самок – от 12,02 до 22,68. Средние значения ГСИ самцов и самок составили соответственно 3,49 и 16,01. Доля самок по всем возрастным группам была низкой – 17,7%, и лишь у рыб в возрасте 2.3 она достигала 42,4% от общей численности пойманных рыб. В остальных случаях доля самок не превышала 20%. Это, вероятно, указывает на селективный отбор самок нерки на путях миграции.



Проходная (сверху) и жилая карликовая (внизу) формы нерки из оз. Киси

Нерка оз. Киси характеризовалась относительно высокой плодовитостью – 3 857 икринок. Относительная плодовитость составляла 66 икр./1 см длины или около 17 икр./10 г массы тела. При этом нерка имела мелкую икру. Ее средняя масса была 0,104 г, при изменении массы икринок от 0,069 до 0,160 г.

Отметим, что в оз. Киси был отловлен 1 экз. нерки в возрасте 2.0, 37 см длины и массой тела 520 г. У него была хорошо выражена широкая зона морского прироста, характерная для «каюрок», то есть тех особей, которые выходят в прибрежье для нагула на один летний сезон и опять возвращаются в озеро уже в зрелом состоянии. В группе сеголетков встречаемость молоди составила 33,3%, в возрасте 2+ – 58,3%, в возрасте 3+ – 8,4%. Среди рыб в возрасте 4+ молодь отсутствовала. Все изученные особи этой группы были половозрелыми представителями резидентной нерки.

Линейно-весовые показатели у молоди нерки варьировали в широких пределах: длина их тела по Смитту колебалась от 3,9 до 23,9 см, масса – от 0,58 до 140 г. Возрастной состав рыб в изученных уловах был представлен тремя группами: 0+, 2+ и 3+. Особи в возрасте 1+ отмечены не были. Основу уловов, 58,3% от общей численности пойманных рыб, составляли особи в возрасте 2+ (табл. 6). Невысокая численность молоди, по нашему мнению, свидетельствует об исключительно низком уровне воспроизводства нерки в период 2007–2009 гг.

Таблица 6

Биологические показатели молоди нерки озера Киси

Возраст, лет	Длина по Смитту, см	Масса тела, г	N
0+	$4,6 \pm 0,5$ 3,9–6,1	$1,09 \pm 0,42$ 0,58–2,35	4
2+	$17,6 \pm 0,2$ 16,8–18,4	$52,50 \pm 3,35$ 45,00–65,00	6
3+	23,9	140,00	2

Как и в других угнетенных малочисленных популяциях нерки материкового побережья Охотского моря (оз. Б. Уегинское, оз. Хэл-Дэги) [1, 2], в оз. Киси, наравне с молодью, в уловах встречены карликовые резидентные самцы нерки. Вся жилая нерка (12 экз.) была представлена исключительно самцами. Их доля в общей выборке нерки составила 8,0%. Как уже было указано выше, в оз. Большое Уегинское и Хэл-Дэги, помимо карликовых самцов, были встречены и самки: их доля от общей численности рыб составила 5,8% и 14,3% соответственно. Следует отметить, что встречаемость молоди и жилых карликовых самцов в оз. Киси была одинаковой. В конце августа карликовые самцы имели гонады в III–V стадиях зрелости. Возрастной состав жилой нерки оз. Киси был представлен тремя группами: от 2+, 3+ и 4+ лет. Их длина по Смитту варьировала от 14,0 до 31,8 см (средняя – 22,5 см), масса тела – от 40 до 340 г (средняя – 150 г). Основу уловов составляли рыбы в возрасте 3.0. Их гонадо-соматический индекс (ГСИ) изменялся от 5,0 до 12,5, в среднем был равен 9,42 (табл. 7).

Таблица 7

Биологические показатели жилой формы нерки озера Киси

Возраст, лет	Длина тела по Смитту, см	Масса тела, г	ГСИ в % от массы целой рыбы	Количество рыб
2+	$15,9 \pm 0,7$ 14,0–17,5	$50,5 \pm 0,01$ 40–60	$11,11 \pm 1,39$ 8,33–12,50	4
3+	$24,4 \pm 1,6$ 21,1–31,8	$170,2 \pm 0,04$ 100–340	$7,73 \pm 1,36$ 5,00–9,09	6
4+	$30,0 \pm 1,3$ 28,7–31,2	$270,8 \pm 0,03$ 240–300	–	2

В целом проходная нерка, заходящая в реки Магаданской области, характеризуется сравнительно небольшими размерно-весовыми показателями. Средняя по годам длина тела варьирует от 57,2 до 63,6 см, масса тела – от 2,23 до 2,81 кг. Максимальная длина нерки составляет 72 см, масса – 5,3 кг. Самцы в среднем крупнее самок. Средняя длина самцов в популяциях варьирует от 57,3 до 65,6 см при колебаниях признака от 48 до 72 см, самок – от 56,4 до 62,2 см при колебаниях длины от 43 до 72 см (табл. 8). По-видимому, в больших реках (Гижига, Авекова, Ола) нерка более крупная, чем в малых (р. Быструха).

Изученный нами материал дает возможность судить о размножении нерки. Ее нерестовая миграция в р. Охоту начинается в июне и заканчивается в начале августа. Основной ход наблюдается в июле. В первую очередь заполняются нерестилища нерки в озерах, расположенных в среднем и верхнем течении р. Охота и ее крупнейшем правом притоке Делькю Охотская: в оз. Нек, Кучи, Хаканджа, Хизинджа, Черпулай. В пресных водах нерка имеет наиболее продолжительный миграционный путь по сравнению с другими видами лососей, обитающими в реках материкового побережья Охотского моря. По р. Охоте протяженность анадромной миграции нерки до оз. Большое Уегинское составляет около 210 км. До верхних нерестовых озер нерки расстояние составляет 280–310 км (озера Нек, Хаканджа и др.) [11].

Несмотря на ранние сроки анадромной миграции, размножение обсуждаемого вида в оз. Большое Уегинское происходит в конце августа – сентябре. Прежде чем приступить к нересту, производители нерки заходят в озеро и некоторое время (2–3 недели) держатся в эпилимнионе, а затем после созревания распределяются по нерестилищам.

Таблица 8

Некоторые биологические показатели популяций проходной нерки Магаданской области

Год	Длина тела, см			Масса тела, кг			ГСИ, в % от массы целой		ИП, икр.	Доля самок, %	N, экз.
	самцы	самки	оба пола	самцы	самки	оба пола	самцы	самки			
р. Авекова											
1969	$\frac{62,8 \pm 0,5}{60,0-64,5}$	$\frac{56,7 \pm 0,7}{50,0-60,5}$	$\frac{58,7 \pm 0,7}{50,0-64,5}$	$\frac{3,39 \pm 0,10}{2,90-3,80}$	$\frac{2,53 \pm 0,09}{1,70-3,00}$	$\frac{2,81 \pm 0,10}{1,70-3,80}$	–	–	–	66,7	27
р. Гижига											
2001	$\frac{65,0 \pm 1,6}{62,0-67,5}$	$\frac{60,4 \pm 0,9}{55,5-64,5}$	$\frac{61,5 \pm 1,0}{55,5-67,5}$	$\frac{3,22 \pm 0,21}{2,80-3,48}$	$\frac{2,57 \pm 0,16}{1,74-3,38}$	$\frac{2,72 \pm 0,15}{1,74-3,48}$	$\frac{2,63 \pm 0,35}{2,01-3,21}$	$\frac{9,39 \pm 0,45}{5,99-11,26}$	$\frac{4889 \pm 507}{1827-7656}$	76,9	13
2002	–	$\frac{62,1 \pm 1,2}{57,2-69,5}$	$\frac{62,1 \pm 1,2}{57,2-69,5}$	–	$\frac{2,56 \pm 0,1}{2,09-3,14}$	$\frac{2,56 \pm 0,1}{2,09-3,14}$	–	$\frac{10,21 \pm 0,74}{5,73-13,47}$	$\frac{5001 \pm 778}{2421-8192}$	100	10
р. Ола											
1995	$\frac{64,2 \pm 0,7}{55,0-70,0}$	$\frac{61,4 \pm 0,3}{58,0-67,0}$	$\frac{62,5 \pm 0,3}{55,0-70,0}$	$\frac{3,11 \pm 0,09}{1,80-3,90}$	$\frac{2,57 \pm 0,04}{1,90-3,35}$	$\frac{2,77 \pm 0,05}{1,80-3,90}$	$\frac{1,55 \pm 0,15}{0,64-4,88}$	$\frac{4,76 \pm 0,14}{0,90-7,08}$	$\frac{3154 \pm 436}{2057-5495}$	63,9	97
1996	$\frac{64,5 \pm 1,0}{51,0-71,0}$	$\frac{62,0 \pm 0,3}{55,0-72,0}$	$\frac{62,7 \pm 0,4}{51,0-72,0}$	$\frac{3,10 \pm 0,13}{1,53-4,20}$	$\frac{2,66 \pm 0,05}{1,87-3,98}$	$\frac{2,80 \pm 0,06}{1,53-4,20}$	$\frac{1,49 \pm 0,15}{0,58-4,81}$	$\frac{4,52 \pm 0,10}{1,76-6,02}$	–	69,1	97
1997	$\frac{65,6 \pm 0,7}{52,0-71,0}$	$\frac{62,2 \pm 0,4}{54,0-69,0}$	$\frac{63,6 \pm 0,4}{52,0-71,0}$	$\frac{3,10 \pm 0,11}{1,62-4,00}$	$\frac{2,55 \pm 0,05}{1,73-3,38}$	$\frac{2,78 \pm 0,06}{1,62-5,26}$	$\frac{2,71 \pm 0,17}{0,61-5,26}$	$\frac{5,28 \pm 0,13}{3,66-7,56}$	–	58,6	99
1998	$\frac{58,6 \pm 1,9}{48,0-67,0}$	$\frac{58,6 \pm 0,8}{50,0-64,0}$	$\frac{58,6 \pm 0,8}{48,0-67,0}$	$\frac{2,34 \pm 0,26}{1,14-4,00}$	$\frac{2,31 \pm 0,09}{1,40-3,36}$	$\frac{2,32 \pm 0,10}{1,14-4,00}$	–	–	–	68,2	44
1999	$\frac{62,2 \pm 0,9}{56,0-72,0}$	$\frac{59,8 \pm 0,3}{51,0-68,0}$	$\frac{60,8 \pm 0,3}{50,0-72,0}$	$\frac{2,85 \pm 0,13}{1,93-3,63}$	$\frac{2,49 \pm 0,04}{1,60-5,31}$	$\frac{2,63 \pm 0,04}{1,43-5,31}$	$\frac{4,02 \pm 0,54}{0,94-6,97}$	$\frac{5,17 \pm 0,10}{1,90-7,64}$	$\frac{3656 \pm 71}{1088-5580}$	63,0	181
2001	$\frac{63,4 \pm 1,1}{57,8-68,7}$	$\frac{61,1 \pm 0,7}{56,5-64,6}$	$\frac{62,1 \pm 0,7}{56,5-68,7}$	$\frac{2,73 \pm 0,16}{2,00-3,50}$	$\frac{2,39 \pm 0,1}{1,75-2,83}$	$\frac{2,54 \pm 0,1}{1,75-3,50}$	–	–	–	57,1	21
2002	$\frac{62,7 \pm 0,7}{55,0-69,0}$	$\frac{59,9 \pm 0,3}{52,0-64,0}$	$\frac{60,9 \pm 0,4}{52,0-69,0}$	$\frac{2,69 \pm 0,11}{1,60-3,60}$	$\frac{2,41 \pm 0,04}{1,77-3,11}$	$\frac{2,50 \pm 0,05}{1,00-3,60}$	$\frac{3,10 \pm 0,20}{0,70-6,30}$	$\frac{5,80 \pm 0,20}{3,20-8,60}$	$\frac{3389 \pm 140}{1912-6144}$	65,5	87
2010	$\frac{65,1 \pm 1,3}{59,0-69,0}$	$\frac{61,2 \pm 0,9}{58,0-64,0}$	$\frac{62,8 \pm 1,0}{58,0-69,0}$	$\frac{2,81 \pm 0,12}{2,36-3,24}$	$\frac{2,43 \pm 0,14}{1,97-2,85}$	$\frac{2,59 \pm 0,11}{1,97-3,24}$	$\frac{1,99 \pm 0,28}{1,28-2,67}$	$\frac{16,43 \pm 2,36}{10,73-25,57}$	$\frac{4069 \pm 281}{2902-4680}$	42,9	14
2012	$\frac{57,3 \pm 1,3}{48,0-67,5}$	$\frac{58,3 \pm 0,6}{52,0-62,0}$	$\frac{57,8 \pm 0,7}{48,0-67,5}$	$\frac{2,18 \pm 0,17}{1,17-3,28}$	$\frac{2,27 \pm 0,07}{1,54-2,86}$	$\frac{2,23 \pm 0,09}{1,17-3,28}$	$\frac{3,01 \pm 0,30}{0,61-5,61}$	$\frac{6,05 \pm 0,29}{4,46-10,31}$	$\frac{1236 \pm 96}{516-2096}$	51,7	58
2013	$\frac{61,0 \pm 1,9}{53,0-69,0}$	$\frac{56,4 \pm 0,6}{43,0-62,0}$	$\frac{57,2 \pm 0,6}{43,0-69,0}$	$\frac{2,80 \pm 0,25}{1,97-4,10}$	$\frac{2,33 \pm 0,06}{1,65-3,50}$	$\frac{2,41 \pm 0,07}{1,65-4,10}$	$\frac{3,64 \pm 1,06}{1,94-8,73}$	$\frac{8,01 \pm 0,66}{4,36-18,82}$	$\frac{3428 \pm 197}{1113-7483}$	82,9	41
2018	$\frac{60,6 \pm 0,4}{50,5-69,5}$	$\frac{57,3 \pm 0,2}{52,0-62,5}$	$\frac{58,7 \pm 0,3}{50,5-69,5}$	$\frac{2,67 \pm 0,05}{1,58-3,22}$	$\frac{2,24 \pm 0,02}{1,54-2,84}$	$\frac{2,42 \pm 0,03}{1,54-3,22}$	$\frac{2,45 \pm 0,10}{1,02-4,70}$	$\frac{5,74 \pm 0,12}{2,99-9,13}$	$\frac{1912 \pm 37}{830-2618}$	58,3	163
р. Быструха											
1998	$\frac{62,8 \pm 1,7}{60,0-67,0}$	$\frac{58,0 \pm 0,8}{53,0-62,0}$	$\frac{59,3 \pm 0,9}{53,0-67,0}$	$\frac{2,74 \pm 0,22}{2,40-3,34}$	$\frac{2,11 \pm 0,09}{1,70-2,50}$	$\frac{2,28 \pm 0,11}{1,70-3,34}$	$\frac{2,84 \pm 1,34}{1,50-4,17}$	$\frac{14,54 \pm 1,06}{9,20-20,53}$	$\frac{4816 \pm 302}{3696-6552}$	73,3	15

Примечание. Над чертой средняя арифметическая и ошибка средней, под чертой – пределы варьирования признака.

Нерестилища нерки располагаются по литорали озера на выходах грунтовых вод или в «чашах» – родниковых заводях, лимнокренах. Глубины, на которых нерка строит нерестовые гнезда, колеблются от 0,5 до 4–5 м. Поверхностная температура воды в Большом Уегинском озере в сезон открытой воды изменялась от 2,0°C (май) до 18,7°C (июль), понижаясь к сентябрю. Особенности вертикального распределения температуры воды в эпипелагиали озера и ее высокие перепады от 16–18°C на поверхности до 6,5–7,2°C на глубине 10 м свидетельствуют о наличии здесь в июле – сентябре термоклина. Ранее об этом сообщал О.А. Никулин [6].

Обследование мелководных нерестилищ нерки в Б. Уегинском озере показало, что температура воды над буграми в конце сентября колебалась от 8,5 до 11,6°C, поверхностная температура воды изменялась от 13,4 до 14,6°C. На глубине 20–28 см в грунте нерестовых бугров температура варьировала в более узком диапазоне – от 7,1 до 7,6°C. Нерка строит нерестовые гнезда на участках литорали, имеющих выходы глубинных подземных вод (апвеллинги) с довольно стабильной температурой. Содержание кислорода в воде в районе нерестилищ с мая по сентябрь изменялось от 11,8 до 10,6 мг/л, минимальные показатели его отмечены в июле – 9,6–9,9 мг/л, рН был близок к нейтральному и за период открытой воды изменялся от 6,8 до 7,2 [12].

Температура поверхностного слоя воды на нерестилищах нерки оз. Хэл-Дэги во II декаде сентября колебалась от 8,5 до 9,5°C. Совместный нерест жилой и проходной нерки проходит в сентябре на литорали оз. Хэл-Дэги. К середине сентября численность жилой нерки в 20–30 раз превосходила численность проходной формы.

Анадромная миграция проходной нерки в устье р. Ола наблюдается с июня по сентябрь. Массовый нерестовой ход происходит с середины июня по первую половину июля. Миграционный путь по реке до оз. Киси составляет около 190 км. После захода в озеро производители около месяца держатся в эпилимнионе, где происходит их созревание, затем распределяются по нерестилищам. К нересту нерка приступает только со второй половины августа, и длится он до середины сентября.

Нерестилища нерки в оз. Киси располагаются по литорали озера на выходах грунтовых вод, а также в чаше ручья, впадающего в озеро на северо-западном участке побережья. Глубины, на которых нерка строит нерестовые гнезда, колеблются от 0,4 до 2 м. Не исключено, что ее нерестилища могут располагаться и на больших глубинах.

Нерестилища, расположенные на литорали озера и в чаше ручья, резко различаются по температурному режиму. В грунте чаши температура воды была постоянной и составляла 1,25°C. Например, на нерестилищах реофильной нерки р. Коль (западная Камчатка) средняя температура воды в местах выхода грунтовых вод составляет 2,6°C, а в осенне-весенний период не опускается ниже 2,0°C [13]. На нерестилищах, расположенных на литорали оз. Киси, температура была существенно выше и составляла в среднем 6,9°C, при колебаниях от 6,75 до 7,25°C. Таким образом, водоснабжение нерестилища в чаше ручья осуществлялось исключительно за счет ключей, а литоральные нерестилища, по-видимому, имели смешанный тип питания – ключевой и приповерхностный таликовый. Грунт нерестилищ сложен мелким щебнем без гальки и песка. В состав нерестового фонда обсуждаемого вида в бассейне р. Ола входят нерестилища группы озер Мак-Мак и Чека. Однако численность производителей нерки в этих озерах, судя по данным П.И. Пузикова [3], невелика, около 150 рыб.

Как уже было сказано выше, нерка относительно многочисленных популяций (реки Охота, Иня, Ола) представлена проходной и немигрирующей формами. Карликовая резидентная и проходная формы нерки составляют единую популяцию, и представители первой формы активно участвуют в совместном нересте на одних и тех же нерестилищах. При этом по соотношению полов у жилой формы преобладают самцы (86–94%), у проходной – самки (57–69%).

Известно, что в реки с большой протяженностью (например, Гижига) реофильная форма вида заходит со слабо развитыми гонадами, и созревание ее представителей происходит по мере подъема к нерестовым участкам, а также в период отстаивания на нерестилищах, тогда как в малые реки (например, в р. Быструху) она заходит уже с хорошо развитыми половыми железами. Нерест происходит в основном русле рек и в притоках первого порядка. Одно из известных нерестилищ в бассейне р. Гижига расположено в районе п. Камешки – протока Нярка (около 70 км от устья). Там в 60-е годы XX в. размножалось до 1 тыс. рыб. Заход реофильной нерки отмечен и в левый приток р. Гижига – р. Ахавейм, впадающий в р. Гижига на расстоянии 91 км от ее устья.

Численность и промысел. В Магаданской области наиболее многочисленная популяция нерки обитает в р. Ола. Имеются сведения, что в 1996 г. численность подхода нерки в р. Ола со-

ставила 10 тыс. рыб [3]. Однако в последующие годы уровень подходов был намного ниже, а в результате проведенных авиаучетов производителей нерки на нерестилищах оз. Киси в последние годы ее численность не превышала 500 рыб, что дает основание говорить о том, что эта популяция находится в депрессивном состоянии. Тем не менее, несмотря на свою небольшую численность, нерка р. Ола является важным объектом рекреационного рыболовства. Она добывается как объект спортивно-любительского рыболовства в период нерестового хода горбуши и ранней кеты. В начале XXI в. ежегодно выделялось от 2 до 3,5 т нерки для обеспечения спортивно-любительского рыболовства и прилова при промысле других видов лососей. Среднегодовой уровень вылова нерки в р. Ола за 2005–2018 гг. составил около 0,9 т (табл. 9).

Таблица 9

Вылов нерки в реке Ола, т

2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Средняя
2,0* 0,90	2,0 0,93	2,5 1,56	3,0 0,64	3,0 0,35	3,0 0,91	3,0 0,30	3,5 1,66	3,5 1,00	3,5 1,44	3,5 0,53	3,0 1,19	3,0 0,87	3,0 0,93	3,0 0,94

Примечание. Над чертой показан рекомендованный объем вылова, под чертой – фактический вылов.

Причин недоиспользования рекомендуемого объема вылова как минимум две. Первая – отсутствие достоверной информации по промысловому использованию популяции рыболовами-любителями, вторая – неучтенные уловы нерки в период, когда нерка совершает массовую миграцию в реки региона, а лососевая путина официально еще не открыта.

Заключение

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что в Магаданской области нерка представлена небольшими по численности популяциями. Наиболее крупные из них обитают в бассейнах рек Ола и Гижига. В ряде других лососевых рек данный вид встречается единично. Несмотря на сравнительно небольшую численность популяций, он является важным и наиболее привлекательным объектом рекреационного рыболовства. В рамках спортивно-лицензионного лова и в научно-исследовательских и контрольных целях в Магаданской области ежегодно добывают около одной тонны нерки. По особенностям воспроизводства она разделяется на лимнофильный и реофильный экотипы, размножающиеся в озерах или же в руслах рек. Преобладающим экотипом является лимнофильный. Установлено, что в исследованных популяциях наравне с проходной формой присутствуют представители неотенической жилой формы вида, жизненный цикл которых ограничен нативными озерами. Среди жилой нерки преобладают самцы – до 86–94%. В период размножения карликовые жилые особи и представители проходной формы вида образуют единый нерестовый пул. Причем в некоторых озерах (оз. Хэл-Дэги) численность жилой карликовой нерки намного выше, чем проходной. Размножение нерки происходит на литорали озер или в реках в местах выхода грунтовых вод.

По основным биологическим показателям нерка Магаданской области характеризуется относительно небольшими размерами и массой тела – 58–60 см и 2,5–2,8 кг. В целом для воспроизводства вида имеется достаточно большой нерестовый фонд. Очевидно, ее численность можно увеличить за счет мероприятий по искусственному воспроизводству, как это уже практиковалось в 1990-е гг. XX в. Кроме того, необходимо усилить охрану нерки и меры по борьбе с ее браконьерским ловом.

Литература

1. Никулин О.А. О связи между снижением абсолютной численности красной *Oncorhynchus nerka* (Walb.) и увеличением относительной численности карликов среди нагуливающейся молодежи в оз. Уегинском (Охотский район) // Известия ТИНРО. – 1970. – Т. 71. – С. 205–215.
2. Волобуев В.В., Рогатных А.Ю. Экология и видовой состав рыб озерно-речной системы Хэл-Дэги (континентальное побережье Охотского моря) // Тезисы докладов конференции «Биологическое разнообразие животных Сибири». – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1998. – С. 125–130.
3. Пузиков П.И. Нерка североохотоморского побережья и методы формирования ее заводских популяций // Тезисы докладов региональной научной конференции «Северо-Восток России: проблемы экономики и народонаселения». – Магадан, 1998. – Т. 1. – С. 104–105.

4. Правдин И.Ф. Обзор исследований дальневосточных лососей // Известия ТИНРО. – 1940. – Т. 18. – 107 с.
5. Пономарев С.Д. Аэровизуальное обследование и сравнительная оценка численности производителей нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) в бассейне р. Охота // Бюл. № 3 Реализация «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». – 2008. – С. 193–195.
6. Никулин О.А. Воспроизводство красной *Oncorhynchus nerka* (Walb.) в бассейне р. Охоты // Труды ВНИРО. – 1975. – Т. 106. – С. 97–105.
7. Коновалов С.М. Популяционная биология тихоокеанских лососей. – Л.: Наука, 1980. – 237 с.
8. Бугаев В.Ф. Азиатская нерка. – М.: Колос, 1995. – 464 с.
9. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 376 с.
10. Томирдиаро С.В., Крохин Е.М. Озера. Север Дальнего Востока. – М.: Наука, 1970. – 488 с.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – Т. 19. – 332 с.
12. Волобуев В.В., Рогатных А.Ю. Условия воспроизводства лососей рода *Oncorhynchus* материкового побережья Охотского моря // Вопросы ихтиологии. – 1997. – Т. 37, № 5. – С. 612–618.
13. Кузищин К.В., Груздева М.А., Павлов Д.С. Биология «речной» нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) бассейна реки Коль (Западная Камчатка) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: материалы X международной научной конференции, посвященной 300-летию со дня рождения Г.В. Стеллера. – Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2009. – С. 276–280.

Информация об авторах Information about the authors

Волобуев Владимир Васильевич – Магаданский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; 685000, Россия, Магадан; кандидат биологических наук; советник; volobuev@magadanniro.ru

Volobuev Vladimir Vasilievich – Magadan Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography “VNIRO”, 685000, Magadan; Candidate of Biological Sciences; Advisor; volobuev@magadanniro.ru

Горохов Максим Николаевич – Магаданский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; 685000, Россия, Магадан; руководитель Магаданского филиала ФГБНУ «ВНИРО»; magadanniro@magadanniro.ru

Gorokhov Maxim Nikolaevich – Magadan Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography “VNIRO”, 685000 Magadan; Head of Magadan Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography “VNIRO”; magadanniro@magadanniro.ru

Голованов Игорь Станиславович – Магаданский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; 685000, Россия, Магадан; заведующий лабораторией; Salmon_magniro@mail.ru

Golovanov Igor Stanislavovich – Magadan Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography “VNIRO”, 685000 Magadan; Head of Laboratory; Salmon_magniro@mail.ru

Хованская Лариса Леонидовна – Магаданский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; 685000, Россия, Магадан; кандидат биологических наук; ученый секретарь; nerka61@mail.ru

Khovanskaya Larisa Leonidovna – Magadan Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography “VNIRO”, 685000 Magadan; Candidate of Biological Sciences; Scientific Secretary; nerka61@mail.ru

Ямборко Алексей Владимирович – Магаданский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; 685000, Россия, Магадан; кандидат биологических наук; заведующий сектором; yamborkoav@magadanniro.ru

Yamborko Alexey Vladimirovich – Magadan Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography “VNIRO”, 685000 Magadan; Candidate of Biological Sciences; Head of Sector; yamborkoav@magadanniro.ru

УДК 574.2:639.222.2

В.В. Горбачев, А.А. Смирнов**ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ВНУТРИВИДОВУЮ СТРУКТУРУ ТИХООКЕАНСКОЙ СЕЛЬДИ
(*CLUPEA PALLASII*)**

Обобщены и проанализированы литературные данные и материалы авторов по влиянию основных факторов среды на внутривидовую структуру тихоокеанской сельди по всему ареалу ее обитания. В общей сложности анализу подвергнуты данные изучения сельди в 26 районах побережья Евразии и Северной Америки. На основании объединенных эколого-биологических и генетических данных проводится кластеризация выборок сельди из Северного Ледовитого и Тихого океанов. Показано, что на основании генетических данных и особенностей роста и развития вида можно выделить три метапопуляции сельди: трансарктическую, азиатскую (азиатско-тихоокеанскую) и североамериканскую. В работе определено влияние на популяционные параметры сельди таких факторов, как температура воды, соленость и обилие зоопланктона. Установлено, что в течение жизни сельди происходит смена ведущего лимитирующего фактора. На первом году жизни таковым является температура воды, в последующем, когда сеголетки мигрируют из прибрежной в мористую часть акватории, основным лимитирующим фактором становится обилие корма ($p < 0,05$ для обоих факторов). В работе также рассмотрено непосредственное и отсроченное влияние на состояние популяций сельди антропогенного фактора.

Ключевые слова: генетические маркеры (ДНК), метапопуляция, метаанализ эколого-биологических данных, тихоокеанская сельдь, экологические факторы.

V.V. Gorbachev, A.A. Smirnov**INFLUENCE OF ECOLOGIC-BIOLOGIC AND GENETIC FACTORS ON INTRASPECIFIC
STRUCTURE OF PACIFIC HERRING (*CLUPEA PALLASII*)**

In this paper, we summarized and analyzed data from published references and our personal materials on the influence of main environmental factors on intraspecific structure of the Pacific herring on its whole distribution area. In total, we analyzed data collected from 26 areas located on the coast of Eurasia and North America. Herring from the Arctic and Pacific Oceans were clustered based on combined ecological-biological and genetic data. As shown, it is possible to distinguish three herring metapopulations, such as trans-arctic, Asian (Asian-Pacific) and North American, on the basis of genetic data and growth characteristics and development of the species. The influence of the following factors on the parameters of herring populations were determined, such as seawater temperature, salinity and abundance of zooplankton. As established, change of the leading limiting factor occurs during the life of the herring. In the first year of life, this includes seawater temperature; later, when the fingerlings migrate from the coastal part to the seaward area, the main limiting factor is the abundance of food ($p < 0,05$ for both factors). The direct and delayed influence of the anthropogenic factor on the condition of herring populations is also discussed.

Key words: genetic markers (DNA), metapopulation, meta-analysis of ecological and biological data, Pacific herring, environmental factors.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-59-70

Введение

Тихоокеанская сельдь (*Clupea pallasii*) исследуется уже более 100 лет, и к настоящему времени накоплен огромный объем данных, посвященных экологии, генетике и различным аспектам биологии данного вида. Однако, несмотря на длительный период исследований, большинство работ ранее проводились в рамках локальных географических регионов, что увеличивало потребность в обобщении результатов, полученных ранее по всему ареалу [1, 2]. Актуальность подобных обобщающих исследований растет с каждым годом ввиду того, что научная методология усложняется, а объем накапливаемых знаний увеличивается в нелинейной зависимости. Поэтому в настоящее время в биологии получили распространения работы, выполняемые с приме-

нением метаанализа – метода биостатистики, предполагающего переосмысление первичных результатов, полученных другими исследователями [3]. К областям, где подобные подходы могут быть успешно реализованы, относятся и работы по изучению внутривидовой структуры рыб, особенно в связи с условиями их обитания. Это позволяет выявлять междисциплинарные не описанные ранее связи, в том числе между генетикой и экологией. Помимо популяционной структуры, вторым немаловажным предметом исследований является ранжирование экологических факторов по степени их возможного влияния на биологию вида.

Исследования популяционной структуры тихоокеанской сельди ранее проводились с применением морфометрических методов [1, 4–5]. Однако понимание возможности онтогенетической изменчивости вида и влияния на количественные признаки условий обитания способствовало применению в популяционных исследованиях генетических методов. Исторически ранее появились методы, оценивающие полиморфизм аллозимов [6, 7], а с появлением полимеразно-цепной реакции (ПЦР) стали применяться методы, учитывающие единичные мутации в молекулярных маркерах, например, таких как митохондриальная ДНК (далее мтДНК) или микросателлиты [7–10]. В настоящее время разработка методов кластеризации позволила использовать для одного и того же анализа результаты, полученные из различных источников, что дало импульс для обобщения различных независимых величин [11]. Подобный подход позволяет использовать комплексные эколого-биологические и генетические результаты, как взятые из литературы, так и опубликованные нами ранее.

Ввиду того, что генетические исследования, опубликованные нами ранее [9], охватывали почти весь ареал тихоокеанской сельди, представлялось целесообразным произвести объединение, совместный анализ генетических и эколого-биологических данных и оценку влияния последних на внутривидовую генетическую структуру тихоокеанской сельди.

Материалы и методы

В качестве материалов для исследования послужили собственные неопубликованные и опубликованные нами ранее генетические данные [9, 12], а также данные по таким биологическим характеристикам изучаемого вида, как размерный состав популяций, темпы роста сельди и влияние на него условий обитания [1, 13–23]. Нами также были использованы многолетние значения солености и температуры воды, биомассы зоопланктона в разных частях ареала сельди. Они были взяты из метеорологических онлайн-сервисов (<https://www.ndbc.noaa.gov/>) или литературных источников [1, 24–37]. Для проведения сравнительно-аналитических исследований использовали непараметрические методы статистики. Полученные значения сводили в таблицу в программе Excel 2010 и анализировали в программе Statistica ver.10.0. Нумерации выборок для дендрограмм, построенных на основании генетических и эколого-биологических данных, не совпадают между собой.

Результаты и обсуждения

Приведем результаты опубликованных нами популяционно-генетических работ по сельди [9, 12, 38], которые охватывают почти весь ареал ее обитания. На рис. 1 и 2 показаны места взятия обработанных в ходе этих исследований проб и дендрограмма ближайшего сходства (соответственно), построенная на основании полиморфизма контрольного региона мтДНК с помощью описанного нами ранее метода [12]. Для построения диаграммы было использовано более 1 600 последовательностей. Для проведения статистической обработки данных в качестве аутгруппы была взята атлантическая сельдь (*Clupea harengus*) – выборка под номером 12 на рис. 2.

Как видно из дендрограммы (рис. 2), генетически внутривидовая структура тихоокеанской сельди представлена двумя кластерами, внутри которых дифференциация между выборками в целом незначительная ($p > 0,05$). Однако несколько выборок показали устойчивое отличие ($p < 0,05$) от остальных. Это выборки под номером 4 (оз. Айнское, о. Сахалин), 23 (зал. Портейдж, Британская Колумбия), 9 (Анадырский залив) и 11/13 (Белое море). Две последние при этом объединились в один микрокластер. Это дает основание предполагать наличие трех метапопуляций во внутривидовой структуре тихоокеанской сельди. Одна из них – метапопуляция морей Дальнего Востока, вторая – метапопуляция западного побережья Тихого океана и третья – метапопуляция Северного Ледовитого океана.

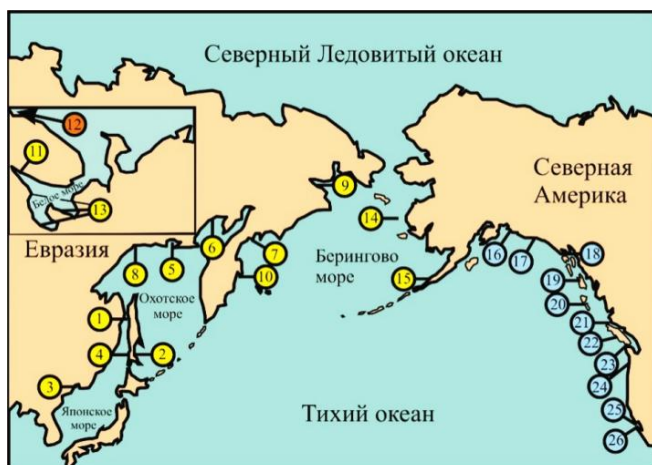


Рис. 1. Карта-схема мест сбора материала. Все выборки, помеченные желтым цветом, относятся к евразийской группе и на карте располагаются западнее полуострова Аляска, остальные, помеченные синим, – североамериканские

Примечание. В качестве внешней группы взята атлантическая сельдь Норвежского моря (выборка 12, оранжевый цвет)

Основанием для использования термина «метопуляция» при описании внутривидовой структуры сельди послужили некоторые аргументы: приемлемость почти для всех выборок модели пространственной экспансии (потока генов), свидетельствующей о наличии значимых миграций (от 4 до 50% на поколение), и многочисленные свидетельства того, что флуктуация численности в различных частях ареала сельди приводила к изменению нерестовых и кормовых ареалов, к их расширению или сужению и смешиванию рекрутов из разных скоплений, с перекрывающимися между собой районами распространения.

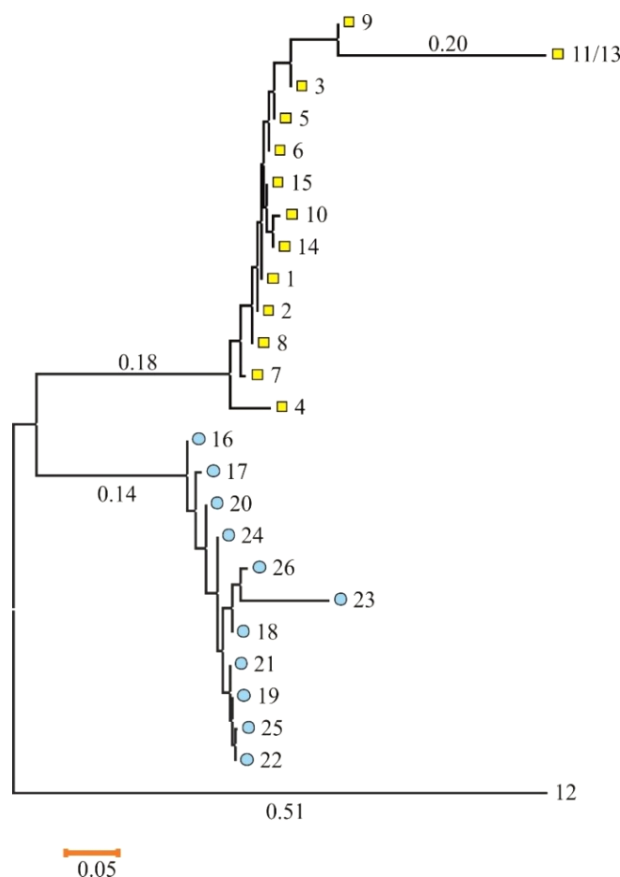


Рис. 2. Nj – дендрограмма, рассчитанная на основании попарных генетических дистанций. Выборка под номером 12 – атлантическая сельдь, взята в качестве внешней группы

Примечание. Номера с синими и круглыми метками – североамериканские выборки, номера с желтыми квадратными метками – евроазиатские. Цифры на ветвях – генетические дистанции. В нижней части рисунка приведена размерная шкала

После получения данных о дифференциации внутривидовой структуры тихоокеанской сельди необходимо было решить вопрос: возможно ли сопоставление результатов эколого-биологических и генетических исследований? Для этого были обобщены кривые роста сельди по всему ареалу. Результаты этих исследований представлены на рис. 3. Ввиду многочисленных пересечений в кривых роста и сложности их описания эти данные сами по себе обсуждаться в тексте не будут, отметим лишь, что всего для анализа использовали 17 выборок, собранных вдоль побережья Тихого океана от Желтого моря до Калифорнии, а в акватории Северного Ледовитого океана – собранных в Белом, Баренцевом, Карском и Чукотском морях.

