

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**

**49**

**2019**

**Петропавловск-Камчатский**

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

<b>Клочкова Н.Г.</b> (главный редактор)	доктор биологических наук, Советник ректора по научно-исследовательской работе и инновациям Камчатского государственного технического университета
<b>Клочкова Т.А.</b> (научный редактор)	доктор биологических наук, доктор философии биологии (Ph.D.), проректор по научной работе и международной деятельности Камчатского государственного технического университета
<b>Ольхина О.В.</b> (ответственный секретарь)	заведующий издательством Камчатского государственного технического университета
<b>Белавина О.А.</b> (технический секретарь)	кандидат химических наук, заведующий сектором патентования и научно-квалификационной деятельности отдела науки и инноваций Камчатского государственного технического университета
<b>Богданов В.Д.</b>	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии продуктов питания Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета
<b>Бурдин А.М.</b>	доктор биологических наук, профессор кафедры водных биологических ресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
<b>Голохваст К.С.</b>	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
<b>Йотсукура Н.</b>	доктор философии биологии (Ph.D.), профессор, директор Морской станции Ошоро, научно-исследовательский центр по изучению северной биосферы Университета Хоккайдо (Япония)
<b>Кадникова И.А.</b>	доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории безопасности и качества морского растительного сырья Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра
<b>Каленик Т.К.</b>	доктор медицинских наук, профессор, профессор Департамента пищевых наук и технологий Школы биомедицины Дальневосточного федерального университета
<b>Карпенко В.И.</b>	доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
<b>Ким Г.Х.</b>	доктор философии биологии (Ph.D.), профессор, заведующий лабораторией альгологии Национального университета Конджу (Республика Корея)
<b>Короченцев В.И.</b>	доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой приборостроения Дальневосточного федерального университета
<b>Лобков Е.Г.</b>	доктор биологических наук, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
<b>Мандрикова О.В.</b>	доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией системного анализа Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
<b>Потапов В.В.</b>	доктор технических наук, главный научный сотрудник научно-исследовательского отдела Научно-исследовательского геотехнологического центра Дальневосточного отделения Российской академии наук
<b>Приходько Ю.В.</b>	доктор технических наук, профессор, директор департамента пищевых наук и технологий Дальневосточного федерального университета
<b>Сенкевич Ю.И.</b>	доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории акустических исследований Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
<b>Сивоконь В.П.</b>	доктор технических наук, профессор кафедры энергетических установок и электрооборудования судов Камчатского государственного технического университета
<b>Усов А.И.</b>	доктор химических наук, главный научный сотрудник лаборатории химии углеводов Института органической химии имени Н.Д. Зелинского РАН
<b>Швецов В.А.</b>	доктор химических наук, доцент, профессор кафедры энергетических установок и электрооборудования судов Камчатского государственного технического университета

## EDITORIAL BOARD

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

## Содержание

### РАЗДЕЛ I. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Вахнюк И.А., Кириченко К.Ю., Дрозд В.А., Вахнюк А.А., Кириченко А.В., Холодов А.С., Голохваст К.С.</b> Гранулометрический и химический анализ атмосферных взвесей в городе Спасск-Дальний (Приморский край).....	6
<b>Гужова В.Ф., Чернова А.В.</b> Технология салаки горячего копчения, обогащенной фитокомпонентами лекарственных трав и специй .....	12
<b>Наумова Н.Л., Чанов И.М., Сырвачева М.В.</b> Сравнительный анализ высокосортной пшеничной муки и хлебопекарных смесей как сырья для производства хлебобулочных изделий.....	21

### РАЗДЕЛ II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Балькин П.А.</b> Клиальная изменчивость российских уловов на Дальнем Востоке в текущем столетии.....	27
<b>Веснина Л.В., Лукерина Г.В., Ронжина Т.О.</b> Численные и продукционные изменения популяции рачка <i>Artemia</i> Leach, 1819 в гипергалинном озере Кучукское Алтайского края в условиях трансгрессивной фазы водности.....	36
<b>Романова Е.Б., Рябинина Е.С.</b> Скрининговый цитогенетический метод учета микроядер в крови прудовых лягушек как индикатор состояния водных биологических ресурсов .....	43
<b>Лескова С.Е., Ковалев Н.Н., Позднякова Ю.М., Михеев Е.В., Есипенко Р.В.</b> Влияние некоторых БАВ на показатели роста и выживаемости молоди дальневосточного трепанга в экспериментальных условиях .....	50
<b>Маркина Ж.В., Айздайчер Н.А.</b> Популяционные и физиологические изменения одноклеточной водоросли <i>Thalassiosira pseudonana</i> (Bacillariophyta) в условиях пониженной солености и добавления кадмия .....	57
<b>Климова А.В., Кашутин А.Н., Клочкова Т.А.</b> Развитие проростков <i>Fucus distichus</i> subsp. <i>evanescens</i> (Phaeophyceae, Fucales) в изменяющихся условиях солености, температуры и фотопериода.....	65
<b>Михайлова М.П., Каманина Л.А., Синеговская В.Т.</b> Изменение ферментативной активности и биохимического состава семян сои под влиянием гербицида .....	76
<b>Холодов А.С., Кириченко К.Ю., Задорнов К.С., Голохваст К.С.</b> Влияние твердых взвешенных частиц атмосферного воздуха населенных пунктов на здоровье человека .....	81
<b>Виноградская А.В., Матвеев А.А., Рязанова Т.В., Терентьев Д.А., Курбанов Ю.К.</b> Методы визуализации годовых колец на позвонках некоторых видов ромбовых скатов ( <i>Rajidae</i> Blainville, 1816).....	89
Правила направления, рецензирования и опубликования рукописей статей .....	98
Правила оформления рукописей статей.....	100
Редакционное сообщение .....	105

## Contents

### SECTION I. TECHNICAL SCIENCES

<b>Vakhniuk I.A., Kirichenko K.Yu., Drozd V.A., Vakhniuk A.A., Kirichenko A.V., Kholodov A.S., Golokhvast K.S.</b> Granulometric and chemical analysis of atmospheric suspensions in Spassk-Dalniy city (Primorsky krai).....	6
<b>Guzhova V.F., Chernova A.V.</b> Technology of hot smoked Baltic herring enriched by herbs and spices phytocomponents .....	12
<b>Naumova N.L., Chanov I.M., Syrvasheva M.V.</b> Comparative analysis of high-quality wheat flour and bakery mixtures as raw materials for bakery production.....	21

### SECTION II. BIOLOGICAL SCIENCES

<b>Balykin P.A.</b> Wedge variability of the Russian Far East catches in the current century .....	27
<b>Vesnina L.V., Lukerina G.V., Ronzhina T.O.</b> Numerical and descriptive changes of crustacean <i>Artemia</i> Leach, 1819 population in hyperhaline lake Kuchukskoye of Altaisky krai in terms of water content transgressive phase .....	36
<b>Romanova E.B., Ryabinina E.S.</b> Screening cytogenetic method for recording micronuclei in the blood of <i>Pelophylax lessonae</i> as a state indicator of aquatic biological resources .....	43
<b>Leskova S.E., Kovalev N.N., Pozdnyakova Y.M., Mikheev E.V., Esipenko R.V.</b> Some surfactants influence on growth and survival rates of far eastern trepang juvenile in experimental conditions .....	50
<b>Markina Zh.V., Aizdaicher N.A.</b> Unicellular microalgae <i>Thalassiosira pseudonana</i> (Bacillariophyta) population and physiological changes in low salinity and cadmium polluted conditions .....	57
<b>Klimova A.V., Kashutin A.N., Клочкова Т.А.</b> Development of germlings of <i>Fucus distichus</i> subsp. <i>evanescens</i> (Phaeophyceae, Fucales) under changing conditions of salinity, temperature and photoperiod .....	65
<b>Mikhailova M.P., Kamanina L.A., Sinegovskaya V.T.</b> Change in the enzymatic activity and biochemical composition of soybean seeds under the influence of herbicide .....	76
<b>Kholodov A.S., Kirichenko K.Y., Zadornov K.S., Golokhvast K.S.</b> Effect of particulate matter in the air of residential areas on human health .....	81
<b>Vinogradskaya A.V., Matveev A.A., Ryazanova T.V., Terentiev D.A., Kurbanov U.K.</b> Visualization methods of annual rings on the callboards of some types of rombrian skates (Rajidae Blainville, 1816) .....	89
Regulations for manuscripts direction, reviewing and publication.....	98
Manuscripts guidelines .....	100
Editorial post .....	105

## РАЗДЕЛ I. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 502.3(571.63)

**И.А. Вахнюк, К.Ю. Кириченко, В.А. Дрозд, А.А. Вахнюк, А.В. Кириченко,  
А.С. Холодов, К.С. Голохваст**

**ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ И ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ВЗВЕСЕЙ  
В ГОРОДЕ СПАССК-ДАЛЬНИЙ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)**

Статья посвящена исследованию атмосферных взвесей города Спасск-Дальний с помощью методов лазерной гранулометрии и химического анализа. Показано, что атмосфера данного города загрязнена частицами размером менее 10 мкм ( $PM_{10}$ ). В трех точках были обнаружены опасные для здоровья микро-частицы в значимых долях – от 18 до 37,7%. Максимальное количество частиц мельчайшей фракции выявлено у градообразующего предприятия города – цементного завода. Выявлено содержание в воздухе частиц тяжелых металлов I и II классов опасности (высоко опасные и умеренно опасные).

**Ключевые слова:** атмосферная взвесь, экология, цементная пыль, микрочастицы, Спасск-Дальний.

**I.A. Vakhniuk, K.Yu. Kirichenko, V.A. Drozd, A.A. Vakhniuk, A.V. Kirichenko,  
A.S. Kholodov, K.S. Golokhvast**

**GRANULOMETRIC AND CHEMICAL ANALYSIS OF ATMOSPHERIC SUSPENSIONS  
IN SPASSK-DALNIY CITY (PRIMORSKY KRAI)**

The article is devoted to the study of atmospheric suspensions of Spassk-Dalniy city by means of laser granulometry and chemical analysis methods. It is shown that the atmosphere of this city is polluted with the particles of dimension less than 10 microns ( $PM_{10}$ ). The dangerous to health micro particles in significant proportions – from 18 to 37,7% were detected at 3 different places. The maximum number of particles with the smallest fraction was revealed at the city-forming enterprise – the cement plant. The airborne content of I and II hazard classes (highly hazardous and moderately hazardous) heavy metal particles was revealed.

**Key words:** atmospheric suspension, ecology, cement dust, micro particles, Spassk-Dalniy.

*DOI: 10.17217/2079-0333-2019-49-6-11*

**Введение**

В медицинских исследованиях описаны заболевания легких, которые связаны с вдыханием цементной пыли [1, 2]. Пыль провоцирует у людей ощущение сухости, раздражения слизистых дыхательных путей, болевые симптомы, кашель, фиброз в легких, вследствие описанного легкие теряют эластичность, нарушается газообмен [3, 4]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) 43% всех случаев смерти, болезней легких и рака легких вызваны загрязнением воздуха. Зарубежные исследователи установили значительную связь между воздействием высокой концентрации цементной пыли и острыми респираторными симптомами [5, 6]. Следует отметить, что население г. Спасск-Дальний с 2015 по 2018 гг. уменьшилось на 1 820 чел. и составляет 40 200 чел. согласно данным Федеральной службы государственной статистики по Приморскому краю на 2019 г. Производственные мощности завода за это время, согласно данным ООО «Востокцемент» (<http://vostokcement.ru/>), увеличились на 1 173 тыс. т цемента в год и составляют ныне 4,3 млн т цемента и 3,7 млн т щебня в год.

Работ по исследованию влияния цементного производства на состояние атмосферы населенных пунктов относительно мало. В продолжение опубликованной нами ранее работы [7] в конце 2017 г. в трех районах г. Спасск-Дальний, который по результатам предшествующего исследования был отнесен к числу неблагоприятных с точки зрения загрязнения атмосферы частицами размером менее 10 мкм ( $PM_{10}$ ), были отобраны повторные пробы и произведен грануломет-

рический и химический анализ атмосферных взвесей апробированными ранее методами [8]. Выбор точек отбора проб был сделан с учетом рельефа местности, розы ветров и местоположения источника загрязнения – цементного завода. Полученные нами при обработке проб данные существенно дополняют ранее полученные нами и позволяют полнее охарактеризовать уровень загрязнения атмосферы г. Спасск-Дальний. Исходя из данных наших исследований, необходимо признать, что, несмотря на значимую социально-экономическую и хозяйственную роль цементного завода, он является источником загрязнения воздуха г. Спасск-Дальний атмосферной взвесью. Высокое содержание в ней микрочастиц ухудшает экологическую ситуацию в этом небольшом городе Приморского края и является фактором, способствующим росту легочных заболеваний его жителей.

### Материалы и методы

Город Спасск-Дальний является административным центром Спасского района Приморского края. Его население на начало 2019 г. составляло 40 200 человек. Основными градообразующими предприятиями города являются железнодорожная станция (ул. Андреевская) и ООО «Востокцемент» (ул. Цементная). Местами сбора изученных проб были густонаселенная центральная часть города, участок, расположенный в лесопарковой зоне, и район города, находящийся в непосредственной близости к цементному заводу (рис. 1).

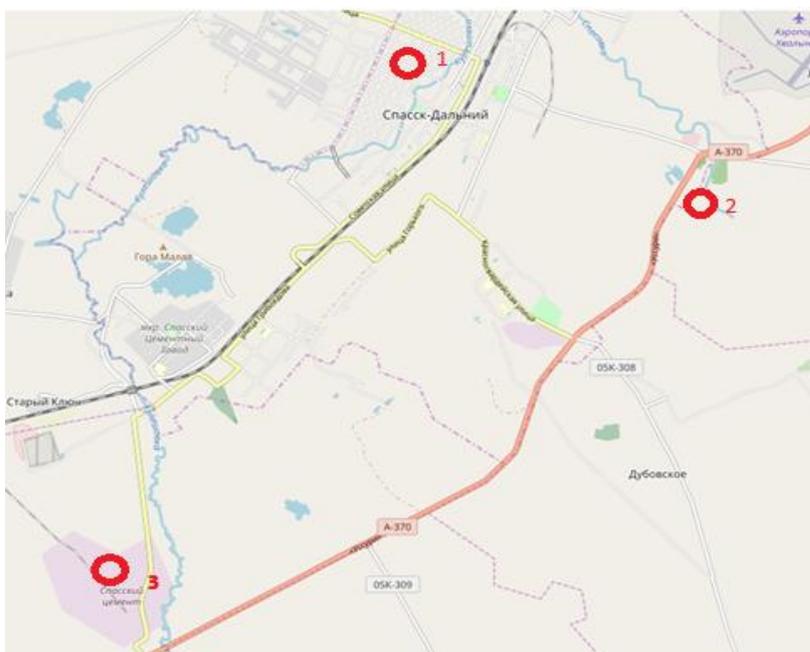


Рис. 1. Район отбора проб в городе Спасск-Дальний: 1 – ул. Борисова, 23 (центр города); 2 – ул. Хабаровская, 23 (лесопарковая зона); 3 – ул. Цементная, 2 (завод ООО «Востокцемент»)

Стоит отметить, что роза ветров (рис. 2) в жилых районах г. Спасск-Дальний препятствует загрязнению его воздуха в силу преобладания здесь ветров западного и северо-западного направлений, препятствующих поступлению в густонаселенные районы города воздушных масс со стороны цементного завода, но способствующих очищению атмосферы в период активного проявления. Неблагоприятными с точки зрения поступления в центр города атмосферной взвеси от цементного завода являются северо-восточные и восточные ветра. Однако частота их повторения составляет всего 6,8 и 3,1% соответственно.

Для сбора атмосферной взвеси использовали пробы снега, собранного в декабре 2017 г. во время снегопадов, при этом из всей толщи снега брали только самый верхний 5–10-сантиметровый слой. Это гарантировало отсутствие его вторичного загрязнения антропогенными аэрозолями. Собранный снег помещали в стерильные контейнеры объемом 2,7 л. Через два часа жидкость, полученную после таяния снега, хорошо взбалтывали, и из каждой пробы для последующего изучения отбирали по 60 мл жидкости. Количество и размерность содержащихся в ней частиц определяли на лазерном анализаторе частиц Fritsch Analysette 22 NanoTech (Германия).

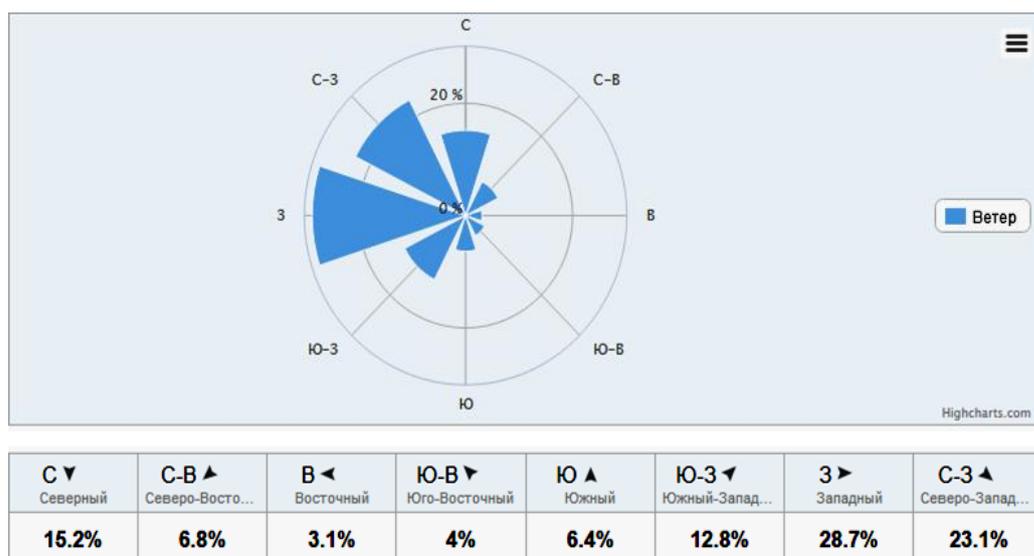


Рис. 2. Роза ветров в городе Спасск-Дальний

Для определения элементарного состава атмосферных взвесей использовали атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000 фирмы Shimadzu. Количественное содержание элементов определяли методом построения градуировочного графика, для чего использовали мультиэлементный стандарт MES-IV фирмы MERCK.

### Результаты и обсуждение

Гранулометрический анализ атмосферной взвеси показал, что фракция частиц с поперечником, превышающим 100 мкм, в отобранных пробах отсутствует. Абсолютно преобладают в них частицы, размеры которых достигают 10–50 мкм. Их доля в изученных пробах колеблется от 51 до 64,2%. Частицы гигиенически значимой фракции PM<sub>10</sub> составляют от 18 до 37,7%. Долю других размерных фракций в составе атмосферной взвеси можно видеть на представленном ниже рис. 3.

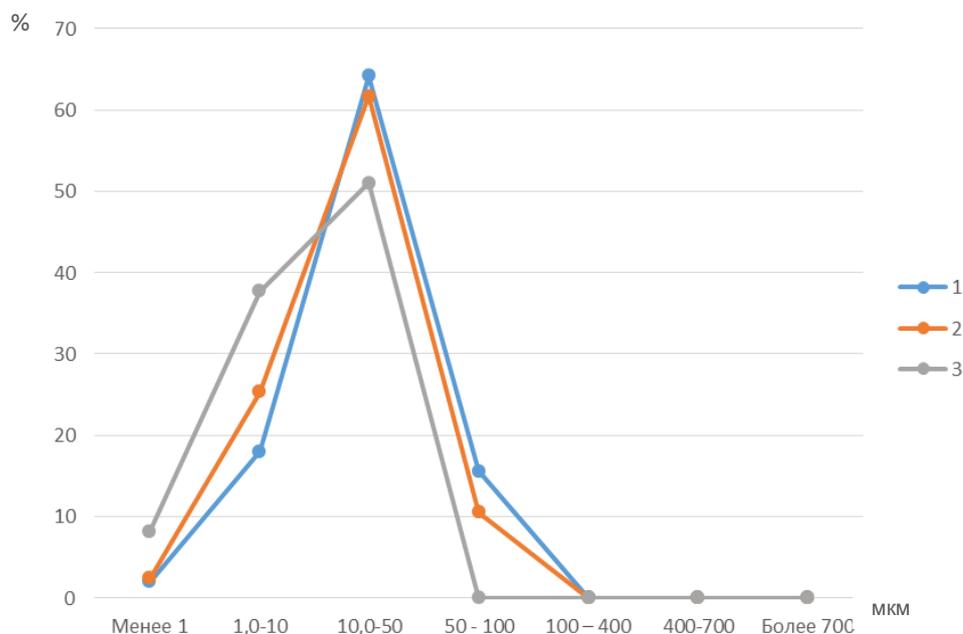


Рис. 3. Доля разноразмерных фракций в составе атмосферных взвесей. 1–3 – районы отбора проб в соответствии с рис. 1

Рис. 3 показывает, что отобранные пробы демонстрируют большое сходство гранулометрического состава. Они имеют близкие точки максимумов и очень близкие кривые распределения частиц разных размеров. Поскольку во всех изученных пробах преобладают мелкогабаритные

частицы, – самыми крупными являются частицы не более 400 мкм, и в пробе, отобранной рядом с цементным заводом, отсутствуют частицы крупнее 100 мкм, – можно говорить о нано- и микроразмерном характере загрязнения воздушной среды г. Спасск-Дальний.

Так, доля взвешенных частиц фракции  $PM_{10}$  в пробе снеговой воды, собранной в районе ул. Борисова, 23 (район 1), составляет 18%, в пробе, собранной на ул. Хабаровская, 23 (район 2), – 25,3% и в пробе, собранной на ул. Цементная, 2 (район 3), – 37,7%. Обращает на себя внимание значительная концентрация мельчайших частиц размерностью  $PM_{10}$  в рекреационной зоне города. Она здесь выше, чем в центральной его части. Объяснить это можно тем, что помимо промышленного предприятия ООО «Востокцемент» на микроразмерное загрязнение атмосферы города, как это было установлено ранее [9, 10], влияет также работа автомобильного и железнодорожного транспорта.

Цементная пыль, как известно, является минеральной по своему химическому составу [11]. Количественное содержание химических элементов, обнаруженных в собранных нами пробах атмосферной взвеси, приведено в таблице.