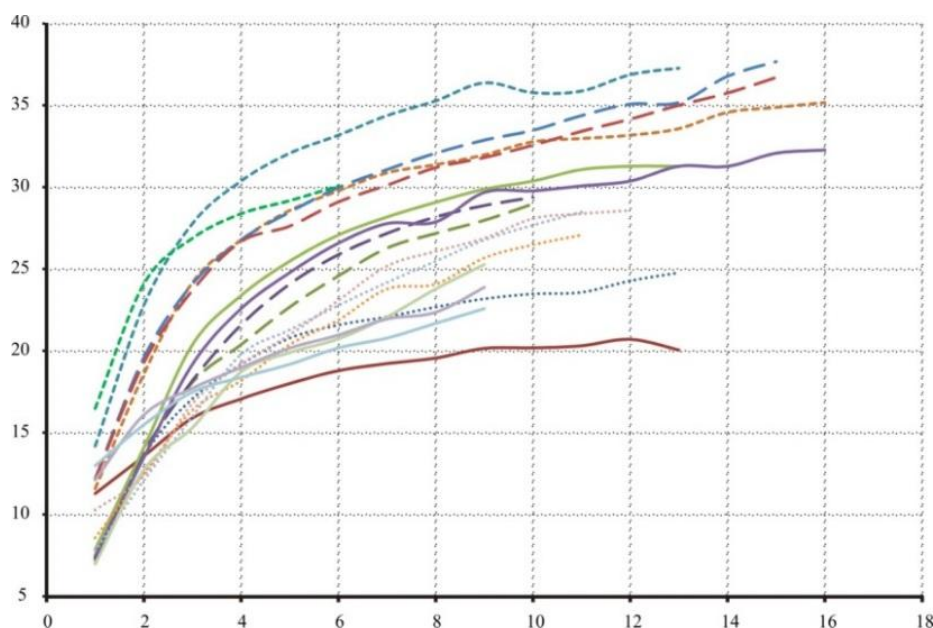


Рис. 3. Обобщенные данные по кривым роста.

На шкале абсцисс указаны годы жизни сельди, на шкале ординат – средняя длина ее тела (см)

Даже в первом приближении можно заметить, что все кривые разделяются на три группы по их кривизне в начале графика (это свойственно для всех евразийских выборов), а также по темпам роста, начиная с первого года жизни сельди.

На основании полученных кривых роста нами была построена матрица попарных расстояний, с учетом которой была построены дендрограмма сходства кривых роста (рис. 4) и граф многомерного шкалирования (рис. 5). Нумерация выборов одинакова для обоих рисунков и соответствует таковой на рис. 1.

На дендрограмме хорошо выделяются три кластера, отмеченные разным цветом. Самый верхний, окрашенный синим цветом кластер объединяет все выборки сельди из Белого, Карского, Баренцева, Чукотского морей с медленным ростом. К нему же, как это ни удивительно, относятся выборки их северных частей Охотского и Берингова морей.

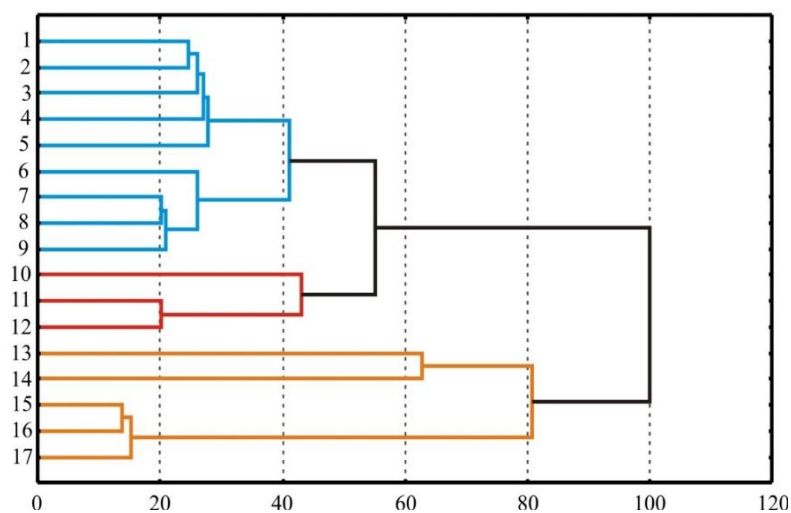


Рис. 4. Дендрограмма сходства, построенная на основании кривых роста тихоокеанской сельди в разных частях ареала. На оси ординат указаны номера выборов, на шкале абсцисс – условное расстояние размерностью 0 до 100

Весьма логичным, с одной стороны, однако весьма обескураживающим является то, что выборки сельди из Охотского моря по темпам ее роста кластеризуются с выборками из Северного Ледовитого океана, вместе с тем в обсуждаемом кластере они вместе с выборкой из Анадырского залива образуют собственную подгруппу (рис. 4, номера выборов 6–9). Скорее всего, это связано с близкими гидрологическими и температурными условиями обитания в северных частях Охотского и Берингова морей, определяющими темпы роста рыб.

Средний кластер рис. 4 (номера 10–12), окрашенный красным цветом, образуют североамериканские выборки. Он полностью совпадает с генетическим кластером на дендрограмме рис. 2. В нижний оранжевый кластер входят выборки сельди из Желтого, Японского и южной части Берингова морей с наиболее высокими темпами роста (номера 13–17).

Для более детального изучения внутривидовой эколого-биологической и генетической дифференциации тихоокеанской сельди был смоделирован граф многомерного шкалирования (рис. 5). На нем, как и на предыдущем рисунке, можно легко заметить наличие трех кластеров или трех скоплений точек, но эколого-биологические и генетические значения в них согласуются между собой лишь частично. При детальном анализе данных возможно заметить, что евразийским выборкам свойствен больший разброс значений, чем для североамериканских. С одной стороны, все они характеризуются высокой скоростью роста после первого года жизни, а затем при достижении 3–4-летнего возраста – ее заметным уменьшением, с другой стороны, все выборки из морей Евразии (западнее полуострова Аляска) растут в течение более длительного периода и достигают больших средних размеров.

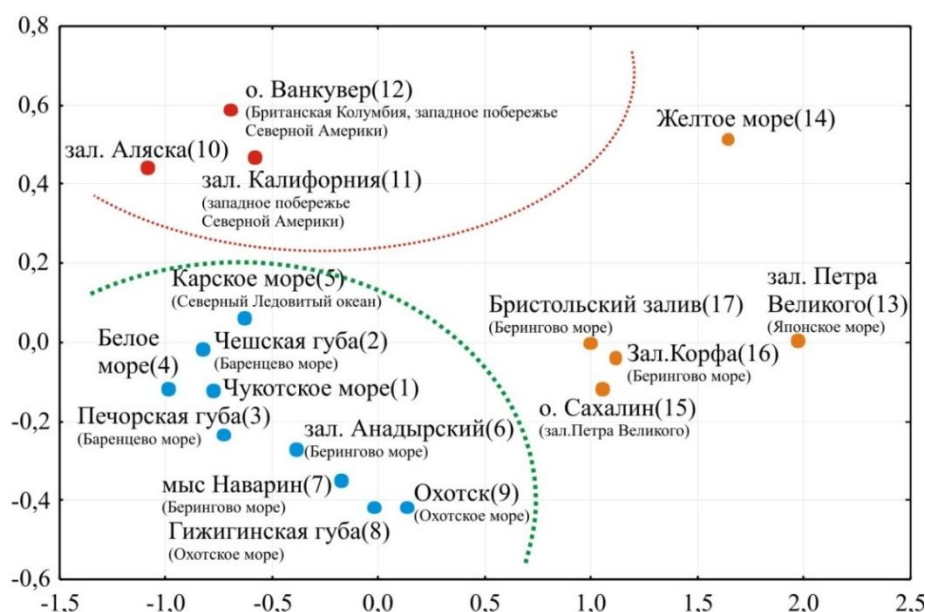


Рис. 5. Граф многомерного шкалирования. Шкалы – условное двумерное математическое пространство, в котором были распределены выборки. В верхней части рисунка отделены выборки сельди с побережья Северной Америки, в нижней левой части – выборки с арктического и северо-западного побережья Евразии

Для всех североамериканских выборок замечен более сглаженный рост, притом что сами рыбы достигают меньшей длины. В данном случае можно утверждать, что специфика роста помимо экологических факторов определяется генетическими признаками, поскольку такие экологические факторы, как кормность, соленость или температура воды, могут увеличивать разброс значений для кривых роста, но не могут менять кривизны линий на графике, представленном на рис. 3. «Азиатская генетическая линия», по нашему мнению, имеет столь сильный разброс значений в первую очередь по причине значительных изменений гидрологических условий и кормности районов, расположенных в разных частях весьма обширной дальневосточной части ареала.

Для определения общего тренда было произведено объединение всех кривых роста в соответствии с их географической принадлежностью (рис. 6). Представленные на рисунке данные показывают, что для сельди из североамериканских выборок свойственна высокая скорость роста в первый год жизни и ее постепенное замедление в последующие годы. Сельдь из Северного Ледовитого океана и морей Дальнего Востока имеет иную тенденцию линейного роста. С одной стороны, это не удивительно – в литературе существуют данные, что личинки сельди из Британской Колумбии в своем раннем развитии могут достигать 27 мм длины [39] и, следовательно, переходят в стадию малька при большей длине. Личинки сельди в дальневосточных скоплениях трансформируются в мальков уже при достижении длины чуть более 20 мм [1]. Мы не исключаем, что эти особенности роста закреплены на генетическом уровне. Кривая темпов роста для североамериканской сельди в целом имеет более пологий вид, чем для сельдевых популяций

из дальневосточных морей и Северного Ледовитого океана. Для последних популяций свойствен более медленный рост в самом начале развития и более высокий в течение второго и третьего годов жизни. Именно это позволяет им заметно обгонять в росте североамериканскую сельдь.

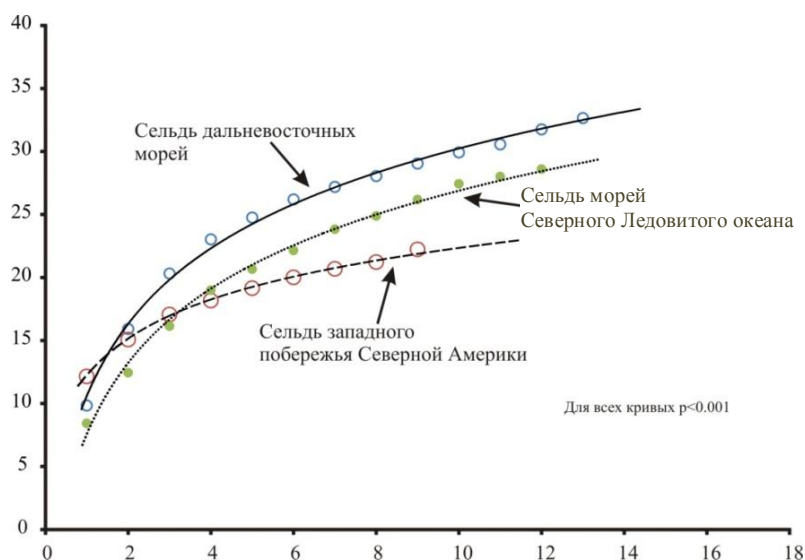


Рис. 6. Обобщенные тренды роста для выборок сельди из акваторий Дальнего Востока, Северного Ледовитого океана и Северной Америки. На оси абсцисс – возраст сельди в годах, на оси ординат – длина тела рыб в см. Доверительный интервал (95%) не показан

Мы предположили, что подобное явление связано с изменением лимитирующего экологического фактора, действующего в период раннего развития рыбы, продолжающегося от момента вылупления личинки до одного года, и последующей заменой его другим лимитирующим фактором. Чтобы проверить это предположение, мы проанализировали влияние на развитие сельди солености, кормности и температуры воды. Для проверки предположений о зависимости между экологическими факторами и темпами роста была определена степень их корреляции и дана статистическая оценка уровня ее значимости. Результаты этих расчетов представлены на рис. 7.

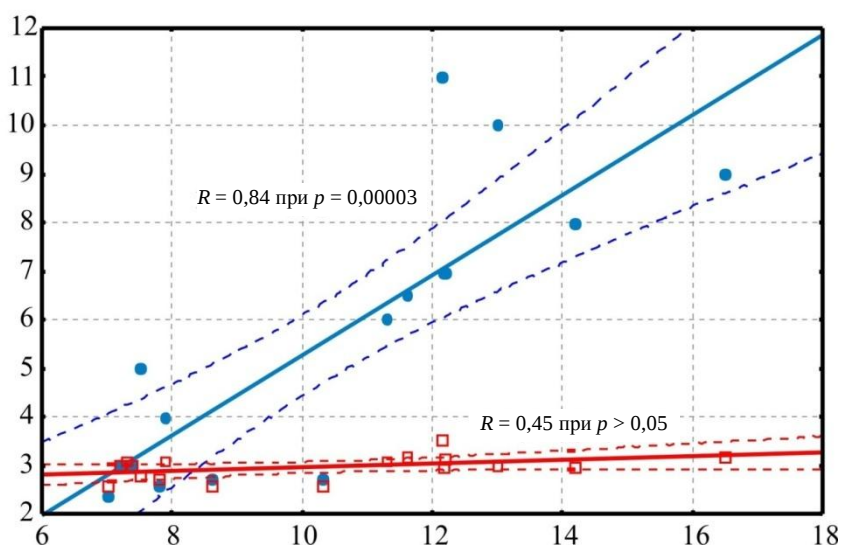


Рис. 7. Корреляционная зависимость между температурой (синий тренд) и соленостью (красный тренд) воды и ростом сельди на первом году жизни. На оси абсцисс – длина рыбы в см, на оси ординат – значения экологического фактора в метрических единицах (для солености ‰, для температуры $^{\circ}\text{C}$)

Проверка статистической значимости корреляции показала, что между температурой и ростом сельди выявлена сильная корреляционная зависимость с низким уровнем значимости. Для солености такая зависимость не выявлена. Проверка предположения о влиянии на скорость роста сельди кормности водоема (оценивали значения биомассы зоопланктона в мг/м^3 в различных частях ареала сельди) показала значительную отрицательную зависимость для первого года жизни, хотя в свою очередь так же, как и для солености, статистически не значимую.

Исходя из этого, был сделан вывод о том, что основным лимитирующим фактором в первый год жизни сельди является температура воды, поскольку даже при бедной кормовой базе малек сельди быстрее набирает вес и длину, когда соотношение трат на единицу питания у него недостаточно высоко. Таким образом, мы полагаем, что для успешного роста на первом году жизни важно не обилие корма само по себе, а соотношение затрачиваемой энергии на единицу питания и энергии, высвобождаемой от усвоения этого корма. В теплых акваториях такое соотношение действует в пользу набора массы из-за пониженных энергетических затрат молодых особей, а в холодных акваториях – наоборот. Однако это не объясняет, почему тренды роста «переворачиваются», и малые по размеру сеголетки из морей Евразии обгоняют североамериканскую сельдь в последующие годы.

Как уже отмечалось выше, мы полагаем, что на разных этапах жизненного цикла сельди происходит смена лимитирующих экологических факторов. Для проверки этого предположения мы оценили, как изменяется значение корреляции в разные годы жизни сельди, вплоть до шестого, при попарном сравнении данных по температуре, солености и биомассе зоопланктона. Результаты этих исследований представлены на рис. 8. Они свидетельствуют о том, что влияние температуры перестает быть статистически значимым уже на четвертом году жизни. В первый – третий годы жизни значение r колеблется от 0,00003 до 0,033 и по мере увеличения возраста рыб уменьшается. При этом корреляционная зависимость на протяжении первых шести лет жизни носит высоко достоверный характер (самый верхний тренд на рис. 8). Значения корреляции между размерами разновозрастных рыб и соленостью воды и кормностью акваторий носят случайный характер и статистически незначимы. Они приведены на рис. 8. Их анализ показывает, что корреляция между размерами сельди и температурой и соленостью имеет обратную зависимость, а между размерами сельди и обилием кормов – прямую.

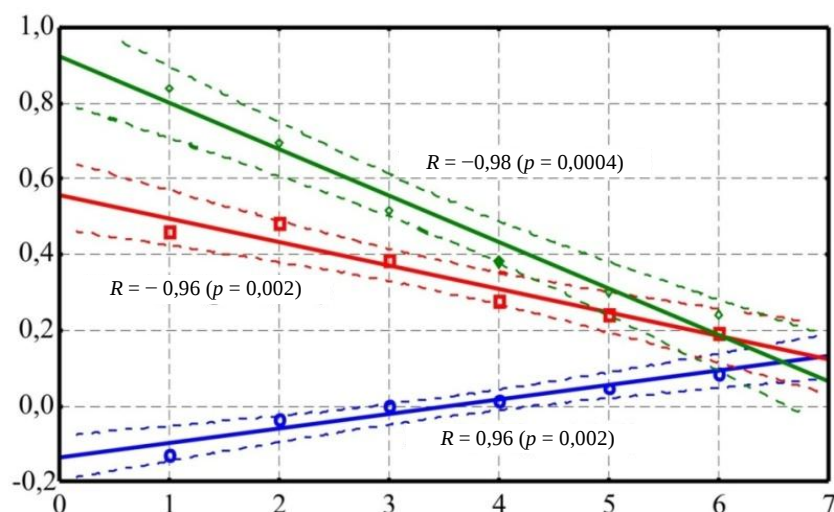


Рис. 8. Изменение значений корреляции между скоростью роста сельди в разные годы жизни и температурой (зеленая линия), соленостью (красная линия) и обилием корма (синяя линия). На оси абсцисс – возраст рыб в годах, а по оси ординат – значения корреляции для каждого года жизни, объединенные в общий график

Таким образом, на основании рис. 8 можно сделать обоснованный вывод о том, что на первом году жизни температура действительно является лимитирующим фактором, достоверно коррелирующим с размером сеголеток. Обилие кормов как фактор влияет на рост рыбы в обратной зависимости – то есть сеголетки сельди из теплых, но бедных по биомассе зоопланктона акваторий в целом превышают по размерам сеголеток из холодных, но богатых зоопланктоном морей. По мере взросления, когда сеголетки покидают «домашний» прибрежный биотоп и мигрируют в мористую часть акватории, температура как фактор начинает влиять на рост рыбы в меньшей степени. С каждым годом это значение уменьшается, пока к четвертому году жизни не становится статистически незначимым по причине того, что рыбы могут выбирать оптимальные для себя температурные условия (мигрировать).

При этом начиная со второго года жизни обилие кормов оказывает прямое влияние на длину и размеры молоди сельди (не исключая при этом влияние генетического фактора, поскольку степень кривизны на графиках роста не устраняется изменениями экологических условий). Начиная с третьего года зависимость становится положительной для всех анализируемых выборок.

Это свидетельствует о замене одного лимитирующего фактора на другой. Что касается солёности, то обратная зависимость для этого фактора объясняется, по-видимому, высокой, увеличивающейся с возрастом способностью сельди к поддержанию постоянства внутренней среды.

На состояние популяций сельди, как было сказано выше, оказывает влияние антропогенный фактор. Его, к сожалению, невозможно выразить в виде однообразных метрических величин, а следовательно, сложно просчитать с использованием простых моделей, а также по причине того, что он носит слабо предсказуемый характер. Оценка антропогенной нагрузки затруднена еще и потому, что при воздействии на организм и популяцию рыб она проявляется себя непосредственно (выловом сельди) и опосредованно (загрязнением окружающей среды; уничтожением нерестовых биотопов сельди; разрушением пищевых цепей). Первое проявляется в виде нерационального использования ресурсов тихоокеанской сельди, ведущего к снижению численности ее популяций, уменьшению размеров, искажения частот генетических признаков и, следовательно, внутривидовой структуры. Так, отметим, что в прошлом столетии тихоокеанская сельдь почти по всему ареалу испытала депрессивное уменьшение численности [40].

Что касается опосредованного воздействия, то оно проявляется не только в загрязнении окружающей среды химическими агентами, но и в уменьшении устойчивости пищевых цепей, включающих сельдь. Так, согласно недавнему исследованию Н.И. Науменко [41], зоопланктон способен потреблять микроскопические частицы пластика, образующегося при разрушении в морской среде бытового мусора. Они скапливаются в пищеварительном тракте рачков и негативно влияют на всю последующую пищевую цепь.

Подводя итог исследованию, проведем объединение эколого-биологических и генетических данных в одну таблицу. Для этого нами было выделено в последовательностях гипервариабельного сегмента 1 мтДНК 7 филогенетически информативных мутаций (P_i), влияющих на образование кластеров между выборками, они были внесены в общую таблицу для кластеризации в программе Statistica и обчислены совместно для каждой выборки с данными по трендам роста. Итоговые реконструкции с учетом полученных обобщенных значений представлены на рис. 9.

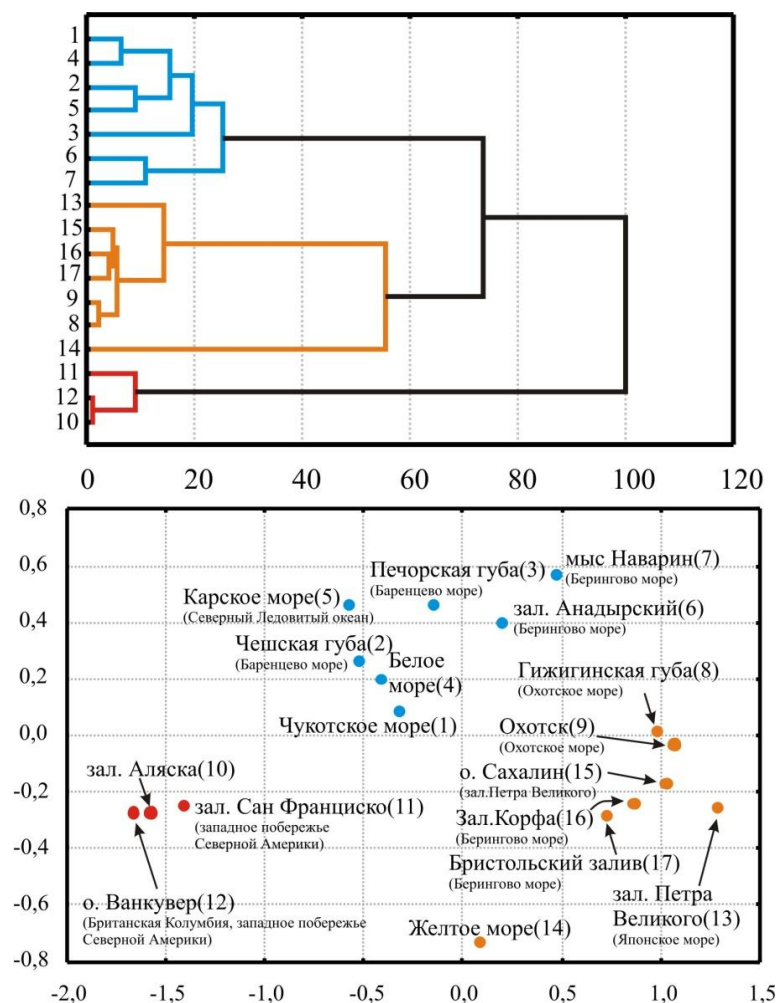


Рис. 9. Объединенный рисунок многомерного шкалирования и дендрограммы сходства

Примечание. Шкалы – условное двумерное математическое пространство, в рамках которого были распределены выборки

С применением совмещенных генетико-эколого-биологических данных также можно увидеть наличие трех кластеров. На дендрограмме они более соответствуют объективным значениям и кластеризуются по географическому признаку. Например, выборки из Охотского моря, показанные на рис. 9, демонстрируют большую близость с выборками из Берингова и Японского морей. Все это подтверждает возможность проведения междисциплинарных исследований, интегрирующих результаты, полученные с применением разных методик.

Наложение результатов кластеризации на географическую карту позволяет очертить границы распространения в Северном полушарии выделенных нами трех метапопуляций тихоокеанской сельди (рис. 10).



Рис. 10. Карта-схема, суммирующая данные генетических и эколого-биологических исследований сельди

Примечание. Выделены ареалы трех метапопуляций сельди: трансарктическая метапопуляция (ареал заштрихован наклонными линиями (темно-синий цвет), в акватории Северного Ледовитого океана); азиатская метапопуляция (ареал заштрихован перекрестными линиями (оранжевый цвет), в акваториях морей Дальнего Востока вплоть до берегов Аляски); североамериканская метапопуляция (ареал заштрихован наклонными линиями (красный цвет), в акваториях восточнее Аляски и вдоль побережья Северной Америки)

Из рис. 10 видно, что метапопуляция, обитающая в акватории Северного Ледовитого океана, имеет дизруптивный ареал. Она, как и дальневосточная метапопуляция сельди, относится к одной генетической линии. Границы ареала дальневосточной метапопуляции простираются от Желтого моря до берегов Аляски и отчасти пересекаются с ареалом трансарктической метапопуляции сельди в северной части Берингова моря (генетически сельдь из Анадырского залива ближе к сельди Белого моря – рис. 2, выборки 9, 11–13). По данным генетического анализа, полиморфизм этих двух метапопуляций падает с юга на север. Это постепенное генетическое обеднение можно объяснить удалением от мест с оптимальными условиями обитания [9, 12].

Границы распространения североамериканской метапопуляции простираются от южной части полуострова Аляска вплоть до полуострова Калифорния. Сельдь может смешиваться в той части ареала, где метапопуляции граничат друг с другом. При этом уровень миграций несимметричный. Доля мигрантов из морей Дальнего Востока в акваторию залива Аляска составляет около 1%. Обратные миграции в Чукотское и Берингово моря незначительны, за все время исследований были встречены всего две особи из североамериканской метапопуляции [9, 12, 38].

Заключение

Сравнительный анализ результатов изучения генетического и эколого-биологического разнообразия и сходства представителей тихоокеанской сельди, собранных в 26 районах, охватывающих весь ареал ее распространения в Северном Ледовитом и Тихом океанах, показывает, что, исходя из различий ее биологических, экологических и генетических данных, во внутривидовой структуре тихоокеанской сельди можно выделить три кластера, каждый из которых пред-

ставляет отдельную метапопуляцию. При этом на границах ареалов этих метапопуляций возможно смешивание (поток генов).

На популяционную структуру сельди влияют множество факторов внешней среды, и по мере взросления сельди происходит смена ведущего лимитирующего фактора. В ранний период, по нашему мнению, таковым является температура, а в поздний – обилие кормов (биомасса зоопланктона). По этой причине пересекаются тренды роста из разных географических районов обитания тихоокеанской сельди.

У берегов Северной Америки экологические факторы, воздействующие на местные скопления сельди, более однообразны, однако особи, обитающие в этих условиях, показывают большее генетическое разнообразие. Напротив, выборки сельди у берегов Евразии по генетическим признакам более однородны, однако экологические факторы, свойственные для разных районов распространения вида, имеют больший разброс значений. В первую очередь это касается температуры и обилия кормов.

Литература

1. Науменко Н.И. Биология и промысел морских сельдей Дальнего Востока. – Петропавловск-Камчатский: Камчат. печат. двор, 2001. – 330 с.
2. Whitehead P. Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupeiidae). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. – 1985. – Vol. 125. – 303 p.
3. Norman S.T. Tutorial in biostatistics. Meta-analysis: formulating, evaluating, combining, and reporting // Statistics in Medicine. – 1999. – № 18. – P. 321–359.
4. Смирнов А.А. К вопросу популяционной принадлежности сельди, пойманной дрейферными сетями в юго-восточной части Охотского моря в июне 2000 г. // Известия ТИНРО. – 2002. – Т. 130, ч. III. – С. 1212–1214.
5. Смирнов А.А. Гижигинско-камчатская сельдь. – Магадан: МагаданНИРО, 2009. – 149 с.
6. Grant W.S., Utter F.M. Biochemical population genetics of Pacific herring (*Clupea pallasii*) // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 1984. – Vol. 41. – P. 856–864.
7. Domanico M.J., Phillips R.B., Schweigert J.F. Sequence variation in ribosomal DNA of Pacific (*Clupea pallasii*) and Atlantic herring (*Clupea harengus*) // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 1996. – Vol. 53. – P. 2418–2423.
8. Genetic structuring among Alaskan Pacific herring populations identified using microsatellite variation / M. O'Connell, M.C. Dillon, J.M. Wright, P. Bentzen, S. Merkouris, J. Seeb // Journal of Fish Biology. – 1998. – Vol. 53. – P. 150–163.
9. Effect of Pleistocene climatic fluctuations on the phylogenetic and demographic histories of Pacific herring (*Clupea pallasii*) / J. Liu, A. Tatarenkov, T. Beacham, V.V. Gorbachev, S. Wildes, J. Aise // Molecular Ecology. – 2011. – Vol. 20. – № 18. – P. 3879–3893.
10. Laakkonen H. M., Lajus D. L., Strelkov P., Väinölä R. Phylogeography of amphiboreal fish: tracing the history of the Pacific herring *Clupea pallasii* in North-East European seas // BMC Evolutionary Biology. – 2013. – Vol. 13. – № 1. – P. 1–16.
11. Nei M. Molecular evolutionary genetics. – USA, New York: Columbia University Press, 1987. – 512 p.
12. Филогеография тихоокеанской сельди (*Clupea pallasii*) некоторых морей евразии / В.В. Горбачев, Л.А. Черноушанова, П.Н. Панфилова, И.К. Трофимов, Р.Л. Батанов, В.Г. Чикилев, А.А. Бонк, И.О. Нехаев, Л.Л. Соловечук, А.В. Вакулов // Генетика. – 2012. – Т. 48, № 9. – С. 1091–1097.
13. Световидов А. Н. Фауна СССР. Рыбы. Т. 2, вып. 1. Сельдевые (Clupeidae). – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1952. – 331 с.
14. Андрияшев А.П. Рыбы северных морей СССР. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. – 566 с.
15. Moberly A.S. Age, sex and size composition of pacific herring, (*Clupea pallasii*), from southeastern Alaska and Yakutat during winter and spring, 1971–1972 // ADF&G: technical data report № 15. – State of Alaska, 1974. – 21 p.
16. Алтухов К.А. Сельдь Соловецких островов // Биология беломорской сельди. Исследования фауны морей. Т. XVI (XXIV) (Работы Беломорской биологической станции). – 1975. – С. 53–92.

17. Spratt J. D. Status of the pacific herring, *Clupea harengus pallasii*, resource in California 1972 to 1980 // Fish Bulletin 171. – State of California the resources agency. California department of fish and game, 1981. – 107 p.
18. Spratt J. D. The pacific herring resource of Tomales and San Francisco bays: by its size and structure 1976 // Marine resources technical report № 33. – California department of fish and game. – 1976. – 46 p.
19. Науменко Н.И., Джигальдин Ч.А. Распределение планктона и некоторых видов рыб в южной части Чукотского моря // Биологические ресурсы Арктики и Антарктики. – М.: Наука, 1987. – С. 224–238.
20. Похилук В.В. Экология и промысел Беломорской сельди: автореф. дис. ... канд. биол. наук. ВНИРО. – М., 1992. – 24 с.
21. Hay D.E., Thompson M.J., McCarter P.B. Anatomy of a strong year class: analysis of the 1977 year class of pacific herring in British Columbia and Alaska // Proceedings of the Symposium “Herring 2000: Expectations for a new millennium”. – 2000. – P. 171–198.
22. Taking stock: an inventory and review of world herring stocks in 2000 / D.E. Hay, R. Toresen, R. Stephenson, M. Thompson, R. Claytor, F. Funk, E. Ivshina, J. Jakobsson, T. Kobayashi, I. McQuinn, G. Melvin, J. Molloy, N. Naumenko, K.T. Oda, R. Parmanne, M. Power, V. Radchenko, J. Schweigert, J. Simmonds, B. Sjöstrand, D.K. Stevenson, R. Tanasichuk, Q. Tang, D.L. Watters, J. Wheeler // Proceedings of the Symposium “Herring 2000: Expectations for a new millennium”. – 2000. – P. 381–454.
23. Трофимов И.К. Критический обзор исследований размерного состава сеголеток корфокарагинской сельди в уловах учетных донных траловых съемок в юго-западной части Берингова моря // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и Северо-западной части Тихого океана. – 2017. – Вып. 46 – С. 5–23.
24. Шунтов В.П. Биологические ресурсы Охотского моря. – М.: Агропромиздат, 1985. – 224 с.
25. Lavaniegos-Espejo E., Ruben J. Zooplankton of the Gulf of California after the 1982–1983 El Niño Event: Biomass Distribution and Abundance // Pacific Science. – 1990. – Vol. 44, № 3. – P. 297–310.
26. Interrannual variation in zooplankton biomass in the gulf of Alaska, and covariation with California current zooplankton biomass / R. Brouder, B. Frost, S. Hare, R. Francis, J. Ingraham // CalCOFI: Report. – 1996. – Vol. 37. – P. 80–99.
27. Rachor E. (Ed.) Scientific cooperation in the Russian Arctic: ecology of the White Sea with emphasis on its deep basin // Ber. Polarforsch. – 2000. – 109 p.
28. Uye S., Nagano N., Shimazu T. Abundance, Biomass, Production and Trophic roles of micro- and net-zooplankton in Ise bay, central Japan, in Winter // Journal of Oceanography. – 2000. – Vol. 56. – P. 389–398.
29. Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России. Т. 1. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2001. – 580 с.
30. Coyle K. O., Pinchuk A. I. Annual cycle of zooplankton abundance, biomass and production on the northern Gulf of Alaska shelf, October 1997 through October 2000 // Fisheries Oceanography. – 2003 – Vol. 12, № 4/5. – P. 327–338.
31. Yoo S., Kim S. Yellow Sea East China Sea // Marine ecosystems of the north Pacific: PICES Report on Marine Ecosystems of the North Pacific. – 2004. – P. 59–78.
32. Трофимов И.К. О Влиянии температуры и солености воды, качества нерестового субстрата на размножение тихоокеанской сельди // Известия ТИНРО. – 2006. – Т. 146. – С. 111–121.
33. Дворецкий В.Г., Дворецкий А.Г. Распределение биомассы зоопланктона в Баренцевом море в 2007 г. // Известия ТИНРО. – 2010. – Т. 161. – С. 162–171.
34. Волков А.Ф. Результаты исследований зоопланктона Берингова моря по программе «NPAFC» (экспедиция BASIS). Часть 2. Западные районы // Известия ТИНРО. – 2012. – Т. 170. – С. 151–171.
35. Дятарева В.А. Динамика численности и биомассы зоопланктона в весенне-летний период в Усурийском заливе (Залив Петра Великого, Японское море) // Известия ТИНРО. – 2014. – Т. 177. – С. 227–234.
36. Результаты комплексных биологических исследований в море Лаптевых в августе-сентябре 2015 г. / И.И. Глебов, В.А. Надточий, А.Б. Савин, А.М. Слабинский, О.Ю. Борилко, Д.Н. Чульчиков, А.С. Соколов // Известия ТИНРО. – 2016. – Т. 187. – С. 72–88.

37. Дулепова Е.П. Динамика продукционных показателей зоопланктона в северо-западной части Берингова моря в современный период // Известия ТИНРО. – 2016. – Т. 187. – С. 187–196.

38. Горбачев В.В., Смирнов А.А. Влияние некоторых экологических факторов на поток генов и популяционную структуру тихоокеанской сельди (*Clupea pallasii*) // Рыбное хозяйство. – 2018. – № 1. – С. 23–27.

39. Душкина Л.А. Пигментация личинок морских сельдей рода *Clupea* как один из возможных показателей их происхождения // Биология беломорской сельди. Исследования фауны морей, т. XVI (XXIV) (Работы Беломорской биологической станции). – 1975. – С. 227–255.

40. Desforges J.P., Galbraith W., Ross M. Ingestion of microplastics by zooplankton in the north-east Pacific Ocean // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2015. – Vol. 69, iss. 3. – P. 320–320.

41. Науменко Н.И. О численной депрессии в некоторых популяциях тихоокеанской сельди *Clupea pallasii* // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и Северо-западной части Тихого океана. – 2012. – Вып. 24. – С. 68–74.

Информация об авторах Information about the authors

Горбачев Виктор Валерьевич – Магаданский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; 685000, Россия, Магадан; старший научный сотрудник лаборатории морских промысловых рыб; genetic2@yandex.ru

Gorbachev Viktor Valerievich – Magadan branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography “VNIRO”, 685000, Magadan; Senior Scientific Researcher, Laboratory of Marine Commercial Fishes; genetic2@yandex.ru

Смирнов Андрей Анатольевич – Магаданский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; 685000, Россия, Магадан; доктор биологических наук, заместитель директора по научной работе; Северо-Восточный государственный университет; 685000, Магадан; профессор кафедры биологии и химии; Марийский государственный университет; 424000, Йошкар-Ола; профессор кафедры экологии; andrsmur@mail.ru

Smirnov Andrey Anatolyevich – Magadan branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography “VNIRO”; 685000, Magadan; Doctor of biological sciences, Deputy Director for research; North-eastern State University, 685000, Magadan; Professor of Department of Biology and Chemistry; Mari State University, 424000, Yoshkar-Ola; Professor of Department of Ecology; andrsmur@mail.ru

УДК 669.018.6:582.657.2

Н.А. Дьякова, С.П. Гапонов, А.И. Сливкин

**ИЗУЧЕНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА
И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ФЛАВОНОИДОВ
У *POLYGONUM AVICULARE* (CARYOPHYLLALES, POLYGONACEAE)**

Проводилось изучение накопления тяжелых металлов (свинца, ртути, кадмия, никеля, меди, цинка, кобальта, хрома) и мышьяка, а также биологически активных веществ у растений *Polygonum aviculare* L. (трава горец птичий), собранных в районах с различным антропогенным воздействием. Все собранные нами образцы удовлетворяли имеющимся требованиям нормативной документации по содержанию тяжелых металлов и флавоноидов. Результаты исследования показали, что в некоторых образцах растений с территорий, испытывающих на себе антропогенную нагрузку и отличающихся повышенным содержанием в верхних слоях почвы и траве токсичных элементов, происходила индукция синтеза полифенолов, что, вероятно, связано с их антиоксидантным действием. Выявлено, что умеренное отрицательное влияние на накопление флавоноидов в траве горца птичьего оказывали кадмий и медь. Для остальных элементов отмечали слабую отрицательную корреляцию с накоплением флавоноидов в растениях. Данный вид высших растений может служить в биоиндикационных целях.