**Количественное содержание химических элементов в изученных пробах атмосферной взвеси, мкг/л растаявшего снега**

Проба	Al	Ba	Ca	Cd	Co	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sr	Zn
Центр города (1)	862	70,4	23700	<5	<5	244	1960	657	<5	771	51,9	1960	<5	<10	84,9	43,9
Лесопарковая зона (2)	800	40,9	10400	<5	<5	237	794	636	<5	504	61,9	4450	<5	<10	39,2	23,9
Завод ООО «Востокцемент» (3)	3470	174	492000	<5	27,4	366	5150	3170	7,6	4490	230	2250	96	71,0	594	174
Класс опасности	–	III		I	II	II	–	–	–	–	III	–	II	I	III	I

По результатам химического анализа в составе атмосферной взвеси выявлено преобладание таких элементов, как Ca, Na, Fe и Al. В изученных пробах обнаружены тяжелые металлы I класса опасности, классифицируемые как высоко опасные. Это цинк и свинец. При этом наибольшее содержание того и другого отмечено у цементного завода. Максимальное содержание металлов II (Co, Ni, Cu) и III (Ba, Mn, Sr) классов опасности, классифицируемых как умеренно и малоопасные, наблюдается также в пробе, взятой рядом с цементным заводом. Полученные нами данные, таким образом, позволяют говорить о том, что это промышленное предприятие является источником загрязнения атмосферного воздуха нано- и микрочастицами тяжелых металлов разного уровня опасности.

### Заключение

На основе полученных нами данных определенно можно говорить о том, что цементный завод, работающий в г. Спасск-Дальний, будучи поставщиком в воздушный бассейн города фракции  $PM_{10}$ , является фактором, ухудшающим качество жизни его жителей. В связи с ростом производства и планами развития этого предприятия количество выбрасываемой в атмосферу мелкодисперсной пыли будет только увеличиваться, и экологическая ситуация в этом населенном пункте, соответственно, может только ухудшаться [12, 13]. В настоящее время с точки зрения загрязнения атмосферы взвешенными частицами размерностью менее 10 мкм ( $PM_{10}$ ) следует признать принадлежность г. Спасск-Дальний к числу неблагоприятных малых городов РФ.

Цементная пыль является фактором повышенного риска, провоцирующего рост заболеваемости и смертности [14], поэтому медицинская служба города должна сосредоточить свои усилия на профилактике легочных заболеваний и ранней их диагностике. Опасность содержания в атмосфере города достаточно высоких концентраций гигиенически значимой фракции  $PM_{10}$  усиливает наличие в атмосферных взвесах частиц тяжелых металлов I и II классов опасности, а также превышение концентрации Mn, Cr, Pb значений ПДК и ОДК в 1,5–4 раза [15].

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-2461.2019.5).

### Литература

1. *Elsewefy A.Z., Metwalli O.M.* Clinical, electron microscope and biochemical studies on a case of cementosis in Egypt // *Journal of the Egyptian Medical Association.* – 1970. – Vol. 53, iss. 7. – P. 558–562.
2. *Стефаненко И.В.* О воздействии пыли цементного производства на организм работающих // *Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства: материалы IV Международной научно-технической конференции.* – 2013. – С. 232–234.
3. Prevalence of lung function impairment among Greek cement production workers: a cross-sectional study / *G. Rachiotis, K. Kostikas, D. Pinotsi, C. Hadjichristodoulou, S. Drivas* // *Ind Health.* – 2018. – 56 (1). – P. 49–52.
4. A study on respiratory problems and pulmonary function indexes among cement industry workers in Mashhad, Iran / *E. Rafeemanesh, A. Alizadeh, L.A. Saleh, H. Zakeri* // *Medycyna Pracy.* – 2015. – 66 (4) – P. 471–477.
5. Cross-shift study of acute respiratory effects in cement production workers / *O. Aminian, M. Aslani, K.S. Haghighi* // *Acta Medica Iranica.* – 2014. – Vol. 52, iss. 2. – P. 146–152.
6. *Fell A.K.M., Nordby K.C.* Association between exposure in the cement production industry and non-malignant respiratory effects: A systematic review // *BMJ Open.* – 2017. – Vol. 7, iss. 4. – e012381.
7. The Influence of Cement Plant on the Atmospheric Pollution with Microscale Particulate Matter in Spassk-Dalny Town (Primorsky Region, Russia) – Particle Size Analysis / *A. Kholodov, S. Ugay, V. Drozd, S. Gulkova, K. Golokhvast* // *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing* / Murgul V., Popovic Z. (eds.). – 2018. – Vol. 692. – Springer, Cham. – P. 1017–1023.
8. Исследование загрязнения атмосферы населенных пунктов Камчатского края с помощью лазерной гранулометрии / *К.Ю. Кириченко, И.А. Вахнюк, В.А. Дрозд, К.С. Голохваст* // *Вестник Камчатского государственного технического университета.* – 2018. – Вып. № 46. – С. 86–94.
9. Morphological and chemical composition of particulate matter in buses exhaust / *V.V. Chernyshev, A.M. Zakharenko, S.M. Ugay, T.T. Hien, L.H. Hai, S.M. Olesik, A.S. Kholodov, E. Zubko, M. Kokkinakis, T.I. Burykina, A.K. Stratidakis, Y.O. Mezhuev, D.A. Sarigiannis, A. Tsatsakis, K.S. Golokhvast* // *Toxicology Reports.* – 2019. – Vol. 6. – P. 120–125.
10. *Голохваст К.С.* Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока. – Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2013. – С. 178.
11. *Bazas T.* Effects of Occupational Exposure to Dust on the Respiratory System of Cement Workers. // *J. Soc. Occupational Medicine.* – 1980. – № 30. – P. 31–36.
12. *Фалалеева Н.А., Фалалеев А.Г.* Экология шлаковых цементов и бетонов. – Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2010.
13. *Дзюба О.В., Парамонова О.Н.* Анализ воздействия предприятий по производству цемента на качество воздушной среды Российской Федерации // *Международный научно-исследовательский журнал.* – 2015. – № 5-2 (36). – С. 48–49.
14. Mortality and cancer morbidity among cement production workers: a meta-analysis / *F. Donato, G. Garzaro, E. Pira, P. Boffetta* // *International Archives of Occupational and Environmental Health.* – 2016. – Vol. 89, iss. 8. – P. 1155–1168.
15. *Коломейцева О.Л., Христофорова Н.К.* Сравнительная оценка загрязнения атмосферного воздуха двух промышленных городов Приморского края – Уссурийска и Спасска-Дальнего // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* – 2012. – № 4. – С. 76–81.

### Информация об авторах Information about the authors

**Вахнюк Игорь Анатольевич** – Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690000, Россия, Владивосток; аспирант Школы естественных наук ДВФУ; vahnu86@mail.ru

**Vakhniuk Igor Anatolievich** – Far Eastern Federal University; Russia, 690000, Vladivostok; Postgraduate, School of Natural Sciences, FEFU; vahnu86@mail.ru

**Кириченко Константин Юрьевич** – Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690000, Россия, Владивосток; кандидат биологических наук; научный сотрудник НОЦ нанотехнологии Инженерной школы ДВФУ; kirichenko2012@gmail.com

**Kirichenko Konstantin Yurievich** – Far Eastern Federal University; Russia, 690000, Vladivostok; Candidate of Biological Sciences, Researcher of the SEC of Nanotechnology, Engineering School, FEFU; kirichenko2012@gmail.com

**Дрозд Владимир Александрович** – Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690000, Россия, Владивосток; инженер по радиационной безопасности Школы естественных наук ДВФУ; v\_drozd@mail.ru

**Drozd Vladimir Alexandrovich** – Far Eastern Federal University; Russia, 690000, Vladivostok; Engineer of Radiation Safety, School of Natural Sciences, FEFU; v\_drozd@mail.ru

**Вахнюк Анна Александровна** – Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690000, Россия, Владивосток; аспирант Школы естественных наук ДВФУ; vakhniuk.aa@dvfu.ru

**Vakhniuk Anna Alexandrovna** – Far Eastern Federal University; Russia, 690000, Vladivostok; Postgraduate, School of Natural Sciences, FEFU; vakhniuk.aa@dvfu.ru

**Кириченко Анна Владимировна** – Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690000, Россия, Владивосток; инженер-исследователь ЦТОМС Инженерной школы ДВФУ; kirichenko.avl@dvfu.ru

**Kirichenko Anna Vladimirovna** – Far Eastern Federal University; Russia, 690000, Vladivostok; Research Engineer of Mineral Resources and Resources Enrichment Center, Engineering School, FEFU; kirichenko.avl@dvfu.ru

**Холодов Алексей Сергеевич** – Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690000, Россия, Владивосток; кандидат географических наук, ведущий специалист НОУ Инженерной школы ДВФУ; kholodov.as@dvfu.ru

**Kholodov Alexey Sergeevich** – Far Eastern Federal University; Russia, 690000, Vladivostok; Candidate of Geographical Sciences, Leading Specialist of Scientific Educational Management, Engineering School, FEFU; kholodov.as@dvfu.ru

**Голохваст Кирилл Сергеевич** – Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690000, Россия, Владивосток; доктор биологических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере Инженерной школы ДВФУ; droopy@mail.ru

**Golokhvast Kirill Sergeevich** – Far Eastern Federal University; Russia, 690000, Vladivostok; Doctor of Biological Sciences, Professor of Life Safety in the Technosphere Chair, Engineering School, FEFU; droopy@mail.ru

УДК 664.951.31:581.6

**В.Ф. Гужова, А.В. Чернова****ТЕХНОЛОГИЯ САЛАКИ ГОРЯЧЕГО КОПЧЕНИЯ,  
ОБОГАЩЕННОЙ ФИТОКОМПОНЕНТАМИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ТРАВ И СПЕЦИЙ**

При производстве салаки горячего копчения применяли растительные добавки, улучшающие органолептические свойства готовой продукции и пролонгирующие сроки ее хранения, а также приостанавливающие процессы окисления липидов. Для получения солевой смеси в поваренную соль определенным образом добавляли тонкоизмельченный чеснок, а также мелкие порошки (*Pulveres subtilis*) из специй и трав, обладающих фитонцидными свойствами, – куркумы, паприки, зверобоя и календулы. Об антиоксидантной активности образцов салаки горячего копчения судили по степени снижения интенсивности хемилюминесценции пероксидных радикалов спиртовых липидных вытяжек из образцов, учитывая, что интенсивность ХЛ пропорциональна скорости образования радикалов. Для изучения спектров хемилюминесценции использовали спектрофлуорофотометр Shimadzu RF-5301 PC. Анализ спектров показывает, что самая высокая антиоксидантная активность зарегистрирована при добавлении в соль смеси всех перечисленных выше трав, а также при добавлении чеснока и паприки. Обоснованы сроки годности салаки горячего копчения, обогащенной фитоконпонентами лекарственных трав и специй. Предложен следующий способ хранения готовой продукции: 30 суток при температуре минус 18°C под вакуумом, далее – размораживание и хранение 30 суток при температуре 5°C в модифицированной газовой среде. Установлено, что срок хранения салаки горячего копчения, приготовленной с использованием фитоконпонентов лекарственных трав и специй, может быть увеличен суммарно до 60 суток с сохранением высоких органолептических показателей и пищевой ценности продукта.

**Ключевые слова:** салака горячего копчения, солевая смесь, фитоконпоненты, куркума, паприка, зверобой, календула, антиокислительная активность, хемилюминесценция.

**V.F. Guzhova, A.V. Chernova****TECHNOLOGY OF HOT SMOKED BALTIC HERRING ENRICHED BY HERBS  
AND SPICES PHYTOCOMPONENTS**

In the production of hot smoked Baltic herring the herbal supplements were used to improve the organoleptic properties of the finished product and to prolong its life, as well as to stop the lipid oxidation processes. To obtain a salt mixture, finely ground garlic was added to the table salt in a certain way, as well as small powders (*Pulveres subtilis*) from spices and herbs that have phytoncidal properties – turmeric, paprika, tutsan and marigold. The antioxidant activity of the samples of hot smoked herring was judged by the degree of decrease in the intensity of chemiluminescence of peroxide radicals of alcohol lipid extracts from the samples, which intensity is proportional to the rate of radicals formation. Shimadzu RF-5301 PC spectrofluorophotometer was used to study chemiluminescence spectra. The analysis of the spectra shows that the highest antioxidant activity is registered when adding a mixture of all the above herbs to the salt, as well as when adding garlic and paprika. The shelf life of hot smoked herring enriched with phytocomponents of medicinal herbs and spices is proved. The following method of storage of finished products is proposed: 30 days at a temperature below 18°C under vacuum, then defrosting and storage during 30 days at a temperature of 5°C in a modified gas environment. It is established that the shelf life of hot smoked herring prepared with the use of medicinal herbs and spices phytocomponents can be increased to 60 days with saving high organoleptic characteristics and nutritional value of the product.

**Key words:** hot smoked Baltic herring, salt mixture, phytocomponents, turmeric, paprika, tutsan, marigold, antioxidant activity, chemiluminescence.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-49-12-20

**Введение**

В рамках принятой Правительством РФ стратегической программы исследований Технологической платформы «БиоТех2030» задана среднесрочная и долгосрочная перспектива устойчивой конкурентоспособности и мирового лидерства России в производстве продуктов питания. Определяющими факторами конкурентоспособности продуктов питания являются качество, пи-

щевая ценность. Не меньшее значение уделяется сохранению потребительской привлекательности продуктов на протяжении всего срока их годности.

Рациональное и эффективное использование биологических ресурсов водного происхождения является одной из важнейших задач рыбоперерабатывающего комплекса страны. В настоящее время в связи с увеличением квоты на вылов салаки балтийской (*Clupea harengus membras*) с 13 тыс. до 26 тыс. т [1] все большее внимание уделяется разработке технологий рационального и эффективного изготовления из нее высокосортной продукции. Одним из основных продуктов переработки салаки является рыба горячего копчения. Недостатком этой продукции является непродолжительный срок ее хранения – не более чем 72 ч при температуре от минус 2 до 2°С. В связи с вышесказанным разработка технологий производства салаки горячего копчения, позволяющих значительно увеличить сроки годности готового продукта, – актуальная научная задача.

Одним из возможных направлений решения указанной выше задачи – сохранения и повышения пищевой ценности рыбных продуктов – является включение в технологический процесс сырья растительного происхождения. Многие виды растений имеют в своем составе красящие, антиокислительные, вкусо-ароматические и антисептические соединения, использование которых необходимо для достижения указанной выше цели. Совершенствование технологии изготовления продукции из рыбы неразрывно связано с необходимостью отработки режимов приготовления соленого полуфабриката. Выбор растительных добавок, вносимых в солевую смесь на этапе посола, требует знания их антиоксидантных свойств. Имеется исследовательский опыт [2, 3, 4], что антиоксидантную активность можно определять оптическими методами.

Анализ работ, касающихся разработки технологий копчения пищевых продуктов, свидетельствует о том, что в нашей стране и за рубежом основное внимание в настоящее время уделяется изучению безопасности готовой продукции. При этом способы и технологии копчения в них не рассматриваются, а о безопасности продукции судят по содержанию в готовой продукции полициклических ароматических углеводородов [5–8].

Маркетинговые исследования, направленные на изучение мнения жителей Калининградской области о качестве и ассортименте копченой рыбной продукции, представленной в местной торговой сети, показали, что большинство потребителей выразили неполную удовлетворенность ее внешним видом и вкусовыми достоинствами [9].

Согласно данным опроса, 24% респондентов указали, что они полностью довольны качеством копченой рыбы, 61% – что они удовлетворены им частично, а 15% отметили, что их полностью не устраивает качество копченых рыбных продуктов, предлагаемых магазинами Калининградской области. Большинство покупателей при этом отметили, что они не удовлетворены вкусовыми характеристиками копченой рыбы (27% опрошенных респондентов) и ее внешним видом (25% опрошенных) [9]. Данные опроса, таким образом, свидетельствуют о необходимости проведения исследований по совершенствованию технологии рыбы горячего копчения с целью придания продукту привлекательных потребительских характеристик и сохранения их на протяжении всего срока годности, а также увеличения сроков хранения. Важным этапом этих исследований является изучение воздействия фитокомпонентов лекарственных трав и специй на процесс окисления липидов салаки горячего копчения и их влияния на сохранение органолептических характеристик готового продукта.

### Материалы и методы

Основным объектом исследования является сельдь балтийская, или салака. Салака – это главная промысловая рыба Балтийского моря, дающая около половины всего добываемого здесь улова. Ее химический состав приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав салаки, г на 100 г

Показатели, г на 100 г продукта	Салака весеннего вылова	Салака осеннего вылова
Белки	17,7	17
Жиры	3	6,3
Углеводы	–	–
Вода	77,6	75,4
Минеральные вещества	1,7	1,3

Салака является высокобелковой, средней жирности рыбой. Она – источник йода, цинка, фтора, ряда витаминов, значительного количества омега-жирных кислот, обуславливающих высокую окисляемость липидов. Благодаря мелким размерам тела и активности ферментативного комплекса, посмертные изменения в салаке протекают достаточно быстро.

Одной из важнейших органолептических характеристик рыбы горячего копчения является цвет. Для его улучшения при подготовке соленого полуфабриката в качестве природных натуральных красителей были использованы лекарственные травы и специи, обладающие красящими свойствами. В качестве их носителя использовали поваренную соль. В нее добавляли лекарственные травы и специи в виде мелкого порошка (*Pulveres subtilis*): куркуму, паприку, зверобой и календулу, а также их сочетания и тонкоизмельченный чеснок. Так получали соль, обогащенную фитоконпонентами лекарственных трав и специй (СОФ).

Чеснок, как известно, содержит вещества, которые являются активными антиоксидантами. Первостепенное значение среди них имеют фенольные соединения [10]. Яркий желто-оранжевый цвет куркумы обусловлен хорошо растворяющимся в жире оранжевым красителем куркумином. Он представляет собой полифенол  $C_{21}H_{20}O_6$  и содержится в пряности в виде альфа-йод-куркумина, который является одним из мощных антиоксидантов [11]. Зверобой содержит до 13% дубильных веществ, эфирное масло. В его состав входят цинеол, лимонен,  $\beta$ -пинен, изовалериановая кислота, гераниол,  $\beta$ -кариофиллин, окись кариофиллина, спатуленол,  $\alpha$ -пинен [12–14]. Основными красящими веществами в зверобое являются полифенольные соединения – флавоноиды – антоцианы, флавонолы, флавононы, катехины, а также гидролизующиеся танины, являющиеся производными галловой кислоты и катехинов. Содержащиеся в этой траве каротиноиды и хлорофиллы также обладают антиоксидантными свойствами [15]. Календула является источником каротиноидов, фенольных и других веществ. Среди фенольных соединений календулы основными являются рутин и диглюкозидизорамнетин [16]. Паприка содержит большое количество каротинов [17]. Таким образом, все использованные в технологии растительные добавки наряду с антиоксидантами имеют природные красители.

Антиокислительную активность определяли по степени снижения интенсивности хемилюминесценции пероксидных радикалов [4], которая пропорциональна скорости их образования. Свободные радикалы определяли в липидных фракциях салаки горячего копчения, выделенных спиртовой экстракцией. Экстракты получали путем растирания в ступке небольшого количества салаки и последующей экстракции этиловым спиртом (96%) в течение 24 ч. Перед началом исследования полученные экстракты в течение 15 мин выдерживали при температуре 37°C. Для изучения спектров хемилюминесценции использовали спектрофлуорофотометр Shimadzu RF-5301 PC. С его помощью регистрировали интенсивность свечения образцов в условных единицах. Длина волны возбуждения составляла 320 нм. По интенсивности свечения судили о количестве радикалов.

Определение сроков годности салаки горячего копчения, обогащенной фитоконпонентами лекарственных трав и специй, проводили согласно МУК 4.2. 1847-04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов» [18]. Копченую салаку хранили 30 сут при температуре минус 18°C. Пробы для микробиологического анализа отбирали в день получения продукта и далее через 10, 20, 30 и 39 дней. Микробиологические показатели безопасности определяли стандартными методами [19–23].

Органолептическую оценку образцов салаки горячего копчения вели с помощью разработанной пятибалльной шкалы. В состав дегустационной комиссии входили сотрудники кафедры технологии продуктов питания ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет».

### Результаты и обсуждение

Технологическая схема производства салаки горячего копчения, обогащенной фитоконпонентами лекарственных трав и специй, представлена на рис. 1. Она, как это видно из рисунка, включает стандартные операции, осуществляемые при производстве рыбы горячего копчения. Принципиально новым ее элементом является использование посолочной смеси, обогащенной фитоконпонентами лекарственных трав и специй, и способ ее внесения на этапе посола салаки. Предложена упаковка готового продукта, обеспечивающая предлагаемые сроки годности: под вакуумом и в модифицированную газовую среду (МГС), состоящую из 40% углекислого газа и 60% азота.

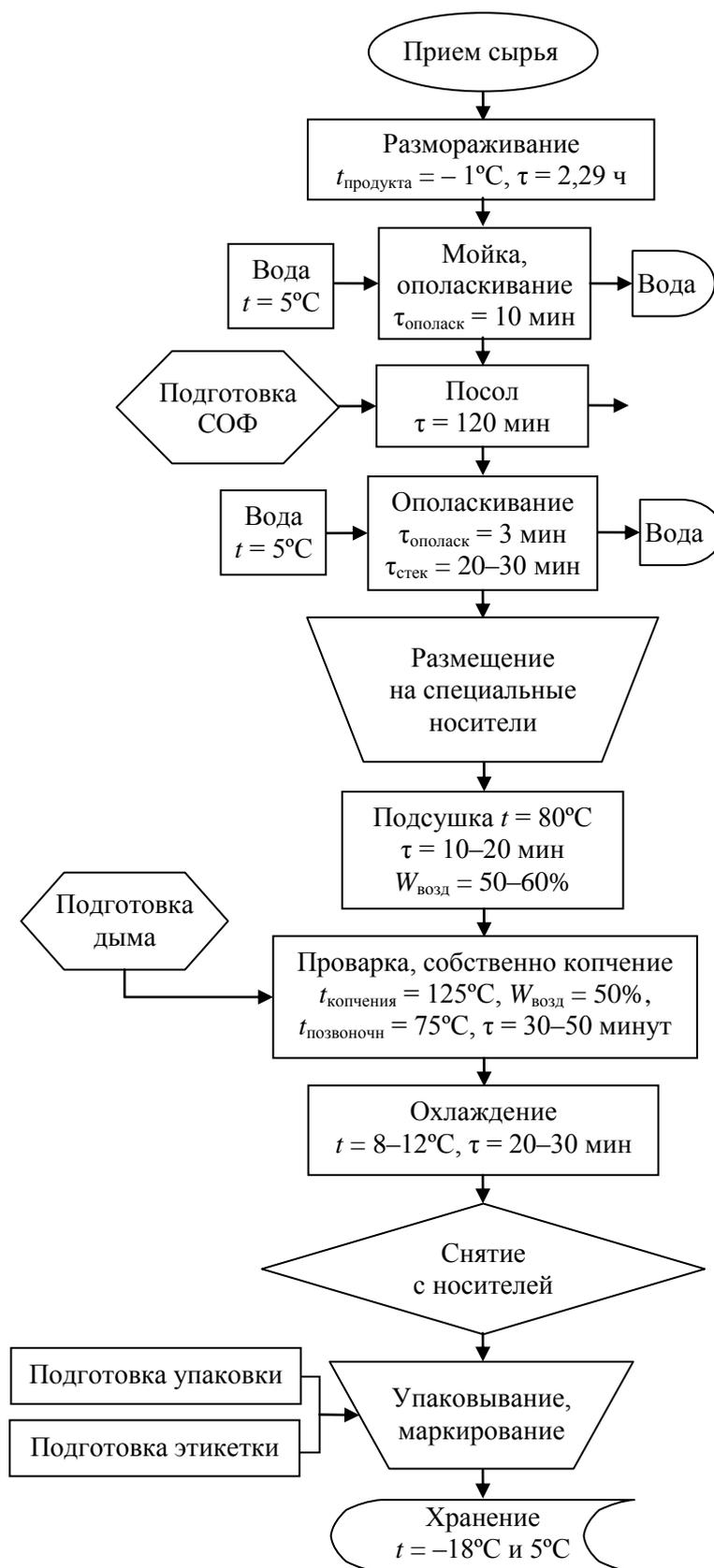


Рис. 1. Схема технологии производства салаки горячего копчения

Готовая продукция представлена на рис. 2.

Липиды рыбных продуктов – один из самых ценных ее компонентов. Они же – наиболее скоропортящаяся ее составляющая, лимитирующая продолжительность хранения готовой продукции. Поскольку в состав соли, обогащенной фитоконпонентами лекарственных трав и спе-



Рис. 2. Салака горячего копчения, обогащенная фитоконпонентами лекарственных трав и специй

ций, применяемой при посоле салаки, входят вещества, обладающие антиоксидительными свойствами, было решено провести исследование антиоксидительной активности салаки горячего копчения, приготовленной с применением СОФ. Образцы салаки для анализа хранили при температуре плюс 5°С в течение двух недель для того, чтобы ускорить процесс окисления липидной фракции. После двухнедельной экспозиции у шести образцов копченой салаки определяли интенсивность хемилюминесценции, используя для этого спиртовые липидные вытяжки.

Для приготовления посольной смеси использовали разные композиции лекарственных трав и специй. Контрольный образец готовили по обычной технологии без их добавления.

Результаты исследования антиоксидантной активности фитоконпонентов, входящих в состав салаки горячего копчения, представлены на рис. 3.

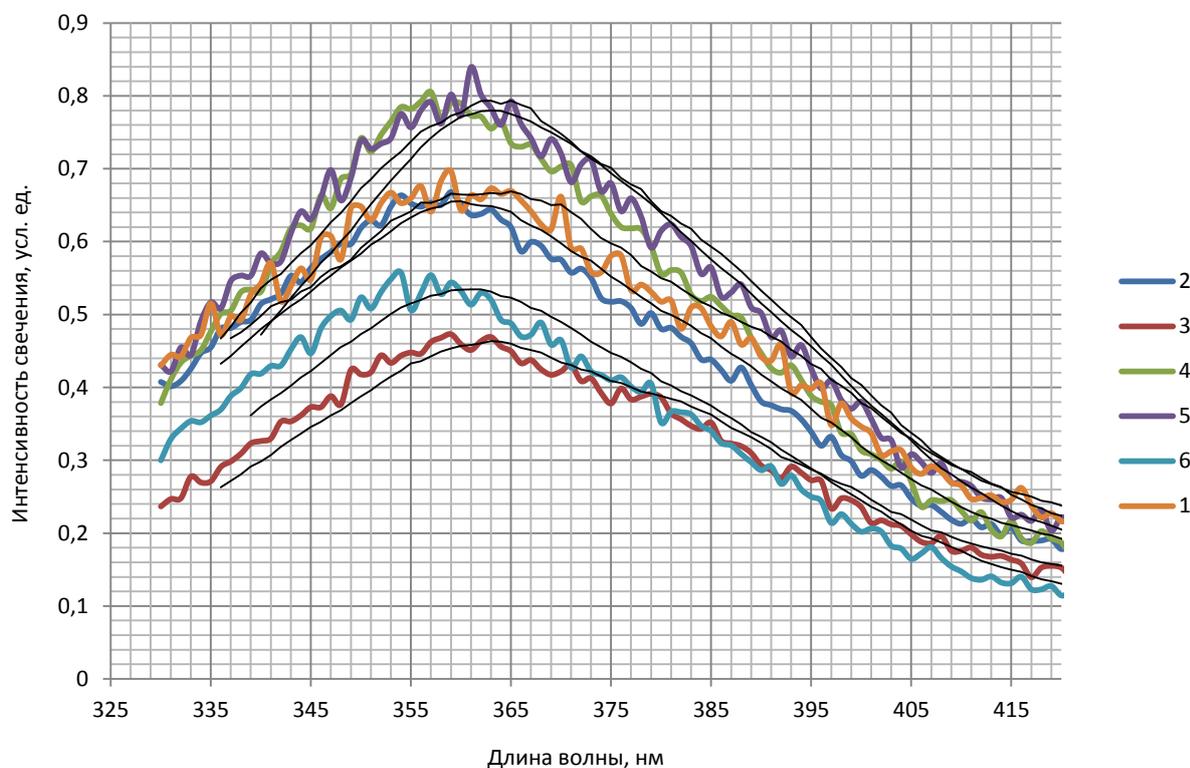


Рис. 3. Интенсивность хемилюминесценции липидной фракции, выделенной из спиртовых вытяжек в отобранных пробах салаки горячего копчения, обогащенных разными фитоконпонентами.

Перечень образцов, из которых получали липидную фракцию:

1 – контрольный образец – традиционная салака горячего копчения; 2 – салака горячего копчения, обогащенная фитоконпонентами чеснока, куркумы, паприки, зверобоя; 3 – салака горячего копчения, обогащенная фитоконпонентами чеснока и паприки; 4 – салака горячего копчения, обогащенная фитоконпонентами чеснока и куркумы; 5 – салака горячего копчения, обогащенная фитоконпонентами чеснока, куркумы, паприки, зверобоя и календулы; 6 – салака горячего копчения, обогащенная фитоконпонентами чеснока, куркумы и паприки

Из рис. 3 видно, что образцы, приготовленные с разными добавками, имеют практически идентичные по форме спектры люминесценции с одним достаточно широким максимумом и отличаются только интенсивностью. Снятию спектров сильно мешают шумы, вызванные помутнением раствора. Это, вероятно, связано с прохождением реакции связывания пероксидных и гидрпероксидных радикалов с люминолом. Поэтому в ходе исследований подбирали условия, уменьшающие влияние мутности раствора на измерения люминесценции.

Наличие люминесценции свидетельствует о присутствии в исследуемых образцах процессов окисления пероксидной природы. Образцы № 1, 4, 5 показали низкую антиоксидантную способность, так как интенсивность люминесценции у них не только не уменьшилась, но и у образцов № 4, 5 возросла, по сравнению с контролем (№ 1). На этом основании сделан вывод о том, что данные добавки обладают проокислительными свойствами. Наиболее высокая антиокислительная активность у образца № 3 – салака горячего копчения, обогащенная фитоконпонентами чеснока и паприки.

Высокой антиокислительной активностью по сравнению с контрольным образцом обладает образец № 6, в котором присутствуют фитоконпоненты чеснока, куркумы, паприки. Синергетический эффект в отношении антиокислительной активности проявляется в композиции чеснока и паприки. Содержащиеся в данных растительных компонентах антиокислительные соединения взаимодополняют друг друга, что увеличивает положительное действие содержащихся в них фитоконпонентов и препятствует окислению липидов, содержащихся в салаке горячего копчения. Они, судя по всему, проникают через кожу салаки и предотвращают окисление липидов.

Далее в ходе разработки технологии производства салаки горячего копчения, обогащенной фитоконпонентами лекарственных трав и специй, были проведены исследования, направленные на выявление сроков годности готового продукта. Для этого были изготовлены три ассортиментные единицы: 1 – традиционная салака горячего копчения, 2 – салака горячего копчения, обогащенная фитоконпонентами куркумы и паприки, и 3 – салака горячего копчения, обогащенная фитоконпонентами зверобоя и календулы.

Далее образцы салаки замораживали при температуре минус 18°C в вакуумной упаковке. Исходя из представленного ниже протокола исследования (табл. 2), все тестируемые образцы салаки горячего копчения в вакуумной упаковке отвечали требованиям нормативных документов и соответствовали требуемым нормативным показателям [24]. В процессе их хранения наблюдали рост КМАФАнМ, однако количество выделенных колоний не превышало 2–7, что в протоколе исследований отмечается как «<10». Что касается санитарно-показательных и патогенных микроорганизмов, то они не были выявлены на протяжении всего срока хранения.

Таблица 2

**Протокол санитарно-микробиологического исследования, направленного на определение сроков годности салаки горячего копчения, хранившейся в вакуумной упаковке**

№ п/п	Исследуемые показатели	Исследуемые образцы салаки горячего копчения и точки контроля														
		Контрольный образец – Традиционная салака горячего копчения					Салака горячего копчения, обогащенная фитоконпонентами зверобоя и календулы					Салака горячего копчения, обогащенная фитоконпонентами куркумы и паприки				
		Фон	10	20	30	39	Фон	10	20	30	39	Фон	10	20	30	39
1	КМАФАнМ	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
2	БГКП	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г
3	<i>S. aureus</i>	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г
4	Сульфит-редуцирующие клостридии	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г
5	Патогенные микроорганизмы, в том числе <i>Salmonella</i>	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г

После длительного (30 сут) хранения их направляли на дефростацию и переупаковку в МГС, которая, как известно, способствует продлению сроков годности продуктов. Подготовленные таким образом образцы хранили при температуре 5°C. Их санитарно-

микробиологический контроль был проведен в самом начале эксперимента, на 20-й, 30-й и 39-й дни хранения.

Из протокола исследований микробиологических показателей у образцов, упакованных с МГС (табл. 3), видно, что санитарно-показательные и патогенные микроорганизмов в салаке горячего копчения не были выявлены на протяжении хранения в течение 39 сут.

Таблица 3

**Протокол санитарно-микробиологического исследования, направленного на определение сроков годности салаки горячего копчения, хранившейся в упаковке с МГС**

№	Исследуемые показатели	Исследуемые образцы салаки горячего копчения и точки контроля														
		Контрольный образец – Традиционная салака горячего копчения					Салака горячего копчения, обогащенная фитоконпонентами зверобоя и календулы					Салака горячего копчения, обогащенная фитоконпонентами куркумы и паприки				
		Фон	10	20	30	39	Фон	10	20	30	39	Фон	10	20	30	39
1	КМА-ФАНМ	<10	<10	3,1 * 10 <sup>2</sup>	2,9 * 10 <sup>3</sup>	9,4 * 10 <sup>3</sup>	< 10	<10	<10	<10	<10	< 10	<10	<10	<10	<10
2	БГКП	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г
3	<i>S. aureus</i>	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г	Не выявлено в 1 г
4	Сульфитредуцирующие клостридии	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г	Не выявлено в 0,1 г
5	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. <i>Salmonella</i>	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г	Не выявлено в 25 г

Показатель КМАФАНМ у контрольного образца – традиционной салаки горячего копчения на 20-е сут хранения начал увеличиваться и достиг уровня  $9,4 * 10^3$  КОЕ/г к 39-м суткам хранения, но не перешел порогового нормативного значения. В то время как у салаки горячего копчения, обогащенной фитоконпонентами зверобоя и календулы (образец 1), а также куркумы и паприки (образец 2), оставался на уровне «менее 10» КОЕ/г на протяжении 39 сут. Это еще раз свидетельствует о том, что фитоконпоненты, входящие в рецептуру соли, используемой для посола салаки, проявляют антимикробную активность [24]. В салаке горячего копчения (контрольный образец) были идентифицированы анаэробные дрожжи, а в салаке горячего копчения, обогащенной фитоконпонентами лекарственных трав (зверобой, календула) и специй (куркума, паприка) – грамположительные неподвижные палочки и диплококки.

Данные микробиологических исследований свидетельствуют о том, что применение фитоконпонентов в технологии салаки горячего копчения приводит к увеличению сроков ее годности. Суммарный срок годности салаки горячего копчения составил 60 сут при следующих режимах хранения: 30 сут при температуре минус 18°C в вакуумной упаковке и 30 сут при температуре плюс 5°C, упакованной в модифицированную газовую среду.

**Заключение**

Результаты проведенных исследований позволяют говорить о том, что разработанная технология производства и хранения салаки горячего копчения, предполагающая использование для получения соленого полуфабриката применение соли, обогащенной фитоконпонентами лекарственных трав и специй, а также вакуума и МГС, позволяет получать высококачественный продукт, способный к длительному хранению. Это в свою очередь дает возможность расшире-

ния производства подобного рода продукта и его распространения в торговой сети за пределами Калининградской области. Предлагаемая технология частично решает проблему рационального использования ресурсов салаки в Балтийском море.

Определение антиоксидантной активности фитокомпонентов, входящих в состав салаки горячего копчения, показывает, что они положительно влияют на предотвращение процесса окисления ее липидов. При этом химические соединения, входящие в состав разных трав и специй, проявляют синергетическое действие. Наибольший антиокислительный эффект проявляется при использовании куркумы и паприки; куркумы, паприки и зверобоя; куркумы и зверобоя. При изготовлении образцов с единичными компонентами такой эффект не наблюдается.

Показано, что использование предложенного способа посола салаки улучшает окраску готового продукта, придает ему приятный золотистый оттенок и уменьшает вероятность появления такого распространенного дефекта, как белобочка.

В ходе определения сроков годности салаки горячего копчения, обогащенной фитокомпонентами лекарственных трав и специй, предложен следующий способ ее хранения: 30 сут после изготовления вакуумированной продукции она хранится при температуре минус 18°C, а затем после размораживания она переупаковывается в МГС и далее может храниться при температуре 5°C 30 сут. Суммарный срок годности готового продукта может достигать 60 сут.

### Литература

1. Калининградские рыбаки в январе в Балтийском море выловили рыбы на 43% больше аналогичного периода 2016 года [Электронный ресурс]. – URL: <http://kaliningrad.fishretail.ru/news/kaliningradskie-ribaki-v-yanvare-v-baltiyskom-368143>.
2. *Гужова В.Ф., Чернова А.В.* Разработка способа посола солью, обогащенной фитокомпонентами лекарственных трав и специй // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли: материалы I всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2017. – С. 183–185.
3. *Гужова В.Ф., Чернова А.В., Казимирченко О.В.* Исследование свойств соли, обогащенной фитокомпонентами лекарственных трав и специй // Вестник Междунар. академии холода. – 2017. – № 4. – С. 9–17.
4. *Чернова А.В., Шилина А.А.* Исследование изменения степени антиоксидантной активности рыбных кулинарных полуфабрикатов при холодильном хранении // Научно-практическое обеспечение холодильной промышленности: сб. науч. тр. к 85-летию ВНИХИ. – М.: ГНУВНИХИ. – 2015. – С. 441–446.
5. Совершенствование технологии рыбных продуктов с применением жидких копильных сред нового поколения / *О.Я. Мезенова, Н.Ю. Ключко, И.Н. Доминова, О.А. Сосновская, Е.Е. Дорофеева* // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: Материалы V междунар. конф. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2011. – С. 337–339.
6. *Верстаков А.А.* Формирование улучшенных потребительских характеристик рыбы горячего копчения путем совершенствования технологии ее производства: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2009. – 156 с.
7. Биохимические критерии оценки качества белковой составляющей копченой рыбопродукции / *Д.И. Пискунович, В.А. Мухин, К.С. Рысакова, И.И. Лыжов, Л.Н. Голикова* // Вестник МГТУ. – Т. 16, № 3. – 2013. – С. 573–579.
8. *Черноусова Н.Ю.* Совершенствование процесса горячего копчения рыбной продукции с использованием импульсной ультразвуковой обработки: дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2009. – 245 с.
9. *Гужова В.Ф.* Совершенствование технологии салаки горячего копчения // Дни науки: межвузовская науч.-технич. конф. курсантов и студентов. – Калининград: КГТУ, 2015. – С. 49–53.
10. *Кузнецова Е.А. Корячкина С.Я., Пригарина О.М.* Влияние антисептиков природного происхождения на безопасность и качество зернового хлеба // Вестник ОГУ. – 2006. – № 10–2.
11. *Похлебкин В.В.* Все о пряностях. Виды, свойства, применение. – М.: Центрполиграф, 2001. – 336 с.
12. *Правдивцева О.Е., Куркин В.А.* Сравнительное исследование химического состава надземной части некоторых видов рода *Hypericum* L. // Химия растит. сырья. – 2009. – № 1. – С. 79–82.

13. *Симуткин Г.Г.* Трава Святого Иоанна (зверобоя): прошлое и настоящее в лечении депрессии (обзор) // Сибирский вестник психиатрии и наркологии. – 2009. – № 2. – С. 103–108.
14. *Hypericum perforatum attenuates nicotine withdrawal signs in mice / M.A. Catania, F. Firenzuoli, A. Crupi, C. Mannucci, A.P. Caputi, G. Calapai* // *Psychopharmacology* – 2003. – Vol. 169, № 2. – P. 186–189.
15. *Бакулина О.Н.* Растительные экстракты – идеи от природы // Пищевая промышленность. – 1999. – № 8. – С. 46–48.
16. *Абдуллабекова В.Н., Тулаганов А.А.* Разработка метода количественного анализа цветков календулы лекарственной // Химико-фармацевтический журнал. – 2001. – Т. 35, № 10. – С. 25–26.
17. *Загоровская В.* Использование паприки при производстве мясных продуктов [Электронный ресурс]. – URL: sfera. fm. Food marked news.
18. МУК 4.2. 1847-04 Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов.
19. ГОСТ 10444.1594 Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов.
20. ГОСТ 31747-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий).
21. ГОСТ 31746-2012 Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*.
22. ГОСТ 29185-2014 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета сульфитредуцирующих бактерий, растущих в анаэробных условиях.
23. ГОСТ 31659-2012 Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*.
24. Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» [Электронный ресурс]: ТР ЕАЭС 040/2016. – Введ. 2017-09-01 – URL: sfera <http://docs.cntd.ru/document/420394425>.

#### Сведения об авторах Information about the authors

**Гужова Виктория Федоровна** – Калининградский государственный технический университет; 236022, Россия, Калининград; специалист по УМР Центра по обеспечению деятельности отделения пищевых технологий и биотехнологии при ФУМО «Промышленная экология и биотехнологии», аспирант; [viktoriya.guzhova@klgtu.ru](mailto:viktoriya.guzhova@klgtu.ru)

**Guzhova Victoria Fedorovna** – Kaliningrad State Technical University; 236022, Russia, Kaliningrad; Specialist in EMD of the Center for Supporting Activities of the Food Technology and Biotechnology Department at the Federal Educational Methodical Association “Industrial ecology and biotechnology”, Postgraduate; [viktoriya.guzhova@klgtu.ru](mailto:viktoriya.guzhova@klgtu.ru)

**Чернова Анастасия Валерьевна** – Калининградский государственный технический университет; 236022, Россия, Калининград; кандидат технических наук; доцент кафедры технологии продуктов питания, директор Центра по обеспечению деятельности отделения пищевых технологий и биотехнологии при ФУМО «Промышленная экология и биотехнологии»; [anastasia.chernova@klgtu.ru](mailto:anastasia.chernova@klgtu.ru)

**Chernova Anastasia Valer'evna** – Kaliningrad State Technical University; 236022, Russia, Kaliningrad; Candidate of Technical Sciences; Associate Professor of the Food Technology Chair, Director of the Center for Supporting Activities of the Food Technology and Biotechnology Department at the Federal Educational Methodical Association “Industrial ecology and biotechnology”; [anastasia.chernova@klgtu.ru](mailto:anastasia.chernova@klgtu.ru)

УДК 664.644.12

**Н.Л. Наумова, И.М. Чанов, М.В. Сырвачева****СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЫСОКОСОРТНОЙ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ  
И ХЛЕБОПЕКАРНЫХ СМЕСЕЙ КАК СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА  
ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Представлены результаты изучения качества, безопасности и пищевой ценности пшеничной высоко-сортной муки разных производителей и хлебопекарных смесей. Установлена приемлемая сенсорная сочетаемость сырья. Белковая фракция в испытуемых образцах муки и смесей находится в одном количественном диапазоне, однако большее содержание клейковинных белков выявлено в пшеничном материале. Смесь пшеничная выгодно отличается количеством пищевых волокон, меди, железа, марганца, смесь гречневая – содержанием липидов, фосфора, кальция, селена. Определено, что присутствие в хлебопекарных смесях цельнозерновых компонентов и отрубей не способствует повышению содержания в них ксенобиотиков. Доказана безопасность исследуемого сырья для здоровья потребителей. Пищевая и технологическая составляющая хлебопекарных смесей гарантирует высокое качество и пищевую ценность хлебобулочных изделий, изготовленных из исследуемых образцов пшеничной муки.

**Ключевые слова:** пшеничная мука, хлебопекарная смесь, качество, безопасность и пищевая ценность сырья.

**N.L. Naumova, I.M. Chanov, M.V. Syrvacheva****COMPARATIVE ANALYSIS OF HIGH-QUALITY WHEAT FLOUR  
AND BAKERY MIXTURES AS RAW MATERIALS FOR BAKERY PRODUCTION**

The study of quality, safety and nutritional value of high-grade wheat flour produced by various manufacturers and baking mixtures are analyzed in the article. The acceptable sensory compatibility of raw materials has been established. The protein fraction in the tested samples of flour and mixtures is in the same quantitative range, however, a higher content of gluten proteins is found in the wheat material. The wheat mixture compares favorably with the number of dietary fiber, copper, iron and manganese. The buckwheat mixture is characterized with the content of lipids, phosphorus, calcium and selenium. It was determined that the presence of whole-grain components and bran in baking mixtures does not cause an increase of xenobiotics content in them. The safety of the investigated raw materials for the health of consumers has been proved. The nutritional and technological component of baking mixtures guarantees high quality and nutritional value of bakery products made from the studied samples of wheat flour.