Ключевые слова: *Polygonum aviculare*, горец птичий, тяжелые металлы, флавоноиды, Центральное Черноземье.

N.A. Dyakova, S.P. Gaponov, A.I. Slivkin

**ACCUMULATION OF HEAVY METALS AND ARSENIC AND EFFECT OF POLLUTING
SUBSTANCES ON FLAVONOID CONTENT IN *POLYGONUM AVICULARE*
(CARYOPHYLLALES, POLYGONACEAE)**

Accumulation of heavy metals (lead, mercury, cadmium, nickel, copper, zinc, cobalt, and chrome) and arsenic as well as bio-active compounds was studied in the common knotgrass collected from the areas subjected to different anthropogenic impact. All samples that we collected met the existing requirements of regulatory documentation on the content of heavy metals and flavonoids. In some samples collected from the territories experiencing anthropogenic stress and differing in increased levels of toxic elements in the upper soil layers and grasses, synthesis of polyphenols was induced, which was probably due to their antioxidant effect. Cadmium and copper had a moderate negative effect on the accumulation of flavonoids in the common knotgrass. In case of other elements, a weak negative correlation with the accumulation of flavonoids in the plants was noted. This higher plant species can serve for a bioindication purpose.

Key words: *Polygonum aviculare*, common knotgrass, heavy metals, flavonoids, Central Black Soil Region.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-71-77

Введение

Одной из основных социально-экологических проблем нашего времени становится урбанизация, поскольку в процессе роста и становления городов природные экосистемы занимаемых ими и близлежащих к ним территорий постепенно изменяются, и формируется новая антропогенная среда со специфическими чертами техногенного влияния, характеризующегося изменением состава атмосферного воздуха, почв и водных объектов. Рост уровня загрязнения приводит к дестабилизации природной среды и существованию организмов в предельных режимах биологических возможностей. Антропогенное влияние способствует деградации растительных сообществ, сокращению ареала растений, уменьшению их обилия в различных ассоциациях и формациях, изменению фитохимического и минерального состава растительных организмов.

Тяжелые металлы и мышьяк являются компонентами нормальных физиологических процессов в живых организмах. В то же время в повышенных концентрациях они токсичны и при-

водят к существенным, а иногда и необратимым нарушениям обмена веществ. Механизмы повреждающего воздействия зависят от конкретного металла и включают в себя нарушения мембран клетки, активности ферментативных систем, концентрации АТФ, АДФ, генетических процессов, транспорта веществ. Тяжелые металлы являются тиоловыми токсикантами, оказывающими воздействие на определенные этапы метаболизма, особенно на окислительно-восстановительные реакции, связывая сульфгидрильные группы – активные центры ряда ферментов [1–2]. Антропогенное загрязнение почвы, воды и воздуха ведет к накоплению в растениях тяжелых металлов и мышьяка, а дальнейшая их передача животным осуществляется по трофическим цепям [2].

Центральное Черноземье традиционно является важнейшим районом растениеводства и заготовки лекарственного растительного сырья [3]. Освоение минеральных ресурсов, активная химизация в сельском хозяйстве, последствия Чернобыльской аварии актуализировали вопрос снабжения фармацевтической и пищевой промышленности безопасным и эффективным растительным сырьем [4]. Некачественное растительное сырье и получаемые из него продукты являются важными источниками поступления различных экотоксикантов, в частности тяжелых металлов, в организм человека. Кроме того, данные поллютанты оказывают значительное влияние на метаболизм самого растительного организма, снижая продукцию биологически активных веществ [5].

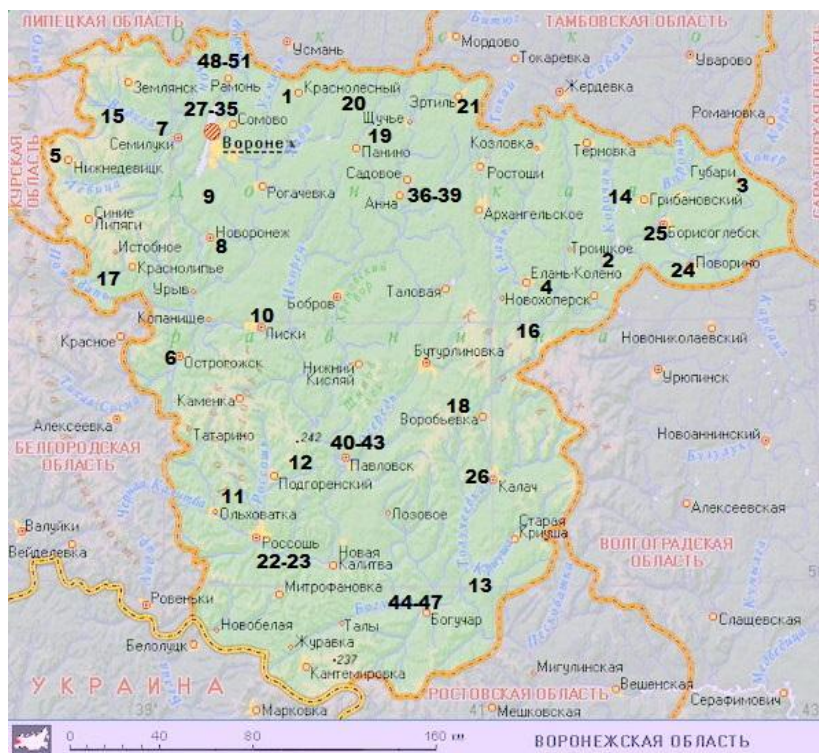
Целью нашего исследования являлось изучение корреляции между содержанием тяжелых металлов и флавоноидов у растений *Polygonum aviculare* L. (трава горец птичий), собранных в урбо- и агроэкосистемах, испытывающих на себе различное антропогенное воздействие.

Материалы и методы

В качестве объекта исследований использовали траву горца птичьего (*P. aviculare*) – крупное многолетнее синантропное растение, повсеместно произрастающее в Воронежской области [6, 7]. Сбор материала проводили в период с 15 до 25 июля 2015 г.

Места сбора образцов показаны цифрами от 1 до 51 на рисунке и приводятся ниже (соответствуют таковым в табл. 1). Растения горца птичьего собирали в Воронежской области на следующих территориях:

- чистые районы заповедной зоны (контрольные образцы): Воронежский биосферный заповедник (1), Хоперский государственный природный заповедник в Новохоперском районе (2), Борисоглебский район (3);
- зона предполагаемой добычи никеля (4);
- зоны, подвергшиеся радионуклидному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС (Нижедевицкий (5), Острогожский (6), Семилукский (7) районы);
- Нововоронежская атомная электростанция (АЭС) (8);
- высоковольтные линии электропередач (ВЛЭ) (9);
- зоны с активной сельскохозяйственной деятельностью и внесением большого количества удобрений (Лискинский (10), Ольховатский (11), Подгоренский (12), Петропавловский (13), Грибановский (14), Хохольский (15), Новохоперский (16), Репьевский (17), Воробьевский (18), Панинский (19), Эртильский (20), Верхнехавский (21), Россошанский (22) районы);
- антропогенно загрязненные места: химические предприятия ОАО «Минудобрения» (23), ООО «Бормаш» (24), ООО «Сибур» (28);
- города с развитой легкой промышленностью (Борисоглебск (25), Калач (26));
- теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) «ВОГРЭС» (27);
- Воронежское водохранилище (29);
- Воронежский аэропорт (30);
- улица города (улица Ленинградская) (31);
- вдоль и на удалении от дорог разной степени загруженности и в разных природных зонах: лесная зона (Рамонский район) (32–35) – трасса М4 «Дон», лесостепная зона (Аннинский район (36–39)) – трасса А144 «Курск-Саратов», степная зона (Павловский район) (40–43) – трасса М4 «Дон», нескоростная автомобильная дорога (Богучарский район) (44–47) и железная дорога (Рамонский район) (48–51).



Места сбора образцов для исследования

Определение содержания в растениях тяжелых металлов и мышьяка проводили с помощью атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией МГА-915МД [8]. Содержание флавоноидов, главной группы биологически активных веществ травы горца птичьего, определяли в пересчете на авикулярин (основной флавонол данного растения) по спектрофотометрической методике, приведенной в Государственной фармакопее [9].

С целью установления статистической взаимосвязи между содержанием в растениях тяжелых металлов и мышьяка и концентрацией флавоноидов рассчитывали коэффициенты корреляции. Расчет осуществляли с помощью прикладной программы «Microsoft Excel 2007».

Результаты и обсуждение

Содержание элементов и флавоноидов в пересчете на авикулярин в растениях горца птичьего приведено в табл. 1. Это растение используется в качестве лекарственного растительного сырья, поэтому содержание свинца, ртути, кадмия и мышьяка в нем нормируется. Эти элементы являются наиболее опасными, имеют высокую токсичность и значительные темпы накопления в живой природе. Попадая в растительные организмы, они активно связываются с нуклеиновыми и аминокислотами, нарушая функционирование ферментных систем и процесс биосинтеза белков [10–11]. Поэтому существуют механизмы, препятствующие захвату и накоплению данных элементов из почвы и их дальнейшему транспортированию по органам и системам растений. Сравнивая данные по содержанию тяжелых металлов в верхних слоях почв изученного региона [12–13] и содержанию этих элементов в траве горца птичьего, можно сделать вывод о наличии значительных физиологических барьеров, препятствующих накоплению свинца, ртути, кадмия и мышьяка в растениях. Все отобранные нами образцы растений соответствовали требованиям фармакопейной статьи [8]. Так, концентрация ртути в них колебалась в диапазоне от 0,002 до 0,004 мг/кг, при ее концентрации в почвах региона от 0,01 до 0,24 мг/кг [5, 13]. Содержание кадмия в исследуемых образцах колебалось в диапазоне от 0 (т. е. концентрация ниже предела обнаружения) до 0,05 мг/кг, притом что в большинстве образцов почв изучаемых территорий концентрация данного элемента составляла 0,2–0,7 мг/кг [5, 13].

Мышьяк в траве горца птичьего содержался на уровне 0,04–0,25 мг/кг, а в верхних слоях почвы его концентрация составляла 0,64–3,81 мг/кг [5, 13], что в 15–20 раз больше. Это подтверждает предположение о регулировании степени всасывания и накопления токсичных элементов из почвы на биохимическом уровне [10–12].

Таблица 1

**Содержание тяжелых металлов, мышьяка и биологически активных веществ
у растений *Polygonum aviculare* (трава горец птичий)**

	Район сбора	Валовое содержание тяжелых металлов, мг/ кг									Содержание флавоноидов в пере- счете на авикулярин, %
		Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn	
1.	Воронежский биосферный заповедник	0,24	0,002	0,01	0,06	1,75	1,41	0,75	4,37	24,48	1,81
2.	Хоперский заповедник	0,52	0,003	0	0,04	2,75	2,30	0,86	8,37	34,58	1,52
3.	Борисоглебский район	0,34	0,002	0,01	0,05	1,84	0,85	0,91	9,35	38,10	1,78
4.	с. Елань-Колено	0,83	0,002	0,02	0,07	2,64	1,03	1,03	8,21	28,17	1,63
5.	с. Нижнедевицк	0,95	0,003	0,02	0,05	1,23	2,42	0,89	7,94	30,06	1,45
6.	г. Острогжск	0,94	0,002	0	0,08	3,97	3,24	1,01	9,31	48,69	1,05
7.	г. Семилуки	1,26	0,003	0,02	0,09	3,24	1,95	1,21	10,27	55,74	1,57
8.	Нововоронежская атомная электростанция	0,74	0,004	0	0,06	2,04	1,85	0,87	6,15	37,37	1,02
9.	ВЛЭ (Нововоронежский городской округ)	1,72	0,002	0,02	0,11	3,75	3,61	0,78	5,28	42,56	0,64
10.	Лискинский район	0,92	0,002	0,03	0,06	1,63	2,16	1,04	11,43	19,37	1,03
11.	Ольховатский район	0,25	0,002	0,01	0,09	4,63	1,86	0,74	8,27	37,16	1,26
12.	Подгоренский район	0,83	0,003	0,02	0,07	4,34	1,03	1,26	12,36	45,28	1,05
13.	Петропавловский район	0,79	0,003	0,02	0,06	1,57	1,94	1,36	11,80	42,50	1,34
14.	Грибановский район	0,97	0,002	0,01	0,10	3,81	2,58	1,05	10,41	53,16	1,02
15.	Хохольский район	1,46	0,002	0,01	0,07	3,85	2,81	0,68	13,38	57,27	0,95
16.	Новохоперский район	1,18	0,003	0,01	0,10	2,96	0,68	1,04	12,86	42,70	1,41
17.	Репьевский район	0,73	0,003	0,02	0,10	4,91	1,89	0,97	9,25	37,17	1,28
18.	Воробьевский район	0,46	0,003	0,01	0,05	4,29	1,36	0,63	13,93	30,62	1,38
19.	Панинский район	0,70	0,003	0,02	0,11	4,73	2,42	1,00	11,83	58,36	1,04
20.	Верхнехавский район	1,70	0,003	0,03	0,10	3,95	1,83	1,29	13,87	59,37	0,98
21.	г. Эртиль	1,82	0,002	0,03	0,06	4,03	1,04	0,76	10,21	56,92	1,68
22.	Россошанский район	1,05	0,003	0,02	0,10	4,83	3,74	0,94	15,00	37,39	1,65
23.	Вблизи ОАО «Минудобрения» (г. Россошь)	1,68	0,002	0,04	0,19	5,94	5,05	1,35	18,42	67,30	2,01
24.	Вблизи ООО «Бормаш» (г. Поворино)	4,95	0,002	0,05	0,25	7,47	4,84	1,41	22,68	62,32	1,90
25.	г. Борисоглебск	1,93	0,003	0,04	0,11	3,73	3,90	1,08	13,64	57,49	1,66
26.	г. Калач	2,05	0,004	0,01	0,10	4,84	4,55	0,84	11,43	48,47	2,07
27.	Вблизи ТЭЦ «ВОГРЭС» (г. Воронеж)	1,03	0,002	0,01	0,27	3,85	6,17	0,99	15,42	50,48	0,97
28.	Вблизи ООО «Сибур» (г. Воронеж)	2,62	0,003	0,03	0,12	3,92	4,78	1,05	19,58	70,03	0,95
29.	Вдоль Воронежского водохранилища (г. Воронеж)	2,07	0,003	0,03	0,11	4,45	1,76	0,86	9,75	52,68	1,23
30.	Вблизи Воронежского аэропорта (Рамонский район)	4,59	0,004	0,03	0,11	4,79	3,01	1,13	9,94	43,21	1,92
31.	Улица г. Воронеж (ул. Ленинградская)	2,53	0,002	0,03	0,12	3,48	4,55	1,32	19,57	76,48	1,04
32.	Вдоль трассы М4 (Рамонский район)	4,51	0,003	0,05	0,13	6,36	5,63	1,05	21,69	67,32	0,70
33.	100 м от М4 (Рамонский район)	1,67	0,002	0,05	0,13	5,52	4,64	1,15	12,64	54,37	0,67
34.	200 м от М4 (Рамонский район)	1,19	0,002	0,04	0,10	3,01	3,64	0,94	15,47	50,83	0,82
35.	300 м от М4 (Рамонский район)	0,95	0,002	0,03	0,10	2,98	3,85	1,05	10,84	54,36	1,19
36.	Вдоль трассы А144 (Аннинский район)	3,02	0,003	0,04	0,11	5,27	5,43	1,45	18,45	67,36	0,65
37.	100 м от А144 (Аннинский район)	2,10	0,002	0,04	0,10	4,02	5,26	1,03	15,05	64,48	0,93
38.	200 м от А144 (Аннинский район)	1,35	0,003	0,04	0,07	3,65	4,16	1,08	17,42	50,39	1,10
39.	300 м от А144 (Аннинский район)	1,03	0,003	0,02	0,06	2,62	3,02	1,15	10,51	45,76	1,23
40.	Вдоль трассы М4 (Павловский район)	3,62	0,004	0,04	0,08	5,55	4,64	1,41	21,64	59,38	0,72
41.	100 м от М4 (Павловский район)	2,60	0,003	0,04	0,08	4,64	3,90	1,12	18,43	53,47	0,85
42.	200 м от М4 (Павловский район)	1,79	0,003	0,03	0,06	3,83	3,77	0,86	17,53	42,65	0,93
43.	300 м от М4 (Павловский район)	1,15	0,003	0,03	0,06	2,90	2,84	0,83	18,41	44,74	0,89
44.	Вдоль нескоростной дороги (Богучарский район)	1,04	0,004	0,04	0,10	4,68	2,44	1,23	10,53	46,40	0,94
45.	100 м от нескоростной дороги (Богучарский район)	0,53	0,004	0,03	0,09	3,02	2,12	1,17	13,60	43,80	1,13
46.	200 м от нескоростной дороги (Богучарский район)	0,43	0,002	0,03	0,09	2,67	1,95	0,96	12,08	52,65	1,20
47.	300 м от нескоростной дороги (Богучарский район)	0,40	0,002	0,02	0,07	2,03	1,90	0,97	11,90	49,26	1,31
48.	Вдоль железной дороги (Рамонский район)	4,57	0,003	0,04	0,12	5,95	1,89	1,02	30,52	54,38	0,84
49.	100 м от железной дороги (Рамонский район)	1,35	0,003	0,04	0,11	5,02	1,78	1,06	32,64	40,64	0,93
50.	200 м от железной дороги (Рамонский район)	0,46	0,004	0,03	0,10	3,24	1,67	1,15	19,63	42,37	1,02
51.	300 м от железной дороги (Рамонский район)	0,41	0,003	0,03	0,10	2,46	1,04	0,85	12,90	48,65	1,01
Среднее по региону		1,46	0,003	0,02	0,10	3,75	2,91	1,03	13,85	48,60	1,31
ПДК [6–7]		6,0	0,1	1,0	0,5	–	–	–	–	–	Не менее 0,5

Содержание свинца в растениях варьировало от 0,24 до 4,59 мг/кг при его содержании в верхних слоях почв в концентрации 1,71–34,57 мг/кг [5, 13]. При этом в большинстве образцов, отобранных на удалении от дорог и крупных промышленных предприятий, концентрация свинца не превышала 2 мг/кг, а более значительные его концентрации отмечались у растений, собранных вдоль и на удалении 100 м от всех рассматриваемых транспортных магистралей, на улицах крупных городов (например, Воронеж, Калач), вблизи промышленных предприятий (например, ООО «Сибур», ООО «Бормаш»). Таким образом, загрязнение происходило не через почву, а аэрозольно, газопылевой струей автотранспорта и через выбросы заводов.

Концентрация никеля в изученных образцах травы горца птичьего была достаточно высокой и варьировала в зависимости от места сбора от 1,23 до 7,47 мг/кг. При низком уровне металла в верхних слоях почв [5, 13] растения накапливали его в концентрациях, превышающих такую в почве, например, в образцах, отобранных в Лискинском и Петропавловском районах. Никель оказывает стабилизирующее действие на растительные рибосомы, участвует в транспорте азота, входит в состав ряда ферментов уреаз, разлагающих мочевину до аммиака и углекислого газа, активизирует ряд ферментов – нитратредуктазу, гидрогеназу и др. [11]. При загрязнении почвы никелем (например, в п.г.т. Поворино, вдоль автомобильных трасс М4 и А144) трава горца птичьего накапливала лишь 1/10 от его содержания в верхних слоях почв, что может указывать на наличие физиологического барьера по его накоплению.

Содержание кобальта в траве горца птичьего контрольных территорий и территорий, подверженных антропогенному воздействию, отличается. Трава накапливает кобальт в значительной степени, однако при его высоких концентрациях в окружающей среде имеет место физиологический барьер его поступления в растения. Содержание кобальта во всех отобранных образцах колебалось от 0,63 до 1,45 мг/кг, при этом в ряде образцов его концентрация была близкой к таковой в почве, а в других значительно меньше. Кобальт – биохимически важный элемент, он активизирует ферменты симбиотической фиксации азота, таким образом влияя на синтез в растительном организме аминокислот и алкалоидов, участвует в фосфорилировании, входит в состав цианкобаламина (витамина B₁₂) [11, 14].

Выявлено, что трава горца птичьего накапливает медь, особенно это заметно для образцов, собранных с территорий, отличающихся невысоким содержанием данного элемента в почве, например, на территории Воронежского биосферного заповедника, территории Хоперского заповедника, в Борисоглебском районе. Здесь содержание меди в растениях превышало ее содержание в верхних слоях почв [5, 13], таким образом, происходила ее кумуляция в траве. Данный элемент входит в состав активного центра ферментов полифенолоксидаз, а также многих пигментов, витаминов. Медьсодержащие белки пластоцианины участвуют в фотосинтезе [15, 16]. При этом заметно наличие физиологического барьера при накоплении меди в траве горца птичьего, собранной с территорий с зафиксированным избыточным содержанием этого элемента в почве, например, в городах Россошь, Поворино, Калач, Борисоглебск, Воронеж и др. Здесь концентрация меди в сырье почти на 1/2 отличалась от ее концентрации в верхних слоях почв.

Особенности накопления в траве горца птичьего цинка схожи с концентрированием меди. При низком содержании цинка в почве растение способно накапливать его в себе практически в два раза больше. Цинк входит в состав активных центров ферментов, участвующих в синтезе фенольных соединений и некоторых витаминов [11, 17]. При этом в условиях техногенного загрязнения срабатывают физиологические механизмы защиты от этого токсического элемента, и его содержание в растениях не превышает 70–80 мг/кг.

Накопление хрома травой горца птичьего можно оценить как незначительное. Даже для образцов, собранных с территорий с активной антропогенной нагрузкой, содержание данного элемента 2 класса опасности не превышало 5–6 мг/кг при его концентрации в почве 30–40 мг/кг, что указывает на наличие биохимических механизмов, препятствующих избыточному накоплению данного элемента. Роль хрома в растениях изучена недостаточно, предполагается, что он участвует в фотосинтезе и биосинтезе флавоноидов [11].

Результаты исследования содержания флавоноидов в траве горца птичьего показали, что все отобранные образцы также отвечают фармакопейным требованиям. При этом в некоторых образцах с территорий, испытывающих на себе антропогенную нагрузку и отличающихся повышенным содержанием токсичных элементов, выявлена индукция синтеза полифенолов, что, вероятно, связано с их антиоксидантным и мембраностабилизирующим действием в условиях окислительного стресса [7, 11, 13]. Однако некоторые образцы травы горца птичьего, также

отличающиеся повышенным содержанием в них токсичных элементов (например, собранные вблизи крупных автомобильных и железнодорожных магистралей), выделяются резко сниженными концентрациями флавоноидов. Объяснить данный факт возможно экологическим законом взаимодействия факторов. Вблизи крупных дорог условия обитания вида отличаются не только повышенными концентрациями тяжелых металлов в окружающей среде и, как следствие, в них самих, но и высокой загазованностью, запыленностью территорий, что также сказывается как на физиологических особенностях растительного организма, так и на силе токсического воздействия изучаемых поллютантов.

Для изучения влияния содержания в траве горца птичьего тяжелых металлов и мышьяка на биосинтез флавоноидов мы рассчитали коэффициенты корреляции (табл. 2) [18]. Для кадмия и меди было определено их умеренное отрицательное влияние на накопление флавоноидов (коэффициент корреляции находится в диапазоне от $-0,5$ до $-0,3$) [7, 18]. Для остальных элементов отмечали слабую отрицательную корреляцию с накоплением флавоноидов (коэффициент корреляции от $-0,3$ до 0) [18].

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между содержанием тяжелых металлов и мышьяка и флавоноидов у растений *Polygonum aviculare* (травя горца птичий)

Коэффициенты корреляции								
Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
-0,07	-0,03	-0,33	-0,03	-0,09	-0,22	-0,09	-0,32	-0,25

Заключение

Таким образом, анализ содержания тяжелых металлов и мышьяка, а также флавоноидов в пересчете на авикулярин в образцах *P. aviculare* (горец птичий), собранных в различных по уровню антропогенного воздействия районах Воронежской области, показал, что все они соответствовали требованиям нормативной документации [8–9]. Сравнивая данные по содержанию тяжелых металлов в верхних слоях почв региона и в растениях, можно утверждать о наличии значительных физиологических барьеров, препятствующих накоплению экотоксикантов в ассимилирующих и генеративных органах *P. aviculare*. Это особенно заметно для таких элементов, как свинец, ртуть, мышьяк, кадмий и хром. Этот вид высших растений способен избирательно концентрировать некоторые тяжелые металлы, входящие в активные центры ферментных систем, например, никель, кобальт, медь и цинк, в том случае, если их содержание в окружающей среде ниже некоторого жизненно важного уровня. При значительном содержании данных элементов в почвах растение также физиологически блокировало их поступление в свою надземную часть [11–12, 14, 16–17]. Мы полагаем, что *P. aviculare* способен аккумулировать избыток тяжелых металлов за пределами метаболически наиболее важных фотосинтезирующих и генеративных органов. Вероятно, что защитные механизмы растения могут быть связаны и со способностью переводить часть ионов тяжелых металлов в инертные формы.

Литература

1. Фармацевтическая экология / Н.А. Дьякова, С.П. Гапонов, А.И. Сливкин. – Воронеж: изд-во факультета журналистики ВГУ. – 2017. – 266 с.
2. Основы экологии и охраны природы / Л.И. Коваленко, Г.М. Родионова, З.В. Чумакова, Л.В. Зрелова; под ред. А.П. Арзамасцева. – М.: Медицина, 2008. – 414 с.
3. Алексеев В.А. Экологическая геохимия: учебник для вузов. – М.: Логос, 2011. – 628 с.
4. Великанова Н.А., Гапонов С.П., Сливкин А.И. Изучение динамики накопления тяжелых металлов травой горца птичьего и листьями подорожника большого в процессе вегетации в городе Воронеже и его окрестностях // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 294.
5. Оценка экологического состояния образцов верхних слоев почв и корней одуванчика лекарственного, отобранных на территории Воронежской области / Н.А. Дьякова, И.А. Самылина, А.И. Сливкин, С.П. Гапонов, Л.Л. Кукуева, А.А. Мындра, Т.Г. Шушунова // Вестник ВГУ. Серия: Химия, Биология, Фармация. – 2016. – № 2. – С. 119–126.

6. Великанова Н.А., Гапонов С.П., Сливкин А.И. Анализ экологического состояния почв и оценка поглощения тяжелых металлов лекарственными растениями (горцем птичьим и подорожником большим) в городе Воронеже и его окрестностях // Экология урбанизированных территорий. – 2012. – № 4. – С. 102–106.
7. Великанова Н.А., Гапонов С.П., Сливкин А.И. Экооценка лекарственного растительного сырья в урбоусловиях г. Воронежа. – LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 211 с.
8. Государственная фармакопея Российской Федерации. Издание XIV. Том 2. – М.: ФЭМБ, 2018. – 1449 с.
9. Государственная фармакопея Российской Федерации. Издание XIV. Том 4. – М.: ФЭМБ, 2018. – 1833 с.
10. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 493 с.
11. Некоторые аспекты адаптации *Polygonum aviculare* L. к загрязнению почвы тяжелыми металлами / О.Н. Немерешина, Ф.Н. Гусев, Г.В. Петрова, А.А. Шайхутдинова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 1. – С. 230–234.
12. Cataldo D.A., Wildung R.E. Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants // Environmental Health Perspectives. – 1978. – P. 149–159.
13. Особенности загрязнения почв Центрального Черноземья тяжелыми металлами / Н.А. Дьякова, А.А. Мындра, Л.Л. Кукуева, Л.А. Великанова // Материалы V Международной конференции «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса». – Ставрополь: Изд-во ФАНО ФГБОУ «Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства», 2016. – С. 403–407.
14. Austenfeld F.A. Zur phytotoxizität von nickel und kobaltsalzen in hydrokultur bei *Phaseolus vulgaris* L. // Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde. – 1979. – Vol. 142. – P. 769–777.
15. Гусев Н.Ф., Петрова Г.В., Немерешина О.Н. Лекарственные растения Оренбуржья (ресурсы, выращивание и использование). – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2007. – 332 с.
16. Schützendübel A., Polle A. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal and induced oxidative stress and protection by mycorrhization // Journal of Experimental Botany. – 2001. – Vol. 53. – P. 1351–1365.
17. Buszewski B., Jastrzebska A., Kowalkowski T. Monitoring of selected heavy metals uptake by plants and soils in the area of Torun // Polish Journal of Environmental Studies. – 2000. – Vol. 9. – P. 511–515.
18. Математическая статистика. Применение в профессиональной деятельности: учебное пособие / Н.П. Пучков. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 80 с.

Информация об авторах Information about the authors

Дьякова Нина Алексеевна – Воронежский государственный университет; 394007, Россия, Воронеж; кандидат биологических наук, ассистент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии; Ninochka_V89@mail.ru

Dyakova Nina Alekseevna – Voronezh State University; 394007, Russia, Voronezh; Candidate of Biological Sciences, Assistant of the Pharmaceutical Chemistry and Pharmaceutical Technology Chair; Ninochka_V89@mail.ru

Гапонов Сергей Петрович – Воронежский государственный университет; 394007, Россия, Воронеж; доктор биологических наук, заведующий кафедрой зоологии и паразитологии; gaponov2003@mail.ru

Gaponov Sergey Petrovich – Voronezh State University; 394007, Russia, Voronezh; Doctor of Biological Sciences, Head of the Zoology and Parasitology Chair; gaponov2003@mail.ru

Сливкин Алексей Иванович – Воронежский государственный университет; 394007, Россия, Воронеж; доктор фармацевтических наук, заведующий кафедрой фармацевтической химии и фармацевтической технологии; slivkin@pharm.vsu.ru

Slivkin Alexey Ivanovich – Voronezh State University; 394007, Russia, Voronezh; Doctor of Pharmaceutical Sciences, Head of the Pharmaceutical Chemistry and Pharmaceutical Technology Chair; slivkin@pharm.vsu.ru

УДК [581.6 + 582.272.7+582.272.46](571.66)

Т.А. Ключкова, О.А. Дахно, Т.Г. Дахно

**ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТОВ ВОДОРΟΣЛЕЙ
НА РАННЕЕ РАЗВИТИЕ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ В УСЛОВИЯХ КАМЧАТКИ**

В сельскохозяйственном отношении Камчатка относится к зоне рискованного земледелия. Сельское хозяйство в регионе дотационное, зависит от государственных субсидий на приобретение семян, минеральных удобрений, бензина и дизельного топлива. В работе определена перспективность использования камчатских бурых водорослей в качестве биостимуляторов роста ягодных культур. Проведена оценка воздействия экстрактов *Fucus distichus* subsp. *evanescens* и *Saccharina bongardiana* на приживаемость, рост и раннее развитие земляники садовой, для чего корневую систему посадочного материала замачивали в водорослевых экстрактах или опрыскивали ими листья. Положительный эффект водорослевых экстрактов на развитие растений земляники садовой достигался при минимальном количестве исходного водорослевого сырья и при использовании низких концентраций экстракта. Даже однократное замачивание корневой системы рассады земляники в водорослевых экстрактах оказало влияние на высоту растений и количество листьев, а опрыскивание вегетирующих надземных частей кустов – на количество усов.

Ключевые слова: Авачинская губа, биостимуляторы, водорослевый экстракт, *Fucus distichus* subsp. *evanescens*, *Saccharina bongardiana*, юго-восточная Камчатка, ягодные культуры.

T.A. Klochkova, O.A. Dakhno, T.G. Dakhno

**EFFECT OF THE SEAWEED EXTRACTS ON EARLY DEVELOPMENT OF GARDEN
STRAWBERRY IN KAMCHATKA'S CONDITIONS**

In terms of agriculture, Kamchatka peninsula belongs to the zone of risky farming. In this region, agriculture depends on government incentives to purchase seeds, mineral fertilizers, gasoline and diesel fuel. We aimed to determine the prospects of using Kamchatka's brown seaweed as biostimulants of berry crops. The effects of extracts from *Fucus distichus* subsp. *evanescens* and *Saccharina bongardiana* on survival rate, growth and early development of strawberry was studied, applying methods of wetting of the root system in the seaweed extracts before planting and also foliar spraying. Minimum amount of the original seaweed raw material and low concentrations of the extract induced positive effect on development of plants. Even one-time wetting of strawberry roots in seaweed extract had positive effect on plants' height and number of leaves, and foliar spraying induced an increased number of stolons.

Key words: Avacha Bay, biostimulants, seaweed extract, *Fucus distichus* subsp. *evanescens*, *Saccharina bongardiana*, southeastern Kamchatka, berry crops.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-78-89

Введение

Использование водорослей в сельском хозяйстве Российской Федерации является новым направлением исследований и практически еще только зарождается [1], и первые шаги в этом направлении сделаны для бурых водорослей Белого моря. В настоящее время в интернет-магазинах продаются как минимум два вида органоминеральных удобрений, произведенных на основе фукуса пузырчатого (*Fucus vesiculosus*) из Белого моря – «ЭкоФус» (НЕСТ М, г. Москва, Россия) [2] и «Biolan Палочки из природного удобрения» (Biolan, Эстония) [3]. В состав «Biolan Палочки из природного удобрения» входит компостированный куриный помет (FIT023-04004/2009), измельченный *F. vesiculosus* и картофельный порошок, то есть не совсем оправдано называть эту смесь «водорослевым» удобрением. Точный состав препарата «Эко-Фус» не указан, на сайтах дистрибьюторов приводится только его химический состав, в частности содержание микро- и макроэлементов. Он рекомендован для картофеля, овощных куль-

тур открытого грунта, винограда, плодово-ягодных, цветочно-декоративных, хвойных, зерновых культур, газонных трав (в т. ч. рассады) [4].

На шельфе полуострова Камчатка и прилежащих к ней островов, включая Северные Курилы и Командоры, произрастает более 300 видов морских водорослей [5, 6]. Около 30 из них являются массовыми, а ламинариевые водоросли формируют на прикамчатском шельфе подводные леса. Благодаря растянутому периоду размножения их возобновление происходит постоянно, и в природе практически всегда можно найти их проростки и ювенильные растения. Одновременно из-за высокой плотности поселений одновозрастных растений в водорослевых зарослях для оптимизации количественного распределения видов и эффективного потребления растением ресурсов среды наблюдается естественное прореживание ламинариевых. Этому процессу способствуют весенние и особенно осенние шторма. В результате в течение лета, весной и особенно осенью на побережье Камчатки выбрасывается огромное количество водорослей, и они образуют многокилометровые прибрежные валы. В ряде районов побережья ширина валов превышает 5–10 м, а высота – 2 м. Это особенно характерно для мест произрастания гигантской буры водоросли *Eualaria fistulosa*.

В сельскохозяйственном отношении Камчатка относится к зоне рискованного земледелия. Сельское хозяйство в регионе всегда было дотационным и полагалось на помощь государства для своего существования и развития, например на субсидирование затрат на приобретение семян и минеральных удобрений, а также бензина и дизельного топлива [7]. Общей особенностью камчатского региона является пестрота условий обитания, выражающаяся в значительных широтных и долготных изменениях среднегодового хода температуры, количества осадков, изменения длины дня и других факторов среды. Почвы в регионе рыхлые, хорошо дренируемые, по минеральному составу характеризуются как бедные. Вулканическая деятельность наложила отпечаток не только на геологическое строение, но и на грунты Камчатки, обусловив довольно хорошую инфильтрацию в них атмосферных осадков, высокую степень промытости почвы от легко растворимых солей (хлоридов и сульфатов). В связи с этим растворению подвергаются, главным образом, карбонатные соединения кальция [8]. Из-за пеплопадов вулканов почвы на полуострове кислые. Наличие хорошо промываемых почв, замедленный процесс химического выветривания из-за продолжительного снежного покрова, низкие температуры воздуха, ослабляющие процессы растворения в воде минеральных компонентов, обилие выпадающих осадков, а также поступление в гидрографическую сеть большого объема слабо минерализованных талых вод обуславливают низкую минерализацию поверхностных вод и своеобразный общий химический состав почвенного покрова в камчатском регионе.

Для Камчатки характерно короткое и достаточно холодное лето, значительные термобарические суточные контрасты, активная циклоническая деятельность. Вегетационный период на Камчатке короткий. Еще больше сокращают его поздневесенние и раннеосенние заморозки. Низкие летние температуры препятствуют активному разложению органики и гумусообразованию. Все это вызывает необходимость внесения в почву сельскохозяйственных угодий большого объема органических и минеральных удобрений. Последние на Камчатке не производятся, и их вынуждены завозить из других регионов страны, что приводит к их значительному удорожанию и, как следствие этого, – удорожанию полученной товарной продукции.

Многие овощные культуры на Камчатке выращивают в закрытом грунте, а тепличные растения, как известно, часто болеют и поражаются грибковыми и бактериальными заболеваниями [9, 10]. Использование водорослевых удобрений, как показывают наблюдения, проводившиеся в других странах, способствует повышению иммунитета растений [11, 12]. Разнообразие камчатской альгофлоры и наличие здесь больших запасов водорослей является благоприятной предпосылкой для вовлечения их в производство водорослевых удобрений и получение разнообразной товарной продукции, используемой в растениеводстве. Исходя из вышесказанного, целью настоящего исследования было определение эффекта воздействия водорослевых экстрактов на приживаемость и раннее развитие земляники садовой в открытом грунте.

Материалы и методы

Сбор и подготовка материала для анализов, получение водорослевых экстрактов

Материалом для настоящей работы послужили массовые виды ламинариевых и фукусовых водорослей в Авачинской губе – *Saccharina bongardiana* и *Fucus distichus* subsp.

*evanescens*¹. Их сбор осуществляли в 2017 г. в бух. Большая Лагерная (октябрь), в 2018 г. в бух. Завойко (март и июль), удаленных от источников загрязнения, расположенных у городского побережья во внутренней части Авачинской губы. Собранные водоросли измельчали и затем экстрагировали деионизированной водой в течение 4 ч при температуре 40°C. Соотношение водорослей и дистиллированной воды составляло 1 : 10 w/v. После экстракции смесь фильтровали для отделения водного экстракта от крупных водорослевых остатков. Полученный концентрированный водорослевый экстракт использовали для дальнейшего биотестирования. Его начальную концентрацию принимали за 100%, путем разбавления деионизированной водой получали рабочие растворы (5, 10, 25 и 50%).

Изучение воздействия водорослевых экстрактов на раннее развитие земляники садовой

Полевые опыты по изучению воздействия экстрактов из водорослей на землянику садовую проводили в соответствии с «Программой и методикой сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» [13, 14] на экспериментальном поле ФГБНУ Камчатского НИИ сельского хозяйства (Елизовский район, с. Сосновка) поздней весной – летом 2018 г. Для оценки воздействия водорослевых экстрактов на приживаемость, рост и развитие земляники обрабатывали корневую систему посадочного материала и вегетирующих надземных частей кустов. Для проведения экспериментов использовали сорт земляники «Сюрприз Олимпиаде» – отечественной селекции, выведенный в НИИ им. Мичурина.

Перед высадкой в открытый грунт корневую систему розеток земляники садовой (рис. 1, а) в течение двух часов замачивали в водорослевых экстрактах с концентрацией 5, 10, 25, 50 и 100% (рис. 1, б). Каждая группа обработанной рассады включала по 15 растений. Для изучения эффективности опрыскивания надземных частей земляники садовой водорослевыми экстрактами их наносили на растения ручным опрыскивателем в концентрации 10 и 25% до полного смачивания листьев. Каждая группа обработанной рассады также включала по 15 растений. Всего в опытах с рассадой земляники садовой было использовано 240 растений – 210 экспериментальных (т. е. обработанных водорослевыми экстрактами) и 30 контрольных (т. е. без обработки водорослевыми экстрактами).



Рис. 1. Посадочный материал земляники садовой: а – стандартная рассада, подготовленная к обработке; б – замачивание корневой системы в водорослевом экстракте перед высадкой

Fig. 1. Planting material of strawberry. а – Standard seedlings prepared for treatment. б – Wetting of root system in the seaweed extract before planting

Наблюдения за развитием рассады земляники садовой включали:

- 1) определение приживаемости рассады (рис. 2, а);
- 2) оценку общего состояния растений по 5-балльной шкале;
- 3) биометрические исследования (измерение длины растений, определение количества листьев, усов и розеток на одном растении и общей площади листьев) (рис. 2, б);
- 4) оценку устойчивости к грибковым заболеваниям – мучнистой росе (*Sphaerotheca macularis* f. *fragariae*) и белой пятнистости (*Mycosphaerella fragariae* по 5-балльной шкале (рис. 2, в)).

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Федерального агентства по рыболовству в рамках выполнения госзадания по теме НИР № госрегистрации АААА-А18-118092690018-5 (This study was supported by the Federal Agency for Fishery (Rosrybolovstvo) of the Russian Federation in the framework of state assignment on scientific research work (No. of state registration АААА-А18-118092690018-5)).



Рис. 2. Кусты земляники садовой, высаженные в открытый грунт после обработки их корневой системы водорослевыми экстрактами: а – экспериментальный участок (поселок Сосновка, Елизовский район, июнь 2018 г.); б – снятие биометрических показателей с растений; в – лист, пораженный белой пятнистостью, вызванной развитием грибка *Mycosphaerella fragariae*

Fig. 2. Strawberry plants after treatment of their root system with seaweed extracts and planted in the open ground;

а – Experimental site (Sosnovka village, Elizovsky district, June 2018);

б – Gathering of biometric indicators from individual plants;

в – Leaf bearing common spot caused by the development of the fungus *Mycosphaerella fragariae*

Оценку общего состояния растений проводили два раза, летом и осенью, по 5-балльной шкале:

5 – отличное состояние: растения сильнорослые, густооблиственные, дают много усов и розеток, не поражены болезнями и вредителями, листья типичной для сорта величины;

4 – хорошее состояние: растения имеют хороший рост, листья типичны для сорта, почти не поражены болезнями и вредителями, следы зимних повреждений весной заметны слабо, вегетативное размножение нормальное;

3 – удовлетворительное состояние: растения с несколько ослабленным ростом, облиственность средняя, листья мельче обычного, могут быть в средней степени повреждены болезнями и вредителями, осенью имеют задержку в росте и развитии;

2 – слабое состояние: растения имеют ослабленный рост, не выровнены по развитию, изрежены, листья не выровнены по высоте и размеру, не типичны для сорта, могут быть значительно поражены болезнями и вредителями, весной сильно заметны следы зимних повреждений, осенью растения имеют ослабленный рост и развитие;

1 – очень слабое состояние: растения сильно угнетены, имеют карликовый рост, листья изреженные, мелкие, с короткими черешками, могут быть сильно повреждены болезнями и вредителями, вегетативное размножение осенью почти отсутствует.

Степень поражения мучнистой росой определяли по 5-балльной шкале:

0 – отсутствие признаков болезни;

1 – слабое поражение: мицелиальный налет занимает до 10% общей поверхности листовой пластинки;

2 – значительное поражение: поражено 11–26% общей поверхности листьев;

3 – сильное поражение: поражено 26–50% общей поверхности листьев;

4 – очень сильное поражение: мицелиальный налет гриба занимает больше 50% общей поверхности листьев.

Оценку поражаемости листьев пятнистостью (рис. 2, в) также проводили по 5-балльной шкале:

0 – отсутствие поражения;

1 – слабое поражение: не более 10 мелких (белая и бурая пятнистости) или 3 мелких или средних пятен на листе (угловатая пятнистость);

2 – среднее поражение: пятна занимают до 25% поверхности листьев, у белой и бурой пятнистостей хорошо заметно спороношение;

3 – сильное поражение: крупные пятна мицелия, занимающие 26–50% площади листьев, спороношение грибков обильное;

4 – очень сильное поражение: крупные пятна занимают свыше 50% площади листа, спороношение грибков обильное, лист отмирает.

Оценку поражаемости растений разными патогенными организмами проводили в разные периоды. Мучнистой росой – в первой половине мая, перед их цветением во время весеннего роста на молодых листьях, в конце июня – начале июля во время созревания и в конце сентября после летнего роста. Серой гнилью и фитофторозной кожистой гнилью – в конце июня – 2-й половине июля во время съема плодов. Белой пятнистостью – в июне – 1-й половине июля во время цветения и в сентябре в фазе плодоношения. Оценку повреждения растений земляничным клещом проводили весной, в период отрастания листьев, до цветения, и после съема урожая в период активизации ростовых процессов.

Оценка приживаемости рассады

Этот показатель отражает способность розеток нормально укореняться. Наиболее распространенными причинами гибели рассады являются ее неспособность укорениться и поражение серой гнилью. Первое характерно для очень маленьких розеток с небольшими корневыми зачатками ввиду малого запаса питательных веществ, второе – для розеток с очень рыхлой соединительной тканью, выросшей при обильном питании.

Агротехнические условия на экспериментальном поле и метеорологические условия периода исследований

Почва охристая, вулканическая, со следующими агрохимическими показателями: pH 5,4, гидролитическая кислотность 4,32 мг экв./100 г почвы, содержание подвижного фосфора 5,8 мг/100 г почвы, обменного калия 23,30, аммиачного азота 4,90, нитратного азота 2,72 мг/100 г почвы. Обработка почвы состояла из зяблевой вспашки, весенней обработки плоскорезом, культивации. Уход за растениями заключался в проведении двукратных обработок междурядий и четырех прополок в рядах.

Метеорологические условия периода исследований представлены в табл. 1. Переход температур через 5°C произошел в III декаде мая (6,6°C). Средняя температура в летние месяцы составляла в июне +8,6°C, июле +14,2°C, августе 13,1°C и превышала среднееголетние показатели на 0,6°C в июле, а июнь и август были холоднее на 1,1 и 1,4°C соответственно. В летний период максимальная температура воздуха достигала 28,5°C в III декаде июля.

Таблица 1

Метеорологические условия вегетационного периода 2018 года

Meteorological conditions during vegetation season in 2018

Месяц Month	Декада Decade	Температура воздуха, °C Air temperature, °C				Атмосферные осадки, мм Atmospheric precipitation, mm		Продолжительность солнечного сияния, ч Duration of sunlight, hr	
		Среднедекадная Average in decade	Отклонение от средне-многолетней Deviation from the average multi-year	Максимальная Maximal	Минимальная Minimal	Сумма Sum	Отклонение от средне-многолетней, % Deviation from the average multi-year, %	Сумма Sum	Отклонение от средне-многолетней, % Deviation from the average multi-year, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Май May	1	3,3	-0,3	16,3	-4,0	5,1	21	89	35
	2	4,7	-1,3	15,1	-2,9	22,3	89	42	-22
	3	6,6	-0,3	20,2	-0,8	15,6	62	67	-4
	М-ц*	4,9	-0,6	20,2	-4,0	43,0	58	198	9
Июнь June	1	7,7	0,2	17,3	-1,0	43,6	229	66	-2
	2	8,2	-1,8	21,6	1,6	15,6	74	76	11
	3	9,9	-1,6	21,3	2,1	48,9	158	94	35
	М-ц	8,6	-1,1	21,6	-1,0	108,1	152	236	44
Июль July	1	12,7	-0,1	25,7	4,1	18,4	68	57	2
	2	14,4	1,3	27,3	6,5	3,3	12	74	21
	3	15,3	0,4	28,5	10,7	87,8	214	44	-14
	М-ц	14,2	0,6	28,5	4,1	109,5	114	175	9

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Август <i>August</i>	1	14,7	-1,3	23,8	5,6	20,9	60	79	31
	2	12,8	-2,7	21,0	5,5	80,2	251	19	-37
	3	12,0	-0,4	21,5	-0,1	20,4	58	93	27
	М-ц	13,1	-1,4	23,8	-0,1	121,5	119	191	21
Сентябрь <i>September</i>	1	10,8	-1,0	18,0	2,7	49,7	171	18	-43
	2	9,9	1,2	20,2	-0,6	51,6	132	71	12
	3	9,4	-0,2	18,7	-1,0	9,1	28	82	28
	М-ц	10,0	0,0	20,2	-1,0	110,4	110	172	-22

* М-ц – среднее значение за полный месяц.

За период с июня по сентябрь выпало 339,1 мм осадков, что составило 92,2% среднемноголетней нормы (368 мм). Периоды с незначительным количеством осадков отмечались во II декаде июля. В этот период выпало 3,3 мм, что составило всего 12% от среднемноголетней нормы. Наибольшее количество осадков выпало в I декаде июня, III декаде июля и II декаде августа (43,6, 87,8 и 80,2 мм осадков соответственно, то есть 229, 214, 251% соответственно от среднемноголетней нормы).

Наибольшее количество часов солнечного сияния отмечалось в июне – 236 ч, что на 44 ч выше среднемноголетней нормы. Тем не менее за летние месяцы продолжительность солнечного сияния была низкая, 602 ч, что составило 82% от нормы (734 ч). В целом метеорологические условия в период вегетации растений земляники садовой в 2018 г. складывались достаточно благоприятно. Отсутствие засушливых периодов и постоянные осадки способствовали лучшей приживаемости, а также росту и развитию растений.

Результаты и обсуждение

Рассада земляники при высадке имеет недостаточно развитую корневую систему, поэтому целью ее замачивания в водорослевом экстракте было снизить стресс после выкопки, улучшить приживаемость растений и активизировать их питание. Приживаемость растений во всех экспериментах составила 100%. При оценке общего состояния учитывался рост и развитие растений, поражение патогенными микроорганизмами и вредителями. Сравнение показателей общего состояния растений показало незначительное различие между необработанными розетками и предварительно замоченными в водорослевых экстрактах (табл. 2). При использовании 5%-ного экстракта *S. bongardiana* регистрировали самый высокий показатель – 5,0 баллов по сравнению с 4,5 баллами в контрольной группе (т. е. с растениями, замоченные в проточной пресной воде). При использовании 100%-ного экстракта *F. distichus* регистрировали самое низкое значение данного показателя – 4,0 балла.

Таблица 2

Эффект замачивания корневой системы посадочного материала земляники садовой в водорослевом экстракте на приживаемость, общее состояние и морфометрические показатели растений

Effect of wetting of strawberry's root system in seaweed extracts on survival rate, general condition and morphometric parameters of plants

Исследуемая группа растений <i>Group of plants</i>	Приживаемость растений, % <i>Plant survival rate, %</i>	Общее состояние растений, балл <i>General condition of plants, score</i>	Высота растений, см <i>Plant height, cm</i>	Количество листьев на растении, шт. <i>Number of leaves on one plant</i>	Количество усов на растении, шт. <i>Number of runners (stolons) on one plant</i>	Количество розеток на растении, шт. <i>Number of plugs on one plant</i>
1	2	3	4	5	6	7
Контрольная группа (замачивание корней в воде) <i>Control group (soaking of roots in water)</i>	100	4,5	16,4	5,0	1,2	1,4
<i>S. bongardiana</i> (5%-ный экстракт) <i>5% extract</i>	100	5,0	17,8	5,8	0,6	0,6

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
<i>S. bongardiana</i> (10%-ный экстракт) 10% extract	100	4,5	17,0	4,2	0,6	0,6
<i>S. bongardiana</i> (25%-ный экстракт) 25% extract	100	4,5	17,8	3,4	0,4	0,6
<i>S. bongardiana</i> (50%-ный экстракт) 50% extract	100	4,5	16,6	4,0	0,4	0,4
<i>S. bongardiana</i> (100%-ный экстракт) 100% extract	100	4,5	16,6	4,0	0,4	0,4
<i>F. distichus</i> (5%-ный экстракт) 5% extract	100	4,5	17,2	4,2	0,6	0,6
<i>F. distichus</i> (10%-ный экстракт) 10% extract	100	4,5	15,0	4,2	0	0
<i>F. distichus</i> (25%-ный экстракт) 25% extract	100	4,5	14,4	4,2	0,2	0,4
<i>F. distichus</i> (50%-ный экстракт) 50% extract	100	4,5	14,8	4,0	0,4	0,6
<i>F. distichus</i> (100%-ный экстракт) 100% extract	100	4,0	15,0	3,6	0,4	0,6

Замачивание рассады земляники в водорослевых экстрактах оказало влияние на такие биометрические показатели, как высота растений и количество у них листьев (табл. 2). Высота растений, обработанных 5%-ным и 25%-ным экстрактами *S. bongardiana* составила 17,8 см, что на 1,4 см выше, чем в контрольной группе. Количество листьев у растений, обработанных 5%-ным экстрактом *S. bongardiana*, превышало показатель в контрольной группе (5,0 шт.) и составило 5,8 шт. на 1 растение, однако количество усов и розеток на 1 растение не превышало контрольные значения. При увеличении концентраций водорослевых экстрактов наблюдалась тенденция снижения высоты растений и количества листьев.

Степень воздействия белой пятнистости и вредителей на растения при их дальнейшем развитии была минимальной (табл. 3). Во всех тестируемых группах, включая контрольную, поражение листьев белой пятнистостью отмечалось на уровне 0,5 баллов. Исключение составил 5%-ный экстракт *S. bongardiana*, поскольку у обработанных в нем растений отсутствовало поражение листьев белой пятнистостью (0 баллов). Повреждение растений вредителями не отмечалось во всех исследуемых группах (табл. 3).

Таблица 3

**Эффект обработки посадочного материала земляники садовой
в водорослевом экстракте на поражение растений белой пятнистостью и вредителями**
Effect of seaweed extracts treatment on the development of common spot disease and pests in strawberry plants

Исследуемая группа растений <i>Group of plants</i>	Поражение белой пятнистостью, % <i>Development of common spot disease, %</i>	Повреждение вредителями, балл <i>Damage of plants by pests, score</i>
1	2	3
Замачивание корневой системы посадочного материала <i>Wetting of strawberry's root system</i>		
Контрольная группа (замачивание в воде) <i>Control group (wetting of roots in freshwater)</i>	0,5	0
<i>S. bongardiana</i> (5%-ный экстракт) 5% extract	0	0
<i>S. bongardiana</i> (10%-ный экстракт) 10% extract	0,5	0
<i>S. bongardiana</i> (25%-ный экстракт) 25% extract	0,5	0

Окончание табл. 3

1	2	3
<i>S. bongardiana</i> (50%-ный экстракт) 50% extract	0,5	0
<i>S. bongardiana</i> (100%-ный экстракт) 100% extract	0,5	0
<i>F. distichus</i> (5%-ный экстракт) 5% extract	0,5	0
<i>F. distichus</i> (10%-ный экстракт) 10% extract	0,5	0
<i>F. distichus</i> (25%-ный экстракт) 25% extract	0,5	0
<i>F. distichus</i> (50%-ный экстракт) 50% extract	0,5	0
<i>F. distichus</i> (100%-ный экстракт) 100% extract	0,5	0
Опрыскивание листьев <i>Foliar spraying of seaweed extract</i>		
Контрольная группа (замачивание в воде) <i>Control group (wetting of roots in freshwater)</i>	1,0	0
<i>S. bongardiana</i> (10%-ный экстракт) 10% extract	1,5	0
<i>S. bongardiana</i> (25%-ный экстракт) 25% extract	0,5	0
<i>F. distichus</i> (10%-ный экстракт) 10% extract	1,0	0
<i>F. distichus</i> (25%-ный экстракт) 25% extract	1,0	0

При ручном опрыскивании растений водорослевыми экстрактами их приживаемость во всех группах составила 100%. Небольшое превышение показателя общего состояния растений отмечалось в группах, опрысканных 25%-ным экстрактом *S. bongardiana* и 10%-ным экстрактом *F. distichus* (табл. 4). Данный способ обработки – опрыскивание растений водорослевыми экстрактами – оказал влияние на количество у них усов (табл. 4). Так, оно превышало таковое в контрольной группе, хотя в среднем незначительно.

Таблица 4

Эффект опрыскивания листьев земляники садовой водорослевым экстрактом

Effect of foliar spraying of seaweed extract on strawberry plants

Приживаемость, общее состояние и морфометрические показатели растений <i>Survival rate, general condition and morphometric parameters of plants</i>						
Исследуемая группа растений <i>Group of plants</i>	Приживаемость растений, % <i>Plant survival rate, %</i>	Общее состояние растений, балл <i>General condition of plants, score</i>	Высота растений, см <i>Plant height, cm</i>	Количество листьев на растении, шт. <i>Number of leaves on one plant</i>	Количество усов на растении, шт. <i>Number of runners (stolons) on one plant</i>	Количество розеток на растении, шт. <i>Number of plugs on one plant</i>
Контрольная группа (замачивание в воде) <i>Control group (wetting of roots in freshwater)</i>	100	4,5	17,6	4,0	0,8	0,8
10%-ный экстракт <i>S. bongardiana</i> 10% extract	100	4,0	17,2	4,0	1,0	0,7
25%-ный экстракт <i>S. bongardiana</i> 25% extract	100	5,0	17,8	4,0	1,0	0,5
10%-ный экстракт <i>F. distichus</i> 10% extract	100	5,0	17,2	4,0	1,2	1,0
25%-ный экстракт <i>F. distichus</i> 25% extract	100	4,0	16,0	4,0	1,0	0,8

Окончание табл. 4

Ассимиляционная поверхность листьев <i>Leaves' assimilation surface</i>				
Исследуемая группа растений <i>Group of plants</i>	Количество листьев на растении, шт. <i>Number of leaves on one plant</i>	Площадь 1 листа, см ² <i>Area of one leaf, cm²</i>	Площадь всех листьев на 1 растении <i>Area of all leaves on 1 plant</i>	
			см ² <i>cm²</i>	% к контролю <i>% to control</i>
Контрольная группа (замачивание в воде) <i>Control group (wetting of roots in freshwater)</i>	4,0	65,3	261,2	100
10%-ный экстракт <i>S. bongardiana</i> <i>10% extract</i>	4,0	60,8	243,2	93,1
25%-ный экстракт <i>S. bongardiana</i> <i>25% extract</i>	4,0	78,1	312,4	119,6
10%-ный экстракт <i>F. distichus</i> <i>10% extract</i>	4,0	81,3	325,2	124,5
25%-ный экстракт <i>F. distichus</i> <i>25% extract</i>	4,0	76,4	305,6	116,9

При опрыскивании растений водорослевыми экстрактами степень воздействия белой пятнистости и вредителей была минимальной, однако чуть выше, чем при их замачивании в экстрактах (табл. 3). Минимальное поражение белой пятнистостью на уровне 0,5 балла отмечалось у растений, опрысканных 25%-ным экстрактом *S. bongardiana*. Повреждение растений вредителями не наблюдалось (табл. 3).

Величина листовой поверхности растений, как главного питающего органа, имеет особое значение. Увеличение листовой поверхности посевов является одним из важных средств борьбы за высокий урожай. Увеличению ассимиляционной поверхности листового аппарата способствуют фитогормоны [15]. Их воздействие существенно ослабляет неблагоприятное влияние абиотических и биотических факторов окружающей среды на общее состояние растений и их продуктивность.

Наши исследования показали, что обработка земляники садовой водорослевыми экстрактами способствовала увеличению площади листовой поверхности (табл. 4 и 5). При замачивании корневой системы рассады в 5%-ном экстракте *S. bongardiana* этот показатель превысил контроль на 34,2%, а в 10%-ном и 25%-ном экстракте *F. distichus* – на 24,2% и 26,4% соответственно. При опрыскивании растений водорослевыми экстрактами увеличение площади листьев на 19,6% зарегистрировали после обработки 25%-ным экстрактом *S. bongardiana*, а в 10%-ном и 25%-ном экстракте *F. distichus* – на 24,5% и 16,9% соответственно.

Таблица 5

Эффект замачивания корневой системы посадочного материала земляники садовой в водорослевом экстракте на ассимиляционную поверхность листьев

Effect of wetting of strawberry root system in seaweed extracts on leaves' assimilation surface

Исследуемая группа растений <i>Group of plants</i>	Количество листьев на растении, шт. <i>Number of leaves on one plant</i>	Площадь 1 листа, см ² <i>Area of one leaf, cm²</i>	Площадь всех листьев на 1 растении <i>Area of all leaves on 1 plant</i>	
			см ² <i>cm²</i>	% к контролю <i>% to control</i>
1	2	3	4	5
Контрольная группа (замачивание в воде) <i>Control group (wetting of roots in freshwater)</i>	5,0	52,3	261,5	100
<i>S. bongardiana</i> (5%-ный экстракт) <i>5% extract</i>	5,8	60,5	350,9	134,2
<i>S. bongardiana</i> (10%-ный экстракт) <i>10% extract</i>	4,2	46,5	195,3	74,7
<i>S. bongardiana</i> (25%-ный экстракт) <i>25% extract</i>	3,4	74,4	252,9	96,7
<i>S. bongardiana</i> (50%-ный экстракт) <i>50% extract</i>	4,0	59,3	237,2	90,7

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5
<i>S. bongardiana</i> (100%-ный экстракт) 100% extract	4,0	61,9	247,6	94,7
<i>F. distichus</i> (5%-ный экстракт) 5% extract	4,2	55,2	231,8	88,6
<i>F. distichus</i> (10%-ный экстракт) 10% extract	4,2	77,3	324,7	124,2
<i>F. distichus</i> (25%-ный экстракт) 25% extract	4,2	78,7	330,5	126,4
<i>F. distichus</i> (50%-ный экстракт) 50% extract	4,0	58,3	233,2	89,2
<i>F. distichus</i> (100%-ный экстракт) 100% extract	3,6	48,4	174,24	66,6

Заключение

Подводя итог проведенной работе, можно говорить о том, что использование бурых водорослей в качестве биостимуляторов роста сельскохозяйственных культур перспективно в климатических и экологических условиях Камчатского края. Исследованные нами виды морских бурых водорослей *Fucus distichus* subsp. *evanescens* и *Saccharina bongardiana* и полученные из них водные экстракты богаты различными микро- и макроэлементами, необходимыми для жизнедеятельности растений, а также витаминами, различными полисахаридами, включая фукоидан и альгиновые кислоты [5]. Эти водоросли могут быть использованы как альтернативный источник калийных подкормок и стимуляторов роста наземных растений в камчатском регионе.

Выраженный положительный эффект водорослевых экстрактов на развитие ягодных культур достигается при минимальном количестве исходного водорослевого сырья и при использовании низких концентраций экстракта. Например, для приготовления 50 л водорослевого экстракта с концентрацией 1% требуется всего 50 г сухих водорослей. Из 10 кг сырой *S. bongardiana* можно приготовить более 1 000 л ее водного экстракта. Ранее сообщалось, что экстракты морских бурых водорослей биологически активны при низких концентрациях, в разбавлении 1 : 1 000 или более [16]. Поскольку многие из их химических компонентов и способ их действия остаются неизвестными, было высказано предположение о наличии синергетической активности [17–19]. Даже однократное замачивание рассады земляники в водорослевых экстрактах оказало влияние на такие биометрические показатели, как высота растений и количество листьев, а при опрыскивании – на количество усов, которое пусть незначительно, но превышало таковое в контрольной группе. Поскольку земляника садовая является многолетним растением и ее плодоношение на Камчатке начинается на второй год жизни, необходимо продолжение начатых исследований.

Литература

1. Сравнительное изучение химического состава этанольных экстрактов бурых водорослей и их влияние на рост проростков и урожайность сои *Glycine max* (L.) Merr. / Т.И. Имбс, Е.Л. Чайкина, Л.А. Дега, А.П. Ващенко, М.М. Анисимов // Химия растительного сырья. – 2010. – № 1. – С. 143–148.
2. ЭкоФус [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.yaeco.ru/zashhita-rastenij/udobrenija/ekofus>. (дата обращения: 20.12.2018).
3. Biolan Палочки из природного удобрения [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.biolan.fi/russian/produkciya/biolan-palochki-iz-prirodnogo-udobrenija> (дата обращения: 20.12.2018).
4. ЭкоФус [Электронный ресурс]. – URL: <http://nest-m.biz/udobreniya/ekofus-1/> (дата обращения: 20.12.2018).
5. Ключкова Н.Г., Королева Т.Н., Кусиди А.Э. Атлас водорослей-макрофитов прикамчатских вод. – Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, КамчатНИРО, 2009а. – Т. 1. – 216 с.
6. Ключкова Н.Г., Королева Т.Н., Кусиди А.Э. Атлас водорослей-макрофитов прикамчатских вод. – Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, КамчатНИРО. – 2009б. – Т. 2. – 302 с.
7. Зона рискованного земледелия [Электронный ресурс]. – URL: <http://kamtime.ru/node/1552> (дата обращения: 20.12.2018).

8. *Ивашкевич Г.В.* Некоторые результаты исследования химического состава вод месторождения Шануч // Материалы конф. профес.-препод. состава и аспирантов. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2005. – С. 32–40.
9. *Ахатов А.К., Ахатов Е.А.* Наиболее вредоносные болезни овощных культур в современных тепличных комбинатах // Гавриш. – 2014. – № 3. – С. 16–23.
10. Новая бактериальная болезнь тепличного огурца / *М.В. Ходыкина, Э.Ш. Пехтерева, Е.И. Кырова, С.В. Виноградова, А.К. Ахатов, В.Н. Юваров, И.П. Борисова, А.Н. Игнатов* // Гавриш. – 2014. – № 3. – С. 24–28.
11. *Abdel-Raouf N., Al-Homaidan A.A., Ibraheem I.B.M.* Agricultural importance of algae // *African Journal of Biotechnology*. – 2012. – Vol. 11, iss. 54. – P. 11648–11658.
12. *Chatzissavidis C., Therios I.* Role of algae in agriculture // *Seaweeds* (Ed. Pomin V.H.). – Nova Science Publishers, Inc., 2014. – P. 1–37.
13. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Мичуринск, 1973. – 495 с.
14. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Орел: Изд-во ВНИИСПК, 1999. – 606 с.
15. *Галиulina А.А.* Влияние регуляторов роста на рост и развитие земляники // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2008. – № 87. – С. 11–13.
16. *Crouch I.J., van Staden J.* Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products // *Plant Growth Regulation*. – 1993. – Vol. 13. – P. 21–29.
17. *Fornes F., Sanchez-Perales M., Guadiola J.L.* Effect of a seaweed extract on the productivity of 'de Nules' clementine mandarin and navelina orange // *Botanica Marina*. – 2002. – Vol. 45. – P. 486–489.
18. Effect of foliar spraying with amino acids and seaweed extract on growth chemical constitutes, yield and its quality of celeriac plant / *S.M. Shehata, H.S. Abdel- Azim, A. Abou El-Yazied, A.M. El-Gizawy* // *European Journal of Scientific Research*. – 2011. – Vol. 58, iss. 2. – P. 257–265.
19. Application of biostimulants in floating system for improving rocket quality / *P. Vernieri, E. Borghesi, A. Ferrante, G. Magnani* // *Journal of Food, Agriculture & Environment*. – 2005. – Vol. 3. – P. 6–88.

References

1. Comparative study of the chemical composition of ethanol extracts from the brown algae and their effect on growth of seedlings and yield of soybean *Glycine max* (L.) Merr. / *T.I. Imbs, E.L. Chaykina, L.A Dega, A.P. Vaschenko, M.M. Anisimov* // *Himiya rastitel'nogo syr'ya*. – 2010. – № 1. – P. 143–148.
2. EkoFus [Electronic resource]. – URL: <https://www.yaeco.ru/zashhita-rastenij/udobrenija/ekofus> (accessed: 20.12.2018).
3. Biolan Natural fertilizer sticks [Electronic resource]. – URL: <https://www.biolan.fi/russian/produkcija/biolan-palochki-iz-prirodnogo-udobrenija> (accessed: 20.12.2018).
4. EkoFus [Electronic resource]. – URL: <http://nest-m.biz/udobreniya/ekofus-11/> (accessed: 20.12.2018).
5. *Klochkova N.G., Koroleva T.N., Kusidi A.E.* Atlas vodoroslei-makrofitov Kamchatki i prikamchatskikh vod [Atlas of macrophytic algae of Kamchatka and surrounding areas]. – Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2009a. – Vol. 1. – 216 p. (Green and brown algae).
6. *Klochkova N.G., Koroleva T.N., Kusidi A.E.* Atlas vodoroslei-makrofitov Kamchatki i prikamchatskikh vod [Atlas of macrophytic algae of Kamchatka and surrounding areas]. – Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2009b. – Vol. 2. – 302 p. (Red algae).
7. Areas of risky farming [Electronic resource]. – URL: <http://kamtime.ru/node/1552> (accessed: 20.12.2018).
8. *Ivashkevich G.V.* Some results of the study of Shanuch deposit's water chemical composition // Proc. conf. Professors, lecturers & graduate students. – Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatGTU, 2005. – P. 32–40.
9. *Ahatov A.K., Ahatov E.A.* The most harmful diseases of vegetable crops in modern greenhouse plants // Гавриш. – 2014. – № 3. – P. 16–23.

10. New bacterial disease of the greenhouse cucumber / *M.V. Hodykina, E.Sh. Pehtereva, E.I. Kyrova, S.V. Vinogradova, A.K. Ahatov, V.N. Yuvarov, I.P. Borisova, A.N. Ignatov* // *Gavrish*. – 2014. – № 3. – P. 24–28.
11. *Abdel-Raouf N., Al-Homaidan A.A., Ibraheem I.B.M.* Agricultural importance of algae // *African Journal of Biotechnology*. – 2012. – Vol. 11, iss. 54. – P. 11648–11658.
12. *Chatzissavvidis C., Therios I.* Role of algae in agriculture // *Seaweeds* (Ed. *Pomin V.H.*). – Nova Science Publishers, Inc., 2014. – P. 1–37.
13. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур [Program and methods of strain investigation in fruit, berry and nut crops]. – Michurinsk, 1973. – 495 p.
14. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур [Program and methods of strain investigation in fruit, berry and nut crops]. – Orel: Izd-vo VNIISPK, 1999. – 606 p.
15. *Galiulina A.A.* The influence of growth regulators on the growth and development of strawberries // *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2008. – № 87. – P. 11–13.
16. *Crouch I.J., van Staden J.* Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products // *Plant Growth Regulation*. – 1993. – Vol. 13. – P. 21–29.
17. *Fornes F., Sanchez-Perales M., Guadiola J.L.* Effect of a seaweed extract on the productivity of 'de Nules' clementine mandarin and navelina orange // *Botanica Marina*. – 2002. – Vol. 45. – P. 486–489.
18. Effect of foliar spraying with amino acids and seaweed extract on growth chemical constituents, yield and its quality of celeriac plant / *S.M. Shehata, H.S. Abdel- Azim, A. Abou El-Yazied, A.M. El-Gizawy* // *European Journal of Scientific Research*. – 2011. – Vol. 58, iss 2. – P. 257–265.
19. Application of biostimulants in floating system for improving rocket quality / *P. Vernieri, E. Borghesi, A. Ferrante, G. Magnani* // *Journal of Food, Agriculture & Environment*. – 2005. – Vol. 3. – P. 86–88.

Информация об авторах Information about the authors

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

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

Дахно Ольга Александровна – Камчатский научно-исследовательский институт сельского хозяйства; 684033, Россия, Сосновка, Елизовский район, Камчатский край; кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией селекции многолетних трав, ягодных культур; o_dakhno@mail.ru

Dakhno Olga Alexandrovna – Kamchatka Research Institute of Agriculture; 684033, Russia, Sosnovka village, Elizovsky district, Kamchatka region; Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory for Breeding of Perennial Herbs and Berries; o_dakhno@mail.ru

Дахно Тимофей Григорьевич – Камчатский научно-исследовательский институт сельского хозяйства; 684033, Россия, Сосновка, Елизовский район, Камчатский край; старший научный сотрудник лаборатории селекции многолетних трав, ягодных культур

Dakhno Timofey Grigoryevich – Kamchatka Research Institute of Agriculture; 684033, Russia, Sosnovka village, Elizovsky district, Kamchatka region; Senior Scientific Researcher of the Laboratory for Breeding of Perennial Herbs and Berries

УДК 581.6:(582.272.7+582.272.46):634.75

Т.А. Ключкова, А.В. Климова, Н.Г. Ключкова

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАМЧАТСКИХ ЛАМИНАРИЕВЫХ
ВОДОРΟΣЛЕЙ В РЕГИОНАЛЬНОМ РАСТЕНИЕВОДСТВЕ**

Широкое использование синтетических удобрений и стимуляторов роста растений дало толчок для развития промышленного сельского хозяйства. Однако в последние десятилетия во многих странах мира становится все более популярным органическое садоводство, при котором не используются искусственные химические удобрения и пестициды. Для получения высококачественной экологически чистой продукции с давних пор человечество использует в качестве стимуляторов роста растений морские водоросли. В работе на основе анализа литературных данных рассматривается их полезное влияние на развитие растений. На шельфе Камчатки основу донной растительности составляют ламинариевые водоросли. Их видовое разнообразие здесь выше, чем в любом другом альгопромысловом районе Российской Федерации. Особенности вертикального распределения и географического распространения ламинариевых, композиция их фитоценозов, биология развития, океанологические и гидрометеорологические условия региона обуславливают регулярное формирование вдоль камчатского побережья мощных валов водорослевых выбросов. Их формируют растения, завершившие свое развитие, элиминированные в ходе естественного прореживания зарослей, оторванные от грунта под воздействием сильного волнения. Широкое вовлечение морских растительных ресурсов в региональное растениеводство может дать толчок для его развития. Химический состав ламинариевых подвержен значительным сезонным колебаниям, что следует учитывать при выборе вариантов использования водорослевых сборов в региональном растениеводстве¹.

Ключевые слова: водорослевые выбросы, использование водорослей, Камчатка, ламинариевые водоросли, стимуляция роста.

Т.А. Klochkova, A.V. Klimova, N.G. Klochkova

**PROSPECTS OF USING LAMINARIACEAN ALGAE FROM KAMCHATKA
IN THE REGIONAL HORTICULTURE**

The widespread use of synthetic fertilizers and plant growth stimulators gave a tremendous impetus to the development of industrial agriculture. Recently, organic gardening, which does not use artificial chemical fertilizers and pesticides, has become increasingly popular in many countries around the world. To grow high-quality environmentally friendly products, seaweeds were used as plant growth stimulators from the ancient times. In this paper, we discuss the beneficial effect of seaweeds on the development of higher plants based on reference analysis. On the shelf of Kamchatka, the basis of bottom vegetation is composed of laminariacean algae and their species diversity is higher in this region comparing to any other area in Russia. Abundant kelps are cast ashore along the coast of Kamchatka, due to peculiarities of their vertical and geographical distribution, composition of phytocenoses, developmental biology, and oceanological and hydro-meteorological conditions in this region. Usually, the beach-cast kelps include plants that (1) have completed their development, (2) are being naturally eliminated from the thick algal beds, or (3) are detached from the bottom due to wave action. Widespread involvement of marine vegetative resources in the regional horticulture can provide an impetus to its development. Significant seasonal changes occur in the chemical composition of the laminariacean algae, and it should be considered when choosing options for their usage in the regional horticulture.

Key words: algae cast ashore, algae use, Kamchatka, laminariacean algae, growth stimulation.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-90-103

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Федерального агентства по рыболовству в рамках выполнения госзадания по темам НИР № госрегистрации AAAA-A18-118092690018-5, AAA-A19-119041990004-2 (This study was supported by the Federal Agency for Fishery (Rosrybolovstvo) of the Russian Federation in the framework of state assignment on scientific research works (№ of state registration AAAA-A18-118092690018-5, AAA-A19-119041990004-2)).

История производства и использования удобрений

Удобрения – это вещества, добавляемые в почву для улучшения ее плодородия и, следовательно, роста и урожайности растений. Еще испокон веков было замечено, что первые урожаи, собранные с одного и того же земельного участка, качественно превосходят последующие, причем с каждым новым поколением растений, произрастающих на одной и той же земле, урожайность понижается и качество всходов ухудшается. Именно поэтому для поддержания стабильности почвы и повышения урожайности стали разрабатывать первые органические удобрения. Их внесение в почву было направлено на улучшение ее плодородия, поскольку повышало содержание органики, а также минерального азота, фосфора, калия, кальция, алюминия, железа, марганца и других важных для жизнедеятельности растений микро- и макроэлементов. Внесение удобрений, кроме того, приводило к изменению кислотности почвы, повышение ее биологической активности [1]. Еще в 200–800 гг. до нашей эры греки применяли для обогащения своих почв городские сточные воды и экскременты сельскохозяйственных животных [2]. Древние римляне чередовали посевы, добавляли в почву известь и удобряли азотом, для чего высаживали бобовые культуры. В XVII в. в разных частях Европы почву удобряли навозом и ферментированными городскими отходами, а также сеяли в качестве сидерата клевер.