**Key words:** wheat flour, baking mixture, quality, safety and nutritional value of raw materials.

*DOI: 10.17217/2079-0333-2019-49-21-26***Введение**

Известно, что в процессе обработки высокосортная пшеничная мука теряет большую часть микроэлементов, витаминов, аминокислот, клетчатки, которыми так богаты злаковые [1–3]. Использование для приготовления хлебобулочных изделий зерновых смесей позволяет не только интенсифицировать биохимические и микробиологические процессы брожения, скорректировать реологические свойства теста, улучшить органолептические и физико-химические характеристики хлеба, но и повысить его пищевую и биологическую ценность, сделать хлеб более полезным для здоровья человека [4–6]. Использование в хлебопекарном производстве готовых к применению смесей позволяет сократить продолжительность технологического цикла, снизить энерго- и трудозатраты, улучшить санитарно-гигиеническое состояние цехов [7]. Несмотря на всю пользу от использования зерновых смесей в хлебопечении, существуют и недостатки в известных технологиях производства хлебобулочных изделий. Например, использование нешелушенного диспергированного зерна позволяет сохранить в готовом продукте питательные и биологически активные вещества в полном объеме с улучшением показателей, но при этом

увеличивает риск развития картофельной болезни хлеба и плесеней [8]. В этой связи целью исследований стало изучение пищевых характеристик и безопасности хлебопекарных смесей в контексте формирования качества и пищевой ценности готовых хлебобулочных изделий из высокосортной пшеничной муки.

### Материалы и методы

Материалом для исследований послужили:

– мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта (ГОСТ 26574-2017) производства ООО «Объединение «Союзпищепром»» (Россия, Челябинская область, г. Челябинск), (образец № 1);

– мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта (ГОСТ 26574-2017) производства АО Мукомольный завод «МуЗа» (Россия, Курганская область, Щучанский район, ст. Каясан), (образец № 2);

– смеси хлебопекарные «Фитнес микс» пшеничная и гречневая (ТУ 9295-040-18256266-2014), произведенные ООО «ИРЕКС» (Россия, Московская область, г. Люберцы), (образцы № 3 и № 4).

Пшеничная смесь включала в свой состав крупку пшеничную микронизированную, муку пшеничную набухающую, масло подсолнечное рафинированное, дезодорированное, гречневая – муку гречневую, отруби пшеничные, декстрозу, муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта, муку пшеничную солодовую, экстракт ячменный солодовый, эмульгатор E472e, глютен пшеничный, муку пшеничную солодовую обжаренную, стабилизаторы E341iii, E170, регулятор кислотности E263, аскорбиновую кислоту в качестве антиокислителя, ферментные препараты микробного происхождения.

Пшеничную смесь вносят в рецептуру хлебобулочных изделий до 90% от массы муки, гречневую – до 20%.

Органолептическую оценку сырья проводили по ГОСТ 27558-87. Количество и качество клейковины определяли по ГОСТ 27839-2013. Массовые доли веществ определяли также в соответствии с действующими нормативными документами: влагу – по ГОСТ 9404-88, белок – по ГОСТ 10846-81, жиры и золу – по МУ 4237-86, металломагнитные примеси – по ГОСТ 20239-74. Содержание пищевых волокон определяли классическим методом [9], содержание кальция, марганца и магния – по Р 4.1.1672-03, железа, меди, цинка – по ГОСТ 30178-96, фосфора – по ГОСТ 30615-99, селена – по М 04-33-2004.

Определение зараженности сырья и его загрязненность вредителями проводили по ГОСТ 27559-87, количество пестицидов – по ГОСТ 13496.2-2014, МУ 1541-76, МУ 1218-75, наличие микотоксинов – по ГОСТам 31748-2012, EN 15891-2013 и 28001-88. Микроструктуру в анализируемых образцах определяли с помощью растрового электронного микроскопа [10].

### Результаты и обсуждение

Изучение органолептических свойств сырья показало, что пшеничная мука разных предприятий-производителей не имеет видимых различий в сенсорных показателях качества. Они полностью соответствуют требованиям ГОСТ 26574-2017 (рисунок).



Внешний вид изученного сырья: 1 – образец № 1; 2 – образец № 2; 3 – образец № 3; 4 – образец № 4

Для смесей были определены также специфические характеристики, обусловленные составом ингредиентов и технологическими особенностями. Хлебопекарная пшеничная смесь (образец № 3) по внешнему виду представляет собой расплющенное зерно пшеницы светло-кремового цвета снаружи и белого цвета внутри с включением тонко измельченного белого порошка. Ее вкус и запах свойственны данному виду продукта, посторонние привкусы и запахи отсутствуют.

Смесь «Фитнес микс» гречневая (образец № 4) представляет собой сыпучий порошок с включением мелких отрубянистых частиц, особенно ощутимых при разжевывании. Цвет смеси светло-коричневый с красноватым оттенком, равномерный по всей массе, запах – свойственный, без посторонних тонов, вкус – свойственный гречневой крупе, в меру сладковатый, без посторонних привкусов. Полученные результаты также укладываются в требования ТУ 9295-040-18256266-2014. На основе результатов органолептической оценки смеси «Фитнес микс» гречневая был сделан вывод о приемлемой сенсорной сочетаемости изученного сырья и возможности его использования в составе сложных пищевых систем.

В ходе исследований было выявлено соответствие определяемых физико-химических показателей (влажности, зольности, количества и качества клейковины) в исследуемых образцах муки требованиям действующего стандарта (табл. 1). Оказалось, что массовая доля влаги гречневой смеси существенно отличается от аналогичного показателя в других изученных образцах, но находится в пределах установленной нормы – не более 12,0%.

Таблица 1

Физико-химические показатели, отражающие химический состав сырья

Определяемый показатель	Результаты испытаний			
	образец № 1	образец № 2	образец № 3	образец № 4
Массовая доля влаги, %	13,3 ± 0,3	12,8 ± 0,2	11,0 ± 0,3	7,3 ± 0,2
Массовая доля жира в пересчете на сухое вещество, %	2,21 ± 0,04	1,00 ± 0,02	1,80 ± 0,04	3,03 ± 0,03
Массовая доля белка, %	11,9 ± 0,3	11,2 ± 0,2	10,5 ± 0,3	11,5 ± 0,4
Количество клейковины, %	31,2 ± 1,1	28,3 ± 1,2	19,0 ± 0,9	–
Качество клейковины, ед. ИДК	66,1 ± 1,5	58,3 ± 1,3	73,2 ± 1,5	–
Зольность в пересчете на сухое вещество, %	0,51 ± 0,03	0,38 ± 0,02	1,68 ± 0,04	2,62 ± 0,06
Содержание пищевых волокон, г/100 г, в т. ч.:	4,41 ± 0,03	3,52 ± 0,02	10,93 ± 0,03	4,92 ± 0,03
– растворимых,	1,20 ± 0,02	1,01 ± 0,02	2,11 ± 0,02	1,12 ± 0,02
– нерастворимых	3,21 ± 0,06	2,51 ± 0,03	8,82 ± 0,05	3,80 ± 0,05

Несмотря на содержание в составе этой смеси муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и глютена, определить качество и количество в ней клейковинных белков общепринятым методом не представлялось возможным. Растровая электронная микроскопия сырья подтвердила наличие большого количества клейковинных белков в пшеничном материале и незначительного – в гречневой смеси (рис. 2). Таким образом, смесь хлебопекарная «Фитнес микс» пшеничная, как и пшеничная мука принимает участие в формировании пористости и удельного объема хлебобулочных изделий. Требования ТУ 9295-040-18256266-2014 не нормируют показатель зольности, однако его определение представляло определенный интерес с точки зрения отражения минеральной ценности сырья. Проведенные исследования показали, что зольность хлебопекарной смеси «Фитнес микс» гречневой в 5–7 раз выше, чем у натурального пшеничного сырья. Это, скорее всего, обусловлено содержанием различных пищевых добавок в ее составе.

Содержание в изучаемом сырье таких нутриентов, как белки, жиры и пищевые волокна, не входит в обязательный перечень показателей качества действующего ГОСТа на муку, но предусмотрено требованиями Технических условий на хлебопекарные смеси. В этой связи были проведены испытания указанных биологически значимых компонентов. Существенной разницы в количествах белковой фракции испытуемых образцов муки и смесей не выявлено, то есть они в равной степени участвуют в формировании белковой составляющей пищевой ценности готовых хлебобулочных изделий. При этом нормой по данному нутриенту для смесей является 12 г/100 г.

Очевидно, что содержание белка в смеси «Фитнес микс» пшеничной значительно отклоняется от нормы в меньшую сторону. Определено, что больше жира содержится в гречневой смеси (3,03 ± 0,03%), однако установленное количество не соответствует значению, заявленному в ТУ – 4,5 г/100 г сырья. Массовая доля жира в пшеничной смеси на уровне (1,80 ± 0,0)% более приближена к регламентированной норме – 2 г/100 г сырья. В пшеничной хлебопекарной муке даже

в пределах одного сорта выявлено существенное колебание количественных характеристик данного показателя, что, предположительно, связано с ботаническими особенностями зерновой культуры.

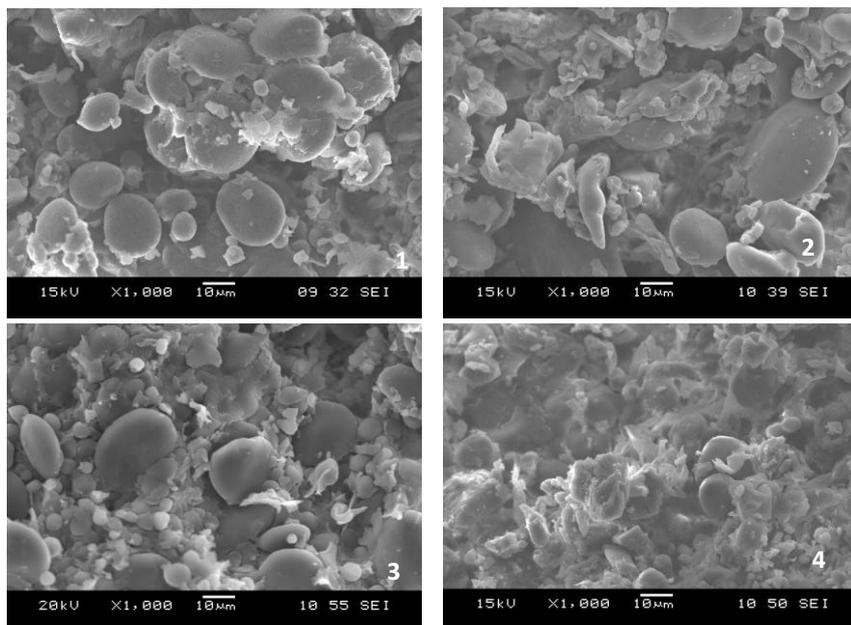


Рис. 2. Микроструктура изученного сырья:  
1 – образец № 1; 2 – образец № 2;  
3 – образец № 3; 4 – образец № 4.  
(Увеличение в 1 000 раз)

Относительно высокое общее количество пищевых волокон –  $(10,93 \pm 0,03)$  г/100 г (при норме 11 г/100 г) было установлено в смеси «Фитнес микс» пшеничной, что обусловлено присутствием в ее составе микронизированной крупки, полученной из цельного зерна пшеницы, богатого нерастворимой клетчаткой. Использование этой смеси в рецептуре хлебобулочных изделий из высокосортной пшеничной муки до 90% от массы муки позволяет рассматривать ее как источник грубого волокна. Наличие пшеничных отрубей в рецептуре смеси «Фитнес микс» гречневой позволило определить содержание волокон в диапазоне  $(4,92 \pm 0,02)$  г/100 г (норма по данному показателю не регламентирована). Содержание пищевых волокон в пшеничной муке от разных производителей имеет разный количественный уровень, что обусловлено технологическими особенностями ее производства на конкретном предприятии.

Зольность исследуемого сырья нашла свое отражение в его минеральном составе. Так, применение в составе гречневой смеси комплекса пищевых добавок, а именно, ортофосфата, карбоната и ацетата кальция суммарно к содержанию в гречневой муке фосфора и кальция способствовало высокому содержанию в ней фосфора (в 4–5 раз) и кальция (в 1,5 раза) на фоне пшеничного сырья (табл. 2). Относительно высокие уровни меди, железа, марганца были зафиксированы в пшеничной смеси, цинка – в пшеничной муке производства АО Мукомольный завод «МуЗа», селена – в гречневой смеси. Последнее обстоятельство связано с включением пшеничных отрубей в состав смеси, так как известно, что селена больше содержится именно в пшеничных отрубях, чем в зерне пшеницы, пшеничной или гречневой муке [11].

Таблица 2

**Минеральный состав сырья**

Элемент	Результаты испытаний, мг/кг			
	образец № 1	образец № 2	образец № 3	образец № 4
P	948,4 ± 102,1	780,2 ± 41,2	325,0 ± 22,3	4210,3 ± 49,2
Ca	2040,6 ± 124,1	2102,1 ± 38,7	1604,5 ± 43,4	3100,0 ± 55,2
Cu	1,81 ± 0,07	1,82 ± 0,05	5,83 ± 0,60	4,50 ± 0,70
Fe	19,7 ± 1,6	47,1 ± 3,8	67,9 ± 5,3	46,4 ± 2,4
Mg	443,3 ± 37,2	372,4 ± 29,3	1673,9 ± 140,6	1887,3 ± 33,1
Mn	11,4 ± 1,3	13,1 ± 1,5	55,0 ± 4,7	21,1 ± 2,7
Zn	10,1 ± 1,1	49,4 ± 2,9	31,6 ± 2,6	24,9 ± 2,3
Se	0,19 ± 0,03	0,21 ± 0,08	0,26 ± 0,08	1,10 ± 0,40

Минеральная ценность изучаемого сырья также обусловлена регионом произрастания зерновой культуры, что наглядно демонстрирует минеральный состав пшеничной муки одного сорта, произведенной в разных областях РФ. Общеизвестно, что минеральная ценность зерна зави-

сит от того, в какой геохимической провинции оно выращено, и какие минеральные удобрения применялись в период вегетации [12]. К примеру, пшеничная мука из Челябинской области имеет повышенное содержание фосфора и магния, из Курганской – железа и цинка.

Кроме пищевой нагрузки, которую несет в себе сырье, оно должно быть безопасным в использовании и потреблении. Присутствие в хлебопекарных смесях цельнозерновых компонентов и отрубей может спровоцировать повышенное содержание в них остаточных количеств пестицидов, гербицидов, фунгицидов и других ксенобиотиков посредством концентрации последних в плодовых и семенных оболочках зерна при его обработке. В процессах хранения и переработки в зерновые массы могут дополнительно попадать посторонние примеси растительного, минерального и животного происхождения [11–13]. В этой связи изучали показатели качества, отражающие безопасность исследуемого сырья. Установлено, что пробы хлебопекарной муки и смесей являются безопасными с токсикологической точки зрения, поскольку их физико-химические и гигиенические показатели соответствуют регламентированным требованиям СанПиН 2.3.2. 1078-01, ТР ТС 021/2011 (табл. 3).

Таблица 3

Показатели, отражающие безопасность сырья

Определяемый показатель	Норма по СанПиН 2.3.2. 1078-01, ТР ТС 021/2011	Результаты испытаний, мг/кг			
		образец № 1	образец № 2	образец № 3	образец № 4
Физико-химические					
Металломагнитная примесь, мг/кг	не более 3,0*	Не обнаружены			
Зараженность вредителями хлебных запасов	Не допускаются				
Загрязненность вредителями хлебных запасов					
Гигиенические					
Афлатоксин В1, мг/кг	не более 0,005	< 0,0002	< 0,001	< 0,003	< 0,001
Т-2 токсин, мг/кг	не более 0,1	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,003
Дезоксиниваленон, мг/кг	не более 0,7	< 0,2	< 0,3	< 0,2	< 0,1
Зеараленон, мг/кг	не более 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Охратоксин А, мг/кг	не более 0,005	< 0,0025	< 0,0035	< 0,0025	< 0,0020
ГХЦГ (α, β, γ- изомеры), мг/кг	не более 0,5	< 0,05	< 0,002	< 0,001	< 0,030
ДДТ и его метаболиты, мг/кг	не более 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,005	< 0,002
Ртутьорганические пестициды, мг/кг	Не допускаются	< 10 (ниже нижнего предела определения)			
2,4-Д кислота, ее соли и эфиры, мг/кг		< 0,02 (ниже нижнего предела определения)			

\* Согласно ГОСТ 26574-2017 и ТУ 9295-040-18256266-2014.

### Заключение

Изучено качество и пищевая ценность хлебопекарной муки высшего сорта разных производителей и смесей «Фитнес микс», используемых для производства хлебобулочных изделий. Показано, что они удовлетворяют требованиям, предъявляемым к специфическим органолептическим, физико-химическим и гигиеническим показателям. Пищевая и технологическая составляющая хлебопекарных смесей гарантирует высокое качество и пищевую ценность хлебобулочных изделий, изготовленных из изученных образцов пшеничной муки.

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

### Литература

1. *Нестеренко И.К., Анисимова Л.В.* Мучная композитная смесь-концентрат с повышенной пищевой ценностью на основе ячменной муки и пряностей // Биотехнология и общество: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – 2015. – С. 220–223.

2. *Заикина М.А.* Разработка нового вида пшеничного хлеба с использованием хлебопекарных смесей // Проблемы идентификации, качества и конкурентоспособности потребительских товаров: сб. ст. V Междунар. конф. в области товароведения и экспертизы товаров. – 2017. – С. 115–118.
3. *Алехина Н.Н.* Исследование качества зернового хлеба, приготовленного на основе хлебопекарной смеси // Хлебопродукты. – 2018. – № 10. – С. 50–52.
4. *Калмыкова Е.В., Калмыкова О.В.* Цельнозерновые продукты в современных технологиях хлебопекарной промышленности // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. – 2016. – № 1. – С. 65–70.
5. *Лихачева Е.И., Менишарапова Г.С.* Влияние хлебопекарной смеси на степень значимости хлеба // Современное хлебопекарное производство: перспективы развития: сб. науч. тр. XVI Всерос. заоч. науч.-практ. конф. – 2015. – С. 14–17.
6. *Макарова О.В., Иванова А.С., Соколова Н.Ю.* Трехкомпонентные смеси в технологии зернового хлеба // Зерновые продукты и комбикорма. – 2016. – Т. 4, № 64. – С. 4–9.
7. *Марков А.С., Романов А.С., Павлова А.О.* Разработка комплексных хлебопекарных смесей на основе продукции фирмы «Ирекс» // Хлебопродукты. – 2013. – № 12. – С. 46–47.
8. *Маркитанова О.А.* Разработка технологических решений стабильности качества хлеба из диспергированного зерна пшеницы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2005. – 26 с.
9. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов / под ред. *И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна.* – М.: Брандес, Медицина, 1998. – 342 с.
10. *Пашкев И.Ю.* Растровая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ. – Челябинск, 2015. – 49 с.
11. *Ковалевич З.С., Головатый С.Е.* Накопление селена в зерне крупяных культур при использовании разных форм селеновых удобрений // Известия Национальной академии наук Беларуси. – 2010. – № 3. – С. 49–55.
12. *Бахриддинова, Н.М., Зарипова М.Д.* Влияние различных факторов на пищевую безопасность зерна пшеницы // Universum: технические науки. – 2019. – № 3 (60). – С. 32–34.
13. *Хмелева, Е.В., Бакаева А.Н.* Влияние способа подготовки зерна пшеницы на показатели качества и безопасности в технологии зернового хлеба // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2016. – № 4. – С. 3–9.

#### **Информация об авторах** **Information about the authors**

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

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

**Чанов Илья Михайлович** – Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет); 454080, Россия, Челябинск; студент; v.lyulkovitch@ya.ru

**Chanov Ilya Mikhailovich** – South Ural State University (National Research University); 454080, Russia, Chelyabinsk; Student; v.lyulkovitch@yandex.ru

**Сырвачева Мария Викторовна** – Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет); 454080, Россия, Челябинск; студент; v.lyulkovitch@ya.ru

**Syrvacheva Maria Viktorovna** – South Ural State University (National Research University); 454080, Russia, Chelyabinsk; Student; v.lyulkovitch@yandex.ru

**РАЗДЕЛ II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ**

УДК 639.2.05(571.6)

**П.А. Балыкин****КЛИНАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РОССИЙСКИХ УЛОВОВ  
НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ В ТЕКУЩЕМ СТОЛЕТИИ**

Выполнен анализ возможного влияния процессов глобального потепления на результаты российского рыболовства в морях Дальнего Востока. Сделан вывод о том, что в ближайшее десятилетие, скорее всего, следует ожидать снижения объемов добычи рыбных ресурсов в тихоокеанских водах Камчатки. Позднее аналогичная ситуация может возникнуть и в западной части Берингова моря. Сделан вывод о насущной необходимости тщательного изучения данного вопроса в целях долгосрочного прогнозирования состояния сырьевой базы рыбной промышленности российского Дальнего Востока.

**Ключевые слова:** глобальное потепление, рыболовство, Дальний Восток России, рыбные ресурсы, минтай, треска, тихоокеанские лососи.

**P.A. Balykin****WEDGE VARIABILITY OF THE RUSSIAN FAR EAST CATCHES  
IN THE CURRENT CENTURY**

The analysis of possible global warming impact on the results of Russian fisheries in the seas of the Far East is carried out. It is concluded that in the next decade we should most likely expect a decrease in the fish resources catches in the Pacific waters of Kamchatka. Later, a similar situation may arise in the western part of the Bering Sea. An urgent need to study thoroughly the given question for long-term forecast of fishing industry condition in the Russian Far East was determined.

**Key words:** global warming, fishery, the Far East of Russia, fish resources, a pollack, a cod, Pacific salmon.

*DOI: 10.17217/2079-0333-2019-49-27-35***Введение**

Рыбохозяйственная отрасль занимает важное место в продовольственном обеспечении населения РФ [1]. В 2018 г. добыто 5,03 млн т водных биоресурсов, что превосходит результаты предшествующих 26 лет (2016 – 4,68 млн т, 2017 – 4,77 млн т). Как и в предыдущие годы, основная доля вылова пришлась на дальневосточный бассейн. Она достигла 3,45 млн т, или более 68% суммарного улова. Величины уловов взяты нами из сообщения Росрыболовства от 9 января 2019 г. [2]. Следствием смены в 90-х гг. социально-экономической формации стало сосредоточение почти всего отечественного рыболовного флота в пределах 200-мильной экономической зоны России. Так, например, в 2015–2017 г. более 80% водных биоресурсов добывалось в пределах ее границ.