Около 180 лет назад немецкий химик и один из основателей агрохимии Юстус фон Либих сделал открытие, что растения можно выращивать на нейтральном, лишенном гумуса и органики грунте, питая их растворами химических элементов. Либих также определил химические элементы, необходимые для роста растений [3]. Ими оказались азот (N), фосфор (P) и калий (K).

Основополагающим моментом в развитии мирового сельского хозяйства стало открытие в 1909 г. промышленного процесса синтеза аммиака, получившее название «процесс Габера – Боша». Это стало началом производства химических азотных удобрений [4]. В ходе этого процесса атмосферный азот в присутствии катализатора, порошкообразного осмия, превращался в полезный аммиак, а затем путем соединения с кислородом при температуре 800°C получалась азотная кислота. Это открытие позволило получать мегатонны азотных удобрений из синтетического аммиака при относительно небольших энергозатратах, что, в свою очередь, позволило существенно увеличить урожайность. Во многом благодаря этому стало стремительно развиваться промышленное сельское хозяйство. Следует отметить, что его развитие всегда происходило параллельно с ростом населения планеты. Например, согласно данным Национальной службы сельскохозяйственной статистики и растениеводства США (USDA National Agricultural Statistics Service) [5], в 1920 г., когда население планеты составляло примерно 1,65 млрд чел., американские фермеры производили в среднем 30 бушелей кукурузы на акр (т. е. 1,16 т на 0,405 га, или 0,28 кг на 1 м²)². На сегодняшний день население планеты составляет около 7,4 млрд чел., а урожайность кукурузы увеличилась почти на 350% и в среднем составляет 134 бушеля на акр (т. е. 5,22 т на 0,405 га, или около 1,3 кг на 1 м²)² [5]. В 1920 г. уровень мирового потребления удобрений составил около 6,1 млн т в год в пересчете на содержание питательных веществ, однако ожидается, что к 2020 г. он достигнет 200 млн т [6–8]. Согласно существующим прогнозам к 2050 г. численность населения планеты увеличится на 50%, а спрос на зерно в мире увеличится в два раза [9]. Учитывая зависимость производства синтетических удобрений от природного газа и фосфоритов, для удовлетворения будущих глобальных потребностей в продовольствии может потребоваться альтернативный источник получения азотно-фосфорно-калийных удобрений.

Органические удобрения бывают растительного и животного происхождения, включая удобрения на основе морепродуктов или отходов их переработки, а также естественные минеральные (т. е. несинтетические). В последние десятилетия во многих странах мира, особенно в развитых индустриальных, стало особо популярным органическое садоводство, при котором растения выращивают при полном отсутствии или с минимальным применением искусственных химических удобрений и пестицидов. За рубежом стоимость выращенной таким образом овощной и плодоягодной продукции значительно дороже, чем у аналогичной, выращенной с использованием химических удобрений. В настоящее время огромный интерес для сельского хозяйства представляют удобрения из водорослей или удобрения, изготовленные на их основе, поскольку они являются абсолютно натуральными, значительно улучшают структуру почвы и способствуют росту растений, особенно плодоносящих [10].

² Расчеты авторов статьи по используемой в России метрической системе. В оригинальных работах приводятся расчеты по метрической системе, используемой в странах Европы и Северной Америки.

Водоросли традиционно используют в качестве удобрений в самом разнообразном виде, например в сыром, то есть когда в почву закладывают целые или посеченные талломы, в виде перегнойной, водорослевой золы и вытяжек, как стимуляторы роста, а также в виде корневых и внекорневых подкормок. Помимо положительного воздействия на наземные растения, водорослевые удобрения благотворно влияют на механический состав почвы, способствуя формированию почвенных гидроколлоидов. Они повышают способность почвы удерживать питательные вещества в доступном для растений виде, то есть повышают емкость катионного обмена, что, в свою очередь, позволяет корням легче усваивать минеральные удобрения, внесенные на фоне органических. Другим преимуществом водорослевых удобрений является их способность активизировать иммунитет растений в экстремальных условиях, сокращать сроки созревания, а в итоге улучшать качество продукции.

Положительное влияние водорослевых удобрений на рост и развитие наземных растений обусловлено уникальным химическим составом водорослей. Они содержат макро- и микроэлементы, необходимые для развития растений, в том числе те, которые обеспечивают их иммунитет, морозостойкость, плодovitость, а также лежкость плодов [11].

Использование водорослей в качестве биостимуляторов и удобрений

Водоросли являлись важным ресурсом для человека еще в доисторические времена [12]. Из литературных источников известно, что еще древние греки и римляне использовали морские макрофиты для удобрения почвы [13–16]. Самое раннее упоминание о навозе из водорослей относится ко второй половине I в. Так, римский писатель и агроном Л.Я.М. Колумелла (L.J.M. Columella) рекомендовал мульчировать водорослевым навозом капусту, ссылаясь при этом на рекомендацию древнеримского научного писателя о сельском хозяйстве Рутилия Палладия, жившего в IV в. нашей эры. Последний рекомендовал применять собранные в марте морские водоросли для подкормки корней гранатовых и цитрусовых деревьев [17]. В данном случае интересен не просто сам факт использования водорослей в качестве удобрений, но и рекомендация по выбору месяца для их сбора. Очевидно, Палладий понимал, что в разные сезоны года содержание полезных веществ в водорослях существенно отличается, поэтому рекомендовал использовать их весенние сборы, когда происходит активный линейный рост и накапливаются фитогормоны.

Водоросли добавляли в почву в качестве навоза в Британии, причем задолго до ее завоевания римлянами, произошедшего в 43–84 гг. нашей эры. Для этого их накапливали на полях в кучах и периодически ворошили для проветривания и снижения производства токсичных сульфгидрильных соединений [18]. В Англии также издавна существовала практика смешивать морские водоросли с песком, давать им перегнить, после чего полученную массу вкапывали в почву. Известно, что в Соловецком монастыре (Соловецкие острова) водоросли издавна использовали в качестве удобрений лугов и огородов [19].

Все же стоит отметить, что хотя об эффективном применении морских водорослей в качестве удобрений было хорошо известно, широко и повсеместно в Европе их не использовали. Австрийский автор Д. МакХью [15] дал этому довольно странное объяснение, предположив, что фермеры не переносили водоросли слишком далеко от прибрежных территорий, поскольку в свежем виде их талломы были достаточно тяжелыми. В настоящее время европейские фермеры часто собирают дрейфующие водоросли или их штормовые выбросы, а в Шотландии во время отливов иногда срезают слоевища бурой фукусовой водоросли аскофиллум (*Ascophyllum*) [17]. Во Французской Британии фермеры регулярно собирают морские водоросли на пляжах и используют их на полях, расположенных на расстоянии до одного километра внутри страны.

В последнее десятилетие из-за увеличения на морские акватории антропогенной нагрузки и глобального изменения климата во всем мире регистрируют массовое цветение водорослей. Часто их становится настолько много, что во избежание возникновения заморных явлений вблизи берега возникает необходимость собрать растительную биомассу вручную. Однако следом возникает и вторая проблема: каким образом ее утилизировать?

Например, на Филиппинах во время массового развития бурых саргассовых водорослей их дрейфующие и выброшенные на берег слоевища собирают, высушивают на солнце и доставляют для сельскохозяйственных нужд в другие районы страны [15]. Еще одним интересным примером использования растительной биомассы является цветение зеленой водоросли *Microdictyon umbilicatum* у побережья Австралии в штате Новый Южный Уэльс [20]. Так, в конце 2010 г. цве-

тение этой водоросли продолжалось более одного года, и прибрежная акватория наполнилась массой растений, выброшенных прибоем на пляж. Реакция местных СМИ и жителей вынудила городской муниципалитет проявить озабоченность состоянием пляжей. Появившуюся в ходе цветения *M. umbilicatum* растительную биомассу собирали вручную и перерабатывали в компост для нужд местных фермерских хозяйств [20]. Аналогичная практика утилизации зеленых водорослей существует в Аргентине, где ежегодно летом на берег выбрасывается их большое количество, что мешает рекреационному использованию пляжей [17].

За последнее десятилетие было опубликовано достаточно много работ по мировому опыту использования экстрактов из морских водорослей в сельском хозяйстве [18, 21–23]. В основном их получают с использованием методов щелочного гидролиза, ферментации и приготовления различных вытяжек. По подсчетам специалистов, ежегодно в мире производится более 550 000 т водорослей для дальнейшего использования в качестве удобрений и биостимуляторов наземных растений [24]. Однако, несмотря на существование доказательной базы по уникальной, высоко-специфичной и сложной функциональности различных молекул, содержащихся в водорослевых экстрактах, способы их воздействия на наземные растения остаются недостаточно изученными. Зарегистрированные случаи благотворного воздействия водорослевых экстрактов на наземные растения очень многочисленны, и мы не ставим задачу подробно обсудить каждый из них, поэтому приведем несколько, по нашему мнению, наиболее ярких примеров.

В экстрактах морских водорослей были идентифицированы многие фитогормоны, вызывающие стимуляцию или ингибирование роста и морфогенеза растений, такие как ауксины, цитокинины, этилен, гиббереллины, абсцизовая кислота и др. [21, 25–28]. Так, проведенные эксперименты показали способность жидких водорослевых экстрактов индуцировать развитие целых растений из каллуса, то есть дедифференцированных тотипотентных клеток, что сопоставимо с воздействием регуляторов роста – специфических растительных гормонов [18].

Впервые водорослевые цитокинины, такие как зеатин и его производные – зеатин-рибозид, дигидро-зеатин, дигидро-зеатин-рибозид, были обнаружены в жидком экстракте из бурой водоросли *Durvillaea potatorum*, продаваемом в качестве удобрения марки «Seasol™» в Австралии [25]. В жидком экстракте марки «Kelpak™» из бурой водоросли *Ecklonia maxima*, произрастающей у атлантического побережья Южной Африки, наряду с гиббереллинами и абсцизовой кислотой были обнаружены брассиностероиды [28]. Последние являются фитогормонами, поддерживающими нормальное функционирование иммунной системы растений, особенно в неблагоприятных условиях.

На официальном сайте компании-дистрибьютора «Midwestern BioAg», специализирующейся на производстве и продаже удобрений, сказано, что экстракт «Kelpak™» помогает стимулировать развитие корней и увеличивает их линейный рост, что позволяет растениям поглощать больше нутриентов и воды из почвы [29]. Однако стоит отметить, что в связи с изменением климата и подводных течений естественные заросли эклониевых водорослей стремительно сокращаются по всему миру. Коммерческим культивированием одного из видов рода *Ecklonia* – *E. cava* – на открытых морских плантациях занимаются только в Южной Корее [30].

Известно, что триметильное производное глицина бетаин и аминокислота пролин защищают клетки растений от осмотического шока [31–34], накапливаясь в них во время воздействия различных стрессовых факторов [23]. У водорослей бетаины были обнаружены у представителей родов *Ascophyllum*, *Fucus* и *Laminaria* [18]. Имеются сообщения, что внесение в почву коммерческого экстракта из *Ascophyllum nodosum* привело к значительному сокращению количества паразитических нематод *Meloidogyne javanica* и *M. incognita* в корнях растений [35].

Известно, что в экстракте *Ascophyllum* присутствуют три основных бетаина. Лабораторные опыты показали, что при их комплексном воздействии в количествах, эквивалентных таковым в экстракте, происходило значительное снижение инвазии корней растений нематодами. На этом основании был сделан вывод, что аналогичный эффект от применения водорослевого экстракта также был вызван содержащимися в нем бетаинами [36].

Разнообразные водорослевые полисахариды, включая фукоиданы и альгинаты бурых и каррагинаны красных водорослей, характеризуются способностью стимулировать рост корней растений, как опосредованно, так и косвенно, в связи с воздействием на симбиотические микробные сообщества [21, 37–38]. Например, коммерческий экстракт из *A. nodosum* улучшает колонизацию корней сельскохозяйственной люцерны грамотрицательными азотфиксирующими симбиотическими бактериями *Sinorhizobium meliloti* [38].

Имеются сообщения, что каррагинаны красных водорослей стимулируют эмбриогенез микроспор брокколи [39], усиливают рост корней и побегов риса [40], вызывают увеличение высоты растений и биомассы листьев табака [41]. Так, в растениях усиливается фотосинтез, активность рубиско и глутаматдегидрогеназы, участвующей в ассимиляции азота, клеточном метаболизме и делении [42]. Например, обработанные каррагинанами растения табака показали увеличение уровня транскриптов, кодирующих циклины А и D и циклинзависимые протеинкиназы А и В, за счет накопления веществ с антимикробной активностью, таких как салициловая, дигидробензойная, ванилиновая, галловая, кофейная, феруловая и хлорогеновая кислоты, скополетин, эскулетин, кемпферол и кверцетин [43]. Кроме того, олигокаррагинаны вызывали частичное подавление вирусных, грибковых и бактериальных инфекций, что, вероятно, связано с накоплением в обработанных ими растениях веществ с антимикробной активностью [44]. При обработке растений моркови экстрактом *A. nodosum* значительно снижалась степень тяжести заболевания, вызванного патогенными грибами *Alternaria radicina* и *Botrytis cinerea* [45].

В научной литературе имеются сообщения о минералах и микроэлементах из водорослей, которые улучшают питание растений или играют критическую роль в их развитии, наряду с молекулами на основе липидов, такими как стеролы [46–47]. Так, у винограда культурного (*Vitis vinifera*) водорослевые экстракты улучшают поглощение листьями ионов железа и устойчивость к водному стрессу [46]. При обработке растений резуховидки Таля (*Arabidopsis thaliana*) экстрактом *A. nodosum* или его липофильной фракцией у нее наблюдали повышенную морозостойкость [45]. Стоит отметить, однако, что в большинстве описанных выше и других случаях не было достоверно определено, какое именно вещество, содержащееся в водорослевом экстракте, вызвало тот или иной иммунный ответ у наземного растения. Вероятнее всего, их воздействие было комплексным.

В России использование водорослей в сельском хозяйстве является новым направлением исследований и практически еще только зарождается [48]. Это обуславливает необходимость накопления дополнительных научных знаний, разработки инновационных удобрений и биостимуляторов из отечественного водорослевого сырья и проведения лабораторных и полевых испытаний на местных сельскохозяйственных культурах.

Возможности использования морских бурых водорослей камчатского шельфа

Камчатский край относится к зоне рискованного земледелия. Для него свойственны неблагоприятные погодные условия, короткое холодное лето, регулярные ранние заморозки, которые еще больше сокращают период вегетации растений открытого грунта. Легкие песчаные и супесчаные почвы в районах сосредоточения основного сельскохозяйственного производства легко дренируются. Во время таяния обильного снежного покрова они промываются низкоминерализованными талыми водами, в связи с чем обедняются растворимыми, легкодоступными для растений органическими и минеральными элементами. Получение сельскохозяйственной продукции на них требует постоянного использования удобрений. Это, безусловно, отражается на качестве и стоимости выращиваемой продукции.

Развитие на Камчатке тепличного хозяйства в связи с наличием здесь ресурсов гидротермальных вод оценивается специалистами как весьма перспективное, и программа социально-экономического развития региона предусматривает широкомасштабную организацию здесь этого направления растениеводства. Однако в условиях холодного влажного лета велика опасность заболевания тепличных растений. Это требует в будущем организацию профилактических мероприятий по поднятию иммунитета растений к грибковым, бактериальным и вирусным инфекциям и, следовательно, дополнительных финансовых затрат.

Между тем камчатский шельф богат морскими растительными ресурсами, как в смысле значительного объема их запасов, так и биологического разнообразия. Так, здесь встречается более 300 видов зеленых, бурых и красных водорослей [49–50]. Не менее 60 из них, в основном ламинариевые водоросли, формируют основу растительного покрова и дают основную первичную продукцию (рис. 1). Видовой состав ламинариевых у западного и восточного побережий полуострова включает 16 видов, входящих в 11 родов, что составляет 50% от их общего родового состава на российском Дальнем Востоке (таблица). Сравнение видового состава камчатских ламинариевых водорослей с таковым из других дальневосточных регионов показывает, что и по числу родов, и по числу видов он разнообразнее, чем в любом из районов РФ, в которых традиционно осуществляется их добыча: южных и малых Курильских островов, Сахалина, Приморья, материкового побережья Охотского моря, Белого моря.



Рис. 1. Прибрежные заросли ламинариевых водорослей во время отлива

Fig. 1. Coast covered with laminariacean algae during the low tide

Роды ламинариевых водорослей во флоре дальневосточных морей России

The genera of laminariacean algae in the flora of Russian Far Eastern seas

№	Род Genus	Число видов на Камчатке Number of species in Kamchatka	Число видов в других районах ДВ Number of species in other areas of the Far East	№	Род Genus	Число видов на Камчатке Number of species in Kamchatka	Число видов в других районах ДВ Number of species in other areas of the Far East
1	<i>Alaria</i>	2	3	10	<i>Pseudolessonia</i>	1	1
2	<i>Agarum</i>	2	2	11	<i>Thalassiophyllum</i>	1	1
3	<i>Arthrothamnus</i>	1	2	12	<i>Costaria</i>	–	1
4	<i>Chorda</i>	1	1	13	<i>Costulariella</i>	–	1
5	<i>Cymathære</i>	1	2	14	<i>Feditia</i>	–	1
6	<i>Eualaria</i>	1	1	15	<i>Pseudochorda</i>	–	1
7	<i>Laminaria</i>	2	5	16	<i>Tauya</i>	–	1
8	<i>Saccharina</i>	3	7	17	<i>Undaria</i>	–	1
9	<i>Phyllariella</i>	1	1	18	<i>Undariella</i>	–	1

Видовое и родовое разнообразие высокопродуктивных водорослей камчатского шельфа по целому ряду причин является обнадеживающей предпосылкой для их широкого вовлечения в практическое использование в региональном растениеводстве. Этому, безусловно, способствует разнообразие химического состава камчатских ламинариевых, различия в особенностях биологии их развития и распределения. При общем сходстве химического состава ламинариевых водорослей, выражающемся в присутствии у них однообразных для данной таксономической группы полисахаридов, витаминов, жирных полиеновых кислот, ауксинов и гиббереллинов, практически одинаковых первичных и вторичных метаболитов, богатого состава микро- и макроэлементов, каждый вид имеет свою неповторимую в количественном отношении композицию этих соединений [51–53]. К этому добавим, что даже у одного и того же вида в разные фенологические периоды и разные годы жизни химический состав различен. Например, содержание кальция (мг/100 г сухого вещества) у разных одновременно собранных видов камчатских ламинариевых может изменяться от 3 756,59 у *Thalassiophyllum clathrus* до 976,75 у *Saccharina dentigera*, калия – от 9 989,33 у *Alaria esculenta* (ранее ошибочно определялась в регионе как *A. marginata* [54]) до 1 062,54 у *Saccharina bongardiana*, фосфора – от 333,3 у *Thalassiophyllum clathrus* до 446,60 у *A. esculenta* [51]. Разные ламинариевые накапливают и разное количество витаминов. Содержание тимина (B_1) у *A. esculenta* и *Laminaria longipes* достигает 0,25 мг/100 г сухой массы, тогда как у *S. bongardiana* и *S. dentigera* оно достигает только 0,015 и 0,03 соответственно [51]. Содержание рибофлавина (B_2) у сравниваемых видов изменяется от 0,004 до 0,0002 мг/100 г сухой массы, а никотиновой кислоты от 75,0 до 5,0 мг/100 г сухой массы.

О том, как меняется химический состав у собранных у берегов Камчатки разновозрастных растений *S. bongardiana* и *Saccharina latissima* (ранее ошибочно определялась в регионе как *Laminaria gurjanovae*), можно судить по данным, приведенным в работах Аминой и Гурулевой [52], Коневой и Ключковой [55], Кальченко и др. [56]. Так, данные первых из процитированных выше

авторов свидетельствуют о том, что разница в содержании, например минеральных веществ у первогодних и второгодних растений одного и того же вида, может составлять 3–4%, а содержание фукоидана ко второму году жизни, например у *S. latissima*, может возрастать вдвое.

Обычной распространенной в мире практикой является использование береговых и дрейфующих выбросов морских водорослей. Попадая на берег, они еще долго сохраняют целостность своих слоевищ и даже полежавшие на берегу пересыпанные песком водоросли могут с успехом использоваться как сырье для получения водорослевого компоста, водорослевых экстрактов. Лежкость береговых выбросов зависит от времени года, состава видов, формирующих выбросы, погодных условий. Осенние выбросы более устойчивы к разложению и детритификации, чем весенние, поскольку весной обводненность растений более высокая, а полисахариды имеют меньшую молекулярную массу и быстрее подвергаются разрушению.

Характеризуя биологию развития камчатских ламинариевых, важно отметить, что у разных камчатских ламинариевых она достаточно разная, и это оказывает влияние на процессы формирования водорослевых береговых выбросов. Их образуют растения нескольких категорий: завершившие вегетацию, отделившиеся от грунта в результате естественного прореживания зарослей, оторвавшиеся от грунта под воздействием волнения, особенно частого и сильного в весеннее и осеннее время, в период активной циклонической деятельности.

Камчатские ламинариевые имеют разные сроки вегетации и могут жить два или три года, как *S. bongardiana*, *S. latissima* и *L. longipes*, четыре и более лет, как *E. fistulosa*, *A. esculenta*, *S. dentigera* и *L. yezoensis*. Среди них имеются виды с очень длительными сроками вегетации, до 10 и более лет, например *T. clathrus*. При завершении вегетации сила сцепления растений с грунтом ослабевает, в результате специально направленных на это физиолого-биохимических изменений, и после завершения этих процессов под воздействием даже незначительной гидродинамической нагрузки они отрываются от грунта. У всех видов это происходит после завершения спороношения на последнем году жизни, как правило, в осеннее или позднеосеннее время. Неудивительно, что в этот период береговые выбросы включают большое количество самых зрелых представителей популяции. В весенне-летнее время в береговых выбросах встречается большое количество растений первого и второго годов жизни. Они появляются там благодаря саморегуляции плотности произрастания водорослей, когда из их зарослей, очень плотных на период прорастания зооспор и формирования ювенильных проростков, с целью более эффективного использования ресурсов среды и оптимизации численности популяций удаляются лишние растения.

Камчатские ламинариевые различаются между собой особенностями размножения. У одних из них наблюдается растянутый период закладки сорусов спорангиев (органов бесполого размножения) и очень растянутый период размножения. Например, уходя под зиму, *S. bongardiana*, *S. latissima*, *A. esculenta* и *L. longipes* сохраняют свои пластины почти до окончания фазы весеннего линейного роста. Только после выброса спор из перезимовавших спорангиев они отрываются от сеголетних пластин, появившихся в текущем вегетационном сезоне, и выбрасываются на берег. У других видов, например *S. dentigera*, *L. yezoensis* и *Arthrothamnus bifidus*, сорусы спорангиев закладываются практически по всей поверхности пластины, и после осеннего выхода зооспор пластинчатая часть растений разрушается, и зиму переживают только черешок и ее базальная часть. За зиму она грубеет, обрастает микроэпифитами, затем весной отрывается от новой пластины и выбрасывается на берег.

Структура выбросов, то есть перечень слагающих их видов и их количественное соотношение, зависят также от вертикального распределения водорослей и их ценотической роли. В разных районах камчатского побережья эти характеристики разные. Самым массовым и продуктивным видом камчатского фитобентоса является гигантская водоросль *E. fistulosa*. Она характеризуется замечательным аминокислотным составом, накапливает большое количество необходимых для роста растений минеральных элементов, таких как Ca, Na, K, Mg и др. [49, 57]. У Камчатки она имеет прерванное распределение и образует плотные заросли в местах с наибольшей подвижностью воды: на самом юге полуострова, от м. Лопатка вплоть до бух. Ходжулайка, у восточного побережья и до зал. Марии у западного (рис. 2). Встречается она также у п-ова Кроноцкий, севернее Камчатского залива, у о-вов Карагинский, Беринга и Медный. Весной, когда ответившие растения выбрасываются на берег, их валы могут достигать высоты 1–2 м.



Рис. 2. Аэрофотоснимки мест произрастания *Eualaria fistulosa* у юго-восточной Камчатки. Темные пятна на воде – пучки стелющихся по ее поверхности растений *E. fistulosa*. Высота – 200 м

Fig. 2. Photographs of coastal sites on southeast Kamchatka taken from the airplane with seaweed beds composed of *Eualaria fistulosa*. Dark spots on the seawater are numerous plants of *E. fistulosa*. The flight height – 200 m

Неравномерное распределение вдоль берегов полуострова имеют *Pseudolessonia*, *Phyllariella*, *Chorda*, *Cymathaere*, некоторые охотоморские виды *Laminaria* и *Saccharina*. Два первых вида встречаются только вдоль небольшого по протяженности участка западной Камчатки, расположенного к югу и северу от п-ова Утхолокский и у о. Птичий. Третий из упомянутых видов, судя по нашим данным, встречается на северо-восточном побережье Камчатки до пролива Литке включительно, а четвертый – локальными скоплениями у юго-восточной Камчатки и Командорских островов. Виды родов *Arthrothamnus*, *Laminaria*, *Saccharina*, *Alaria*, *Agarum*, *Thalassiophyllum* имеют широкое распространение вдоль всей восточной Камчатки, но частота их встречаемости и вертикальное распределение в разных районах побережья имеют свои особенности. Так, например ценотическая роль *S. bongardiana* в направлении с севера на юг увеличивается, а у *S. latissima* она, напротив, резко уменьшается.

На композицию растительного покрова и структуру береговых выбросов большое влияние оказывает рельеф дна и прилежащего к урезу воды участка берега. В местах с приглубым дном пояс водорослей узкий, расположен на небольших глубинах. Берег в таких местах обычно имеет очень узкие пляжи, на которых водоросли практически не скапливаются. С очередным приливом они относятся к другим участкам берега, сносятся на большие глубины. Места с пологим дном и широкими береговыми пляжами являются лучшими районами для формирования береговых валов. Такие места особенно распространены в Камчатском и Озерном заливах. Там в осеннее время при проведении авиаучетных работ (рис. 3), направленных на изучение водорослевых зарослей у восточного побережья, мы наблюдали многокилометровые валы водорослей, их общая масса достигала сотен тонн.

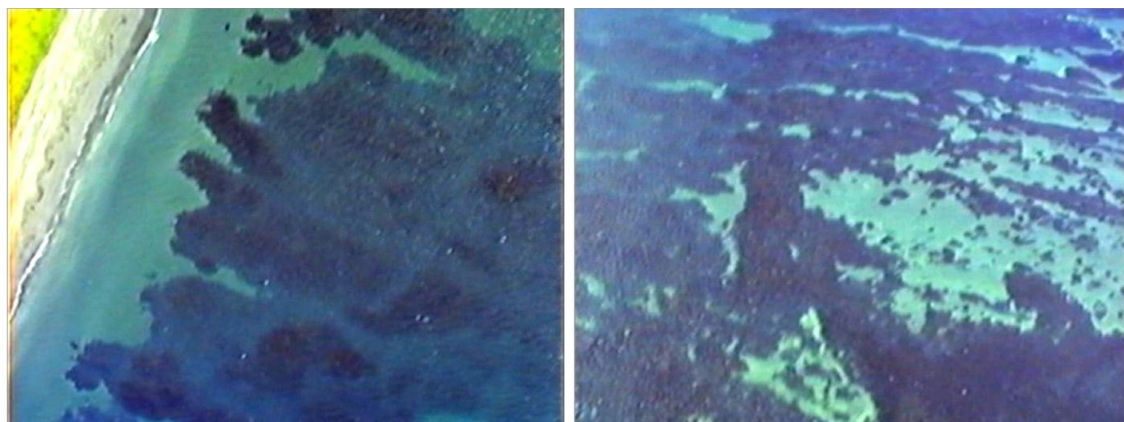


Рис. 3. Аэрофотоснимки разных участков побережья восточной Камчатки. Темные пятна на воде – обширные водорослевые поля. Высота – 200 м

Fig. 3. Photographs of different coastal sites on eastern Kamchatka taken from the airplane. Dark spots on the seawater are extensive seaweed beds. The flight height – 200 m

Эти растительные богатства могут с успехом заменить тонны ежегодно привозимых на Камчатку искусственных удобрений. Их использование способствовало бы структурированию почвенного покрова, увеличению его влагоемкости, обогащению столь необходимыми для развития растений микро- и макроэлементами. Сельскохозяйственные культуры, выращенные с использованием водорослевых подкормок, имели бы большую устойчивость к патогенам, характеризовались бы повышенной морозоустойчивостью и лучшими потребительскими качествами. Выращенная с использованием водорослей продукция, как более полезная для здоровья, во всем мире имела бы более высокую стоимость, что могло бы окупить затраты на сбор водорослей.

Разнообразие камчатских водорослей и вариабельность их химического состава являются прекрасной предпосылкой к созданию их миксов из различных видов, собранных в разные периоды развития, водорослевых препаратов с широким или, напротив, узконаправленным действием на рост и развитие сельскохозяйственных культур.

Литература

1. Лукьяненко И.И. Приготовление и использование органических удобрений. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 202 с.
2. Fussell G.E. Farming systems of the classical era // *Technology and Culture*. – 1967. – V. 8, iss. 1. – P. 16–48.
3. Brock W.H. Justus von Liebig: the chemical gatekeeper. – U.K., Cambridge: Cambridge University Press, 1997. – 392 p.
4. Smil V. Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production. – Cambridge: MIT Press, 2004. – 360 p.
5. USDA National Agricultural Statistics Service, Crop Production [Electronic resource]. – URL: <https://www.nass.usda.gov> (дата обращения: 10.04.2019).
6. FAO. An annual review of world production and consumption of fertilizers 1953 // Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. – 1953.
7. FAO. Annual fertilizer yearbook 1998 // Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. – 1999.
8. Bumb B.L., Baanante C.A. The role of fertilizer in sustaining food security and protecting the environment // *Food, agriculture and the environment discussion paper 17*. – Washington, DC, USA: International Food Policy Research Institute, 1996.
9. Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions / J.N. Galloway, A.R. Townsend, J.W. Erisman, M. Bekunda, Z. Cai, J.R. Freney, L.A. Martinelli, S.P. Seitzinger, M.A. Sutton // *Science*. – 2008. – Vol. 320, iss. 5878. – P. 889–892.
10. Способ производства удобрения из морских водорослей. 06.13-19Л.144П. – РЖ 19Л. Технология неорганических веществ и материалов. – 2006. – № 13.
11. Arioli T., Mattner S.W., Winberg P.C. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future // *Journal of Applied Phycology*. – 2015. – Vol. 27. – P. 2007–2015.
12. Monte Verde: seaweed, food, medicine, and the peopling of South America / T.D. Dillehay, C. Ramirez, M. Pino, M.B. Collins, J. Rossen, J.D. Pino-Navarro // *Science*. – 2008. – Vol. 320. – P. 784–789.
13. Newton G.W. Seaweed manure for perfect soil and smiling fields. – London: Sampson Low, 1951. – 188 p.
14. Aitken J.B., Senn T.L. Seaweed products as a fertilizer and soil conditioner for horticultural crops // *Botanica Marina*. – 1965. – Vol. 8. – P. 144–148.
15. McHugh D.J. A guide to the seaweed industry // FAO fisheries technical paper 441, Rome. 2003.
16. Henderson J. The Roman book of gardening. – Routledge, London, 2004. – 152 p.
17. Chatzissavvidis C., Therios I. Role of algae in agriculture // *Seaweeds* (Ed. Pomin V.H.). Nova Science Publishers, Inc. – 2014. – P. 1–37.
18. Craigie J.S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture // *Journal of Applied Phycology*. – 2011. – Vol. 23. – P. 371–393.
19. Щербак А.П., Тишков С.В. Водоросли Белого моря и перспективы их использования // Вестник РУДН, Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». – 2015. – № 4. – С. 60–67.
20. Seaweeds Australia. – April 2011. – Iss. 1:1. – P. 4 (Theme: Natural Resource Management – dealing with).

21. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development / W. Khan, U.P. Rayirath, S. Subramanian, M.N. Jithesh, P. Rayorath, D.M. Hodges, A.T. Critchley, J.S. Craigie, J. Norrie, B. Prithiviraj // *Journal of Plant Growth Regulators*. – 2009. – Vol. 28. – P. 386–399.
22. Du Jardin P. The science of plant biostimulants – a bibliographical analysis [Electronic resource]. – URL: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/fertilizers/final_report_bio_2012_en.pdf (дата обращения: 19.06.2014).
23. Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W. Agricultural uses of plant biostimulants // *Plant Soil*. – 2014. Vol. 383. – P. 3–41.
24. Nayar S., Bott K. Current status of global cultivated seaweed production and markets // *World Aquaculture*. – 2014. – Vol. 45. – P. 32–37.
25. Detection of cytokinins in a seaweed extract / S.A.B. Tay, J.K. MacLeod, L.M.S. Palni, D.S. Letham // *Phytochemistry*. – 1985. – Vol. 24. – P. 2611–2614.
26. Tay S.A.B., Palni L.M.S., MacLeod J.K. Identification of cytokinin glucosides in a seaweed extract // *Journal of Plant Growth Regulators*. – 1987. – Vol. 5. – P. 133–138.
27. Identification of auxins in a commercial seaweed concentrate / I.J. Crouch, M.T. Smith, J. van Staden, M.J. Lewis, G.V. Hoad // *Journal of Plant Physiology*. – 1992. – Vol. 139. – P. 590–594.
28. Stirk W.A., van Staden J. Comparison of cytokinin- and auxin-like activity in some commercially used seaweed extracts // *Journal of Applied Phycology*. – 1997. – Vol. 8. – P. 503–508.
29. Midwestern BioAg [Electronic resource]. – URL: <https://www.midwesternbioag.com/organic-products/kelpak/> (дата обращения: 19.06.2014).
30. Nursery and main culture conditions for mass cultivation of the brown alga, *Ecklonia cava* Kjellman / E.K. Hwang, Y.G. Gong, D.S. Ha, C.S. Park // *Korean Journal of Fishery and Aquatic Science*. – 2010. – Vol. 43, iss. 6. – P. 687–692.
31. The characterisation and quantitative estimation of betaines in commercial seaweed extracts / Blunden G., Cripps A.L., Gordon S.M., Mason T.G., Turner C.H. // *Botanica Marina*. – 1986a. – Vol. 24. – P. 155–160.
32. NMR spectra of betaines from marine algae / G. Blunden, S.M. Gordon, T.A. Crabb, O.G. Roch, M.G. Rowan, B. Wood // *Magnetic Resonance in Chemistry*. – 1986b. – Vol. 24. – P. 965–971.
33. Compatible solute engineering in plants for abiotic stress tolerance – role of glycine betaine / S.H. Wani, N.B. Singh, A. Haribhushan, J.I. Mir // *Current Genomics*. – 2013. – Vol. 14. – P. 157–165.
34. Glycine betaine protects tomato (*Solanum lycopersicum*) plants at low temperature by inducing fatty acid desaturase7 and lipoxygenase gene expression / T. Karabudak, M. Bor, F. Özdemir, I. Türkan // *Molecular Biology Reports*. – 2014. – Vol. 41. – P. 1401–1410.
35. Blunden G., Jenkins T., Liu Y.W. Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract // *Journal of Applied Phycology*. – 1997. – Vol. 8. – P. 535–543.
36. The role of betaines in alkaline extracts of *Ascophyllum nodosum* in the reduction of *Meloidogyne javanica* and *M. incognita* infestations of tomato plants / Y. Wu, T. Jenkins, G. Blunden, C. Whapham, S. Hankins // *Fundamental and Applied Nematology*. – 1997. – Vol. 20. – P. 99–102.
37. Root growth-promoting activity of unsaturated oligomeric uronates from alginate on carrot and rice plants / X. Xu, Y. Iwamoto, Y. Kitamura, T. Oda, T. Muramatsu // *Biosciences, Biotechnology, and Biochemistry*. – 2003. – Vol. 67. – P. 2022–2025.
38. Seaweed oligosaccharides stimulate plant growth by enhancing carbon and nitrogen assimilation, basal metabolism, and cell division / A. González, J. Castro, J. Vera, A. Moenne // *Journal of Plant Growth Regulators*. – Vol. 32. – P. 443–448.
39. Carrageenan oligosaccharides enhance stress-induced microspore embryogenesis in *Brassica oleracea* var. *italica* / C. Lemonnier-Le Penhuizic, C. Chatelet, B. Kloareg, P. Potin // *Plant Science*. – 2001. – Vol. 160. – P. 1211–1220.
40. Dynamic light scattering studies of irradiated kappa carrageenan / L.V. Abad, I.R. Nasimova, L.S. Relleve, C.T. Aranilla, A.M. De la Rosa, M. Shibayama // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2004. – Vol. 34. – P. 81–88.
41. Moenne A., Castro J., Vera J. Method to stimulate carbon fixation in plants with an aqueous solution of oligo-carrageenans selected from kappa1, kappa2, lambda and iota // U.S. Patent Office Application № 12,911,790. – 2010.
42. Oligo-carrageenans stimulate growth by enhancing photosynthesis, basal metabolism, and cell cycle in tobacco plants (var. *Burley*) / J. Castro, J. Vera, A. González, A. Moenne // *Journal of Plant Growth Regulators*. – 2012. – Vol. 31. – P. 173–185.

43. Oligo-carrageenans induced a long-term and broad-range protection against pathogens and the reversion of infections in tobacco plants (var. *Xanthi*) / J. Vera, J. Castro, A. González, A. Moenne // Physiological and Molecular Plant Pathology. – 2012. – Vol. 79. – P. 31–39.
44. Extracts of the marine brown macroalga, *Ascophyllum nodosum*, induce jasmonic acid dependent systemic resistance in *Arabidopsis thaliana* against *Pseudomonas syringae* pv. tomato DC3000 and *Sclerotinia sclerotiorum* / S. Subramanian, J.S. Sangha, B.A. Gray, R.P. Singh, D. Hiltz, A.T. Critchley, B. Prithiviraj // European Journal of Plant Pathology. – Vol. 131. – P. 237–248.
45. Seaweed extract reduces foliar fungal diseases on carrot / J. Jayaraj, A. Wan, M. Rahman, Z.K. Punja // Crop Protection. – Vol. 27. – P. 1360–1366.
46. Marine bioactive substances (IPA extract) improve foliar ion uptake and water stress tolerance in potted *Vitis vinifera* plants / S. Mancuso, E. Azzarello, S. Mugnai, X. Briand // Advances in Horticultural Science. – 2006. – Vol. 20. – P. 156–161.
47. Lipophilic components of the brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, enhance freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana* / P. Rayirath, B. Benkel, D.M. Hodges, P. Allan-Wojtas, S. MacKinnon, A.T. Critchley, B. Prithiviraj // Planta. – 2009. – Vol. 230, iss. 1. – P. 135–147.
48. Сравнительное изучение химического состава этанольных экстрактов бурых водорослей и их влияние на рост проростков и урожайность сои *Glycine max* (L.) Merr. / Т.И. Имбс, Е.Л. Чайкина, Л.А. Дега, А.П. Ващенко, М.М. Анисимов // Химия растительного сырья. – 2010. – № 1. – С. 143–148.
49. Ключкова Н.Г., Королева Т.Н., Кусиди А.Э. Атлас водорослей макрофитов прикамчатских вод. Т. 1. – Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2009а. – 217 с.
50. Ключкова Н.Г., Королева Т.Н., Кусиди А.Э. Атлас водорослей макрофитов прикамчатских вод. Т. 2. – Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2009б. – 302 с.
51. Алфимов Н.Н., Петров Ю.Е. О биологических и биохимических особенностях некоторых ламинариевых и фукусовых водорослей (Phaeophyta) острова Беринга (Командорские острова) // Ботанический журнал. – 1972. – Т. 57, № 6. – С. 697–700.
52. Аминина Н.М., Гурулева О.Н. Химический состав бурых водорослей Авачинского залива (побережье п-ова Камчатка) // Материалы международной конференции «Экологическая физиология водных фототрофов». Вопросы современной альгологии [Электронный ресурс]. – 2012. – URL: <https://www.algology.ru>.
53. Конева А.А., Ключкова Н.Г. Сезонная динамика общего химического состава у *Laminaria* sp. (avb_1) (Laminariales, Phaeophyta), произрастающей в загрязненных районах Авачинской губы (юго-восточная Камчатка) // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. – 2014. – Вып. 33. – С. 78–86.
54. Климова А.В., Ключкова Т.А., Ключкова 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. – Вып. 43. – С. 74–86.
55. Конева А.А., Ключкова Н.Г. Сезонная динамика общего химического состава у *Saccharina bongardiana* (Laminariales, Phaeophyta), произрастающей в Авачинской губе (юго-восточная Камчатка) // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. – 2013. – Вып. 30. – С. 82–88.
56. Химический состав *Laminaria bongardiana* из Авачинского залива / Е.И. Кальченко, Н.М. Аминина, О.Н. Гурулева, Т.И. Вишневская, М.И. Юрьева // Известия Тихоокеанского НИИ рыбохозяйственного центра. – 2008. – Т. 155. – С. 347–354.
57. Огородников В.С. Водоросли-макрофиты северных Курильских островов: дис. ... канд. биол. наук. – Петропавловск-Камчатский, 2007. – 175 с.

References

1. Lukyanenkov I.I. Preparation and use of organic fertilizers. – Moscow: Rosselkhozizdat, 1982. – 202 p.
2. Fussell G.E. Farming systems of the classical era // Technology and Culture. – 1967. – V. 8, iss. 1. – P. 16–48.
3. Brock W.H. Justus von Liebig: the chemical gatekeeper. – U.K., Cambridge: Cambridge University Press, 1997. – 392 p.

4. Smil V. Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production. – Cambridge: MIT Press, 2004. – 360 p.
5. USDA National Agricultural Statistics Service, Crop Production [Electronic resource]. – URL: <https://www.nass.usda.gov> (accessed: 10.04.2019).
6. FAO. An annual review of world production and consumption of fertilizers 1953 // Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. – 1953.
7. FAO. Annual fertilizer yearbook 1998 // Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. – 1999.
8. Bumb B.L., Baanante C.A. The role of fertilizer in sustaining food security and protecting the environment // Food, agriculture and the environment: discussion paper 17. – Washington, DC, USA: International Food Policy Research Institute, 1996.
9. Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions / J.N. Galloway, A.R. Townsend, J.W. Erismann, M. Bekunda, Z. Cai, J.R. Freney, L.A. Martinelli, S.P. Seitzinger, M.A. Sutton // Science. – 2008. – Vol. 320, iss. 5878. – P. 889–892.
10. Sposob proizvodstva udobreniya iz morskikh vodorosley [Method to produce fertilizer from seaweed]. 06.13-19L.144P. – RZH 19L. Tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv i materialov [Technology of inorganic substances and materials]. – 2006. – № 13.
11. Arioli T., Mattner S.W., Winberg P.C. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future // Journal of Applied Phycology. – 2015. – Vol. 27. – P. 2007–2015.
12. Monte Verde: seaweed, food, medicine, and the peopling of South America / T.D. Dillehay, C. Ramirez, M. Pino, M.B. Collins, J. Rossen, J.D. Pino-Navarro // Science. – 2008. – Vol. 320. – P. 784–789.
13. Newton G.W. Seaweed manure for perfect soil and smiling fields. – London: Sampson Low, 1951. – 188 p.
14. Aitken J.B., Senn T.L. Seaweed products as a fertilizer and soil conditioner for horticultural crops // Botanica Marina. – 1965. – Vol. 8. – P. 144–148.
15. McHugh D.J. A guide to the seaweed industry // FAO fisheries technical paper 441, Rome. 2003.
16. Henderson J. The Roman book of gardening. – London: Routledge, 2004. – 152 p.
17. Chatzissavidis C., Therios I. Role of algae in agriculture // Seaweeds (Ed. Pomin V.H.). – Nova Science Publishers, Inc., 2014. – P. 1–37.
18. Craigie J.S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture // Journal of Applied Phycology. – 2011. – Vol. 23. – P. 371–393.
19. Scherbak A.P., Tishkov S.V. Algae of the White Sea and the prospects for their use // Vestnik RUDN, Series «Ecology and life safety». – 2015. – № 4. – P. 60–67.
20. Seaweeds Australia. – April 2011. – Iss. 1:1. – P. 4 (Theme: Natural Resource Management – dealing with).
21. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development / W. Khan, U.P. Rayirath, S. Subramanian, M.N. Jithesh, P. Rayorath, D.M. Hodges, A.T. Critchley, J.S. Craigie, J. Norrie, B. Prithiviraj // Journal of Plant Growth Regulators. – 2009. – Vol. 28. – P. 386–399.
22. Du Jardin P. The science of plant biostimulants – a bibliographical analysis [Electronic resource]. – URL: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/fertilizers/final_report_bio_2012_en.pdf (accessed: 19.06.2014).
23. Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W. Agricultural uses of plant biostimulants // Plant Soil. – 2014. Vol. 383. – P. 3–41.
24. Nayar S., Bott K. Current status of global cultivated seaweed production and markets // World Aquaculture. – 2014. – Vol. 45. – P. 32–37.
25. Detection of cytokinins in a seaweed extract / S.A.B. Tay, J.K. MacLeod, L.M.S. Palni, D.S. Letham // Phytochemistry. – 1985. – Vol. 24. – P. 2611–2614.
26. Tay S.A.B., Palni L.M.S., MacLeod J.K. Identification of cytokinin glucosides in a seaweed extract // Journal of Plant Growth Regulators. – 1987. – Vol. 5. – P. 133–138.
27. Identification of auxins in a commercial seaweed concentrate / I.J. Crouch, M.T. Smith, J. van Staden, M.J. Lewis, G.V. Hoad // Journal of Plant Physiology. – 1992. – Vol. 139. – P. 590–594.
28. Stirk W.A., van Staden J. Comparison of cytokinin- and auxin-like activity in some commercially used seaweed extracts // Journal of Applied Phycology. – 1997. – Vol. 8. – P. 503–508.
29. Midwestern BioAg [Electronic resource]. – URL: <https://www.midwesternbioag.com/organic-products/kelpak/> (accessed: 19.06.2014).

30. Nursery and main culture conditions for mass cultivation of the brown alga, *Ecklonia cava* Kjellman / E.K. Hwang, Y.G. Gong, D.S. Ha, C.S. Park // Korean Journal of Fishery and Aquatic Science. – 2010. – Vol. 43, iss. 6. – P. 687–692.
31. The characterisation and quantitative estimation of betaines in commercial seaweed extracts / G. Blunden, A.L. Cripps, S.M. Gordon, T.G. Mason, C.H. Turner // Botanica Marina. – 1986a. – Vol. 24. – P. 155–160.
32. NMR spectra of betaines from marine algae / G. Blunden, S.M. Gordon, T.A. Crabb, O.G. Roch, M.G. Rowan, B. Wood // Magnetic Resonance in Chemistry. – 1986b. – Vol. 24. – P. 965–971.
33. Compatible solute engineering in plants for abiotic stress tolerance – role of glycine betaine / S.H. Wani, N.B. Singh, A. Haribhushan, J.I. Mir // Current Genomics. – 2013. – Vol. 14. – P. 157–165.
34. Glycine betaine protects tomato (*Solanum lycopersicum*) plants at low temperature by inducing fatty acid desaturase7 and lipoxygenase gene expression / T. Karabudak, M. Bor, F. Özdemir, I. Türkan // Molecular Biology Reports. – 2014. – Vol. 41. – P. 1401–1410.
35. Blunden G., Jenkins T., Liu Y.W. Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract // Journal of Applied Phycology. – 1997. – Vol. 8. – P. 535–543.
36. The role of betaines in alkaline extracts of *Ascophyllum nodosum* in the reduction of *Meloidogyne javanica* and *M. incognita* infestations of tomato plants / Y. Wu, T. Jenkins, G. Blunden, C. Whapham, S. Hankins // Fundamental and Applied Nematology. – 1997. – Vol. 20. – P. 99–102.
37. Root growth-promoting activity of unsaturated oligomeric uronates from alginate on carrot and rice plants / X. Xu, Y. Iwamoto, Y. Kitamura, T. Oda, T. Muramatsu // Biosciences, Biotechnology, and Biochemistry. – 2003. – Vol. 67. – P. 2022–2025.
38. Seaweed oligosaccharides stimulate plant growth by enhancing carbon and nitrogen assimilation, basal metabolism, and cell division / A. González, J. Castro, J. Vera, A. Moenne // Journal of Plant Growth Regulators. – Vol. 32. – P. 443–448.
39. Carrageenan oligosaccharides enhance stress-induced microspore embryogenesis in *Brassica oleracea* var. *italica* / C. Lemonnier-Le Penhuizic, C. Chatelet, B. Kloareg, P. Potin // Plant Science. – 2001. – Vol. 160. – P. 1211–1220.
40. Dynamic light scattering studies of irradiated kappa carrageenan / L.V. Abad, I.R. Nasimova, L.S. Relleve, C.T. Aranilla, A.M. De la Rosa, M. Shibayama // International Journal of Biological Macromolecules. – 2004. – Vol. 34. – P. 81–88.
41. Moenne A., Castro J., Vera J. Method to stimulate carbon fixation in plants with an aqueous solution of oligo-carrageenans selected from kappa1, kappa2, lambda and iota // U.S. Patent Office Application № 12,911,790. – 2010.
42. Oligo-carrageenans stimulate growth by enhancing photosynthesis, basal metabolism, and cell cycle in tobacco plants (var. *Burley*) / J. Castro, J. Vera, A. González, A. Moenne // Journal of Plant Growth Regulators. – 2012. – Vol. 31. – P. 173–185.
43. Oligo-carrageenans induced a long-term and broad-range protection against pathogens and the reversion of infections in tobacco plants (var. *Xanthi*) / J. Vera, J. Castro, A. González, A. Moenne // Physiological and Molecular Plant Pathology. – 2012. – Vol. 79. – P. 31–39.
44. Extracts of the marine brown macroalga, *Ascophyllum nodosum*, induce jasmonic acid dependent systemic resistance in *Arabidopsis thaliana* against *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000 and *Sclerotinia sclerotiorum* / S. Subramanian, J.S. Sangha, B.A. Gray, R.P. Singh, D. Hiltz, A.T. Critchley, B. Prithiviraj // European Journal of Plant Pathology. – Vol. 131. – P. 237–248.
45. Seaweed extract reduces foliar fungal diseases on carrot / J. Jayaraj, A. Wan, M. Rahman, Z.K. Punja // Crop Protection. – Vol. 27. – P. 1360–1366.
46. Marine bioactive substances (IPA extract) improve foliar ion uptake and water stress tolerance in potted *Vitis vinifera* plants / S. Mancuso, E. Azzarello, S. Mugnai, X. Briand // Advances in Horticultural Science. – 2006. – Vol. 20. – P. 156–161.
47. Lipophilic components of the brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, enhance freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana* / P. Rayirath, B. Benkel, D.M. Hodges, P. Allan-Wojtas, S. MacKinnon, A.T. Critchley, B. Prithiviraj // Planta. – 2009. – Vol. 230, iss. 1. – P. 135–147.
48. Comparative study of the chemical composition of ethanol extracts from the brown algae and their effect on growth of seedlings and yield of soybean *Glycine max* (L.) Merr. / T.I. Imbs, E.L. Chaykina, L.A. Dega, A.P. Vaschenko, M.M. Anisimov // Himiya rastitel'nogo syr'ya. – 2010. – № 1. – P. 143–148.

49. Klochkova N.G., Koroleva T.N., Kusidi A.E. Atlas vodoroslei-makrofitov Kamchatki i prikamchatskikh vod (Atlas of macrophytic algae of Kamchatka and surrounding areas) / – Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2009a. – Vol. 1. – 216 p. (Green and brown algae).
50. Klochkova N.G., Koroleva T.N., Kusidi A.E. Atlas vodoroslei-makrofitov Kamchatki i prikamchatskikh vod (Atlas of macrophytic algae of Kamchatka and surrounding areas). – Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2009b. – Vol. 2. – 302 p. (Red algae).
51. Alfimov N.N., Petrov Yu.E. On the biological and biochemical features of some laminariacean and fucacean algae (Phaeophyta) from Bering Island (Commander Islands) // Botanical Journal. – 1972. – Vol. 57, № 6. – P. 697–700.
52. Aminina N.M., Guruleva O.N. Chemical composition of the brown algae from Avachinsky Inlet (Kamchatka) // Proceedings of International conference «Ecological physiology of aquatic phototrophs». Questions of modern phycology [Electronic resource]. – URL: <https://www.algology.ru>. – 2012.
53. Koneva A.A., Klochkova N.G. Seasonal dynamics of the total chemical composition of *Laminaria* sp. (avb_1) (Laminariales, Phaeophyta) growing in polluted areas of the Avacha Bay (southeast Kamchatka) // Researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean. – 2014. – Vol. 33. – P. 78–86.
54. Klimova A.V., Klochkova T.A., Klochkova N.G. Intraspecies forms of *Alaria esculenta* (Laminariales, Ochrophyta) in the marine flora of Eastern Kamchatka: First revision // Bulletin of Kamchatka State Technical University. – 2018. – Vol. 43. – P. 74–86.
55. Koneva A.A., Klochkova N.G. Seasonal dynamics of the total chemical composition of *Saccharina bongardiana* (Laminariales, Phaeophyta) growing in the Avacha Bay (southeast Kamchatka) // Researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean. – 2013. – Vol. 30. – P. 82–88.
56. The chemical composition of *Laminaria bongardiana* from the Avacha Bay / E.I. Kalchenko, N.M. Aminina, O.N. Guruleva, T.I. Vishnevskaya, M.I. Yuryeva // News of the Pacific Research Institute of Fisheries Center. – 2008. – Vol. 155. – P. 347–354.
57. Ogorodnikov V.S. Macrophyte algae from the northern Kurile Islands. – Thesis of Candidate of Biological Sciences degree. – Petropavlovsk-Kamchatsky, 2007. – 175 p.

Информация об авторах Information about the authors

Клочкова Татьяна Андреевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и природопользования, ведущий научный сотрудник отдела науки и инноваций; tatyana_algae@mail.ru

Klochkova Tatyana Andreevna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences; Professor of Ecology and Nature Management Chair, Leading Researcher of Science and Innovation Department; tatyana_algae@mail.ru

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

Клочкова Нина Григорьевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук; директор центра научного образования, научных и инновационных проектов; ninakl@mail.ru

Klochkova Nina Grigorevna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences; Director of Centre for Scientific Education, Research and Innovation Projects; ninakl@mail.ru

УДК 595.384.12(265.52)

Н.А. Седова

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КАРИДНЫХ КРЕВЕТОК (DECAPODA, CARIDEA) ИЗ ПРИКАМЧАТСКИХ ВОД ПО ТИПУ ЛИЧИНОЧНОГО РАЗВИТИЯ

Рассмотрены особенности личиночного развития каридных креветок и пути адаптации видов к различным условиям обитания. На основании морфологического и экологического сходства личинок креветки разделены на группы, названные экологическими гильдиями. Выделено семь гильдий. Показано, как различные виды могут использовать ресурс одного и того же типа, если они разделены морфологически, пространственно и во времени.

Ключевые слова: креветки, личинки, экологические факторы, гильдии, питание, конкуренция, развитие, стадии.

N.A. Sedova

ECOLOGICAL CLASSIFICATION OF CARIDEAN SHRIMPS (DECAPODA, CARIDEA) FROM ADJACENT KAMCHATKA MARINE WATERS BASED ON LARVAL DEVELOPMENT

Features of the larval development of caridean shrimps and ways of adaptation of their species to different habitat conditions are considered. Based on morphological and ecological similarity of larvae, the shrimps were divided into groups called ecological guilds. Seven guilds were determined. It is shown how different shrimp species can use the same type of resource, if they are separated morphologically, spatially, and temporarily.

Key words: shrimp, larvae, ecological factors, guilds, nutrition, competition, development, stages.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-104-115

Введение

У берегов Камчатки обитает 53 вида каридных креветок (инфраотряд Caridea). Промысловыми являются *Pandalus eous* Makarov, 1935, *P. goniurus* Stimpson, 1860, *P. hypsinotus* Brandt, 1851, *Argis lar* (Owen, 1839), *Sclerocrangon boreas* (Phipps, 1774), *S. salebrosa* (Owen, 1839), *Lebbeus armatus* (Owen, 1839) [1, 2]. В настоящее время в прикамчатских водах добывают всего несколько видов креветок, так как промысловые запасы остальных видов в данном районе не разведаны. В планктонных пробах, взятых в водах северо-западной части Тихого океана, регулярно встречаются личинки креветок, относящихся к трем семействам: Crangonidae, Pandalidae и Thoridae.

Каридные креветки являются животными, образующими гемипопуляции в планктоне. Наименьшая экологическая валентность у этих гидробионтов обычно наблюдается на ранних стадиях развития, а лимитирующая роль факторов среды в это время проявляется в наибольшей степени [3]. Известно, что пелагический период жизни вида влияет на промысловый запас креветок [4]. Всестороннее исследование ранних стадий развития необходимо также для определения устойчивости экосистемы в условиях изменений климата, особенно в высоких широтах.

Большинство популяций животных на морском дне поддерживают качественный состав составляющих их видов в течение длительного периода времени, хотя отдельные виды используют совершенно разные способы размножения и развития [5]. Избегание неблагоприятных воздействий – один из возможных путей приспособления к среде. Общий способ для всех групп организмов – выработка таких жизненных циклов, при которых наиболее уязвимые стадии развития завершаются в самые благоприятные по температурным и другим условиям периоды года.

Приспособление вида к среде осуществляется тем или иным сочетанием всех возможных путей адаптаций. Синэкологический оптимум – это такое биотическое окружение, при котором

вид испытывает наименьшее давление со стороны врагов и конкурентов, что позволяет ему успешно размножаться [6]. Немаловажную роль играют также морфологические адаптации, то есть такие особенности внешнего строения, которые способствуют выживанию и успешной жизнедеятельности организмов в обычных для них условиях.

Цель работы – рассмотреть особенности личиночного развития каридных креветок из камчатских и чукотских вод, пути адаптации массовых видов к различным условиям обитания.

Материалы и методы

Материалом для данной работы послужили сборы планктона, выполненные по научной программе КамчатНИРО в восточной части Охотского моря весной 2001–2002, летом 1999, 2001, 2002, 2013, 2015 и 2016 гг. и у юго-восточного побережья Камчатки весной 2002, 2009, 2014, 2016 и 2017 гг., а также в июне 2014 г. В Олюторско-Наваринском и Анадырском районах пробы собирали по программе ЧукотТИНРО с 12.07.2010 по 23.08.2010 и в Чукотском море – в период с 10.09 по 16.09.2010 г. Над глубинами 12–3 000 м использовали ихтиопланктонную коническую сеть с диаметром входного отверстия 80 см и шагом ячеи 0,56 мм. Выполняли вертикальный тотальный лов в слое 500–0 м и от дна до поверхности при меньших глубинах. В работе были использованы гидрологические материалы рейсовых отчетов, полученные сотрудниками КамчатНИРО и ЧукотТИНРО в соответствующий период (архив КамчатНИРО и ЧукотТИНРО). Для определения видовой принадлежности личинок использовали определители для прикамчатских вод и статьи с описаниями личинок отдельных видов.

Результаты и обсуждение

Темпы воспроизводства популяции определяются репродуктивной стратегией вида в целом, в том числе сроками размножения и пелагического развития, длительностью инкубационного периода, параметрами яиц и величиной плодовитости, которая в этой связи является весьма важной биологической характеристикой. Для креветок инфраотряда Caridea характерна особая форма заботы о потомстве – откладка икры на плеоподы. Это повышает выживаемость икры и, в конечном счете, помогает этим креветкам освоить высокие широты, но снижает индивидуальную плодовитость [7].

Американские экологи Р. Макартур и Э. Уилсон предложили различать две основные стратегии размножения организмов, обеспечивающие выживание в разных условиях, обозначив их через коэффициенты, входящие в уравнение роста популяций. При *r*-стратегии отбор идет на высокую плодовитость, оборачиваемость поколений, способность к быстрому расселению, что позволяет видам быстро восстанавливать численность после резкого ее снижения. При *K*-стратегии отбор совершенствует разные формы заботы о потомстве, что позволяет снизить плодовитость. Одновременно увеличивается продолжительность жизненных циклов и совершенствуются механизмы устойчивого поддержания численности в биоценозах. Между крайними формами имеются все промежуточные варианты. В пределах вида в популяциях, обитающих в разных условиях, усиливаются те или иные направления отбора [6].

Все каридные креветки относятся к так называемым *K*-стратегам, так как они в той или иной форме проявляют заботу о потомстве. Все представители инфраотряда Caridea откладывают икру на плеоподы и вынашивают ее в течение длительного инкубационного периода. Из яиц выходят в планктон личинки на стадии зоза, а не науплиуса, как у более примитивных креветок. У некоторых видов происходит значительное укорочение личиночного периода за счет более продолжительного вынашивания икры на плеоподах. В результате личинки вылупляются более продвинутыми в развитии, на более поздних стадиях метаморфоза.

В популяциях беспозвоночных на дне большие колебания численности из года в год указывают на виды с длинной пелагической личиночной жизнью, тогда как более или менее постоянное появление указывает на виды с очень коротким пелагическим периодом или прямым развитием [3]. В то же время виды с пелагическим развитием гораздо быстрее восстанавливают сильно пострадавшие или погибшие местные популяции и быстрее осваивают все свободные биотопы [8]. Образование псевдопопуляций у видов с пелагическим развитием за счет выноса личинок за пределы области размножения служит дополнением к обычному расселению.

Для животных основным способом избегания пессимальных температур являются разнообразные формы поведения. Личинки креветок активно ищут лучшие кормовые участки, при по-

мощи изменения вертикального положения в толще воды. Это может быть достигнуто за счет суточных и онтогенетических вертикальных миграций в ответ на свет, давление и гравитацию. Высокое сходство пищевых спектров еще не является надежным доказательством напряженности пищевых отношений. Если кормовых ресурсов достаточно, то конкуренция за пищу не достигает уровня, когда жестко лимитируется численность [9]. Ранние стадии жизни чаще наблюдаются у личинок вблизи поверхности и у поздних стадий вблизи дна. Стадии зоза IV и V для личинок креветок можно считать переходными, когда они переходят от питания водорослями к потреблению зоопланктона [10].

Вылупление большинства каридных креветок в прикамчатских водах сильно растянуто по срокам. У отдельных видов самые поздние личинки выходят в планктон на 11–17 недель позже ранних личинок того же вида. Такое растягивание сроков размножения носит адаптивный характер и уменьшает внутривидовую конкуренцию. Растянутасть сроков размножения можно рассматривать также как один из вариантов индивидуальной изменчивости.

Ранние личинки вылупляются в самый пик цветения фитопланктона, которым они сразу же начинают питаться. Температура поверхностного слоя воды в это время не превышает 2–3°C. Этого вполне достаточно, чтобы личинки благополучно развивались. Появляются ранние личинки у большинства видов весной над глубинами свыше 400 м. Именно над этими глубинами складываются наиболее благоприятные условия. Самки креветок в это время еще не начали миграцию к берегам, поэтому выпуск личинок происходит за пределами шельфа. К тому моменту, когда личинки начинают потреблять мелкий зоопланктон, над глубинами более 200 м в массе появляются яйца эвфаузиид и других ракообразных, а через три недели, то есть к моменту следующей линьки креветок, из этих яиц выходят науплиусы. Таким образом, условия для развития складываются благоприятные. Из хищников над большими глубинами в это время в эпипелагиали ранней весной в массе присутствует только дальневосточная серебрянка. Остальные потенциальные враги в это время держатся над шельфом или в придонных слоях пелагиали. Таким образом, более раннее вылупление позволяет сократить количество врагов.

Массовый выход личинок происходит в наиболее благоприятных для данного вида условиях. Личинки в момент вылупления должны быть обеспечены необходимым количеством пищи и тепла, а также, по возможности, избежать выедания хищниками. Массовый выход личинок происходит в местах скопления самок данного вида. Каридные креветки совершают сезонные миграции: зимой движутся в океаническую часть, а летом возвращаются на шельф, поэтому личинки выходят в планктон ранней весной над большими глубинами, а в середине лета – во внутренней части шельфа. Оседают декаподитные стадии в наиболее благоприятные сроки вблизи районов обитания основной части молоди данного вида.

Выход в планктон поздних личинок происходит во второй половине лета над небольшими глубинами. В этой зоне в июле – августе поверхностный слой прогревается до 10–15°C, что позволяет поздним личинкам развиваться в 1,5–2 раза быстрее. В результате оседание этих особей происходит задолго до наступления холодов. В некоторых случаях более позднее вылупление уменьшает пресс хищников-планктофагов.

Известны три типа пелагических личинок [5]:

а) лецитрофные (питающиеся за счет собственных запасов), происходящие из крупных желточных яиц. Они не зависят от планктона как источника пищи, хотя растут во время пелагической жизни. Они составляют около 1% видов. Личинки глубоководных беспозвоночных, чтобы развиваться в планктоне, должны были бы подняться с помощью своих органов через водяной столб 2 000–4 000 м к поверхностному слою, а потом спуститься на такую же глубину обратно. Поэтому эти виды обычно имеют либо лецитрофную личинку, либо прямое развитие;

б) планктотрофные личинки с длительным пелагическим периодом, происходящие от мелких яиц. Они питаются и растут в планктоне. В высоких полярных широтах их всего 5%, 55–65% видов в бореальных морях и 80–85% тропических видов;

в) планктотрофные личинки с коротким пелагическим периодом, имеющие тот же размер и организацию в момент вылупления, и в момент расселения. Они составляют около 5% видов во всех морях. Чтобы выжить в высокоарктических районах, планктотрофная личинка должна завершить свое развитие от вылупления до метаморфоза в течение 11 недель, то есть периода, в течение которого происходит производство фитопланктона) при температуре ниже 2–4°C. Большинство видов (95%) не могут этого сделать.

Морфология и образ жизни животного непосредственно связаны с условиями среды. Факторы укорочения свободного личиночного развития, вплоть до вынашивания потомства под абдоменом, отмечались многими исследователями. Укороченное постэмбриональное развитие не сводится просто к появлению из яйцевых оболочек более старшей личинки, полностью соответствующей таковой у видов с нормальным неукороченным развитием. Явление укорочения развития связано с процессом отодвигания момента вылупления личинок на более поздние сроки эмбрионального развития [11].

Параллельно с укорочением личиночного развития происходит увеличение объема яиц и уменьшение плодовитости соответствующих форм. У вида, проявляющего заботу о потомстве, число яиц может быть меньше, но число выживших потомков может оказаться больше. Связь этих явлений подробно изучена Н.А. Заренковым. Он показал, что в крупных яйцах эмбриональное развитие значительно удлинено [12]. При прямом развитии вылупившиеся эмбрионы висят на плеоподах самки и попадают в планктон только в исключительных случаях, когда током воды они отрываются от самки. Личинки с сокращенным развитием, вылупившиеся уже почти сформированными, ведут свободный образ жизни. Они держатся, скорее всего, в придонных слоях, то есть они не вполне пелагические [11]. Виды с укороченным развитием, по данным Р.Р. Макарова [11], имеют возможность размножаться значительно раньше, чем виды с полным развитием. Их личинки при вылуплении оказываются более продвинутыми в развитии, более жизнеспособными.

Обычно при развитии ракообразных конечности появляются в порядке от передних к задним. У каридных креветок с неукороченным циклом урופоды в своем развитии обгоняют плеоподы, что необходимо личинкам для маневрирования при плавании. Поскольку у видов с укороченным развитием первые стадии проходят внутри яйцевых оболочек, последовательность развития конечностей сохраняется в первоначальном виде, и урופоды развиваются самыми последними, уже после вылупления. Обычно у форм с укороченным развитием отсутствуют экзоподиты переоподов, которые вместе с экзоподитами максиллиподов служат для плавания [11].

Виды не всегда служат лучшей экологической единицей для оценки разнообразия, так как различные стадии жизненного цикла или различные формы одного и того же вида часто занимают разные местообитания и экологические ниши. Действие естественного отбора на протяжении длительного времени направлено на то, чтобы исключить или предотвратить продолжительную конфронтацию видов. В стабильных условиях окружающей среды экологические системы с большим разнообразием успешно конкурируют с более простыми и замещают их [13].

Экологические классификации отражают сходство, возникающее у представителей самых разных групп, если они используют сходные пути адаптации. На основании собственных и литературных данных о личиночном развитии представителей каридных креветок из прикамчатских вод были установлены некоторые закономерности развития в планктонный период. Последовательный ряд форм с различной степенью укорочения развития будет прослежен на представителях каридных личинок из прикамчатских и чукотских вод. Учитывались, в первую очередь, различия в морфологии личинок при вылуплении, размеры личинок, длительность пелагического развития и количество личиночных стадий, а также сроки развития личинок в планктоне.

Отдельные группы функционально сходных видов сильно взаимодействуют друг с другом и слабо – с остальными видами сообщества. Группу видов в сообществе, обладающую сходными функциями и нишами, часто называют гильдиями. Экологическая гильдия является любой группой разновидностей, которые эксплуатируют одни и те же ресурсы часто связанными способами. Гильдии являются ареной наиболее интенсивной межвидовой конкуренции. Количество видов в гильдии всегда ограничено. Ограничения видового объема гильдии объясняются необходимостью сохранения между видами определенного минимального уровня сходства. В соответствии с данными положениями, на основании выполненных в предлагаемой работе исследований, в личиночном сообществе каридных креветок было выделено семь гильдий.

Первая гильдия – виды с длительным пелагическим развитием, вылупляющиеся из мелких яиц совершенно без переоподов. К ним относятся *E. macilentus*, *E. pusiolus*, *E. suckleyi*, виды рода *Heptacarpus*.

Вторая гильдия – виды с длительным пелагическим развитием, зоза которых вылупляются из более крупных яиц с хорошо развитыми пятью парами переоподов с экзоподитами, но без плавательных щетинок. К ним в наших водах относятся *P. dispar*, *P. eous*, *P. tridens* и некоторые крупные личинки рода *Eualus*, которые в данный момент до вида определить не удается.

Третья гильдия – личинки вылупляются из относительно мелких яиц практически без переоподов или с сильно недоразвитыми переоподами (в виде бугорка) и развиваются через шесть стадий зоза и одну декаподитную стадию. К ним относятся виды рода *Crangon*, *S. arcuata*, *S. ochotensis*, *S. murdochi* и др.

Четвертая гильдия – личинки развиваются из яиц среднего размера через шесть стадий зоза и 1–2 декаподитные стадии, но вылупляются с развитыми переоподами со всеми экзоподитами, но без щетинок. У некоторых из них уже имеются плеоподы в виде бугорков. К ним относятся *P. goniurus*, *P. hypsinotus*, *S. spinus*.

Пятая гильдия – личинки имеют пять стадий зоза и одну декаподитную стадию. Вылупляются из относительно крупных яиц. К ним относятся *M. intermedia*, *N. communis*, *E. fabricii*, *S. phippii*, *E. belcheri*.

Шестая гильдия – виды с 2–3 стадиями зоза и одной декаподитной стадией. Вылупляются из крупных яиц с большим количеством желтка. Младшие зоза имеют хорошо развитые переоподы, недоразвитые плеоподы. Уроподы отсутствуют. Тельсон расширяется к концу не больше обычного, количество щетинок, как правило, не превышает 12 пар. Обязательных стадий зоза две. У некоторых видов рода *Argis* имеется третья (факультативная) стадия зоза. К этой гильдии относятся все виды рода *Argis*, *Lebbeus*, *S. boreas*.

Седьмая гильдия – виды, имеющие всего одну стадию зоза. Развитие конечностей соответствует старшей зоза видов шестой гильдии. Тельсон очень сильно расширен, количество терминальных щетинок увеличено до 17 и более пар. В наших пробах этот вид отсутствует, но Р.Р. Макаров [14] для восточной части Охотского моря описывает личинок *Sclerocrangon salebrosa*, которые соответствуют данному варианту развития.

Далее на конкретных примерах рассмотрим особенности развития видов выделенных личиночных гильдий Caridea в восточной части Охотского моря, так как этот район лучше изучен.

Развитие креветок первой гильдии. Самые первые зоза видов из первой гильдии при вылуплении имеют длину 2,3–4,0 мм. В планктон они выходят менее развитыми, чем остальные виды. У них отсутствует роstrum, плеоподы, а главное – переоподы. У некоторых из них на месте переоподов заметен небольшой бугорок. В планктон эти виды выходят одними из первых. Массово они появляются в середине или в конце апреля над глубинами 400–700 м. К середине лета личинки оказываются уже над глубинами 15–75 м, во внутренней части шельфовых вод. Данные виды питаются фитопланктоном дольше, чем виды с меньшим количеством планктонных стадий. На питание мелким зоопланктоном они переходят только через два месяца после вылупления. К этому времени личинки переносятся течениями во внутреннюю часть шельфовых вод, где кормовая база и термические условия оказываются более благоприятными. Длительность личиночного развития креветок первой гильдии, как правило, составляет не менее 120 дней. В августе первые из них переходят к придонному образу жизни (см. рисунок). Развитие в более ранние сроки характерно для *E. pusiolus* и *E. sukckley*. Они избегают конкуренции с другими видами за счет более раннего развития и растянутых сроков питания фитопланктоном. За счет появления над большими глубинами им удастся уменьшить количество потенциальных врагов.

E. macilentus – арктическо-бореальная форма. Взрослые особи живут на небольших глубинах. Летом они мигрируют к берегам, поэтому личинки их выходят в планктон в зоне внутреннего шельфа. Эти личинки развиваются в 1,5 раза быстрее, чем зоза других мелких видов рода *Eualus*. Переход на питание зоопланктоном в более поздние сроки по сравнению с большинством других креветок позволяет избежать конкуренции с близкими видами. Кормовая база и температурный режим в прибрежной зоне западнокамчатского шельфа позволяет этим личинкам развиваться в планктоне в течение всего сентября, или до середины октября, особенно в северной части, в которой осенью сосредоточено самое большое количество мелкого зоопланктона. Зоза *E. macilentus* дольше питаются фитопланктоном, а поэтому держатся в самом поверхностном слое, где обычно не питаются половозрелые рыбы-планктофаги (дальневосточная серебрянка, мойва, зубастая корюшка). К тому же, мелкие личинки не представляют особого интереса для этой группы потребителей зоопланктона.

Развитие креветок второй гильдии. Личинки данной группы креветок выходят в планктон позже, чем у предыдущей. Наиболее изученный представитель второй гильдии – северная креветка *P. eous*. У этих крупных креветок инкубационный период продолжается несколько дольше,

чем у многих других видов, в том числе у *E. macilentus*. Из яиц выходят крупные (более 6 мм) личинки с развитыми переоподами. На питание мелким зоопланктоном они переходят уже через месяц, что гораздо раньше, чем у видов из предыдущей гильдии. Вылупление растянуто в отдельные годы до 17 недель, поэтому ранние личинки появляются над океаническими глубинами, массовые – над внешним шельфом, а поздние – над внутренним шельфом.