Регулирование и управление эксплуатацией водных биоресурсов в Мировом океане осуществляется путем разделения акватории, находящейся под юрисдикцией государства или международной организации на участки, именуемые промысловыми районами. Схема районирования, представленная в Федеральном законе «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» 2004 г. содержит перечень рыбохозяйственных бассейнов: Азово-Черноморский; 2) Байкальский; 3) Волжско-Каспийский; 4) Восточно-Сибирский; 5) Дальневосточный; 6) Западно-Сибирский; 7) Западный; 8) Северный [3]. Внутри каждого из них существует деление на промысловые зоны и подзоны в соответствии с последней редакцией «Правил рыболовства для Дальневосточного бассейна», утвержденной Приказом МРХ СССР в 1980 г. [4].

Климат на нашей планете не остается стабильным, он изменяется, и одним из самых известных планетарных процессов является глобальное потепление. Наиболее заметным проявлением его интенсифицирующихся процессов является сокращение протяженности и уменьшение толщины арктических морских льдов. Согласно прогнозу специалистов Аляскинского университета (США), летний морской лед в арктических морях может исчезнуть после 2037 г. [5] из-за роста температуры воды в морях Северного Ледовитого океана. Например, в августе 2017 г. среднемесячная температура приповерхностного слоя воды в Баренцевом и Чукотском морях увеличилась на 4°C [6]. Падение атмосферного давления, усиление циклонической активности и осадков наблюдаются в пограничных с океаном регионах, в том числе в Восточной Арктике и на Дальнем Востоке России. В северо-западной части Тихого океана увеличилась повторяемость сильных циклонов и штормов.

Крупномасштабные перемены в системе «океан – атмосфера», в том числе изменения скорости ветров над Тихим океаном, сопровождаются усилением меридионального переноса тепла в субарктические и арктические районы, в том числе в дальневосточные моря. В результате этого в последнее десятилетие значительно уменьшилась ледовитость дальневосточных морей в зимний сезон и окраинных арктических морей в летний сезон. Например, к 2015 г. принципиально изменилась вертикальная термическая структура вод Татарского пролива Японского моря, уменьшилась его ледовитость [7]. С середины XX в. при скорости роста средней годовой температуры на 0,018 град./год температура воды на поверхности Берингова и Охотского морей повысилась на 1,2°C [8].

Все перечисленные климатические изменения уже отразились на ихтиофауне Баренцева моря, где холодолюбивые арктические виды рыб замещаются теплолюбивыми бореальными, в результате чего квоты традиционных объектов лова уменьшаются [9]. Установлено, что потепление Мирового океана привело к снижению добычи рыбы в мире почти на 5%. Наибольшие потери отмечены в Восточно-Китайском и Северном морях, где улов сократился на 35% [10]. Глобальное потепление могло сказаться и на результатах отечественного рыболовства в северо-западной части Тихого океана. Подтвердить или опровергнуть это предположение можно на основе анализа рыбного промысла в пределах 200-мильной экономической зоны России в XXI в. Он представлен нами ниже.

### Материалы и методы

Материалом для статьи послужили сведения о видовом составе и величине уловов в разных промысловых зонах и подзонах дальневосточных морей. Они показаны на рис. 1.

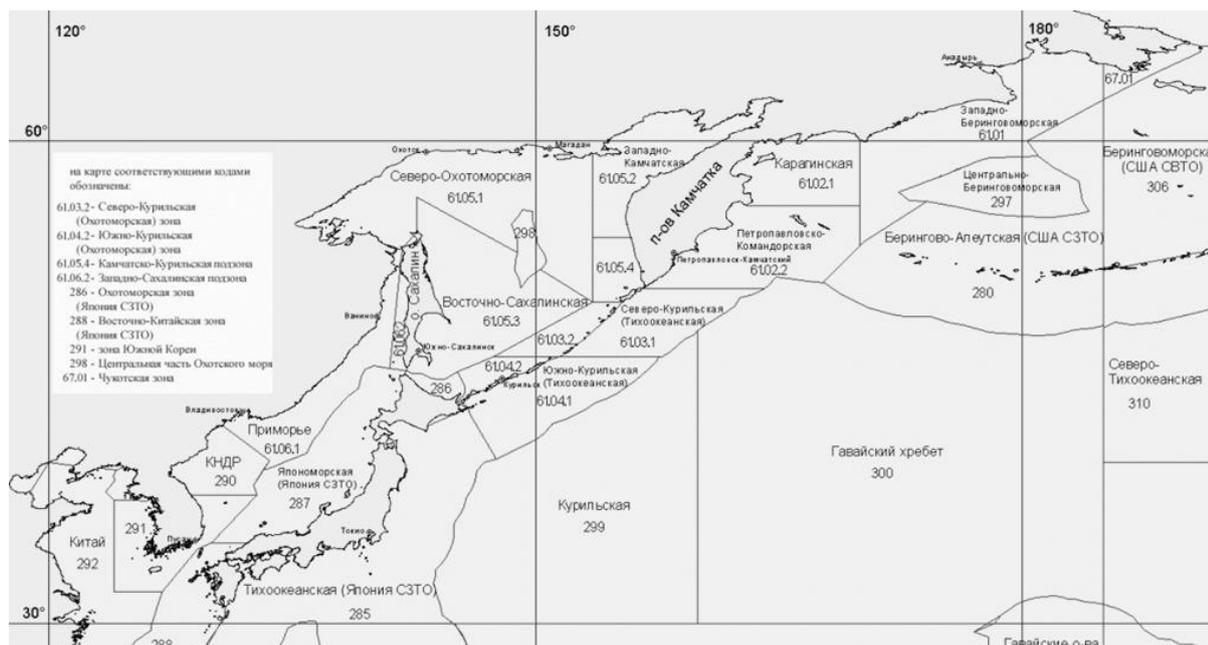


Рис. 1. Схема рыбопромыслового районирования тихоокеанских вод России

Figure. 1. Scheme of fishing zoning of Pacific waters of Russia

Упомянутые выше данные по рыбохозяйственной деятельности были взяты из обзоров промысловой обстановки за период с 2001 по 2017 гг., ежегодно подготавливаемых специалистами ТИНРО-центра. Как видно из рис. 1, в соответствии со «Схемой рыбопромыслового районирования» в направлении с юга на север (к Северному Ледовитому океану) располагаются следующие промысловые районы: Приморье, Южнокурильский, Северокурильский, Петропавловско-Командорский, Карагинский, Западноберинговоморский и Чукотский. Для решения вопроса о воздействии глобального потепления на отечественное рыболовство в дальневосточных морях автор в ходе исследования провел сравнение многолетней динамики и состава уловов в упомянутых выше промысловых зонах и подзонах. При этом для лучшего выявления тренда уловы рыб были усреднены для трех- или двухлетних периодов.

### Результаты и обсуждение

Перечисленные промысловые районы вносят заметный вклад в суммарный российский объем добычи на Дальнем Востоке. Так, в 2001–2003 гг. среднегодовой улов рыбы в данных акваториях составил 772,55 тыс. т, а в 2015–2017 гг. – 1175,73 тыс. т, или 30,7 и 41,2% суммарной добычи рыбы в тихоокеанских водах РФ соответственно. Таким образом, к настоящему времени, по сравнению с началом XXI в., суммарный объем добычи рыбы увеличился более чем в 1,5 раза. Многолетняя динамика этого показателя в разных промысловых районах представлена на рис. 2. Он показывает, что наименьшие уловы рыбы наблюдаются в Чукотской зоне (в промысловой статистике выделяется с 2008 г.), наибольшие – в самой протяженной в широтном направлении (рис. 1) Западноберинговоморской зоне (рис. 2). Начиная с восточной Камчатки и севернее фиксируется тенденция к росту рыбных уловов в период с 2001 по 2017 гг. (с локальными пиками и спадами).

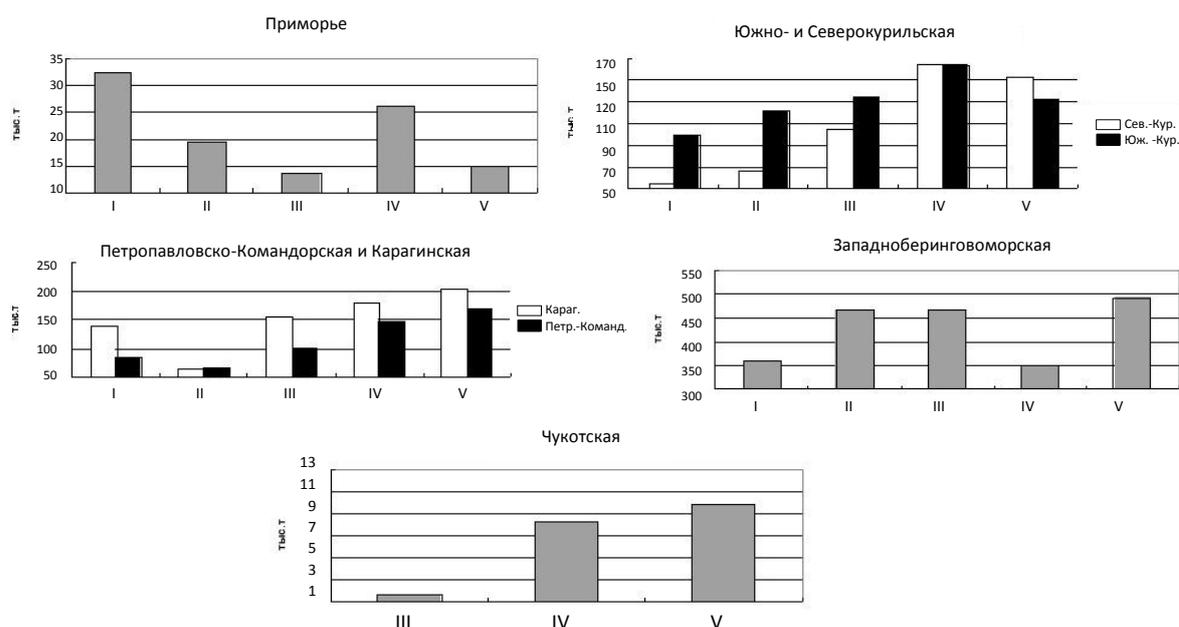


Рис. 2. Динамика уловов рыбы (тыс. т) в разных промрайонах Дальнего Востока в XXI веке. Условные обозначения: I – 2001–2003 гг., II – 2004–2006 гг., III – 2007–2009 гг., IV – 2010–2012, V – 2015–2017 гг.

Figure 2. Dynamics of fish catches (thousand tons) in different areas of the Far East in the 21st century. Legend: I – 2001–2003, II – 2004–2006, III – 2007–2009, IV – 2010–2012, V – 2015–2017

Многokратное увеличение биомассы рыб в период с 2010 по 2017 гг. отмечают американские исследователи и в восточной части Берингова моря [11]. В самом южном промысловом районе – Приморье – объемы добычи, напротив, сократились более чем в два раза. В водах Курильских островов рост уловов наблюдался до 2010–2012 гг., после чего произошло их сокращение на величину 10–30 тыс. т (рис. 2). Если предположить, что перечисленные изменения уловов являются следствием глобального потепления, то в ближайшее десятилетие следует ожидать

снижения объемов добычи в тихоокеанских водах Камчатки в Петропавловско-Командорской и Карагинской подзонах, а затем и в Западноберинговоморской и Чукотской зонах.

Для выявления возможного воздействия глобального потепления на численность конкретных объектов промысла целесообразно проследить количественную динамику уловов одних и тех же рыб во всех 7 подзонах. На всей акватории северо-западной Пацифики – от зоны Приморье до зоны Чукотская – в уловах встречаются три общих и важных объекта: минтай, треска и тихоокеанские лососи. Рассмотрим динамику их уловов в разных промысловых районах.

Средний улов минтая в зоне Приморье в настоящее время снизился по сравнению с началом XXI в. в 3,5 раза. В водах Курильских островов уловы минтая, напротив, возросли почти на порядок. Пик объема добычи минтая в Петропавловско-Командорской подзоне пришелся на 2010–2012 гг., после чего произошло его уменьшение на несколько тыс. т. (рис. 3). В подзоне Карагинская снижение уловов в разы наблюдается с 2007–2009 гг. Начиная с этого же времени сокращается и добыча минтая в Западноберинговоморской зоне, в масштабе десятков тысяч тонн. Сходную динамику исследователи наблюдали и в северной части Охотского моря – уловы росли до 2010 г., после чего пошли на спад [4]. В зоне Чукотская в ходе последнего десятилетия уловы, наоборот, выросли от сотен до нескольких тысяч тонн (рис. 3).

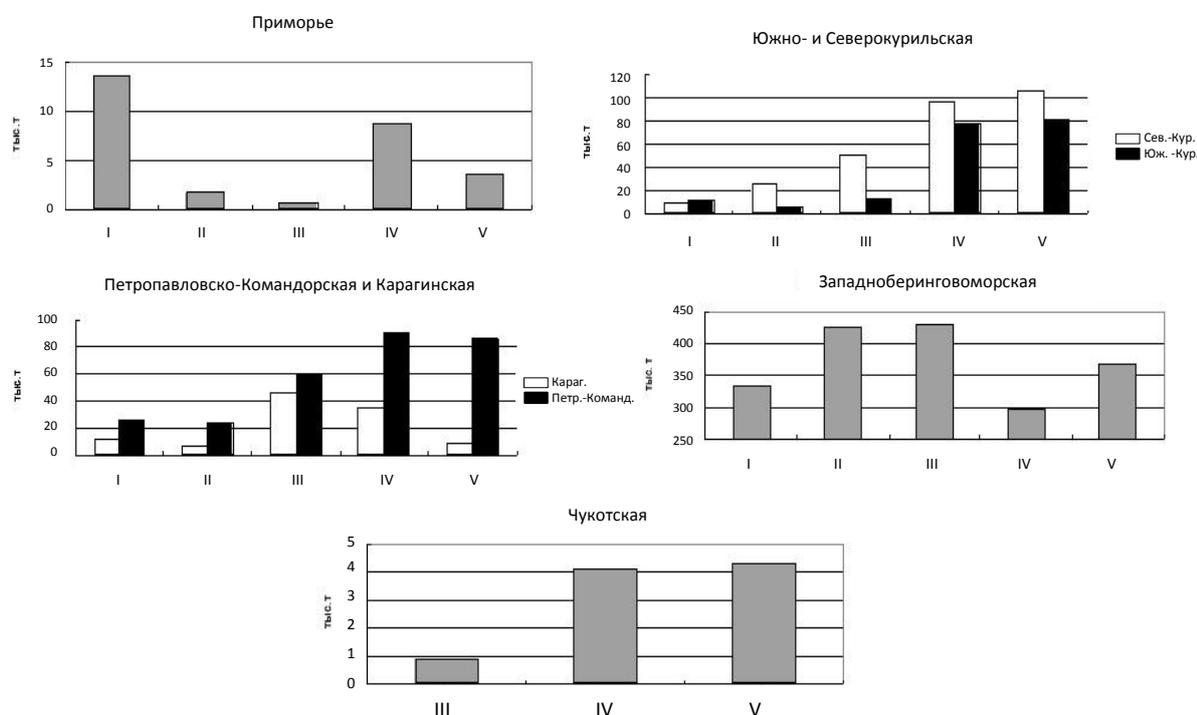


Рис. 3. Динамика уловов минтая (тыс. т) в разных промрайонах Дальнего Востока в XXI веке. Условные обозначения: I – 2001–2003 гг., II – 2004–2006 гг., III – 2007–2009 гг., IV – 2010–2012, V – 2015–2017 гг.

Figure 3. Dynamics of Pollock catches (thousand tons) in different areas of the Far East in the 21st century. Legend: I – 2001–2003, II – 2004–2006, III – 2007–2009, IV – 2010–2012 V – 2015–2017

Следующим общим для характеризующих промысловых районов объектом промысла является треска (рис. 4). Средний улов трески в зоне Приморье в настоящее время снизился по сравнению с началом XXI в. примерно вдвое. В водах Курильских островов ее уловы, напротив, возросли в 2–2,5 раза. Тихоокеанские воды Камчатки (подзона Петропавловско-Командорская) характеризуются падением вылова трески в 2004–2009 гг. с последующим ростом к 2015–2017 гг. на 3–4 тыс. т. Максимальная добыча трески в подзоне Карагинская имела место в 2010–2012 гг., после чего произошло ее уменьшение на несколько сотен тонн (рис. 4). Минимум добычи трески в Западноберинговоморской зоне пришелся на 2007–2009 гг., после чего произошел рост показателя вдвое. В Чукотской зоне уловы выросли от десятков до нескольких тысяч тонн за последнее десятилетие (рис. 4).

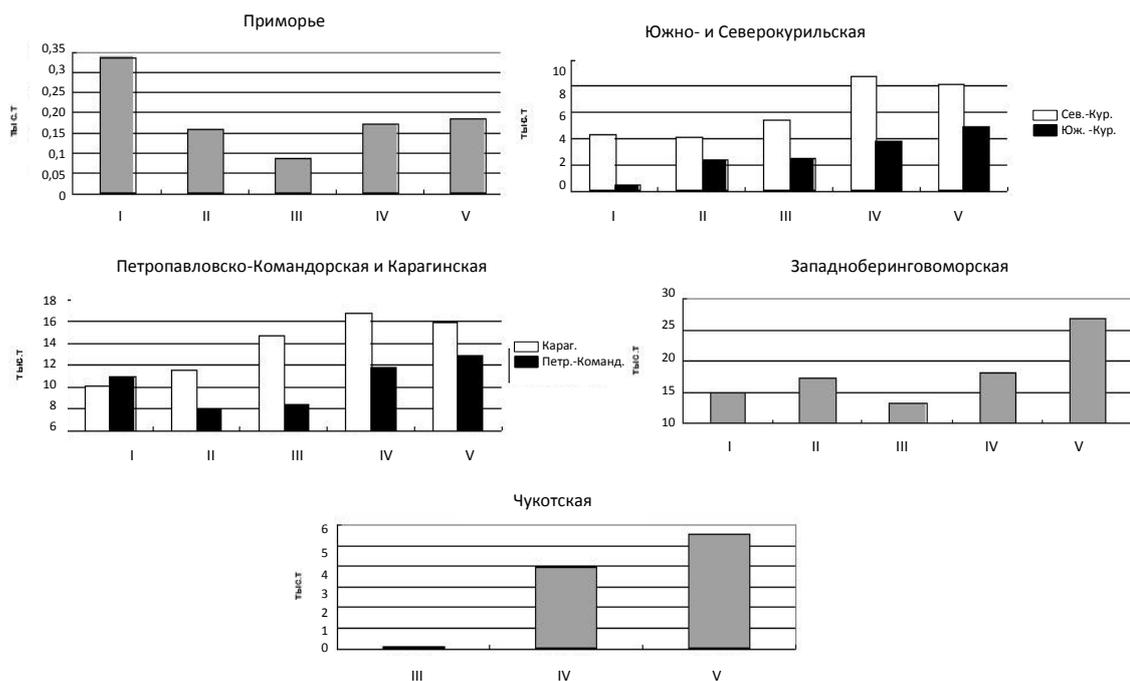


Рис. 4. Динамика уловов трески (тыс. т) в разных промрайонах Дальнего Востока в XXI веке  
Условные обозначения: I – 2001–2003 гг., II – 2004–2006 гг., III – 2007–2009 гг., IV – 2010–2012, V – 2015–2017 гг.

Figure 4. Dynamics of cod catches (thousand tons) in different areas of the Far East in the 21st century  
Legend: I – 2001–2003, II – 2004–2006, III – 2007–2009, IV – 2010–2012 V – 2015–2017

Тихоокеанские лососи, в отличие от минтая и трески, являются проходными рыбами, что позволяет предположить отличие динамики их уловов. Она представлена на рис. 5. Средний улов лососей в зоне Приморье с начала XXI столетия возрос к 2010–2012 гг. более чем в 2,5 раза (с 2,4 до 6,1 тыс. т), после чего сократился почти на 2 тыс. т. (рис. 5).

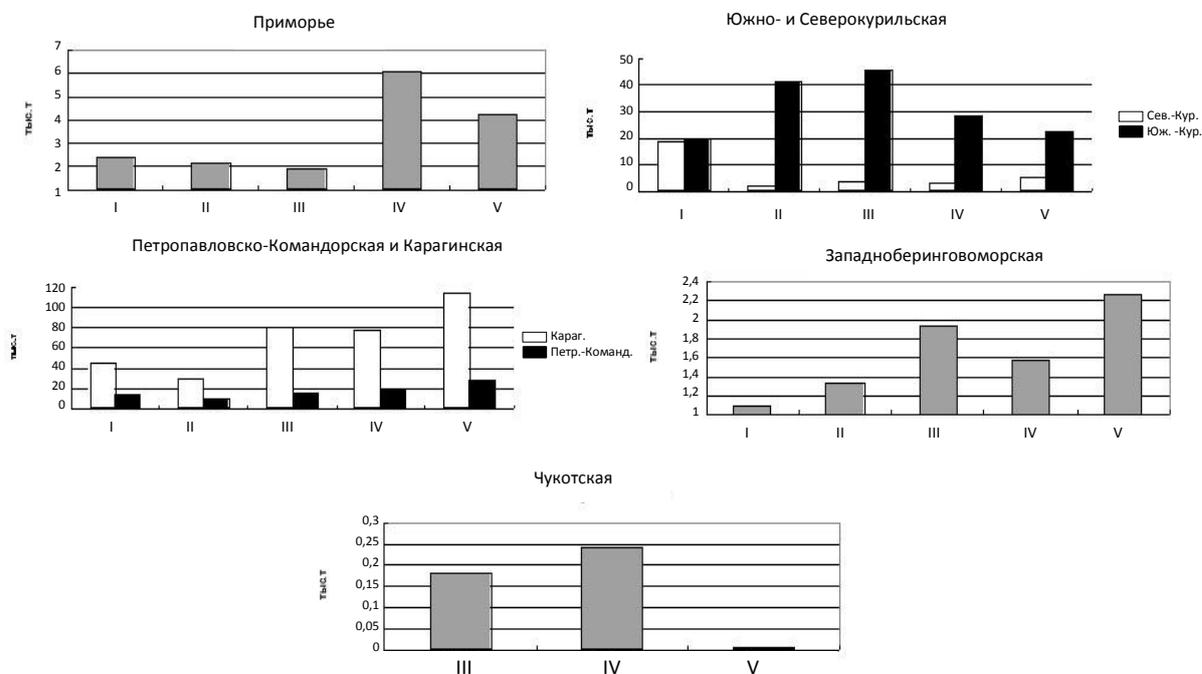


Рис. 5. Динамика уловов тихоокеанских лососей (тыс. т) в разных промрайонах Дальнего Востока в XXI веке  
Условные обозначения: I – 2001–2003 гг., II – 2004–2006 гг., III – 2007–2009 гг., IV – 2010–2012, V – 2015–2017 гг.