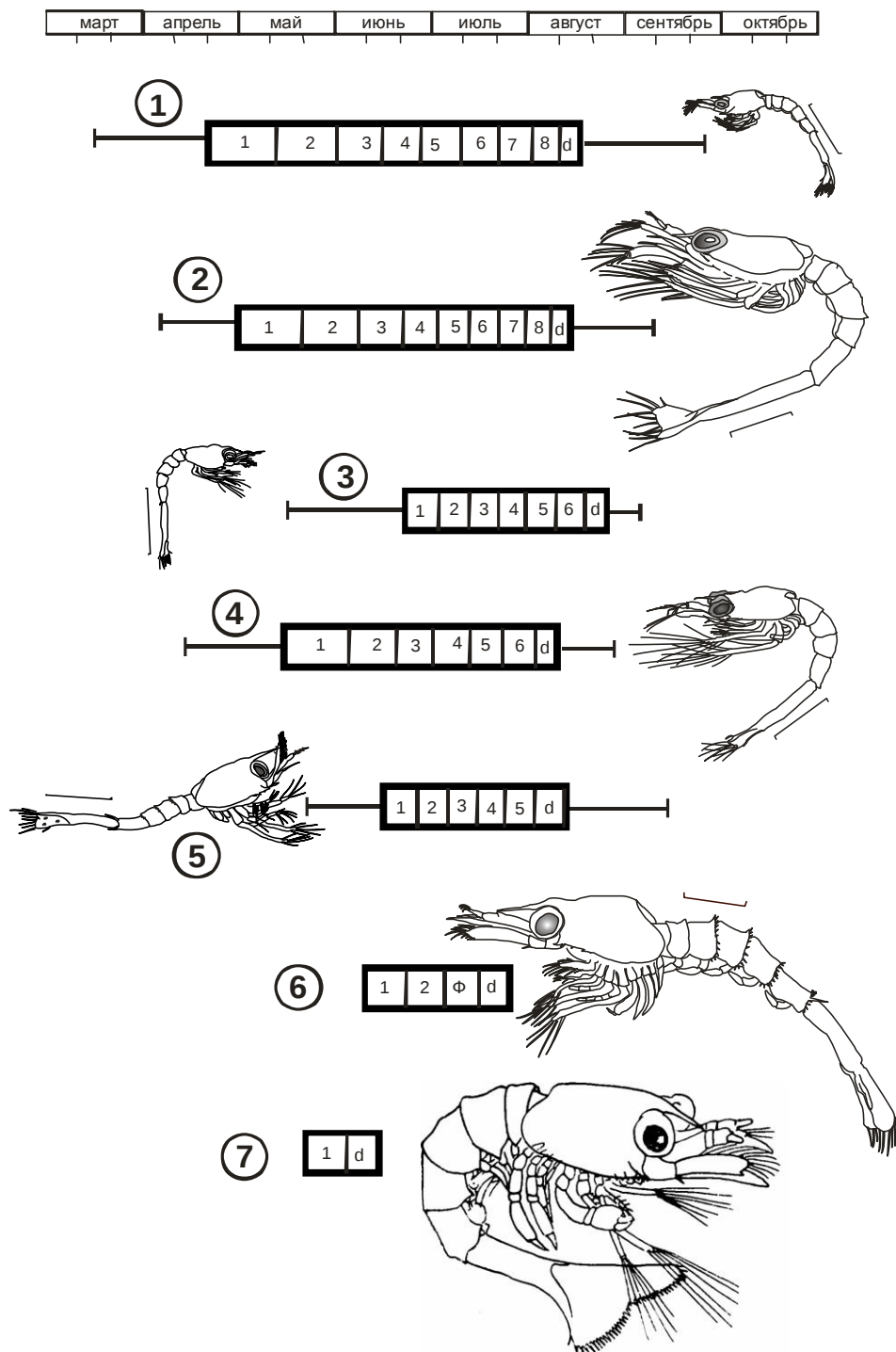


Схема развития личинок различных гильдий в восточной части Охотского моря.
Условные обозначения: 1–8 – стадии зозы; d – декаподитная стадия; ф – факультативная стадия.
Масштаб 1 мм. ①–⑦ – порядковый номер гильдии

Массовое развитие в планктоне происходит в течение 100–110 дней. За это время личинки постепенно перемещаются ближе к берегам и оседают на глубине 30–50 м, то есть дальше от берега, чем *E. macilentus*. В зоне внешнего шельфа, где массово происходит выпуск личинок северной креветки, в это время питаются крупным планктоном зубастая корюшка, личинки

черного палтуса, дальневосточная серебрянка. Для личинок палтуса даже младшие зоза *P. eous* оказываются слишком крупными и подвижными. Поэтому палтус в это время может потреблять только младших зоза видов первой гильдии.

Зоза северной креветки благодаря хорошо развитым переоподам и раннему развитию плеоподов начинают раньше других видов креветок активно плавать. Плавательные щетинки на переоподах у *P. eous* появляются уже на второй стадии зоза, что не характерно для каридных креветок с длительным пелагическим развитием. Уже в начале июня зоза *P. eous* могут переходить на питание науплиусами копепод и эвфаузиид, а в конце июня они способны потреблять циклопов и копеподитные стадии других веслоногих рачков. В этот же период над средним шельфом появляется икра некоторых камбал (желтоперой, сахалинской), которой могут питаться крупные личинки креветок. В начале июля зоза северной креветки четвертой – пятой стадий достигают длины 12–14 мм, что позволяет им нападать на личинок мелких камбал.

Пресс хищников в первой половине лета над глубинами более 100 м намного меньше, чем на меньших глубинах. Тем не менее развивающимися личинками *P. eous* могут питаться половозрелые особи дальневосточной серебрянки, сельди и зубастой корюшки, а в темное время суток – гипериида *Themisto libellula*. Во второй половине лета, когда старшие личинки северной креветки оказываются во внутренней зоне шельфовых вод, они уже выходят из-под пресса мелких хищников и перемещаются в более глубокие слои ближе к берегу. В это время они активно потребляют мелких неритических копепод, икру и личинок малоротых камбал. Для *T. libellula* во второй половине лета личинки северной креветки уже недоступны по размерам.

Известно, что взрослые креветки оставляют дно в сумерках, рассредоточиваясь по толще воды и возвращаются на дно к рассвету [15]. Такие перемещения позволяют креветкам производить выпуск личинок не на больших глубинах в придонном слое, а в верхних слоях пелагиали. В этом случае вылупляющиеся личинки сразу же оказываются в благоприятных для развития условиях. Первые три стадии зоза остаются, как правило, в районе вылупления, но затем мигрируют на мелководье (46–64 м), где заканчивают метаморфоз, и проводят свое первое лето как молодь. После этого они двигаются в более глубокие воды, чтобы присоединиться к взрослым особям.

Плодовитость является важным адаптивным свойством вида и одной из основных величин в определении будущего пополнения. В более суровых условиях период инкубации икры пандалид удлиняется как за счет более раннего откладывания икры, так и за счет более позднего вылупления личинок [17]. Более холодные температуры вод замедляют рост и развитие креветок, увеличивают период яйцекладки и значительно определяют время нереста и вылупления [15]. Креветки семейства Pandalidae применяют репродуктивные стратегии для оптимизации числа потомков, которые могут эффективно использовать имеющиеся ресурсы. Самки этого вида уменьшают размер кладки и время инкубации в более теплой воде и увеличивают количество яиц и время инкубации в более холодной воде. Более короткий инкубационный период, связанный с повышенной температурой, приводит к образованию мелких, менее жизнеспособных личинок. Самки более старшего возраста нерестятся значительно раньше, когда температура воды может быть низкой, у их яиц может быть меньше шансов выжить из-за повышенного воздействия холодной воды зимой. Это, однако, может быть преодолено с помощью более длительного инкубационного периода, что приводит к увеличению и жизнеспособности личинок. Стратегия, обеспечивающая максимальную выживаемость потомства, приводит к тому, что время размножения совпадает с оптимальными условиями питания для нового поколения [16].

Развитие креветок третьей гильдии. Рассмотрим развитие этой группы на примере видов рода *Crangon* (*C. septemspinosa* и *C. dalli*). Оба шримса являются прибрежными видами и массово выходят в планктон в июне. Вылупление менее растянутое, чем у видов предыдущей гильдии (не более, чем на 10 недель). Появляются личинки при температуре воды не менее 5°C. Массовое развитие идет в течение 50–60 дней за счет более высоких летних температур. Самые поздние личинки при повышенных температурах заканчивают свое развитие через 45 дней.

Все виды рода *Crangon* обычно встречаются в областях с мягким дном, от ила до гравия [1]. Крангониды используют устья рек и другие мелководные прибрежные воды в качестве питомников на ранних этапах жизни [18]. В течение 2–3 недель личинки этого рода питаются фитопланктоном, а потом начинают потреблять меропланктон, в изобилии имеющийся в неритической зоне, а также икру эвфаузиид, а чуть позже – икру малоротых камбал. В эстуариях они могут также питаться ветвистоусыми рачками и коловратками. На четвертой стадии зоза шримсы переходят на питание исключительно животной пищей. Личинки крангонид в это время дос-

тигают длины 4–5 мм. Для них копеподы (даже копеподитные стадии), а тем более личинки камбал, оказываются недоступными по размерам. К тому же плавательные способности развиваются относительно поздно, так как вылупление происходит практически без переоподов, плеоподы также развиваются поздно. В это время зоэа могут питаться яйцами беспозвоночных и личинками иглокожих, полихет. Активно плавать представители рода *Crangon* начинают только в конце личиночного развития, главным образом в придонных слоях, так как экзоподиты у них имеются только на первой паре переоподов.

C. dalli и *C. septemspinosa* обитают в распресненных участках, главным образом в заливах и эстуариях. Личинки оказываются в более благоприятных температурных условиях и лучше обеспечены пищей. Благодаря пониженной солености в этой части акватории отсутствуют некоторые хищные беспозвоночные, в том числе *Themisto libellula*, которая в отличие от других гипериид является стеногалинным видом, не может регулировать концентрацию натрия и хлора в своей гемолимфе и не выдерживает соленость менее 30‰. Максимальные концентрации у гипериид наблюдаются, по данным К.М. Горбатенко, осенью, а у медуз – летом [19]. Креветки третьей гильдии подвергаются значительному прессу молоди лососей. В прибрежной зоне в течение всего лета присутствует большое количество рыб, которые питаются зоопланктоном. К ним относится мойва, молодь лососей, корюшка зубастая и корюшка малоротая, трехиглая колюшка, терпуг и др. Кроме того, оседающих старших личинок и декаподитные стадии может выедать молодь трески и минтая, наваги, камбал и других рыб, а также взрослые креветки.

Благодаря своим мелким размерам, личинки рода *Crangon* почти не конкурируют за пищу с пандалидами и крупными торидами, но старшие зоэа развиваются одновременно с *E. macilentus* и *E. pusiolus*, которые присутствуют в этой же зоне во второй половине лета. Тем не менее пространственно виды этой гильдии расходятся с большинством других видов креветок, которые начинают свое развитие в планктоне над большими глубинами. В то же время они больше страдают от пресса хищников.

Развитие креветок четвертой гильдии. Углохвостая креветка *P. goniurus* изучена лучше других видов из данной гильдии, поэтому рассмотрим развитие этого вида в восточной части Охотского моря. Массово появляются личинки в мае над внешней частью шельфа или за ее пределами. Развитие идет в течение 70–85 дней, то есть дольше, чем у видов из третьей гильдии, хотя количество стадий такое же. Это происходит за счет более раннего выхода в планктон при низких температурах. По сравнению с предыдущей группой вылупление сильнее растянуто (9–15 недель). Так как зоэа углохвостой креветки появляются массово над относительно большими глубинами, то пресс со стороны хищников оказывается меньше. В этой зоне в мае – июне присутствуют личинки черного палтуса, дальневосточная серебрянка, сельдь, зубастая корюшка. Хищные бокоплавы поднимаются в верхний слой только ночью. У *P. goniurus* при вылуплении уже развиты переоподы, как у *P. eous*, но плавать активно они начинают только на третьей стадии зоэа, а не на второй, как *P. eous*.

К питанию зоопланктоном зоэа *P. goniurus* переходят постепенно, начиная с третьей стадии. Вначале они способны питаться яйцами эвфаузиид и икрой камбал, старшие личинки могут нападать на науплиусов копепод и эвфаузиид, а потом и на циклопов, которые в массе водятся над этими глубинами в начале лета. Заканчивают свое развитие личинки углохвостой креветки в зоне внутреннего шельфа к концу лета. В это время они способны уже питаться мелкими копеподами, личинками мелких камбал и мойвы и мелким меропланктоном. Кормовая база во второй половине лета полностью соответствует потребностям крупных личинок креветок.

В конце личиночного периода *P. goniurus* подвергается наибольшему прессу хищников, но, в отличие от видов рода *Crangon*, относительно крупные зоэа углохвостой креветки недоступны мелким медузам и гипериидам. В распресненных участках и эстуариях личинки этого вида обычно не встречаются, поэтому не попадают под пресс молоди лососей. Оседают личинки четвертой гильдии примерно в те же сроки, что и виды третьей гильдии, но на других участках шельфа.

Характер распределения северной и углохвостой креветок в северной части Охотского моря, в зависимости от глубины и температуры, различия в сроках, продолжительности и интенсивности питания, процессов роста, вылупления личинок, нереста и линьки, свидетельствует об их экологической разобщенности [20]. Северная креветка населяет зону с положительной температурой воды в нижних отделах шельфа и пришельфовой кромке свала, выполняя в этих горизонтах доминантную роль в сообществе креветок. Углохвостая креветка доминирует в средних горизонтах шельфа и нижних отделах литорали, при отрицательных температурах, формируя

одновидовые скопления очень высокой плотности. Несмотря на различия в температурном оптимуме, максимальные по плотности скопления оба вида формируют в зонах смешения водных масс различного происхождения с повышенным температурным градиентом. Для обоих видов характерны суточные вертикальные миграции с подъемом в толщу воды в ночное время. Причем для углохвостой креветки, обитающей на меньших глубинах, такие миграции выражены существенно сильнее. Кроме того, в отличие от северной креветки, для *P. goniurus* характерны горизонтальные перемещения господствующими течениями внутри района максимальных концентраций.

Северная креветка значительно крупнее углохвостой и характеризуется большей продолжительностью жизни. У нее выше индивидуальная плодовитость, а самки дают потомство 2–3 раза в течение жизненного цикла, тогда как у углохвостой креветки – всего 1–2 раза. Развитие половых продуктов у северной креветки более растянуто по сезону в отличие от *P. goniurus*. В то же время ритмика питания этих видов практически схожа – креветки предпочитают питаться в дневное время и накормленность более мелких особей выше, чем крупных. Зараженность паразитами у обоих видов минимальна, что может косвенно свидетельствовать о благоприятном состоянии популяций. Еще одна общая черта – удлинненное пелагическое развитие в прикамчатских водах. В наших водах *P. goniurus* имеет на одну стадию больше, чем в приамериканских водах, северная креветка – на две стадии больше.

Развитие креветок пятой гильдии. Рассмотрим данную группу креветок на примере *Neocrangon communis* и *Mesocrangon intermedia*. У этих видов на одну стадию зоза меньше, чем у двух предыдущих гильдий, и развитие может продолжаться в течение 45–60 дней, в зависимости от сроков появления в планктоне. Выходят эти личинки из относительно крупных яиц. В момент вылупления у них имеются только зачатки переоподов. Плавательные щетинки на переоподах у *N. communis* появляются уже на третьей стадии зоза, а у *M. intermedia* – только на четвертой, хотя этот вид крупнее. Плеоподы начинают функционировать только на последней стадии. Размеры при вылуплении 4,2–5,0 мм, то есть такие же, как у *P. goniurus*, но уже с третьей стадии в скорости роста они сильно отстают от пандалид. Видимо, более ранний переход на питание животной пищей у пандалидных креветок способствует ускоренному росту.

Младшие зоза появляются над средним шельфом и питаются фитопланктоном. Во второй половине лета старшие зоза могут потреблять яйца беспозвоночных, а также мелкую икру камбал. В большом количестве им оказываются доступными науплиусы ракообразных, личинки полихет и иглокожих, в конце лета старшие личинки уже могут нападать на циклопов.

N. communis в изобилии встречается на дне смешанных илисто-песчаных грунтов на глубинах 62–95 м и при температуре 0,5–3,6°C [1]. Эти шримсы в какой-то мере должны конкурировать за пищу с видами из первой и второй гильдий, а также с личинками рыб и хищным зоопланктоном. Наибольшее количество личинок шримсов могут выедать личинки черного палтуса, дальневосточная серебрянка, сельдь, песчанка, зубастая корюшка и мойва.

Развитие креветок шестой гильдии. Укорочение до 2–3 стадий зоза рассмотрим на примере видов рода *Argis*. Эти виды имеют две обязательные стадии зоза и одну факультативную. В один и тот же год в разных местах одни особи развиваются через две стадии зоза, а другие – через три [21].

Выходят в планктон младшие личинки в июне с хорошо развитыми переоподами, антеннами и с нефункционирующими плеоподами, но без уropодов. Развитие в планктоне продолжается 35–45 дней над глубинами 28–101 м. Личинки выходят из крупных желтковых яиц при длине 6,5–8,3 мм. Старшие зоза достигают длины 7,0–10,6 мм. На первой же стадии личинки могут питаться зоопланктоном, так как у них уже развиты все конечности переона. Вначале они могут питаться мелким малоподвижным меропланктоном, яйцами эвфаузиид, на второй – третьей стадиях им становятся доступными мелкие копеподы и более крупный меропланктон. Декаподиты могут потреблять наравне с зоопланктоном и оседающую молодь иглокожих, полихет, голотурий, мелких аппендикулярий и другие организмы мелкой фракции. Они держатся преимущественно в придонных слоях воды, особенно последние стадии, то есть глубже, чем личинки большинства других видов креветок.

Из хищников в середине лета во внутренней части шельфовых вод присутствуют в небольшом количестве дальневосточная серебрянка и массово сельдь, мойва, зубастая корюшка, молодь песчанки. Для медуз и бокоплавов такие крупные личинки уже недоступны, но зато большой ущерб может наносить молодь донных рыб, хотя пресс хищников все же оказывается меньше, чем для видов третьей и четвертой гильдий, в связи с тем что оседают виды рода *Argis*

раньше. Меньше других крангонид они также будут страдать от молоди тихоокеанских лососей, так как обитают при более высокой солености.

Наиболее сложный пелагический период развития оказывается сильно сокращенным, поэтому из-под пресса пелагических хищников виды рода *Argis* выходят раньше. Плодовитость данной группы намного меньше за счет развития крупных яиц.

Развитие креветок седьмой гильдии. Это малочисленная группа в умеренных бореальных водах, которая лучше представлена в высоких широтах. В северной части западнокамчатского шельфа Р.Р. Макаров [14] несколько раз ловил личинок (зоа) *Sclerocrangon salebrosa*. Длина личинок 10,3–10,5 мм. Они развиваются из очень крупных яиц. У личинок при вылуплении имеются хорошо развитые антенны с коротким жгутиком, но основание эндоподита уже отделилось. Основание антеннул уже трехсегментное. Плеоподы крупные, но без плавательных щетинок. Переоподы полностью сформированы. При этом тельсон сильно расширен, с большим количеством терминальных щетинок. Данный признак указывает на сильно укороченное развитие. По своей морфологии эти личинки более соответствуют старшим зоа видов рода *Argis*, то есть *S. salebrosa* вылупляются на более поздней стадии эмбрионального развития. Спектр питания у них должен быть примерно таким же, как у видов предыдущей гильдии. Пресс хищников на этих личинок оказывается меньше за счет более ранних сроков вылупления и краткого пребывания в планктоне.

В наши пробы личинки *S. salebrosa* не попадали из-за того что не было рейсов в мае. Личинки *S. salebrosa*, по сведениям Р.Р. Макарова [14], выходят в планктон во второй половине мая и проходят всего одну стадию зоа над глубиной 57–100 м. Держатся они, вероятно, в поверхностном слое, так как в это время глубже вода еще недостаточно теплая. Как правило, в это время поверхностные воды не прогреваются выше 3–4°C. При относительно низких температурах продолжительность одной стадии зоа составляет около 20 дней. Вместе с декаподитной стадией личинка должна задержаться в планктоне примерно на пять недель. Таким образом, время пелагического развития незначительно сокращается по сравнению с видами предыдущей гильдии. Тем не менее личинки получают определенные преимущества.

Заключение

Если ареалы двух близкородственных видов перекрываются, у них наблюдается тенденция к дивергенции по одному или нескольким морфологическим, физиологическим или поведенческим признакам в зоне перекрывания [13]. Конкуренция между близкими видами и внутри вида значительно уменьшается, если разные стадии жизненного цикла занимают разные ниши. Для каждой жизненной формы креветок характерно присущее именно ей направление *r*- или *K*-отбора. Смещение акцентов стратегий обусловлено сложным комплексом экологических факторов [22].

Первая и вторая гильдии личинок расходятся, главным образом, за счет размерной и морфологической дифференциации. Эти гильдии друг с другом не конкурируют. Пандалиды получают преимущество за счет более раннего перехода к питанию животной пищей. *P. eous* за счет удлиненного развития расширяет спектр питания и выходит из-под пресса некоторых хищников. Для беспозвоночных и личинок рыб в силу своих крупных размеров личинки северной креветки оказываются недоступными, в то же время они включают в свой рацион питания личинок рыб и более подвижный зоопланктон.

Четвертая гильдия пространственно расходится с третьей и седьмой, по питанию – со второй гильдией. Род *Crangon* за счет более позднего вылупления ускоряет свое развитие. По сравнению с четвертой гильдией виды третьей гильдии меньше страдают от хищников.

Виды шестой и седьмой гильдий получают преимущество за счет сильно сокращенного пелагического периода, который, как известно, в жизненном цикле является самым сложным.

Шестая и седьмая гильдии расходятся по срокам развития и по глубинам, то есть пространственно и по времени. Поэтому между собой они во время пелагического развития практически не конкурируют.

Разделение совместно живущими видами экологических ниш с частичным их перекрыванием – один из механизмов устойчивости природных биоценозов. Совместно могут обитать по несколько видов из одной трофической группы. Мелкие и крупные особи конкурируют меньше между собой, чем представители видов, которые имеют промежуточные размеры. Соответственно, приспособленность крупных и мелких особей будет несколько выше, и две популяции почти

не будут конкурировать. Происходит экологическая дивергенция. Таким образом, на примере видов из Охотского моря показано, как различные виды могут использовать ресурс одного и того же типа, если они разделены морфологически, пространственно и во времени. Все адаптации так или иначе повышают вероятность выживания близкородственных видов и увеличивают эффективность использования ресурсов.

Литература

1. Слизкин А.Г. Атлас-определитель крабов и креветок дальневосточных морей России. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2006. – 216 с.
2. Марин И.Н. Малый атлас десятиногих ракообразных России. – М.: Тов. науч. изд. КМК, – 2013. – 145 с.
3. Константинов А.С. Общая гидробиология: учеб. для вузов. – М.: Высшая школа. – 1986. – 472 с.
4. Pedersen S.A., Storm L., Simonsen C.S. Northern shrimp (*Pandalus borealis*) recruitment in West Greenland waters. Part I. Distribution of *Pandalus* shrimp larvae in relation to hydrography and plankton // Journal of Northwest Atlantic Fishery Science. – 2002. – Vol. 30. – P. 9–46.
5. Thorson G. Reproductive and larval ecology of marine bottom invertebrates // Biol. – 1950. – Vol. 25, № 1. – P. 1–45.
6. Чернова Н.М., Былова А.М. Общая экология: учеб. – М.: Дрофа, 2004. – 448 с.
7. Буруковский Р. Н., Дмитриева А.И. Сравнительная характеристика оогенеза у некоторых креветок // Всесоюзная научная конференция по использованию промысловых беспозвоночных на пищевые, кормовые и технические цели. – М., 1977. – С. 14–15.
8. Милейковский С.А. Личинки донных беспозвоночных // Биология океана. – Т. 1. – М.: Наука, 1977. – С. 96–106.
9. Долганова Н.Т., Колпаков Н.В., Чучукало В.И. Питание и пищевые отношения молоди рыб и креветок в эстуариях залива Петра Великого в летний и осенний период // Изв. ТИНРО. – 2008. – Т. 153. – С. 335–343.
10. Wolotira R., Munk E., Bowerma J.H. Seasonal distribution and abundance of decapod larvae for the Kodiak Island region // Northwest and Alaska Fish. Cent. 1984. Processed Rpt. 84–01. NMFS/NWAFSC, Seattle, Washington. – 167 p.
11. Макаров Р.Р. Об укорочении личиночного развития у десятиногих ракообразных (Crustacea, Decapoda) // Зоологический журнал. – 1968. – Т. 47, вып. 3. – С. 348–359.
12. Заренков Н.А. Ревизия родов *Crangon* Fabricius и *Sclerocrangon* G.O. Sars (Decapoda, Crustacea) // Зоологический журнал. – 1965. – Т. XLIV, вып. 12. – С. 1761–1775.
13. Одум Ю. Экология В 2-х томах. Т. 2: пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 325 с.
14. Макаров Р.Р. Личинки креветок, раков-отшельников и крабов западнокамчатского шельфа и их распределение. – М.: Наука, 1966. – 164 с.
15. Butler T.H. Shrimps of the pacific coast of Canada // Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. – 1980. – № 202. – P. 1–280.
16. Nunes P. Reproductive and larval biology of northern shrimp *Pandalus borealis* Kroyer, in relation to temperature: Ph.D. thesis. – Fairbanks: University of Alaska Fairbanks, 1984. – P. 1–195.
17. Иванов Б.Г. Биология северного шримса (*Pandalus borealis* Кр.) в Беринговом море и зал. Аляска // Тр. Всес. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. – 1969. – Т. 65. – С. 392–416.
18. Amara R., Paul C. Seasonal patterns in the fish and epibenthic crustaceans community of an intertidal zone with particular reference to the population dynamics of plaice and brown shrimp // Estuarine and Coastal Shellfish Science. – 2003. – Vol. 56. – P. 807–818.
19. Горбатенко К.М. Трофодинамика гидробионтов в Охотском море: дис. ... д-ра биол. наук. – Владивосток, 2018. – 468 с.
20. 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.
21. Sedova N.A., Grigoryev S.S. Morphological features of larvae of the genus *Argis* Kroyer 1842 (Decapoda, Crangonidae) from coastal Kamchatka and adjacent waters // Zoosystematica Rossica. – 2018. – № 27(1). – P. 11–33.
22. Судник С.А. Экологические аспекты репродуктивных стратегий креветок: автореф. дис. канд. биол. наук. – Калининград, 2008. – 25 с.

Информация об авторе
Information about the author

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

Sedova Nina Anatol'evna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of Aquatic Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair; sedova67@bk.ru

УДК 577.15:582.739

Д.К. Чернышук, Л.Е. Иваченко, К.С. Голохваст

ИЗМЕНЧИВОСТЬ АКТИВНОСТИ КИСЛОЙ ФОСФАТАЗЫ У СОИ (*GLYCINE SOJA*) В УСЛОВИЯХ ТОКСИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СУЛЬФАТОВ КАДМИЯ И МЕДИ

Исследование метаболических профилей сои с помощью применения анализа полиморфизма белковых маркерных систем является идеальной генетической основой для решения практических задач ее селекции и получения растений с улучшенными питательными свойствами и агрономическими признаками. Нами рассмотрен механизм биохимической адаптации дикорастущей сои к экспериментально смоделированному воздействию сульфатов кадмия и меди в концентрациях, превышающих ориентировочно допустимые в два раза. Установлено, что выращивание сои на почве с внесением сульфатов меди и кадмия приводит к усилению окислительных процессов, кислая фосфатаза проявляет стабильную удельную активность и высокую изменчивость множественных форм. Медь в исследуемой концентрации являлась более токсичной, чем кадмий. Дополнительная обработка семян сои диgidрокверцетином перед посевом в загрязненную медью и кадмием почву вызывало снижение удельной активности и увеличение числа множественных форм кислой фосфатазы относительно контроля. Таким образом, предпосевная обработка семян сои диgidрокверцетином способна повысить ее адаптивный потенциал к воздействию сульфатов меди и кадмия.

Ключевые слова: *Glycine soja*, кислая фосфатаза, пероксидаза, тяжелые металлы, окислительный стресс, биохимическая адаптация, диgidрокверцетин.

D.K. Chernyshuk, L.E. Ivachenko, K.S. Golokhvast

VARIABILITY OF ACID PHOSPHATASE ACTIVITY IN SOYBEAN (*GLYCINE SOJA*) UNDER CONDITIONS OF TOXIC INFLUENCE OF CADMIUM AND COPPER SULFATES

Research on the metabolic profiles of soybeans using polymorphism of the protein marker systems presents ideal genetic basis for solving practical problems of soybean breeding with improved nutritional properties and agronomic traits. In this study, we examined mechanism of the biochemical adaptation of wild soybean to the experimentally modeled effects of cadmium and copper sulfates in concentrations, which are 2 times higher than permissible. As we found, cultivation of wild soybean on the soil contaminated with copper and cadmium sulfates leads to increased oxidative processes in soybeans, with copper being more toxic than cadmium. Growing wild soybean in the soil with copper and cadmium sulfates showed that acid phosphatase exhibited stable specific activity and high variability of multiple forms. Additional treatment of soybean seeds with dihydroquercetin, before placing in the soil contaminated with copper and cadmium, caused a decrease in specific activity and an increase in the number of multiple forms of acid phosphatase relative to the control. Thus, it is assumed that pre-sowing treatment of soybean seeds with dihydroquercetin may increase the adaptive potential of wild soybeans to the effects of copper and cadmium sulfates.

Key words: *Glycine soja*, acid phosphatase, peroxidase, heavy metals, oxidative stress, biochemical adaptation, dihydroquercetin.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-116-124

Введение

В последнее время загрязнение почв сельскохозяйственных угодий тяжелыми металлами стало серьезной проблемой [1, 2]. Для растений кадмий (Cd) является очень токсичным элементом, способным ингибировать их рост, развитие и продуктивность посредством нарушения биосинтеза аминокислот, ингибирования активности ферментов, внесения метаболических дисбалансов и вмешательства в минеральное питание [3, 4]. Медь (Cu) относится к необходимым для растений микроэлементам, но в избыточных количествах становится высокотоксичной и ингибирует фотосинтез [5], поглощение питательных веществ, рост растений [6], вызывает гибель клеток [7]. Кроме того, избыточные количества тяжелых металлов индуцируют окислительный

стресс, вызывая повышенное образование активных форм кислорода (АФК) [8]. АФК могут формироваться при ингибировании, например ионами Cd, комплекса III митохондриальной цепи переноса электронов. В результате этого появляются нестабильные семихиноны, которые передают электрон на молекулярный кислород с образованием супероксид-аниона, а из него и других АФК. Переходные металлы способны взаимодействовать с H_2O_2 по реакции Фентона с образованием гидроксильных радикалов [9]. Ведущую роль в подавлении свободно-радикального окисления играет антиоксидантная система защиты организма, включающая ферментативные и неферментативные системы [10].

Многие физиологические процессы, в том числе активность гидролитических ферментов, способны активироваться или ингибироваться тяжелыми металлами. Тяжелые металлы способны накапливаться в высоких концентрациях в лизосомах. Предположение об участии лизосом в метаболизме тяжелых металлов было выдвинуто на основе хорошо известной способности ряда металлов (Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+}), особенно при длительном или избыточном их поступлении в организм, концентрироваться в везикулярных структурах цитоплазмы, дающих положительную реакцию на кислую фосфатазу или на другие лизосомные ферменты [11]. Кислая фосфатаза (К.Ф. 3.1.3.2) относится к классу гидролаз и играет важную роль в регуляции метаболических процессов путем гидролиза различных внутриклеточных фосфорилированных биомолекул, а также участвует в поддержании энергетического пула в биологических системах [12–14]. Являясь многофункциональным ферментом, она участвует в росте и развитии растений, регуляции пероксидазной активности [15] и в процессе солеустойчивости растений [16]. Установлена изменчивость активности кислых фосфатаз у амаранта различного филогенетического происхождения при интоксикации солями тяжелых металлов [17].

Соя (*Glycine max* (L.) Merrill) является важнейшей сельскохозяйственной культурой с уникальным химическим составом и многопрофильным использованием [18]. Дикорастущая соя (*Glycine soja* Sieb. & Zucc.) является предком одомашненной сои и обладает более высоким уровнем генетического разнообразия и адаптивным потенциалом к суровым условиям окружающей среды [19]. Понимание метаболических профилей сои через изучение полиморфизма белковых маркерных систем является идеальной генетической основой для решения практических задач ее селекции с улучшенными питательными свойствами и агрономическими признаками [20, 21]. В литературе неоднократно отмечали отзывчивость антиоксидантной системы сои на изменения условий среды [21–25].

Одним из подходов для решения проблемы загрязнения почв тяжелыми металлами может быть обработка растений разного рода антиоксидантами, что будет способствовать уменьшению стресса растений. Широко известными антиоксидантами являются флавоноиды, которые встречаются в древесине, коре, листьях или корнях растений. Флавоноиды способны служить ловушками для свободных радикалов, а также хелатировать ионы металлов, участвующих в перекисном окислении [26]. Например, в сое установлено двенадцать форм флавоноидов, существующих в четырех разных видах: агликоны, β -глюкозиды, ацетилглюкозиды, малонилглюкозиды [27]. Изофлавоны сои обладают антиоксидантными свойствами и играют важную роль в различных биологических процессах [28–29], а биофлавоноид дигидрокверцетин (ДГК) играет важную роль в формировании защитного механизма семян сои в условиях окислительного стресса [30].

Целью настоящего исследования является изучение активности кислой фосфатазы семян дикорастущей сои в условиях окислительного стресса, вызванного действием сульфатов кадмия и меди (II) и оценка способности дигидрокверцетина снижать уровень окислительного стресса.

Материалы и методы

Материалом для исследований служили семена дикорастущей сои (*Glycine soja* Siebold & Zucc), полученные в результате выращивания в экспериментальных условиях. Семена для анализа отбирали в фазу полного созревания. Растения выращивали в теплице при температуре 18–28°C, перед посадкой семена поверхностно стерилизовали 70%-ным раствором этилового спирта (в течение 1 мин), промывали дистиллированной водой, затем высаживали в затемненные сосуды с почвой.

Интоксикация солями тяжелых металлов в виде сульфата меди и сульфата кадмия проводилась внесением добавки соответствующих солей в почву до концентрации, в два раза превы-

шающей ориентировочно допустимую в почве, которая составляет 4 мг/кг для кадмия и 264 мг/кг для меди (Гигиенические нормативы 2.1.7.2511-09). Перед посевом семена обрабатывались 2 mM раствором дигидрокверцетина (ДГК). Все растения были разделены на шесть экспериментальных групп (табл. 1).

Таблица 1

Экспериментальные группы семян сои, использованные в исследовании

№ группы	Условия эксперимента	Описание
1	Контроль*	Семена без предпосевной обработки
2	ДГК	Предпосевная обработка семян дигидрокверцетином
3	Cu	Внесение сульфата меди (II) в почву
4	ДГК+Cu	Предпосевная обработка семян дигидрокверцетином + внесение сульфата меди (II) в почву
5	Cd	Внесение сульфата кадмия в почву
6	ДГК+Cd	Предпосевная обработка семян дигидрокверцетином + внесение сульфата кадмия в почву

* Контролем служили семена, выращенные без добавления солей тяжелых металлов.

Почва для эксперимента (суглинистая, с содержанием гумуса 4,0% [31]) была отобрана из верхнего пахотного горизонта (20 см), в месте произрастания сои (50°18' с. ш. 127°38' в. д.), (табл. 2). Кислотность почвы определяли на анализаторе жидкости «Экотест-2000» (Эконикс, Россия), валовое содержание тяжелых металлов (меди и кадмия) – методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе типа ТА (Томьяналит, Россия), с предварительным разложением навески почвы 50%-ной азотной кислотой (Компонент-Реактив, Россия) и концентрированным перексидом водорода (Полихром, Россия).

Таблица 2

Состав интактной и экспериментальной почвы

Показатель	Почва интактная	Почва с добавлением солей
Cd, мг/кг	<0,1	4,07 ± 1,21
Cu, мг/кг	5,52 ± 1,66	265,3 ± 79,6
pH	5,90 ± 0,20	5,62 ± 0,20

Экстракт белков сои получали путем гомогенизации семян (500 мг) в 0,15 М NaCl при 4°C в течение 15 мин. Полученный экстракт центрифугировали при 3 000 об/мин в течение 15 мин. Белок определяли биуретовым методом [32]. В качестве показателя интенсивности окисления использовали содержание малонового диальдегида (МДА). Содержание МДА определяли по методике, основанной на реакции между МДА и тиобарбитуровой кислотой (ДИА-М, Россия). 250 мг образца гомогенизировали в 4 мл 20%-ной трихлоруксусной кислоты. Гомогенат центрифугировали при 10 000 об/мин в течение 15 мин при 4°C. К 1 мл супернатанта добавляли 4 мл 0,5% тиобарбитуровой кислоты в 20% ТХУ. Реакционную смесь инкубировали в течение 30 мин при 95°C, после чего быстро охлаждали на ледяной бане и центрифугировали в течение 12 мин при 10 000 об/мин. [33]. Активность пероксидазы определяли по методу Бояркина в модификации Мокроносова с бензидином (Вектон, Россия) на фотоэлектроколориметре КФК-2 (Россия). К 0,1 мл добавляли 4 мл 200 mM ацетатного буфера, 3 мл раствора бензидина, устанавливали стрелку гальванометра на ноль, вносили 0,5 мл 0,3% пероксида водорода, по секундомеру отмечали время достижения оптической плотности 0,5.

Активность кислой фосфатазы определяли с *p*-нитрофенилфосфатом (динатриевая соль) (PanReac AppliChem, Германия) в качестве субстрата. Реакционную смесь, состоящую из 0,1 мл экстракта белков сои, 3 mM *p*-нитрофенилфосфат в 1,4 мл 100 mM ацетатном буфере инкубировали в течение 20 мин при 37°C. Реакцию останавливали добавлением 2 мл охлажденного 0,1 М NaOH. Оптическую плотность раствора измеряли при 415 нм относительно контроля, в который экстракт белка был добавлен после раствора щелочи. Анализ проводили на спектрофотометре (ПромЭколаб, Россия). Удельную активность ферментов выражали в единицах на мг белка.

Множественные формы ферментов выявляли методом электрофореза в 7,5%-ном ПААГ при 4°C по методу Дэвиса в модификации для растворимых белков сои [34]. На колонку наносили краситель бромфеноловый синий (Reanal, Hungary), 0,1 мл экстракта белков сои и проводили

электрофорез на приборе ПЭФ-1 (Россия) в трис-глициновом буфере (рН 8,3) при температуре 2–6°C, напряжении 200–500 вольт. В течение 15 мин через колонку пропускают ток 2,5 мА, затем 5 мА в течение 1,0–1,5 ч. Выявление пероксидаз проводили бензидиновым реагентом в ацетатном буфере. Гель помещали в бензидиновый реагент, затем переносили в 0,1%-ный водный раствор пероксида водорода и через несколько секунд формы проявлялись в виде синих полос. Активность кислых фосфатаз в геле после электрофореза выявляли с 11 мМ а-нафтилфосфатом (ДИА-М, Россия). Гель инкубировали в 100 мМ ацетатном буфере в течение 20 мин при 37°C. Места локализации форм фермента в виде ярких розовых полос устанавливали после окрашивания гелей 2 мМ красителем прочным синим Б (ДИА-М, Россия) [35]. Локализацию форм пероксидаз и кислых фосфатаз устанавливали по относительной электрофоретической подвижности (Rf). Каждая форма ферментов сои, согласно Rf, была ранее обозначена: для пероксидаз – П1-П18, для кислых фосфатаз – КФ1-КФ13 [13].

Полученные данные обрабатывали с помощью программного обеспечения STATISTICA 10, графическое представление данных осуществляли в программе Excel (2010).