Figure 5. Dynamics of catches of Pacific salmon (thousand tons) in different areas of the Far East in the 21st century  
Legend: I – 2001–2003, II – 2004–2006, III – 2007–2009, IV – 2010–2012 V – 2015–2017

В водах Южных Курил вылов лососей с 19,4 тыс. т в начале текущего века увеличился до 45,5 тыс. т к 2007–2009 гг., после чего пошел на снижение и к настоящему времени сократился почти вдвое. В северокурильском промысловом районе добыча лососей резко упала к середине первого десятилетия исследуемого периода (с 18,7 до 2 тыс. т), а к настоящему времени вновь возросла до 5,3 тыс. т (рис. 5). В Петропавловско-Командорской и Карагинской подзонах наблюдался рост уловов лососей, в результате чего сейчас они примерно в два раза больше, чем в 2001–2003 гг. Сходная динамика уловов лососей зафиксирована для зоны Западноберингоморская, не являющейся важным для этого вида промысла районом (рис. 5). В водах Чукотской зоны уловы лосося, достигавшие несколько сотен тонн, к настоящему времени не превышают 10 т.

Если сравнить рис. 3–5 с рис. 2, можно сделать выводы, что в Приморье снижение суммарных уловов произошло за счет минтая и трески, а в водах южных и северных Курил – из-за уменьшения добычи лососей. Все это негативно сказалось на общем объеме уловов. В более северных районах изъятие указанных промысловых объектов в целом возросло (в разной степени). Исключение составил минтай в Карагинской подзоне, вылов которого уменьшился в 1,5 раза (с 12 тыс. т в начале XXI в. до 8 тыс. т в 2015–2017 гг.) и лососей – в Чукотской зоне. Однако в 2018 г. в последнем регионе было рекомендовано освоить 4,43 тыс. т тихоокеанских лососей с расчетом роста численности северных популяций горбуши, кеты и нерки при сокращении ресурсов этих рыб в амурском, сахалинском, курильском регионах [12–14].

Видовой состав и объем средних уловов разных видов лососей за периоды 2001–2003, 2007–2009 и 2015–2017 гг. в разных промысловых подзонах представлены в таблице.

**Состав уловов тихоокеанских лососей (%) в разных промысловых районах Дальнего Востока в XXI веке**  
**Composition of Pacific salmon catches (%) in different fishing areas of the Far East in the 21st century**

Вид лососей	Годы		
	2001–2003	2007–2009	2015–2017
<b>Приморье</b>			
Горбуша	98,44	93,14	96,32
Кета	1,56	6,86	3,64
Сима	0	0	0,04
<b>Южнокурильский</b>			
Горбуша	80,42	76,13	45,88
Кета	19,21	23,72	53,96
Нерка	0,06	0,01	0,01
Кижуч	0,24	0,03	0
Чавыча	0,01	0	0
Кунджа	0,06	0,05	0
Голец	0	0,05	0,15
<b>Северокурильский</b>			
Горбуша	13,43	4,67	16,81
Кета	47,47	71,52	36,77
Нерка	33,03	18,54	34,38
Кижуч	4,91	5,04	9,61
Чавыча	0,9	0,24	0,07
Сима	0	0	2,35
Кунджа	0,26	0	0
<b>Петропавловско-Командорский</b>			
Горбуша	6,7	13,03	10,19
Кета	25,51	21,09	23,57
Нерка	51,94	48,99	53,08
Кижуч	8,31	9,93	7,32
Чавыча	2,78	4,22	2,27
Сима	0	0	1,49
Кунджа	0,09	0,09	0
Голец	4,65	2,66	2,08
<b>Карагинский</b>			
Горбуша	82,48	87,41	86,3
Кета	13,12	9,78	10,12
Нерка	2,92	2,28	2,68
Кижуч	0,19	0,21	0,22
Чавыча	0,5	0,09	0,04
Сима	0	0	0,07
Голец	0,79	0,23	0,56

Окончание таблицы

Вид лососей	Годы		
	2001–2003	2007–2009	2015–2017
Западноберинговоморский			
Горбуша	10,56	6,14	18,74
Кета	46,14	62,86	53,3
Нерка	41,67	30,95	25,9
Кижуч	0,4	0	0
Чавыча	0,4	0,03	0,04
Голец	0,89	0,02	2,03
Чукотский			
Горбуша		0,54	13,64
Кета		99,46	4,55
Нерка		0	36,36
Голец		0	45,45

В Приморье состав уловов лососей в исследуемый период не изменился. Во все анализируемые периоды в них абсолютно доминировала горбуша. Данные рис. 5 также свидетельствуют о том, что численность местных группировок горбуши заметно не флуктуировала. В Южнокурильском промысловом районе соотношение горбуши и кеты поменялось на противоположное: доля горбуши уменьшилась почти в два раза, вклад кеты соответственно увеличился, что и объясняет снижение общего улова тихоокеанских лососей (рис. 5, таблица). В водах Северных Курил доминируют кета и нерка. Горбуша в общих уловах занимает третье место. В течение исследуемого периода в общем улове лососей вдвое возросла доля кижуча.

Петропавловско-Командорская подзона характеризуется относительно стабильным количественным составом вылавливаемых лососей. Нерка в нем составляет половину, кета – около четверти, а горбуша – порядка 10% добываемых величин. Относительно постоянное соотношение видов наблюдается в выловах в заливах северо-восточной Камчатки (подзона Карагинская). Более 80% в них составляет горбуша, порядка 10% – кета. В зоне Западноберинговоморская более половины улова приходится на кету, менее четверти – на нерку. С начала текущего столетия несколько возросла доля горбуши. Наиболее заметные изменения, согласно промысловой отчетности, произошли в составе уловов лососевых рыб в зоне Чукотская: менее чем за десятилетие выловы кеты здесь уменьшились почти в 20 раз, а нерки, горбуши и особенно гольца в соответствующей пропорции увеличились. В данном случае могут иметь место ошибки промысловой статистики или реальные изменения численности популяций этих рыб. С этим, а также с появлением в уловах 2015–2017 гг. симы в промысловых районах Приморье, Северокурильском, Петропавловско-Командорском и Карагинском (см. табл.) должны разобраться специалисты.

### Заключение

Анализ общей производительности рыбного промысла и динамики добычи трех важных промысловых объектов в разных промысловых районах дальневосточных вод российской экономической зоны на протяжении прошедших лет XXI столетия позволяет говорить об определенных тенденциях изменения структуры промысла. Прежде всего, следует отметить, что в районах, расположенных к северу от восточной Камчатки, наблюдается рост рыбных уловов. В то же время в Японском море, в промысловой зоне Приморье, объемы добычи сократились более чем в два раза. В водах южных и северных Курильских островов до 2012 гг. наблюдался рост уловов. После этого произошло их сокращение, и в ближайшее десятилетие, скорее всего, следует ожидать снижения объемов добычи в тихоокеанских водах Камчатки, в подзонах Петропавловско-Командорская и Карагинская. Позднее это может произойти и в Западноберинговоморской и Чукотской зонах.

Анализ видового состава промысла показывает, что в Приморье снижение суммарных уловов произошло за счет уменьшения вылова минтая и трески, а в водах Южных и Северных Курил упала добыча лососей. Именно это негативно сказалось на общем объеме уловов. В северных широтах изъятие указанных промысловых объектов в разных промысловых зонах и подзонах в разной степени возросло за исключением минтая в Карагинской подзоне и лососей в Чукотской зоне.

Динамика изменений соотношения разных видов лососей в суммарном улове этих рыб свидетельствует об относительной стабильности численности горбуши в зоне Приморье, снижении запасов горбуши в Южнокурильском, кеты и нерки – в Северокурильском промысловых районах. У юго-восточной Камчатки и в Беринговом море запасы горбуши, кеты и нерки, судя по динамике их уловов, демонстрировали положительный тренд.

Выполненный автором анализ возможного влияния процессов глобального потепления на результаты российского рыболовства в дальневосточных морях дает определенные основания для прогнозной оценки ситуации, однако их нельзя считать окончательными хотя бы в силу недостоверности промысловой статистики [15, 16]. Вместе с тем полученные нами результаты позволяют говорить о насущной необходимости тщательного изучения данного вопроса с привлечением данных непосредственных научных гидрологических, гидробиологических, ихтиологических и прочих наблюдений в целях долгосрочного прогнозирования состояния сырьевой базы рыбной промышленности Дальнего Востока России.

Публикация подготовлена в рамках Государственного задания ЮНЦ РАН (00-19-09, № госрегистрации 01201354245) по теме «Оценка современного состояния, анализ процессов формирования водных биоресурсов южных морей России в условиях антропогенного стресса и разработка научных основ технологии реставрации ихтиофауны, сохранения и восстановления хозяйственно-ценных видов рыб».

### Литература

1. Тушикина Е.Н. Продовольственная безопасность и роль рыбного хозяйства в ее обеспечении // Российское предпринимательство. – 2008. – № 12 (2). – С. 118–122.
2. Вылов водных биоресурсов достиг 5 млн тонн [Электронный ресурс]. – URL: <http://fish.gov.ru/press-tsentr/novosti/25642-vylov-vodnykh-bioresursov-dostig-5-mln-tonn> (дата обращения: 10.01.2019)
3. Макоедов А.Н. Научные основы рыболовства: учебное пособие. – М.: Медиа М, 2014. – 464 с.
4. Варкентин А.И., Сергеева Н.П. Промысел минтая (THERAGRAHALCOGRAMMA) в прикамчатских водах в 2003–2015 гг. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. – Петропавловск-Камчатский, 2017. – Вып. 47. – С. 5–45.
5. Bjornes C., Prestrud P. The state of the poles: climate lessons from the international polar year. – Oslo: AkademikaUnipubPubl, 2012. – P. 27.
6. Глобальное потепление привело Арктику к «новой норме» температур [Электронный ресурс]. – URL: <https://naked-science.ru/article/sci/globalnoe-poteplenie-privelo-arktiku> (дата обращения: 29.05.2018)
7. Потепление климата глазами ученого из Владивостока [Электронный ресурс]. – URL: <http://trud-ost.ru/?p=455526> (дата обращения: 29.05.2018).
8. Хен Г.В., Басюк Е.О., Сорокин Ю.Д. Закономерности многолетних изменений океанологических условий в дальневосточных морях России и их отклики в рыбных сообществах // Труды VII Междунар. науч.-практ. конф. «Морские исследования и образование (MARESEDU-2018)». Том I. – Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2019. – С. 51–454.
9. ИКЕС предложил лимиты для Баренцева моря [Электронный ресурс]. – URL: <https://fishnews.ru/news/34006> (дата обращения: 16.06.2018).
10. Рост температуры Мирового океана привел к сокращению рыбного промысла на 5% [Электронный ресурс]. – URL: <https://tass.ru/mezhdunarodnaya-panorama/6183757> (дата обращения: 15.03.2019).
11. Eisner L. The Bering Sea: Current status and recent trends // PICES Press. – Vol. 27, № 1. – 2019. – P. 33–35.
12. Лососевых в Амуре становится меньше из-за изменения климата – эксперты [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.dvnovosti.ru/khab/2018/05/21/83136> (дата обращения: 08.06.18).
13. Как повысить улов лосося и кеты в России [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.pnp.ru/economics/kak-povysit-ulov-lososya-i-kety-v-rossii.html> (дата обращения: 23.06.18).
14. На Кунашире сокращается численность нерестящихся лососевых [Электронный ресурс]. – URL: <http://u0097160.cp.regruhosting.ru/newspost/498> (дата обращения: 23.06.18).

15. *Балыкин П.А.* Насущные вопросы российского рыболовства // Известия ТИНРО. – 2011. – Т. 65. – С. 56–64.

16. *Балыкин П.А., Болтнев А.И.* Актуальные проблемы сохранения и использования водных биоресурсов // Использование и охрана природных ресурсов России. – 2014. – № 1. – С. 35–39.

**Информация об авторе**  
**Information about the author**

**Балыкин Павел Александрович** – Южный научный центр Российской академии наук; 344006, Россия, Ростов-на-Дону; доктор биологических наук, главный научный сотрудник отдела водных биоресурсов бассейнов южных морей; balykin.pa@rambler.ru

**Balykin Pavel Alexandrovich** – Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; 344006, Russia, Rostov-on-Don; Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Aquatic Biological Resources of the Southern Seas Department; balykin.pa@rambler.ru

УДК 595.323.1:574.58(571.15)

Л.В. Веснина, Г.В. Лукерина, Т.О. Ронжина

**ЧИСЛЕННЫЕ И ПРОДУКЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОПУЛЯЦИИ РАЧКА  
*ARTEMIA LEACH*, 1819 В ГИПЕРГАЛИННОМ ОЗЕРЕ КУЧУКСКОЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ  
В УСЛОВИЯХ ТРАНСГРЕССИВНОЙ ФАЗЫ ВОДНОСТИ**

Описаны абиотические и биотические факторы среды, влияющие на биологическую продуктивность гипергалинного озера Кучукское Благовещенского района Алтайского края. На протяжении ряда лет его биота находилась в депрессивном состоянии в связи с достижением летальных для гидробионтов концентраций солей в рапе. В связи со сменой гидрологического режима и увеличением общей увлажненности водосборной площади водоема в 2017–2018 гг. в озере возросли численность и продукционные показатели популяции рачка артемии. В озере Кучукское она представлена партеногенетической расой. В описываемый период здесь имело место развитие трех генераций. Каждое поколение рачков имело неповторимые размерно-возрастную структуру, соотношение полов, показатели плодовитости. У них менялась доля самок с цистоношением. Сложившиеся условия способствовали увеличению продуктивности озера Кучукское и включению его в перечень перспективных для добычи (вылова) артемии (на стадии цист) водоемов Алтайского края.

**Ключевые слова:** гипергалинное озеро, рачок артемия, артемия (на стадии цист), плодовитость, добыча (вылов) артемии, Алтайский край.

L.V. Vesnina, G.V. Lukerina, T.O. Ronzhina

**NUMERICAL AND DESCRIPTIVE CHANGES OF CRUSTACEAN *ARTEMIA LEACH*, 1819  
POPULATION IN HYPERHALINE LAKE KUCHUKSKOYE OF ALTAISKY KRAI  
IN TERMS OF WATER CONTENT TRANSGRESSIVE PHASE**

The abiotic and biotic factors affecting the biological productivity of the hyperhaline Lake Kuchukskoe, Blagoveshchensky district of Altai Krai were described. The lake biota was in a depressed state for a number of years due to the achievement of salt lethal concentrations for hydrobionts in brine. Because of hydrological regime and general moisture content changes of reservoir catchment area in 2017–2018, the population of *Artemia* crustaceans with high numerical and production indicators has increased in the lake. The population of *Artemia* in Lake Kuchukskoe belongs to the parthenogenetic race. The development of three generations was observed in the lake during the described period. Each generation of *Artemia* had unique size-age structure, sex ratio and fertility indicators. They varied the proportion of females with titanocene. The current environment conditions in Lake Kuchukskoe helped to increase its productivity and to include it in a list of water bodies of Altai Krai which are perspective for *Artemia* (at cyst stage) catch.

**Key words:** hyperhaline lake, *Artemia* crustacean, *Artemia* (at cyst stage), fecundity, catching, Altai Krai.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-49-36-42

**Введение**

Начало изучения сырьевой базы и особенностей биологии жаброногого рачка *Artemia* Leach, 1819 связано с перспективностью использования его декапсулированных цист в качестве стартового корма при подращивании молоди ценных видов рыб и ракообразных. Корма из цист артемии используют при культивировании 85,0% морских организмов. Особый интерес для осуществления промышленной добычи (вылова) ценного биоресурса представляют многочисленные гипергалинные озера Алтайского края, морфометрические особенности которых, термический и световой режимы обеспечивают высокий уровень биопродуктивности. Подавляющее количество минерализованных озер в соответствии с их площадью относятся к малым и средним, к очень большим относятся только три водоема, в том числе мелководное оз. Кучукское. Этот водоем относится ко второй категории эколого-экономической значимости. В нем, в зависимости от гидрологических условий, проводится добыча (вылов) артемии (на стадии цист). Данный водоем, кроме того, является еще и одним из крупнейших комплексных месторождений минераль-

ных солей, в частности сульфата натрия. Источником минерального сырья служит летняя высокоминерализованная рапа оз. Кучукское. Ее забор существенно влияет на уровень воды в озере и снижает объем «жилой» зоны его гидробионтов.

Мониторинг экологического состояния оз. Кучукское проводится с 2002 г. По данным многолетних наблюдений сырьевая база озера до 2017 г. на протяжении ряда лет в связи с достижением критических для гидробионтов концентраций солености (280–300 г/л) находилась в депрессивном состоянии. В 2017–2018 гг. в нем сложились условия, благоприятные для развития зоопланктона и роста численности рачков артемии. Это позволило использовать озеро как водоем для добычи (вылова) артемии (на стадии цист), а также изучить особенности развития ее популяции в гипергалинном (ультрагалинном) оз. Кучукское в условиях изменения гидрологического режима и общей увлажненности окружающей его территории. Ниже представлены результаты этих исследований.

### Материалы и методы

В 2017–2018 гг. в ходе проведения полевых работ на оз. Кучукское Благовещенского района Алтайского края в период с апреля по октябрь были проведены ежемесячные гидробиологические съемки. Отбор гидробиологических проб, изучение абиотических факторов среды и визуальные наблюдения за распределением рачков и микроводорослей в акватории озера проводили на одних и тех же станциях наблюдения, расположенных в разных частях водоема и включающих восемь участков в литоральной зоне озера и пять – в глубоководной.

На каждой станции ежемесячно измеряли температуру воды и воздуха, минерализацию и прозрачность воды, отбирали пробы зоопланктона и образцы артемии (на стадии цист). На одной из литоральных станций отбирали пробы для изучения гидрохимического состава воды. Пробы артемии делили на следующие группы: ортонауплиусы, метанауплиусы, ювенильные и предвзрослые особи, половозрелые самки и самцы. Различали также летние тонкоскорлуповые яйца и диапаузирующие (цисты). Отбор и обработку материала проводили стандартными методами [1]. Всего за 2017–2018 гг. собрано и обработано 215 проб зоопланктона (2017 г. – 104; 2018 г. – 111), 12 проб воды для определения гидрохимического состава (2017 г. – 7 проб, собиравшихся ежемесячно с апреля по октябрь; 2018 г. – 5 проб, собиравшихся с мая по сентябрь).

Для характеристики условий развития биоты использовали данные по температурному режиму, количеству осадков, скорости и направлению ветра, собранные в течение периода наблюдений метеопостом «Благовещенка».

### Результаты и обсуждение

Оз. Кучукское расположено в области замкнутого стока Обь-Иртышского междуречья на территории Кулундинской низменности в наиболее засушливой юго-западной части Алтайского края и административно входит в состав Благовещенского района. Оно представляет собой бессточный бассейн с типичным речным питанием. Главные притоки озера – р. Кучук и руч. Солонька. Котловина озера хорошо выражена, имеет эллипсоидную форму с длинной осью субмеридианального направления. Площадь зеркала 170–180 км<sup>2</sup>. Наибольшая наблюдаемая глубина озера при наивысшем уровне – 3,3 м, при минимальном – 2,4 м. Средняя вычисленная глубина при наивысшем уровне – 2,3 м, при минимальном – 1,6 м. Объем воды, в зависимости от фазы водности, 270–340 млн м<sup>3</sup>. Восточный и юго-восточный берега озера обрывистые, высотой до 10 м, северо-западный и юго-западный – пологие. Дно песчаное, в прибрежной части илистое; на середине озера, под песком залегает пласт солей. Длина озера 20 км, ширина – 12 км.

Водный баланс оз. Кучукское весьма напряженный, снижение любых показателей приходной части (приток по протоке, осадки, снег, грунтовое питание и сток с местного водосбора) обуславливает снижение уровня режима и повышение минерализации воды, что лимитирует развитие популяции артемии. Максимальные уровни наблюдаются в апреле – мае вследствие интенсивного притока талых вод в ложе озера, минимальные – в сентябре – октябре. Средний уровень озера составляет 109 см [2].

Оз. Кучукское располагается в теплом, засушливом районе, сумма активных температур воздуха >10°C по многолетним наблюдениям колебалась от 2 305 (2013 г.) до 2 920 (2016 г.) градусодней. Количество градусодней со среднесуточной температурой воздуха выше 10,0°C в вегетационный сезон 2017 г. составило 2 610, в 2018 г. – 2 502, что не выходит за пределы значе-

ний, отмеченных для данной территории. Сумма осадков за вегетационный период по многолетним наблюдениям находится в пределах 87–399 мм (апрель – октябрь), в период исследований 2017–2018 гг. количество осадков составляло 266–365 мм. Уровень воды в оз. Кучукское по результатам полевых наблюдений в 2017–2018 гг. был выше, чем в прошлые годы (2006–2013 гг.), что может свидетельствовать о переходе маловодного периода в многоводный.

По нашим многолетним наблюдениям (2002–2018 гг.) выявлена корреляционная связь между температурой воды оз. Кучукское и численностью науплиусов артемии ( $r = 0,28, P = 0,05$ ), половозрелых особей (для самок  $r = 0,29$ , для самцов  $r = 0,31, P = 0,05$ ), численностью тонкоскорлуповых яиц ( $r = 0,26, P = 0,05$ ). Зависимость плодовитости самок от температуры воды выражается уравнением  $y = -0,5335x + 50,64$  ( $r = -0,42, P = 0,05$ ).

Температура поверхностного слоя воды оз. Кучукское в апреле – октябре 2017–2018 гг. колебалась от 6,8 до 24,6°C. В мае она была ниже среднемноголетнего значения. В летне-осенние месяцы температура воды снижалась от 24,0–24,6 (июнь – июль) до 6,8–8,4°C (октябрь) и не выходила за пределы среднемноголетних значений (рис. 1). По балансу тепла описываемый период в основном был благоприятным для жизнедеятельности рачков.