Результаты и обсуждение

Отзывчивость антиоксидантной системы сои на воздействие сульфата кадмия и сульфата меди

В ответ на воздействие стрессора растения включают определенный набор биохимических и физиологических реакций, направленных на преодоление нарушений их жизнедеятельности, что обеспечивает неспецифическую или срочную адаптацию [36]. При окислительном стрессе преобладающими становятся процессы катаболизма, накапливаются продукты распада и усиливается перекисное окисление липидов (ПОЛ), которое обычно выражается в увеличении концентрации малонового диальдегида (МДА) и стимуляции антиоксидантной системы [37]. Пероксидаза (КФ 1.11.1.7) является антиоксидантным гемосодержащим ферментом и относится к защитным белкам PR-9 класса. Изменения активности пероксидазы являются результатом конформационных изменений, посттрансляционных модификаций, индуцирования синтеза фермента и появления его новых молекулярных форм [10].

В ходе наших исследований было выявлено, что сульфаты меди и кадмия вызывают окислительный стресс, что подтверждается высоким содержанием МДА в семенах сои, указывающим на интенсификацию процессов окисления (рис. 1, а). Также наблюдалось значительное увеличение удельной активности пероксидазы, что может быть связано с установлением редокс-гомеостаза, необходимого для функционирования растительных клеток (рис. 2, б). Ранее отмечали увеличение содержания МДА при инкубации сои на среде с избыточным содержанием меди; избыток меди ингибировал как накопление биомассы, так и линейный рост растений, при этом влияние меди на рост корней было значительно сильнее, чем на рост побега [38]. Также сообщалось об увеличении содержания МДА и удельной активности антиоксидантных ферментов у сои в условиях стресса, вызванного воздействием кадмия [39].

В ходе наших исследований наибольшее повышение удельной активности пероксидазы и содержание МДА относительно контроля было отмечено при внесении в почву сульфата меди, что, возможно, связано с токсичностью меди в исследуемой концентрации. Кадмий также вызывал окислительный стресс в растениях сои, но в исследуемой концентрации был менее токсичен, чем медь. Предпосевная обработка семян дикорастущей сои дигидрокверцетином приводила к снижению концентрации МДА во всех экспериментальных группах (рис. 1, а), что может свидетельствовать об участии данного флавоноида в снижении окислительного стресса и незначительном увеличении удельной активности пероксидазы (рис. 1, б).

Увеличение активности антиоксидантных ферментов сои при влиянии различных биологически активных веществ отмечено в ряде работ [30, 40–42]. Нами было выявлено снижение удельной активности пероксидазы в группах 4 (ДГК+Cu) и 6 (ДГК+Cd) относительно групп 3 (Cu) и 5 (Cd), что свидетельствует о том, что дигидрокверцетин эффективно дополняет ферменты антиоксидантной системы (рис. 1). Ранее уже сообщалось о способности различных соединений снижать концентрацию МДА и регулировать антиоксидантную активность ферментов в условиях стресса, тем самым уменьшая окислительные повреждения в растениях сои [43].

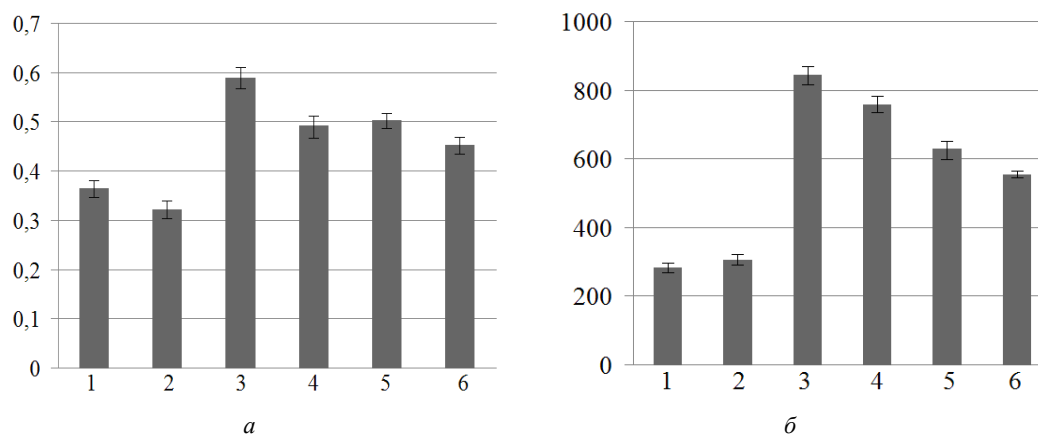


Рис. 1. Концентрация МДА (мкмоль/г сырой массы) (а) и удельная активность пероксидазы (ед./мг белка) (б) в семенах сои, выращенных в экспериментальных условиях: 1 – контроль; 2 – ДГК (2mM); 3 – Cu (264 мг/кг); 4 – Cu ((264 мг/кг) + ДГК (2mM)); 5 – Cd (4 мг/кг); 6 – Cd ((4 мг/кг) + ДГК (2mM))

При изучении электрофоретических спектров пероксидаз дикорастущей сои во всех исследуемых образцах была обнаружена форма П6 (рис. 2). В семенах сои, обработанных ДГК, была установлена высокоподвижная форма П1, не встречающаяся в контроле. При выращивании семян дикорастущей сои на почве с повышенным содержанием меди наблюдалась максимальная удельная активность и количество множественных форм пероксидаз (четыре).

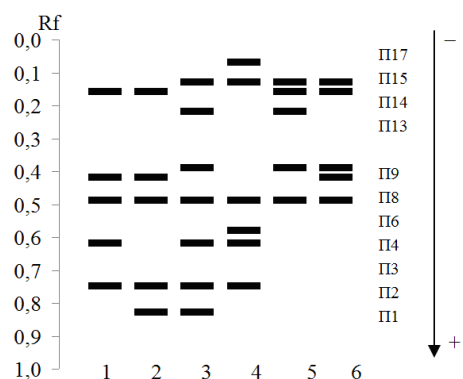


Рис. 2. Схемы энзимогамм пероксидаз семян сои, выращенных в экспериментальных условиях: 1 – контроль; 2 – ДГК (2mM); 3 – Cu (264 мг/кг); 4 – Cu ((264 мг/кг) + ДГК (2mM)); 5 – Cd (4 мг/кг); 6 – Cd ((4 мг/кг) + ДГК (2mM)). Стрелка – направление электрофореза (от катода к аноду). Справа указана нумерация выявленных форм фермента

Эти данные соотносятся с высоким уровнем ПОЛ и, вероятно, свидетельствуют о высоком адаптивном потенциале сои и ее резистентности к воздействию сульфата меди за счет синтеза новых множественных форм. В экспериментальной группе 4 (ДГК+Cu) были отмечены две новые формы, П4 и П17, функционирующие в данных условиях. В группе 4 также отмечено снижение удельной активности пероксидазы относительно группы 3 (Cu), что может быть связано с прекращением функционирования форм П9 и П13. При интоксикации сульфатом кадмия количество множественных форм пероксидаз в семенах сои не изменяется относительно контроля, но меняется их электрофоретическая подвижность, поскольку появляются новые средне- и низкоподвижные формы (П9, П13 и П15), которые были отмечены при влиянии сульфата меди. В экспериментальной группе 6 (ДГК+Cd) новых множественных форм пероксидаз выявлено не было, однако было отмечено снижение удельной активности фермента относительно группы 5 (Cd), что, вероятно, связано с прекращением функционирования формы П13, как и в опыте с сульфатом меди (рис. 2).

Влияние сульфата меди и сульфата кадмия на активность кислой фосфатазы

В условиях стресса происходит деполяризация мембран клетки, увеличивается ее проницаемость и происходит торможение H^+ -АТФ-азы, что приводит к закислению цитоплазмы. Снижение pH среды клетки способствует активации ферментов класса гидролаз, большинство которых имеет оптимум pH в кислой среде. В результате усиливаются процессы гидролиза [44]. Вследствие интоксикации растений происходит изменение удельной активности и состава множественных форм ряда ферментов, непосредственно не связанных с интоксикацией. В большей степени

это относится к ферментам с широкими метаболическими функциями – неспецифичным к субстрату гидролазам, к которым относится кислая фосфатаза [36].

При обработке семян дикорастущей сои ДГК удельная активность кислой фосфатазы увеличивалась относительно контроля на 25% (рис. 3, а), что соотносится с появлением одной дополнительной формы фермента КФ7 (рис. 3, б).

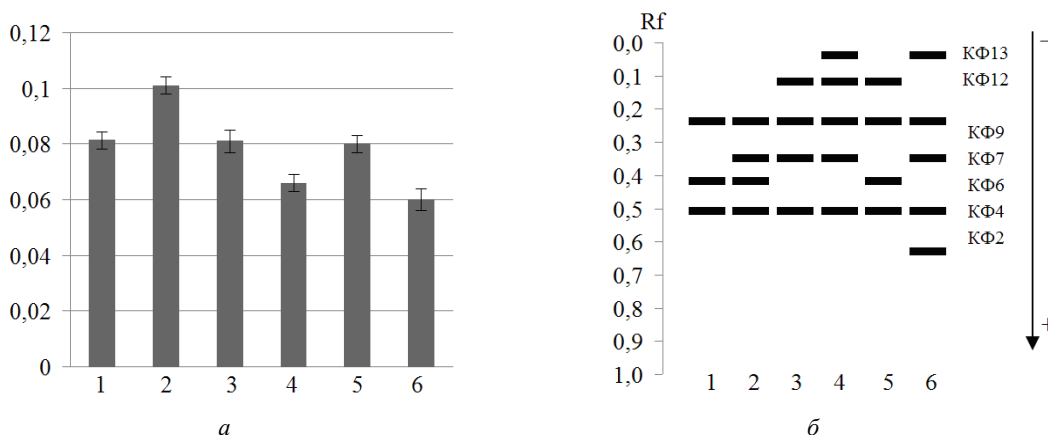


Рис. 3. Удельная активность (ед/мг белка) (а) и схемы энзимогрaмм (б) кислой фосфатазы в семенах сои, выращенных в экспериментальных условиях: 1 – контроль; 2 – ДГК (2мМ); 3 – Cu (264 мг/кг); 4 – Cu ((264 мг/кг) + ДГК (2мМ)); 5 – Cd (4 мг/кг); 6 – Cd ((4 мг/кг) + ДГК (2мМ)).

Стрелка – направление электрофореза (от катода к аноду). Справа указана нумерация выявленных форм фермента

Обработка растений сои дигидрокверцетином способствует повышению их устойчивости к неблагоприятным факторам внешней среды, болезням, увеличивает рост и продуктивность [45]. Кислая фосфатаза участвует в мобилизации фосфата, который необходим для роста растений, в связи с чем возможно увеличение удельной активности фермента в данных условиях.

При влиянии сульфата меди и сульфата кадмия на дикорастущую сою удельная активность кислой фосфатазы была стабильной относительно контроля (рис. 3, а). Ранее указывалось, что при поражении сои септориозом также отмечали стабильную удельную активность этого фермента [46]. В работе Л. Табалди с соавторами сказано, что в саженцах огурца (*Cucumis sativus* L.) кадмий не оказывает влияние на активность кислой фосфатазы [47].

В наших экспериментах в группах 4 (ДГК+Cu) и 6 (ДГК+Cd) наблюдалось снижение удельной активности кислой фосфатазы относительно групп 3 (Cu) и 5 (Cd), что может свидетельствовать о роли дигидрокверцетина в регуляции активности кислых фосфатаз (рис. 3, а). Анализ электрофоретических спектров кислых фосфатаз семян дикорастущей сои показал, что во всех экспериментальных группах присутствовали устойчивые формы фермента (КФ4 и КФ9). В целом количество множественных форм фермента увеличилось относительно контроля во всех образцах (рис. 3, б).

При влиянии сульфата меди выявлены формы КФ7, КФ12, сульфата кадмия – КФ12, которые не встречаются в контроле. В группе 6 (ДГК+Cd) выявлены ранее не встречающиеся множественные формы КФ2, КФ13, причем низкоподвижная форма КФ13 встречается и у группы 4 (ДГК+Cu). Экспериментальные группы 4 (ДГК+Cu) и 6 (ДГК+Cd) характеризовались наибольшим числом множественных форм КФ (пять) и снижением удельной активности относительно контроля. Увеличение числа множественных форм фермента, вероятно, свидетельствует о резистентности организма, которая характеризуется снижением активности гидролитических реакций и усилением процессов синтеза, в том числе белков.

Заключение

В ходе исследований установлено, что выращивание дикорастущей сои на почве с внесением сульфата меди и сульфата кадмия в концентрациях, превышающих ориентировочно допустимые в два раза, приводит к повышению содержания малонового диальдегида и увеличению удельной активности пероксидазы, что подтверждает усиление в сое окислительных процессов. В исследуемой концентрации медь являлась более токсичной, чем кадмий. Дополнительная обработка семян сои дигидрокверцетином перед посевом в почву, загрязненную сульфатом кадмия и сульфатом меди, способно повысить их адаптивный потенциал, снижая

уровень малонового диальдегида, удельную активность пероксидазы и вызывая появление новых множественных форм пероксидаз.

Выращивание дикорастущей сои на почве с внесением сульфата меди и сульфата кадмия показало, что кислая фосфатаза проявляет стабильную удельную активность и высокую изменчивость множественных форм. Дополнительная обработка семян дигидрокверцетином перед посевом в загрязненную почву вызывает снижение удельной активности и увеличение числа множественных форм кислой фосфатазы относительно контроля. Таким образом, мы предполагаем, что флавоноиды могут принимать участие в адаптации растений к воздействию меди и кадмия. Полученные данные могут быть использованы в разработке методов устойчивости растений к неблагоприятному действию исследуемых тяжелых металлов.

Литература

1. *Miransari M.* Abiotic and biotic stresses in soybean production. Soybean production. Vol. 1. – Elsevier, 2016. – 329 с.
2. Novel insights into heavy metal pollution of farmland based on reactive heavy metals (RHMs): Pollution characteristics, predictive models, and quantitative source apportionment / *L. Zhang, G. Zhu, X. Ge, G. Xu, Y. Guan* // *Journal of Hazardous Materials*. – 2018. – Vol. 360. – P. 32–42.
3. *Liu Z., Chen W., He X.* Influence of Cd^{2+} on growth and chlorophyll fluorescence in a hyperaccumulator: *Lonicera japonica* Thunb. // *Journal of Plant Growth Regulation*. – 2015. – 34(3). – P. 672–676.
4. Sodium hydrosulfide alleviates cadmium toxicity by changing cadmium chemical forms and increasing the activities of antioxidant enzymes in salix / *L. Yang, J. Zeng, P. Wang, J. Zhu* // *Environmental and Experimental Botany*. – 2018. – Vol. 156. – P. 161–169.
5. *Dey S., Mazumder P.B., Paul S.B.* Effect of copper on growth and chlorophyll content in tea plants (*Camellia sinensis* (L.) o. kuntze) // *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*. – 2014. – Vol. 2. – P. 223–230.
6. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review / *M. Adrees, S. Ali, M. Rizwan, M. Ibrahim, F. Abbas, M. Farid, S.A. Bharwana* // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2015. – Vol. 22. – P. 8148–8162.
7. Copper trafficking in plants and its implication on cell wall / *B. Printz, S. Lutts, J.F. Hausman, K. Sergeant* // *Frontiers in Plant Science*. – 2016. – Vol. 7. – № 601.
8. *Загоскина Н.В., Назаренко Л.В.* Активные формы кислорода и антиоксидантная система растений // *Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки»*. – 2016. – С. 9–23.
9. *Русецкая Н.Ю., Бородулин В.Б.* Биологическая активность селеноорганических соединений при интоксикации солями тяжелых металлов // *Биомедицинская химия*. – 2015. – Т. 61. – С. 449–461.
10. Metabolomics analysis reveals potential mechanisms of tolerance to excess molybdenum in soybean seedlings / *S. Xu, C. Hu, S. Hussain, Q. Tan, S. Wu, X. Sun* // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2018. – Vol. 164. – P. 589–596.
11. Nickel metal stress induces alterations in expression of amylase and acid-phosphatase isozymes in *Cenchrus ciliaris* / *A. Yaqoob, F.U.H. Nasim, M.A. Zia, M.S. Choudhary, M. Ashraf* // *International Journal of Agriculture and Biology*. – 2017. – Vol. 19. – P. 659–667.
12. Purification and characterization of multiple forms of soybean seed acid phosphatases / *C.V. Ferreira, J.M. Granjeiro, E.M. Taga, H. Aoyama* // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 1998. – Vol. 36, iss. 7. – P. 487–494.
13. *Srivastava Pramod Kumar, Anand Asha* Immobilization of acid phosphatase from *Vigna aconitifolia* seeds on chitosan beads and its characterization, *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2014. – Vo. 64. – P. 150–154
14. A convenient and label-free fluorescence “turn off–on” nanosensor with high sensitivity and selectivity for acid phosphatase / *Z. Liu, Z. Lin, L. Liu, X. Su* // *Analytica Chimica Acta*. – 2015. – Vol. 876. – P. 83–90.
15. The soybean purple acid phosphatase GmPAP14 predominantly enhances external phytate utilization in plants / *Y. Kong, X. Li, B. Wang, W. Li, H. Du, C. Zhang* // *Frontiers in Plant Science*. – 2018. – Vol. 9. – P. 292.

16. Li W.Y., Shao G., Lam, H.M. Ectopic expression of GmPAP3 alleviates oxidative damage caused by salinity and osmotic stresses // *New Phytologist*. – 2015. – 178. – P. 80–91.
17. Иваченко Л.Е., Трофимцова И.А., Чернышук Д.К. Влияние условий выращивания на активность кислых фосфатаз амаранта // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2016. – № 11-2 (53) – С. 127–130.
18. The future of food and agriculture. Trends and challenges. Rome: FAO, 2017. – 163 с.
19. Характеристика генофонда дикой и культурной сои рода *Glycine wild* / А.Я. Ала, В.С. Ала, Т.П. Тручкова, Л. Ван // *Состояние и перспективы научного обеспечения АПК Дальнего Востока: сборник научных трудов*. – Благовещенск: ВНИИ сои, 2009. – С. 65–71.
20. Иваченко Л.Е. Ферменты как маркеры адаптации сои к условиям выращивания: дис. ... д-ра биол. наук. – М., 2012. – 375 с.
21. Differences in the metabolic profiles and antioxidant activities of wild and cultivated black soybeans evaluated by correlation analysis / J.L. Xu, J.-S. Shin, S.-K. Park, S. Kang, S.-C. Jeong, J.-K. Moon, Y. Choi // *Food Research International*. – 2017. – Vol. 100, part 2. – P. 166–174.
22. The role of enzymes in the adaptation of soybean of different phylogenetic origin to growing conditions / L.E. Ivachenko, S.I. Lavrent'yeva, A.S. Konichev, K.S. Golokhvast // *Der Pharma Chemica*. – 2016. – Vol. 8. – P. 236–244.
23. Чернышук Д.К., Иваченко Л.Е. Изменение ферментативной активности проростков сои в процессе интоксикации солями тяжелых металлов // *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: материалы XII международного симпозиума*. – 2017. – С. 87–89.
24. Metabolomics analysis reveals the salt-tolerant mechanism in *Glycine soja* / D.S. Yang, J. Zhang, M.X. Li, L.X. Shi // *Journal of Plant Growth Regulation*. – 2017. – Vol. 36. – 460–471.
25. UV-B mediates isoflavone accumulation and oxidative-antioxidant system responses in germinating soybean / M. Meng, W. Pei, Y. Runqiang, Z. Ting, G. Zhenxin // *Food Chemistry*. – 2019. – Vol. 275. – P. 628–636.
26. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина / Ю.С. Тараховский, Ю.А. Ким, Б.С. Абд-расилов, Е.Н. Музафаров. – Пушино: Synchrobook, 2013. – 310 с.
27. Soyisoflavone diversity in wild soybeans (*Glycine soja* Sieb. & Zucc.) from the main centers of diversity / M.A. Nawaz, K.S. Golokhvast, H.M. Rehman, C. Tsukamoto, H.-S. Kim, S.H. Yang, G. Chung // *Biochemical Systematics and Ecology*. – 2018. – Vol. 77. – P. 16–21.
28. Transport of the soy isoflavone daidzein and its conjugative metabolites by the carriers SOAT, NTCP, OAT4, and OATP2B1 / G. Grosser, B. Döring, B. Ugele, J. Geyer, S.E. Kulling, S.T. Soukup // *Archives of Toxicology*. – 2015. – Vol. 89. – P. 2253–2263.
29. Soybean ultrasound pre-treatment prior to soaking affects β -glucosidase activity, isoflavone profile and soaking time / H.G. Falcao, C.L. Handa, M.B.R. Silva, A.C. de Camargo, F. Shahidi, L.E. Kurozawa, E.I. Ida // *Food Chemistry*. – 2018. – Vol. 269. – P. 404–412.
30. Кузнецова В.А., Иваченко Л.Е., Михайлова М.П. Участие дигидрокверцетина в формировании устойчивости семян сои к воздействию солей тяжелых металлов // *Ученые записки Казанского университета. Серия «Естественные науки»*. – 2015. – Т. 57. – С. 69–74.
31. Содержание загрязняющих веществ в почвах Амурской области в местах произрастания культурной и дикорастущей сои / Д.К. Чернышук, С.В. Лаврентьева, Л.Е. Иваченко, К.С. Голохваст // *Проблемы региональной экологии*. – 2018. – № 2. – С. 27–32.
32. Gornaliet A.G., Bardawill C.J., David M.M. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction // *Journal of Biological Chemistry*. – 1949. – Vol. 177. – P. 751–766.
33. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. – М.: Наука, 1972. – 252 с.
34. Davis B.J. Disc electrophoresis—II method and application to human serum proteins // *Annals of the New York academy of sciences*. – 1964. – Vol. 121. – P. 404–427.
35. Методы изучения полиморфизма сои / Л.Е. Иваченко, В.А. Кашина, В.И. Маскальцова, В.И. Разанцевей, Е.М. Стасюк, И.А. Трофимцова. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2008. – 138 с.
36. Цветков И.Л. Биохимические параметры стресс-редуцирующей реакции гидробионтов при интоксикации: автореф. ... д-ра биол. наук. – М., 2009. – 46 с.
37. Influence of salicylic acid pretreatment on seeds germination and some defence mechanisms of *Zea mays* plants under copper stress / S. Moravcova, J. Tuma, Z.K. Ducaiova, P. Waligorski, M. Kula, D. Saja, A. Slomka, W. Bqba, M. Libik-Konieczny // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2018. – Vol. 122. – P. 19–30.

38. Куликова А.Л., Кузнецова Н.А., Холодова В.П. Влияние избыточного содержания меди в среде на жизнеспособность и морфологию корней сои // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, № 5. – С. 719–727.

39. Merve A., Burcu S.D. Changes in physiological parameters and some antioxidant enzymes activities of soybean (*Glycine max* L. Merr.) leaves under cadmium and salt stress // Journal of Stress Physiology and Biochemistry. – 2012. – Vol. 8. – P. 180–190.

40. Влияние биологически активных веществ на антиоксидантную систему люпина и сои / Н.Е. Павловская, В.В. Сулимов, И.Н. Гагарина, И.В. Горькова, С.Н. Агаркова, Е.В. Головина // Аграрная наука. – 2009. – № 10. – С. 10–12.

41. Теменёва А.В., Разанцев В.И. Влияние регуляторов роста на биометрические показатели сои и активность пероксидазы // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. – 2015. – № 11. – С. 427–430.

42. Семенова Е.А. Влияние регуляторов роста на пероксидазную активность проростков сои // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. – 2018. – № 13. – С. 212–213.

43. Zengin F. Exogenous treatment with salicylic acid alleviating copper toxicity in bean seedlings // Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences. – 2014. – Vol. 84. – P. 749–755.

44. Чиркова Т.С. Физиологические основы устойчивости растений. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. – 244 с.

45. Шаповал О.А., Можарова И.П., Мухина М.Т. Влияние регуляторов роста растений нового поколения на рост и продуктивность растений сои // Плодородие. – 2015. – Т. 5(86). – С. 32–34.

46. Семенова Е.А., Титова С.А., Дубовицкая Л.К. Активность ферментов у сортов сои с различной степенью устойчивости к септориозу // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 4. – С. 24–26.

47. Effects of metal elements on acid phosphatase activity in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings / L. Tabaldi, R. Ruppenthal, D. Cargnelutti, V. Morsch, L. Pereira, M. Schetinger // Environmental and Experimental Botany. – 2007. – Vol. 59. – P. 43–48.

Информация об авторах Information about the authors

Чернышук Дарья Константиновна – Благовещенский государственный педагогический университет, Всероссийский научно-исследовательский институт сои; 675000, Россия, Благовещенск; аспирант; dasha_chernishuk@mail.ru

Chernyshuk Darya Konstantinovna – Blagoveshchensk State Pedagogical University, All-Russian Research Institute of Soy; 675000, Russia, Blagoveshchensk; Postgraduate; dasha_chernishuk@mail.ru

Иваченко Любовь Егоровна – Благовещенский государственный педагогический университет; доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры химии; ivachenko-rog@yandex.ru

Ivachenko Lyubov Egorovna – Blagoveshchensk State Pedagogical University; 675000, Russia, Blagoveshchensk; Doctor of Biological Sciences, Docent; Professor of Chemistry Chair; ivachenko-rog@yandex.ru

Голохваст Кирилл Сергеевич – Дальневосточный федеральный университет; 690950, Россия, Владивосток; проректор по научной работе, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере; научный руководитель научно-образовательного центра «Нанотехнологии», директор Дальневосточного регионального научного центра Российской академии образования; droopy@mail.ru

Golokhvast Kirill Sergeevich – Far Eastern Federal University; 690950, Russia, Vladivostok; 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; droopy@mail.ru

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ

Объем

Объем рукописи статьи не менее 5 страниц в печатном формате журнала и не более 24 страниц, включая рисунки, таблицы, формулы, список литературы, информацию об авторах.

Рекомендуемая структура

Статья должна быть структурирована в соответствии с основными исследовательскими позициями (цель, методы, результаты исследования, выводы, список литературы). Структура статьи может незначительно варьироваться с учетом специфики содержания статей по конкретному направлению. В статьях технической, технологической и биологической направленности рекомендовано озаглавливать структурные разделы.

Правила набора

Текстовый редактор Microsoft Word, шрифт Times New Roman, размер шрифта 11, абзацный отступ – 0,7 см; междустрочный интервал – 1,0. Поля: верхнее – 23 мм, нижнее – 22 мм, правое – 20 мм, левое – 28 мм.

НАЧАЛО СТАТЬИ

Через один межстрочный интервал последовательно приводятся следующие сведения:

- индекс универсальной десятичной классификации (УДК), выровненный влево (шрифт 11);
на русском языке указываются инициалы, фамилии авторов последовательно с выравниванием по центру (полужирными буквами, шрифт 11);
- название статьи прописными (заглавными) полужирными буквами, без переносов, выровненное по центру (шрифт 11);
- текст краткой аннотации (≈150 слов), выровненный по ширине полосы (шрифт 10); **аннотация** должна содержать краткое изложение проблемы, указание на технологию или методы исследования, результаты исследования с акцентом на их новизну;
- ключевые слова (не более 10 слов) на русском языке, выровненные по ширине полосы (шрифт 10);
на английском языке указываются инициалы, фамилии авторов последовательно с выравниванием по центру (полужирными буквами, шрифт 11);
- название статьи прописными (заглавными) полужирными буквами, без переносов, выровненное по центру (шрифт 11);
- текст краткой аннотации (≈150 слов), выровненный по ширине полосы (шрифт 10);
- ключевые слова (не более 10 слов), выровненные по ширине полосы (шрифт 10).

Образец оформления начала статьи

УДК 519.6:550.38

О.В. Мандрикова, И.С. Соловьёв

МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНОЙ СУТОЧНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ И ЛОКАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ В ГЕОМАГНИТНОМ СИГНАЛЕ

Предложенный в работе метод, основанный на конструкции вейвлет-пакетов, позволяет в автоматическом режиме выделить в геомагнитном сигнале характерную составляющую и разномасштабные локальные особенности, формирующиеся в периоды магнитных бурь. Локальные особенности несут информацию об интенсивности и характере развития магнитной бури, и их динамический анализ дает возможность проследить изменения энергетических параметров поля и фиксировать момент предстоящей бури. Выделенная характерная суточная составляющая геомагнитного сигнала описывает вариации поля в спокойные периоды времени и их существенное изменение в периоды возрастания геомагнитной активности. Апробация метода выполнена на модельных сигналах и данных магнитного поля Земли, полученных на обсерватории «Паратунка» (с. Паратунка, Камчатский край).

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, магнитные бури, геомагнитные данные.

CHARACTERISTIC DIURNAL CONSTITUENT AND LOCAL FEATURES IN GEOMAGNETIC SIGNAL EXTRACTION METHOD

The article proposes a new wavelet-based method, which allows to distinguish characteristic constituent and local features during magnetic storms in geomagnetic signal in an automatic mode. The local features carry substantial information about the intensity and the dynamic of the development of the geomagnetic perturbations; it allows us to detect sudden commencement because it could be an indicator of onset of the geomagnetic storm. The distinguished characteristic diurnal constituent of the geomagnetic signal describes the field variations in quiet time and its essential changes in periods of increasing geomagnetic activity. The method has been successfully tested on the model signals and the Earth's magnetic field data obtained at the observatory «Paratunka» (village Paratunka, Kamchatka region, Far East of Russia).

Key words: wavelet transform, magnetic storm, geomagnetic data.

ТЕКСТ СТАТЬИ

Основной размер шрифта текста статьи – 11. Таблицы, подрисуночные подписи – 9.

Рисунки. Все рисунки, кроме единственного, нумеруются, и на них делаются ссылки в тексте. Рисунки небольшого формата могут быть сверстаны в виде «форточек» (т. е. обтекаемые текстом). При этом расстояние между текстом и контуром рисунка должно быть равно 0,9 см. Рисунки, вставленные в текст, должны правиться средствами Microsoft Word, быть четкими, обозначения и надписи читаемыми. Номер рисунка и подпись к нему печатаются ниже 9 кеглем и выносятся отдельно от рисунка для возможности редактирования.

Образец оформления рисунков

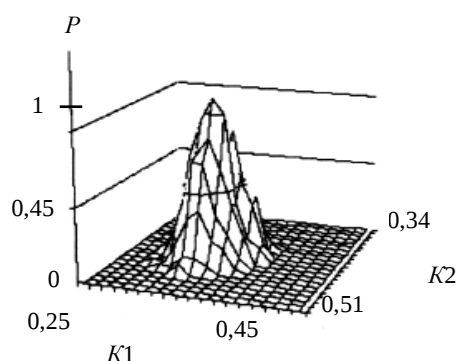


Рис. 3. Функция $P(K1, K2)$ вероятности работоспособности трехфазового мостового выпрямителя

Очевидно, что вид функции $p(K1, K2)$ зависит от топологии элементов объекта диагностирования и их свойств. Если вероятности возникновения кратных дефектов невелики, функция $p(K1, K2)$ близка к константе на всей области (рис. 3), если велика вероятность возникновения кратных дефектов, вид функции $p(K1, K2)$ зависит от топологии соединения элементов объекта диагностирования. Для определения области работоспособности в пространстве $K1, K2$ в каждой его точке необходимо вычислить значение P – вероятности нахождения объекта в работоспособном состоянии, вычислив отношение значения функции $p(K1, K2)$ к сумме значений $p(K1, K2)$ и $p_n(K1, K2)$.

Определив таким образом функцию $P(K1, K2)$ и задавшись требуемым пороговым значением величины вероятности (например, $P > 0,95$), получим область работоспособности объекта в пространстве выделенных параметров $K1, K2$. Аналитическое решение рассматриваемой задачи не найдено, так как нахождение функций $p(K1, K2)$ и $p_n(K1, K2)$ в общем случае затруднено из-за высокой размерности системы уравнений, определяющих $K1$ и $K2$ как функции y_j .

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

Образец оформления формул

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

$$\begin{aligned} -1 \leq K1(y_j) \leq 1, \\ -1 \leq K2(y_j) \leq 1. \end{aligned} \quad (8)$$

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

$$\begin{aligned} K1(y_j \min) \leq K1(y_j) \leq K1(y_j \max), \\ K1(y_j \min) \leq K1(y_j) \leq K1(y_j \max). \end{aligned} \quad (9)$$

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

Таблицы. Все таблицы, кроме единственной, нумеруются. Текст таблиц набираются курсивом, 9 кеглем, через 1,0 интервал. Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа. При делении таблицы на части допускается заменять ее головку или боковик соответственно номером граф и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и строки первой части таблицы. Слово «Таблица» указывают один раз над первой частью таблицы курсивом, над другими частями пишут слова «Продолжение табл.» или «Окончание табл.» с указанием номера таблицы.

Образец оформления таблиц

В исходной флоре Авачинской губы, включающей 165 видов, преобладали массовые и поясообразующие (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение массовых, часто, редко и единично встречающихся видов
во флоре Авачинской губы в различные периоды

Группы видов	1970 г.		1991 г.		1999 г.	
	Количество видов	%	Количество видов	%	Количество видов	%
Массовые	54	32,7	35	22,15	24	23,3
Частые	46	27,9	36	22,8	6	5,8
Редкие	38	23,0	35	22,15	33	32,1
Единичные	27	16,4	52	32,9	40	38,8
Всего	165	100	158	100	103	100

За двадцатилетний период сильного загрязнения (1970–1991 гг.) видовой состав сократился незначительно.

Ссылки. Все ссылки на используемые источники нумеруются. Номера ссылок в тексте должны идти по порядку и быть заключены в квадратные скобки. Примеры: [1–7] или [1, с. 20] – при ссылке на конкретный фрагмент документа или при использовании прямой цитаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Список используемых источников приводится под заголовком **Литература** в конце текста статьи и составляется в порядке упоминания источника в статье. Оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка».

Книга одного, двух, трех авторов:

Гришаева Л.И., Цурикова Л.В. Введение в теорию межкультурной коммуникации: учеб. пособие для вузов. 3-е изд. – М.: Academia, 2006. – 123 с. (Высшее профессиональное образование. Языкознание).

Книга, имеющая более трех авторов:

Методы анализа и обработки сложных геофизических сигналов: моногр. / О.В. Мандрикова, В.В. Геппенер, Д.М. Клионский, А.В. Экало. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. – 258 с.

Сборники трудов:

Россия и мир: гуманитар. проблемы: межвуз. сб. науч. тр. / С.-Петерб. гос. ун-т вод. коммуникаций. – 2004. – Вып. 8. – С. 145.

Археология: история и перспективы: сб. ст. Первой межрегион. конф., Ярославль, 2003. – 350 с.

Материалы конференций:

Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: материалы III Всерос. науч.-техн. конф. (20–22 марта 2012 г.). – Петропавловск-Камчатский, 2012. – 230 с.

Статьи из журналов, сборников, материалов конференций:

Ефимова Т.Н., Кусакин А.В. Охрана и рациональное использование болот в Республике Марий Эл // Проблемы региональной экологии. – 2007. – № 1. – С. 80–86.

Бугаев В.Ф. Многовидовой промысел лососей бассейна р. Камчатка // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: материалы V науч. конф. (22–24 ноября 2004 г.) – Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2004. – С. 168–172.

Авторефераты, диссертации:

Горова О.Ю. Экологические особенности гольцов рода *Salvelinus* (*Salmoniformes: Salmonidae*) Камчатки: анализ фауны и сообществ паразитов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Владивосток, 2008. – 25 с.

Фенухин В.И. Этнополитические конфликты в современной России: на примере Северо-Кавказского региона: дис. ... канд. полит. наук. – М., 2002. – С. 54–55.

Аналитические обзоры:

Экономика и политика России и государств ближнего зарубежья: аналит. обзор, апр. 2007 / Рос. акад. наук, Ин-т мировой экономики и междунар. отношений. – М.: ИМЭМО, 2007. – 39 с.

Официальные документы:

О противодействии терроризму: федер. закон Рос. Федерации от 6 марта 2006 г. № 35-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 26 февр. 2006 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 1 марта 2006 г. // Рос. газ. – 2006. – 10 марта.

Патенты:

Приемопередающее устройство: пат. 2187888 Рос. Федерация. № 2000131736/09; заявл. 18.12.00; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.). – 3 с.

Архивные документы:

Гребенщиков Я.П. К небольшому курсу по библиографии: материалы и заметки, 26 февр. – 10 марта 1924 г. // ОР РНБ. – Ф. 41. – Ед. хр. 45. – Л. 1–10.

Электронные ресурсы:

О введении надбавок за сложность, напряженность и высокое качество работы [Электронный ресурс]: указание М-ва соц. защиты Рос. Федерации от 14 июля 1992 г. № 1-49-У. Документ опубликован не был. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

Жилищное право: актуальные вопросы законодательства: электрон. журн. – 2007. – № 1. – URL: <http://www.gilpravo.ru> (дата обращения: 20.08.2007).

Паринов С.И., Ляпунов В.М., Пузырев Р.Л. Система Соционет как платформа для разработки научных информационных ресурсов и онлайн-сервисов // Электрон. б-ки. – 2003. – Т. 6, вып. 1. – URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (дата обращения: 25.11.2006).

Авилова Л.И. Развитие металлопроизводства в эпоху раннего металла (энеолит – поздний бронзовый век) [Электронный ресурс]: состояние проблемы и перспективы исследований // Вестн. РФФИ. – 1997. – № 2. – URL: <http://www.rfbr.ru/pics/22394ref/file.pdf> (дата обращения: 19.09.2007).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Информация обо всех авторах статьи приводится последовательно на русском и английском языках по схеме: фамилия, имя, отчество автора; название организации, индекс, страна, город; степень, звание, должность; электронный адрес (шрифт 10) и размещается в конце статьи.

Образец оформления информации об авторах

Информация об авторе Information about the author

Белавина Ольга Александровна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат химических наук, заведующий сектором патентования и научно-квалификационной деятельности отдела науки и инноваций; oni@kamchatgtu.ru

Belavina Olga Aleksandrovna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Chemical Sciences, Head of the Patenting and Scientific Qualification Activity Sector of Science and Innovation Department; oni@kamchatgtu.ru

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 28.06.2019 г.
Формат 60*84/8. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman
Авт. л. 12,74. Уч.-изд. л. 13,04. Усл. печ. л. 15,57
Тираж 500 экз. Заказ № 11

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» 81288

Цена свободная

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