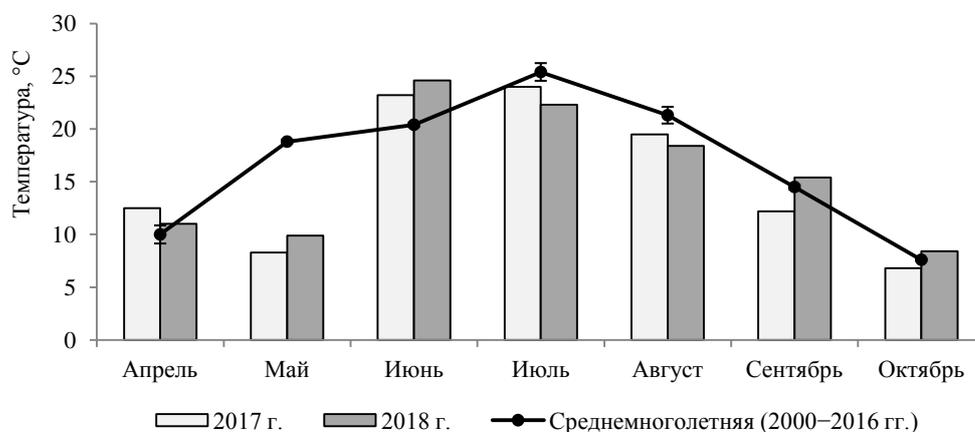


Рис. 1. Динамика средней температуры поверхностного слоя воды оз. Кучукское

Оз. Кучукское по величине минерализации относится к гипергалинным [3] или ультрагалинным [4] водоемам и является рапным. Вода в озере мутная, часто с малиновым оттенком. Минерализация воды оз. Кучукское, по многолетним наблюдениям, находится в пределах 150–325 г/л (2000–2018 гг.). В описываемый период, 2017–2018 гг., соленость воды в озере колебалась в пределах 208,8–276,9 г/л (по данным аккредитованного лабораторного центра г. Славгород) и наблюдалось снижение количества солей в рапе по сравнению со среднемноголетним значением. Это связано со сменой регрессивной фазы водности трансгрессивной (рис. 2). В оз. Кучукское вода по своему химическому составу относится к хлоридно-сульфатному классу группы натрия.

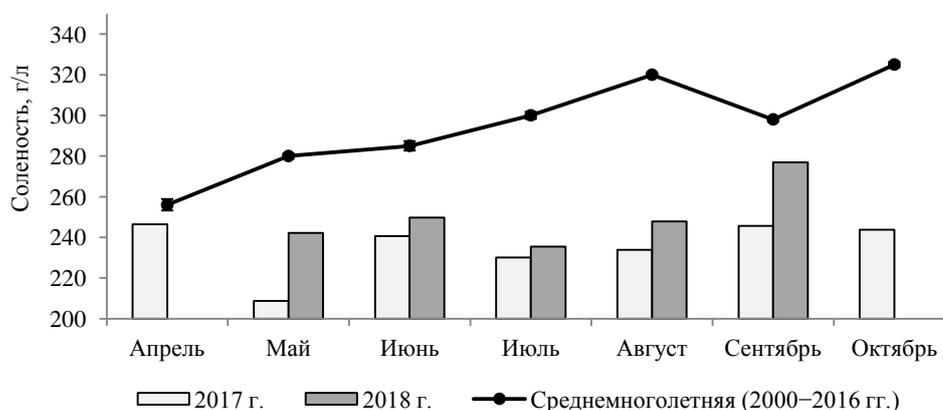


Рис. 2. Динамика солености воды оз. Кучукское

По нашим многолетним наблюдениям (2002–2018 гг.) выявлена корреляционная связь между минерализацией воды гипергалинных водоемов и численностью половозрелых самок ( $r = 0,31$ ,  $P = 0,05$ ), а также между минерализацией воды и важным продукционным показателем – плодовитостью самок ( $r = 0,58$ ,  $P = 0,05$ ).

В связи с высокой минерализацией воды в оз. Кучукское в отдельные годы складываются критические условия обитания для большинства гидробионтов, которые могли бы составить конкуренцию артемии за ресурсы среды обитания. В 2017–2018 г. зоопланктон озера был представлен монокультурой жаброногого рачка артемии.

Артемия в оз. Кучукское относится к партеногенетической популяции, несмотря на появление в структуре сообщества редких самцов [4]. Для озера в зависимости от условий окружающей среды характерно развитие в течение одного вегетационного сезона 1-2 генераций. Первые науплии появляются здесь в ранневесенний период при наступлении благоприятных температурных условий. В начальный период жизни, судя по литературным данным, происходит массовая гибель рачков, среди оставшихся особей наблюдается низкая смертность [5]. На длительность развития и созревания жаброногого существа существенно влияет температурный режим [5, 6].

В сложившихся температурных условиях 2017–2018 гг. первые науплиусы были отмечены во второй – третьей декаде апреля. Однако недостаточная обеспеченность температурных условий, сложившихся в период апреля – мая, препятствовала дальнейшему развитию рачков. Началом развития первой генерации артемии в оз. Кучукское можно считать первую – вторую декады мая.

По результатам гидробиологической съемки в мае 2017 г. в водоеме присутствовали рачки всех возрастных стадий, в 2018 г. – науплиусы и особи ювенильной стадии развития. В процентном соотношении преобладали науплиусы (82–99%), т. е. продолжалось вылупление рачков первого поколения. Средняя по озеру численность рачков в мае 2017 г. составляла  $(34,17 \pm 7,80)$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, в 2018 г. –  $(52,24 \pm 9,12)$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. Численность цист в толще воды значительно колебалась по станциям, составляя в среднем  $(357,4 \pm 101,25)$  тыс. экз./м<sup>3</sup> в 2017 г. и  $(662,08 \pm 184,55)$  тыс. экз./м<sup>3</sup> – в 2018 г. Наибольшая плотность зоопланктона наблюдалась вдоль северо-восточного побережья озера.

В июне популяция рачка артемии в оз. Кучукское была представлена всеми возрастными стадиями рачков и цистами. В 2017 г. в этот период наблюдалась элиминация самок первого поколения. В процентном соотношении преобладали особи науплиальной стадии развития, численность ювенильных и предвзрослых особей была невысокой и не превышала 10% от общей численности рачков. Численность половозрелых самок в 2017 г. составляла в среднем по озеру  $(1,05 \pm 0,28)$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, в 2018 г. –  $(1,28 \pm 0,37)$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. Основным способом размножения в этот период было цистоношение (71% самок с плодовитостью  $(25,2 \pm 3,4)$  экз./особь в 2017 г.; 52% самок с плодовитостью  $(34,8 \pm 6,4)$  экз./особь в 2018 г.). Численность цист в планктоне составляла порядка 363,03–682,22 тыс. экз./м<sup>3</sup>, среди которых 89–92% находились в дегидратированном состоянии (табл. 1).

Таблица 1

**Численные показатели разновозрастных особей рачка артемии и его цист в популяции озера Кучукское, 2017–2018 г.**

Год	Месяц	Численность рачков артемии разных стадий развития, тыс. экз./м <sup>3</sup>				Численность цист, тыс. экз./м <sup>3</sup>
		Науплии	Ювенильные	Предвзрослые	Половозрелые	
2017	апрель	16,93 ± 2,98				71,50 ± 3,50
	май	28,91 ± 7,92	1,45 ± 0,96	4,01 ± 2,34	0,99 ± 0,57	357,38 ± 101,25
	июнь	16,64 ± 6,82	0,11 ± 0,06	0,08 ± 0,02	1,05 ± 0,28	363,03 ± 142,32
	июль	93,17 ± 23,44	12,89 ± 3,35	0,51 ± 0,28	2,65 ± 0,15	1786,17 ± 95,00
	август	672,75 ± 242,28	3,46 ± 1,13	1,85 ± 0,47	12,17 ± 3,25	2410,44 ± 987,89
	сентябрь	56,08 ± 37,48	17,56 ± 9,32	0,56 ± 0,18	36,41 ± 15,25	1203,15 ± 189,18
	октябрь		0,1 ± 0,03	0,1 ± 0,04	0,79 ± 0,43	9,85 ± 1,53
2018	апрель	213,88 ± 89,40				2276 ± 1130,57
	май	52,20 ± 9,13	0,04 ± 0,03			662,08 ± 184,55
	июнь	270,51 ± 80,59	31,26 ± 6,42	0,02 ± 0,01	1,28 ± 0,37	1168,11 ± 600,52
	июль	173,79 ± 94,45	0,60 ± 0,23	2,02 ± 0,60	2,62 ± 0,77	518,87 ± 337,56
	август	27,96 ± 9,61	0,19 ± 0,04	0,01 ± 0,01	4,04 ± 1,86	315,22 ± 121,80
	сентябрь	7,01 ± 2,42	0,006 ± 0,004	0,04 ± 0,02	1,34 ± 0,31	154,63 ± 30,07
	октябрь	0,02 ± 0,01	0,006 ± 0,006	0	0,36 ± 0,18	35,96 ± 16,29

Высокие показатели численности науплиальных особей в июне обусловили появление в популяции артемии значительного количества половозрелых особей второй генерации в июле – августе.

В июле 2017–2018 гг. в оз. Кучукское в составе зоопланктона также преобладали особи ранних стадий развития (87–97 % от общей численности рачков). Плотность разновозрастных рачков была значительной – (107,02 ± 20,61) и (179,03 ± 94,38) тыс. экз./м<sup>3</sup> в 2017–2018 гг. соответственно. Средняя по озеру численность половозрелых самок в этот период была одинаково высокой в описываемые годы и составляла (2,6 ± 0,6) тыс. экз./м<sup>3</sup>. Плодовитость в 2017 г. составляла 90,0 экз./особь, в 2018 г. – 37,1 экз./особь. Цисты, находящиеся в толще воды, распределялись по акватории неравномерно. Средняя численность цист по водоему в 2017 г. – (516,16 ± 64,43) тыс. экз./м<sup>3</sup>, в 2018 г. – (518,87 ± 337,56) тыс. экз./м<sup>3</sup>.

В августе в составе зоопланктона оз. Кучукское отмечались рачки всех возрастных стадий, цисты и летние яйца. В пробах зоопланктона 2017 г. в большом количестве отмечены неполовозрелые особи, в том числе науплиусы, со средней численностью – (672,75 ± 242,28) тыс. экз./м<sup>3</sup>, а также ювенильные и предвзрослые особи. Численность половозрелых самок артемии по станциям в среднем составляла (12,17 ± 3,25) тыс. экз./м<sup>3</sup>, единично в пробах отмечены самцы.

Науплиусы третьей генерации в августе 2018 г. составляли 87% от общей численности рачков, (27,96 ± 9,61) тыс. экз./м<sup>3</sup>, половозрелые самки второй генерации – 12% ,(4,04 ± 1,86) тыс. экз./м<sup>3</sup>, ювенильные и предвзрослые особи отмечались в незначительном количестве.

В связи с наступлением температур, относящихся к зоне субпессимума для развития артемии, в популяции увеличивалась доля самок с цистоношением до 70%. Плодовитость самок в 2017 г. находилась на среднемноголетнем уровне, (29,8 ± 2,5) экз./особь, в 2018 г. – превышала этот показатель в 2,5 раза и составляла (79,0 ± 4,2) экз./особь. Плотность цист на поверхности и в толще воды в августе 2017–2018 гг. была значительной и достигала на отдельных станциях 5 760,0 тыс. экз./м<sup>3</sup>, наблюдалось образование промысловых скоплений.

В осенний период (сентябрь – октябрь) в оз. Кучукское наблюдалось закономерное снижение численных показателей особей всех стадий развития рачков артемии. В пробах отмечались рачки ранних стадий развития (науплии, ювенильные), а также предвзрослые и половозрелые особи третьего поколения артемии. Осенняя генерация была представлена партеногенетическими самками с цистоношением. Средняя индивидуальная плодовитость половозрелых самок в сентябре 2017 г. составляла (52,7 ± 3,9) экз./особь, 2018 г. – (30,2 ± 2,1) экз./особь. В октябре 2017 г. плодовитость самок оставалась достаточно высокой, (46,3 ± 3,4) экз./особь, в 2018 г. в этот период у самок наблюдалась остаточная плодовитость (не более 15,0 экз./особь), у большинства рачков наблюдались признаки элиминации (отмирания) (табл. 2).

Таблица 2

Продукционные показатели популяции рачка артемии озера Кучукское за вегетационный период

Год	Месяц	Длина тела самки, мм		Плодовитость (цисты), экз./особь	Доля самок, %		
		мин	макс		живорождение	летние яйца	цистоношение
2017	июнь	7,2	11,0	25,2 ± 3,4	0	29	71
	июль	8,5	12,1	90,0 ± 4,5	11	38	50
	август	8,1	9,7	29,8 ± 2,5	3	27	70
	сентябрь	8,3	12,1	52,7 ± 3,9	0	27	73
	октябрь	6,1	10,5	46,3 ± 3,4	0	12	88
2018	июнь	9,3	12,4	34,8 ± 6,4	24	24	52
	июль	9,3	14,1	37,1 ± 1,9	1	45	54
	август	9,6	12,8	79,0 ± 4,2	0	30	70
	сентябрь			30,2 ± 2,1	0	0	100
	октябрь			остаточная	0	0	100

Численность цист в толще воды постепенно снижалась, что связано с естественными процессами оседания в грунт и невозможностью их вымывания в связи с садкой соли в осенний период, а также из-за добычи (вылова) артемии (на стадии цист) заготовителями. В октябре 2017 г. плотность цист в планктоне составляла (9,85 ± 1,53) тыс. экз./м<sup>3</sup>, в 2018 г. – (35,96 ± 16,29) тыс. экз./м<sup>3</sup>.

Анализ численных и продукционных показателей 2017–2018 гг. в сравнении с предыдущим периодом исследований показывает значительный рост, что связано с изменением гидрологического режима оз. Кучукское (табл. 3).

**Среднегодовые численные и продукционные показатели популяции рачка артемии озера Кучукское за многолетний период**

Период	Средняя численность разновозрастных рачков, тыс. экз./м <sup>3</sup>	Средняя численность половозрелых особей, тыс. экз./м <sup>3</sup>	Доля самок среди половозрелых особей, %	Средняя численность цист в планктоне, тыс. экз./м <sup>3</sup>	Плодовитость (цисты), экз./особь
2000–2016 гг.	11,08 ± 3,70	0,61 ± 0,35	99,1	92,46 ± 37,88	17,10 ± 2,27
2017 г.	173,89 ± 52,61	7,94 ± 2,54	99,9	885,93 ± 352,50	48,80 ± 11,48
2018 г.	119,30 ± 26,68	1,93 ± 0,33	98,4	658,16 ± 169,83	45,28 ± 8,78

Наиболее благоприятные периоды для образования промысловых скоплений артемии (на стадии цист) в период 2017–2018 гг. на оз. Кучукское наблюдались в летние месяцы (июнь – август). Промысловые скопления цист начинают формироваться при вступлении в яйцекладку основного контингента самок при скорости ветра 3–6 м/с (любых направлений). Большое значение при формировании скоплений играют абиотические факторы: минерализация воды, конфигурация береговой линии, направление и скорость ветра. Первые скопления имеют вид отдельных пятен или конгломератов из нескольких сотен цист. Находясь во взвешенном состоянии практически во всей толще воды, цисты и скорлупа под действием нагонного течения постепенно дрейфуют и аккумулируются в прибрежной зоне, а при усилении ветра до 8–10 м/с и более они периодически выносятся на мелководьях литорали, создают там высокую численность. В результате перемены направления ветра или его силы скопления цист могут частично выбрасываться на берег, но возможен также и их обратный смыв в озеро и перенос течением на другое место. Чистота биосырья при этом резко снижается [7].

Объемы общего запаса артемии (на стадии цист) колебались в течение вегетационного периода в 2017 г. от 228,1 т до 4 902,0 т, в 2018 г. – от 151,6 т до 786,3 т. В предыдущий период (2005–2014 гг.) промысловый запас артемии (на стадии цист) либо отсутствовал, вследствие высокой концентрации солей в рапе и образования толстой соляной корки на дне, либо не превышал 60,0–80,0 т (2007–2009 гг., 2012–2014 гг.).

### Заключение

Смена фазы водности на трансгрессивную на территории Алтайского края в период 2017–2018 гг. и по настоящее время повлияла на изменение продуктивности мелководных минерализованных водоемов, в том числе оз. Кучукское. В связи со сменой гидрологического режима и увеличением общей увлажненности водосборной площади озера в этом водоеме в указанные годы возросли численность и продукционные показатели популяции жаброногого рачка артемии. Показано, что в оз. Кучукское в течение всего обсуждаемого периода она была представлена партеногенетической расой и в течение вегетационного сезона формировала три генерации. Каждое поколение рачков отличалось размерно-возрастной структурой, соотношением полов, показателями плодовитости. У них менялась доля самок с цистоношением. Условия обитания, сложившиеся 2017–2018 гг. в оз. Кучукское, способствовали увеличению его продуктивности и росту запасов рачка артемии (на стадии цист). Это позволило включить оз. Кучукское в перечень перспективных водоемов для добычи (вылова) ценного биоресурса.

### Литература

1. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – 240 с.
2. *Веснина Л.В., Пермякова Г.В.* Влияние техногенного фактора на биоту озера Кучукское Алтайского края // Экологические проблемы пресноводных рыбохозяйственных водоемов России: Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященная 80-летию Татарского отделения ФГБНУ «ГосНИОРХ». – СПб., 2011. – С. 72–75.
3. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 442 с.
4. *Оксиюк О.П., Жукинский В.Н.* Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. – 1993. – Т. 29, вып. 4. – С. 62–76.
5. *Веснина Л.В., Пермякова Г.В.* Динамика численности и биомассы жаброногого рачка *Artemia Leach*, 1819 в гипергалинных водоемах Алтайского края // Экологические проблемы

пресноводных рыбохозяйственных водоемов России: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. – СПб.: Феникс, 2011. – С. 68–72.

6. *Artemia: Basic and Applied Biology* / T.J. Abatzopoulos, J.A. Beardmore, J.S. Clegg, P. Sorgeloos. – Dordrecht, 2002.

7. Соловов В.П., Подуровский М.А., Ясюченя Т.Л. Жаброног артемия: история и перспективы использования ресурсов: монография. – Барнаул: ОАО «Алтайский полиграфический комбинат», 2001. – 144 с.

#### **Информация об авторах** **Information about the authors**

**Веснина Любовь Викторовна** – Алтайский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (АлтайНИРО); 656049, Барнаул; доктор биологических наук, руководитель; artemiaalt@mail.ru

**Vesnina Lubov Viktorovna** – Altai Branch «VNIRO» (AltaiNIRO); 656049, Barnaul; Doctor of Biological Sciences; Head; artemiaalt@mail.ru

**Лукерина Галина Валерьевна** – Алтайский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (АлтайНИРО); 656049, Барнаул; кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; artemiaalt@mail.ru

**Lukerina Galina Valer'evna** – Altai Branch of «VNIRO» (AltaiNIRO); 656049, Barnaul; Candidate of Biological Sciences; Senior Researcher; artemiaalt@mail.ru

**Ронжина Татьяна Олеговна** – Алтайский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (АлтайНИРО); 656049, Барнаул; кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; artemiaalt@mail.ru

**Ronzhina Tatiana Olegovna** – Altai Branch of «VNIRO» (AltaiNIRO); 656049, Barnaul; Candidate of Biological Sciences; Senior Researcher; artemiaalt@mail.ru

УДК 502.51:597.851

Е.Б. Романова, Е.С. Рябинина

**СКРИНИНГОВЫЙ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД УЧЕТА МИКРОЯДЕР  
В КРОВИ ПРУДОВЫХ ЛЯГУШЕК КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ  
ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

Для оценки качества среды в скрининге и мониторинге генотоксического загрязнения территорий использовали микроядерный тест, при котором происходит учет микроядер в клетках пролиферирующих тканей зооиндикаторов – прудовых лягушек. Целью работы являлась оценка динамики гематологических и цитогенетических показателей (методом учета микроядер в эритроцитах крови) прудовых лягушек двух водных объектов Нижегородской области в течение трехлетнего мониторинга (2016–2018 гг). Исследованные водоемы характеризовались разными гидрохимическими условиями, согласно удельному комбинаторному индексу загрязненности воды (УКИЗВ) состояние водных объектов в 2018 г., по сравнению с 2017, г. ухудшилось. Установлено, что в периферической крови прудовых лягушек преимущественно встречались эритроциты с микроядрами прикрепленного и разрыхленного вида. В обеих выборках прудовых лягушек, длительно обитающих в грязных и экстремально грязных условиях среды, выявлено возрастание суммарного количества микроядер и прикрепленных микроядер (%); снижение в крови общего числа эритроцитов и лейкоцитов. Наиболее крупными микроядрами в эритроцитах прудовых лягушек были разрыхленные микроядра ( $7,27 \pm 0,85 \text{ мкм}^2$ ), превосходящие по площади мелкие прикрепленные микроядра ( $1,31 \pm 0,11 \text{ мкм}^2$ ) в 5,5 раза. Проведенный дифференцированный подсчет микроядер показывает необходимость комплексных исследований с использованием цитогенетических характеристик живых организмов для получения информации об эколого-генетическом состоянии популяций организмов и среды их обитания.

**Ключевые слова:** прудовые лягушки, биоиндикация, прикрепленные микроядра, разрыхленные микроядра, микроядерный тест.

E.B. Romanova, E.S. Ryabinina

**SCREENING CYTOGENETIC METHOD FOR RECORDING MICRONUCLEI  
IN THE BLOOD OF *PELOPHYLAX LESSONAE* AS A STATE INDICATOR  
OF AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES**

To assess the quality of the environment in the screening and monitoring of territories genotoxic pollution micronucleus test was used by which an account of micronuclei in cells of proliferating tissues of zooindicators – pond frogs is fulfilled. The aim was to assess the dynamics of hematological and cytogenetic parameters (by taking into account micronuclei in red blood cells) of pond frogs in two water bodies of Nizhny Novgorod region during the three-year monitoring (2016–2018). The studied reservoirs were characterized by different hydrochemical conditions. According to specific combinatorial index of water pollution (WCISW) the status of water bodies in 2018 deteriorated in comparison with that in 2017. It was established that peripheral blood of pond frogs mainly contained erythrocytes with attached and disintegrated micronuclei. In both samples of pond frogs living in dirty and extremely dirty environments for a long time, an increase in the total number of micronuclei and attached micronuclei (%); decrease in the total number of red blood cells and leukocytes were revealed. The largest micronuclei in pond frog erythrocytes were disintegrated micronuclei ( $7,27 \pm 0,85 \text{ }\mu\text{m}^2$ ), exceeding the area of small attached micronuclei ( $1,31 \pm 0,11 \text{ }\mu\text{m}^2$ ) by 5,5 times. The differentiated calculation of micronuclei shows the need for comprehensive studies using the cytogenetic characteristics of living organisms to obtain information about the ecological and genetic state of organism populations and their habitat.

**Key words:** *Pelophylax lessonae*, bioindication, attached micronuclei, disintegrated micronuclei, micronucleus test.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-49-43-49

**Введение**

Снижение качества водных биологических ресурсов, в связи с возрастанием антропогенной деятельности, оказывает отрицательное действие на здоровье людей и негативно влияет на биологическую продуктивность водоемов. Наиболее адекватным, комплексным методом оценки

состояния водных объектов является биоиндикация – обнаружение и определение экологически значимых природных и антропогенных нагрузок по реакции на них живых организмов [1]. Несмотря на разнообразие биоиндикационных подходов, не вызывает сомнения высокоинформативный цитогенетический подход, основанный на определении клеток с микроядрами у видов-зооиндикаторов, позволяющий выявлять структурно-функциональные изменения и соматические мутации в тканях животных, возникающие в неблагоприятных условиях обитания [2–4]. Актуальность работы обусловлена необходимостью проведения скрининговых исследований по выявлению мутагенных факторов окружающей среды в условиях промышленного загрязнения в сочетании с прогрессирующей урбанизацией и дальнейшим развитием методов проведения мониторинга на цитогенетическом уровне.

**Цель работы:** динамика гематологических и цитогенетических показателей прудовых лягушек водных объектов Нижегородской области в течение трехлетнего мониторинга.

### Материалы и методы

Объектом исследования являлись прудовые лягушки (*Pelophylax lessonae*, Camerano 1882), собранные в течение полевых сезонов 2016–2018 гг. на территории двух водных объектов Нижегородской области. Озеро Вторчермет (56.311944 с. ш., 43.848889 в. д.) – искусственный водоем, созданный на месте добычи грунта в черте Нижнего Новгорода. Рядом с озером проходит автомобильная дорога, расположены многоэтажные дома; берега и прибрежная часть водоема захламлены бытовым мусором. В озере собрано 55 особей: 2016 г. – 15; в 2017 г. – 20; 2018 г. – 20. Низинное болото пос. Белкино (56.286208 с. ш., 44.548075 в. д.) – расположено в Нижегородской области (Борский р-н), рядом с частными огородами и садами. В 2017 г. и 2018 г. здесь было собрано по 20 особей прудовых лягушек.

Одновременно со сбором лягушек в водоемах были взяты пробы воды для гидрохимического анализа. С помощью спектрофотометра Nach DR-2800 определяли основные химические загрязнители: железо общее, марганец, медь, хром, нитрат-ионы ( $\text{NO}_3$ ), нитрит-ионы ( $\text{NO}_2$ ), свинец, никель, кобальт, цинк, хлориды, сульфаты, сульфиды, нефтепродукты и водородный показатель (рН). По результатам анализа был произведен расчет удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) [5].

У каждой лягушки была отобрана кровь для приготовления мазков [6] и определения общего содержания эритроцитов и лейкоцитов [7].

Подсчет микроядер [2] осуществляли на микроскопе Meiji Techno с использованием иммерсионного объектива при общем увеличении  $\times 1500$  ( $100 \cdot 10 \cdot 1,5$ ), просматривая для каждой особи по 2 000 эритроцитов (30 000 клеток на выборку).

В связи с отсутствием в литературе четких количественных и качественных классификационных характеристик шести видов микроядер, нами предложено выделять в эритроцитах амфибий четыре вида: а) – хорошо оформленные, обособленные; б) – прикрепленные; в) – палочковидные; г) – разрыхленные, с учетом формы микроядра и его расположения относительно основного клеточного ядра [8]. Окуляр-микрометром проводили измерение большой ( $2a$ ) и малой ( $2b$ ) оси каждого микроядра и рассчитывали его площадь ( $\text{мкм}^2$ ) по формуле эллипса:  $S = \pi ab$ , где  $a$  – большая полуось эллипса,  $b$  – малая полуось эллипса,  $\pi = 3,14$ .

Для статистического анализа использовали непараметрические методы. Рассчитывали критерии: Краскела – Уоллиса ( $H$ ); Данна ( $D$ ); Уилкоксона ( $W$ ) [9]. Критический уровень значимости ( $\alpha$ ) принимали равным 0,05.

### Результаты и обсуждение

Результаты микроядерного анализа выявили количественные и качественные изменения в клетках крови вида-зооиндикатора. В течение наблюдаемого периода установлено статистически значимое повышение суммы микроядер в эритроцитах прудовых лягушек обеих популяций (рис. 1).

Количество микроядер у прудовых лягушек популяции оз. Вторчермет превышало аналогичный показатель особей популяции болота пос. Белкино и в 2017 г. ( $D = 9,1$ ,  $p < 0,001$ ), и в 2018 г. ( $D = 2,85$ ,  $p = 0,04$ ). В обеих выборках в эритроцитах прудовых лягушек в 2016–2017 г. преобладали прикрепленные и разрыхленные микроядра, в 2018 г. – преобладали микроядра прикрепленного вида (табл. 1).

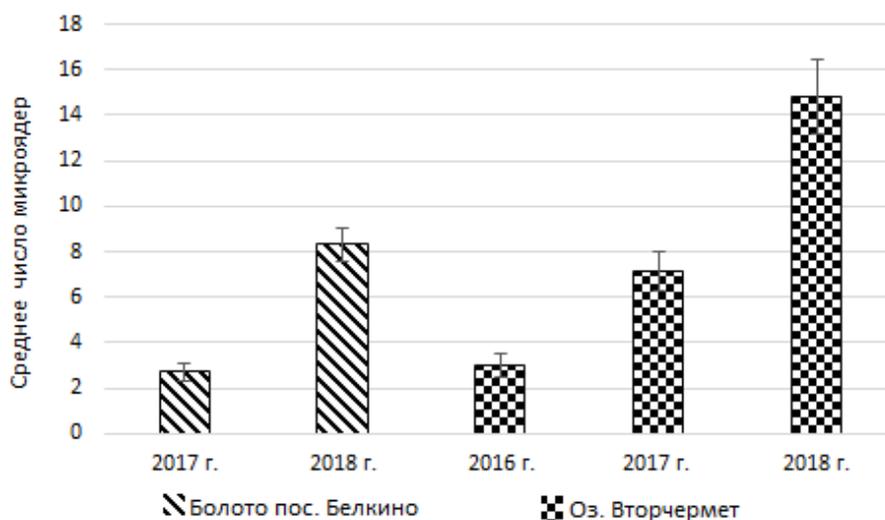


Рис. 1. Изменение среднего числа микроядер в эритроцитах прудовых лягушек в динамике трехлетнего мониторинга (2016–2018)

Таблица 1

Содержание микроядер в эритроцитах периферической крови прудовых лягушек

Водный объект	Год	Оформленные	Прикрепленные	Палочковидные	Разрыхленные	Сумма микроядер/ $M \pm m$
Болото пос. Белкино	2017	7/0,18*	38/0,95	1/0,03	62/1,55	108 / 2,7 ± 0,39
	2018	4/0,1	299/7,47	–	30/0,75	333/ 8,32 ± 0,72
<i>Статистические критерии:</i> критерий Уилкоксона ( $W$ )		0,50	<b>5,18</b>	–	1,88	<b>4,57</b>
$p$ – уровень значимости		0,61	<b>&lt;0,001</b>	–	0,05	0,001
Озеро Вторчермет	2016	29/0,97	24/0,80	6/0,20	32/1,07	91/ 3,03 ± 0,53
	2017	3/0,07	213/5,32	3/0,07	68/1,7	287/ 7,17 ± 0,85
	2018	5/0,12	536/13,74	1/0,02	21/0,53	577/ 14,79 ± 1,65
<i>Статистические критерии:</i> критерий Краскела – Уоллиса ( $H$ ); критерий Данна ( $D$ )		$H = 23,09$ , $p < 0,001$ ; $D_{1-2} = 3,19$ , $p = 0,004$ ; $D_{1-3} = 2,81$ , $p = 0,001$ ; $D_{2-3} = 0,38$ , $p = 1,00$	$H = 53,94$ , $p < 0,001$ ; $D_{1-2} = 3,54$ , $p = 0,001$ ; $D_{1-3} = 7,25$ , $p < 0,001$ ; $D_{2-3} = 4,02$ , $p < 0,001$	$H = 3,01$ , $p = 0,22$ ; $D_{1-2} = 0,44$ , $p = 1,00$ ; $D_{1-3} = 0,78$ , $p = 1,00$ ; $D_{2-3} = 0,37$ , $p = 1,00$	$H = 11,26$ , $p = 0,003$ ; $D_{1-2} = 1,44$ , $p = 0,44$ ; $D_{1-3} = 1,48$ , $p = 0,40$ ; $D_{2-3} = 3,16$ , $p = 0,004$	$H = 39,31$ , $p < 0,001$ ; $D_{1-2} = 2,94$ , $p = 0,009$ ; $D_{1-3} = 6,21$ , $p < 0,001$ ; $D_{2-3} = 3,54$ , $p = 0,001$

Примечание:  $M \pm m$  – среднее арифметическое с ошибкой. \* – в числителе: число эритроцитов с микроядрами в выборке, шт.; в знаменателе: доля клеток с микроядрами, %. Во всех таблицах **жирным** выделены статистически значимые различия ( $\alpha = 0,05$ ).

С помощью окуляр-микрометра были получены размерные характеристики каждого микроядра и рассчитаны показатели площади разных видов микроядер для каждой выборки. Анализ площади микроядер внутри выборок показал существенные различия в площади микроядер разных видов, а именно, площадь разрыхленных микроядер в несколько раз превосходила таковую у прикрепленных микроядер. При этом в популяции прудовых лягушек болота пос. Белкино не выявлено изменение размеров микроядер в течение всего периода наблюдений. Другая ситуация наблюдалась в популяции оз. Вторчермет. Там отмечено статистически значимое сокращение площади прикрепленных ( $W = 6,94$ ,  $p < 0,001$ ) и увеличение площади разрыхленных микроядер ( $W = 3,91$ ,  $p < 0,001$ ) (табл. 2). Отметим, что в 2018 г. по сравнению с 2017 г. сократилась доля палочковидных микроядер в выборке из популяции оз. Вторчермет; в эритроцитах крови прудовых лягушек низинного болота пос. Белкино этот вид микроядер отсутствовал.

Таблица 2

**Показатели площади микроядер (мкм<sup>2</sup>) в эритроцитах прудовых лягушек исследованных популяций**

Водный объект	Год	Оформленные (1)	Прикрепленные (2)	Палочковидные (3)	Разрыхленные (4)	Критерий Данна (D)
Болото пос. Белкино	2017	3,58 ± 1,1	1,19 ± 0,34	1,17	7,17 ± 0,73	<b>D<sub>2-4</sub> = 7,81, p &lt; 0,001</b>
	2018	2,94 ± 0,44	1,14 ± 0,03	не встречались	6,77 ± 1,05	<b>D<sub>1-2</sub> = 2,96, p = 0,008</b> <b>D<sub>2-4</sub> = 8,61, p &lt; 0,001</b>
Статистические критерии: критерий Уилкоксона (W)		1,60	0,53	–	0,56	
p		0,10	0,59	–	0,57	
Озеро Вторчермет	2017	2,42 ± 0,39	1,57 ± 0,05	4,97 ± 1,59	7,44 ± 0,68	<b>D<sub>2-4</sub> = 11,81, p &lt; 0,001</b>
	2018	2,49 ± 0,87	1,34 ± 0,04	3,14	7,71 ± 0,95	<b>D<sub>2-4</sub> = 7,72, p &lt; 0,001</b>
Статистические критерии: критерий Уилкоксона (W)		0,0001	<b>6,94</b>	–	<b>3,91</b>	
p		1, 00	<b>&lt;0, 001</b>	–	<b>&lt;0, 001</b>	

Таким образом, наиболее крупными микроядрами в эритроцитах обеих выборок были разрыхленные микроядра (7,27 ± 0,41 мкм<sup>2</sup>), превосходящие по площади мелкие прикрепленные микроядра (1,32 ± 0,02 мкм<sup>2</sup>) в 5,5 раза (табл. 3).

Таблица 3

**Усредненные показатели площади микроядер (мкм<sup>2</sup>) в эритроцитах прудовых лягушек**

Статистические показатели	Оформленные (1)	Прикрепленные (2)	Палочковидные (3)	Разрыхленные (4)
M	2,98	1,32	3,84	7,27
m	0,46	0,02	1,15	0,41
H, p	H = 475, 51; p < 0, 001			
D, p	<b>D<sub>1-2</sub> = 4,42, p &lt; 0,001; D<sub>1-3</sub> = 0,39, p = 1,00; D<sub>1-4</sub> = 2,68, p = 0,04; D<sub>2-3</sub> = 2,72, p = 0,03; D<sub>2-4</sub> = 20,75, p &lt; 0,001; D<sub>3-4</sub> = 0,98, p = 1,00</b>			

Из данных литературы известно, что микроядра образуются в процессе деления клеток из хромосомного материала, потерявшего контакт с веретеном деления, и включают в себя либо ацентрические фрагменты хроматина, либо целые хромосомы. Выделяют два основных механизма образования микроядер: кластогенный и анеугенный [10]. Микроядро в ядерной клетке может быть образовано фрагментом хромосомы в результате повреждения ДНК, не содержит ее центромерного участка и характеризует так называемый кластогенный эффект. Повышение частоты клеток с микроядрами такого типа свидетельствует об индукции хромосомных и в результате, возможно, и генных мутаций при нарушении последовательности считывания нуклеотидов.

Второй механизм образования микроядер связан с повреждением веретена деления (нарушениями белкового синтеза в клетке). В результате происходит образование более крупных микроядер, представленных одной или более целыми хромосомами, отставшими в анафазе митоза и не вошедшими в основное ядро. В этом случае микроядро содержит несколько центромер, соответствующих числу вошедших в него хромосом. Появление таких микроядер характеризует анеугенный эффект (изменение числа хромосом в основном ядре) и указывает на геномные мутации [11].

Определение относительного диаметра (соотношения диаметра микроядра и ядра) и площади микроядер может указывать на механизм их образования. Микроядра, образованные в результате разрыва ДНК, имеют значительно меньший размер по сравнению с микроядрами, образованными одной или несколькими целыми хромосомами. В настоящее время используют более точный метод определения типа микроядер с помощью нанесения метки на центромерный участок хромосом [12]. Применение этого подхода позволило выделить истинные анеугены (колхицин, винкристин), экспериментальное введение которых формирует крупные микроядра с меткой на центромере и истинные кластогены (циклофосфамид, митомицин С) – без нее. Кластогенный и анеугенный эффект являются двумя сторонами цитогенетического (мутагенного) действия исследуемых факторов, и во многих случаях они взаимосвязаны [11].

Хорошо известно, что индукция микроядер в клетках происходит под воздействием загрязнителей и мутагенов окружающей среды. Так, выявлена корреляционная взаимосвязь между числом микроядер в эритроцитах озерных лягушек и содержанием в водной среде нитратов, железа, марганца [13], хлорида кадмия [14], цинка и меди [15]. Показано, что совместное действие металлов кадмия, хрома и меди усиливает процесс образования микроядер [16].

В нашем исследовании при проведении гидрохимического анализа установлено превышение ПДК<sub>рыб-хоз</sub> в воде исследованных водных объектов по содержанию: железа, марганца, меди, хрома, сульфидов. При этом каждый водоем отличался особенностями гидрохимического состава. Так, воды болота характеризовались высоким содержанием железа, марганца и меди, превышающим аналогичный показатель оз. Вторчермет в 16,1; 18,5 и 3,8 раза соответственно. В 2018 г. загрязнители в двух водоемах расположились в порядке убывания концентраций (мг/л) в следующем порядке: медь – марганец – железо – хром – сульфиды.

Специфические гидрохимические условия водных объектов подтвердились при проведении кластерного анализа (рис. 2). Из рисунка видно, что каждый из водоемов формировал собственный кластер, внутри которого отмечались межгодовые различия гидрохимических условий.

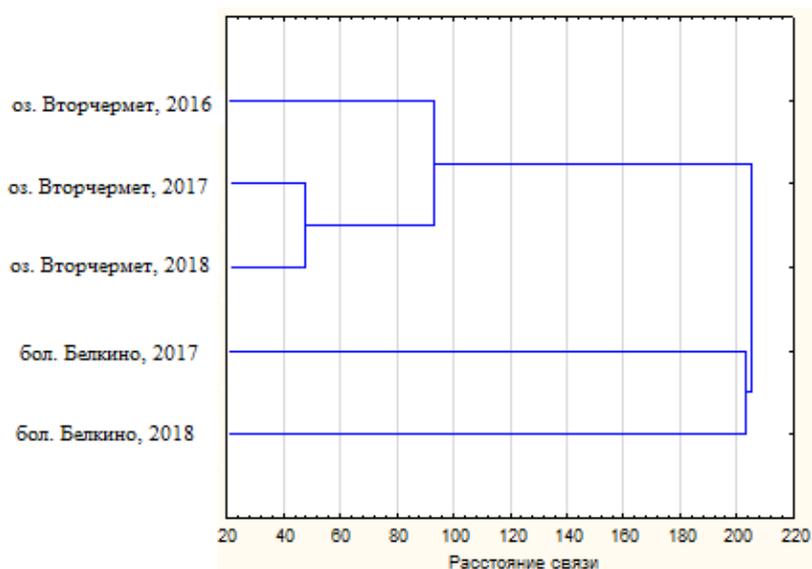


Рис. 2. Дендрограмма сходства водных объектов по гидрохимическим показателям

Расчет удельного комбинаторного индекса загрязненности (УКИЗВ) показал стабильно экстремальное загрязнение в водах болота, обусловленное спецификой гидрохимических условий, и ухудшение качества водной среды оз. Вторчермет в динамике трехлетнего мониторинга.

В результате длительного существования в экстремально грязных условиях водной среды в крови прудовых лягушек выявлено изменение лейкоцитарного и эритроцитарного состава периферической крови. Так, в популяции болота пос. Белкино (УКИЗВ = 5 класс), установлено снижение количества лейкоцитов ( $W = 3,83, p = 0,0001$ ) и эритроцитов ( $W = 3,91, p < 0,001$ ) что указывало на угнетение иммунных процессов и снижение защитной реакции организма (табл. 4).

Таблица 4

**Общее содержание лейкоцитов и эритроцитов в периферической крови прудовых лягушек**

Водный объект	Год	Содержание лейкоцитов, тыс./мм <sup>3</sup>	Содержание эритроцитов, тыс./мм <sup>3</sup>
Болото пос. Белкино	2017	16,6 ± 0,8	157,3 ± 7,5
	2018	9,45 ± 0,40	95,6 ± 2,64
<i>Статистические критерии:</i>		<b>W = 3,83, p = 0,0001</b>	<b>W = 3,91, p &lt; 0,001</b>
Озеро Вторчермет	2016	34,33 ± 2,51	191,80 ± 3,66
	2017	14,35 ± 6,25	99,25 ± 2,81
	2018	23,55 ± 0,99	292,2 ± 7,02
<i>Статистические критерии:</i>		$H = 45,67, p < 0,001$ $D_{1-2} = 6,70, p < 0,001$ ; $D_{1-3} = 3,34, p = 0,0024$ ; $D_{2-3} = 3,62, p = 0,0008$	$H = 47,76, p < 0,001$ $D_{1-2} = 3,19, p = 0,004$ ; $D_{1-3} = 3,19, p = 0,004$ ; $D_{2-3} = 6,90, p < 0,001$

Примечание: Критерий Краскела – Уоллиса (H); критерий Данна (D), критерий Уилкоксона (W).

Выборка прудовых лягушек оз. Вторчермет, где при слабом загрязнении (2016 г. – 4,51УКИЗВ) выявлено высокое содержание лейкоцитов ( $34,33 \pm 2,51$ ), при повышении загрязнения (2017 г. – 9,1 УКИЗВ) показано снижение их количества ( $14,35 \pm 6,25$ ), а при повторном снижении загрязнения (2018 г. – 6,6 УКИЗВ) – повторное возрастание числа лейкоцитов ( $23,55 \pm 0,99$ ) тыс./мм<sup>3</sup> (рис. 3).

Установлено снижение количества эритроцитов в периферической крови лягушек болота п. Белкино с 2017 г. по 2018 г. ( $W = 3,91, p < 0,001$ ). Исходя из полученных результатов и данных литературы, можно полагать, что длительное существование животных в условиях высокого содержания в водоеме токсикантов: железа – 6,3–21 ПДК, марганца – 240–185 ПДК, меди – 175–370 ПДК, вызывало нарушение синтеза клеток эритроидного ряда в костном мозге, что приводило к гипоксии тканей и анемии.

Количество эритроцитов прудовых лягушек оз. Вторчермет оказалось повышенным в 2016 г. ( $191,80 \pm 3,66$ ) и в 2018 г. ( $292,2 \pm 7,02$ ) при низком уровне загрязнения. При повышении загрязнения в 2017 г. наблюдалось уменьшение количества эритроцитов ( $99,25 \pm 2,81$ ) (рис. 4).

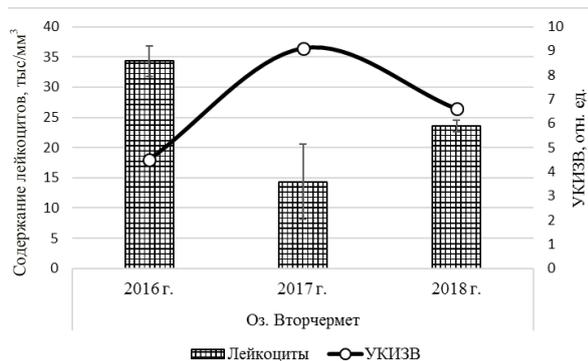


Рис. 3. Зависимость количества лейкоцитов периферической крови прудовых лягушек оз. Вторчермет от УКИЗВ

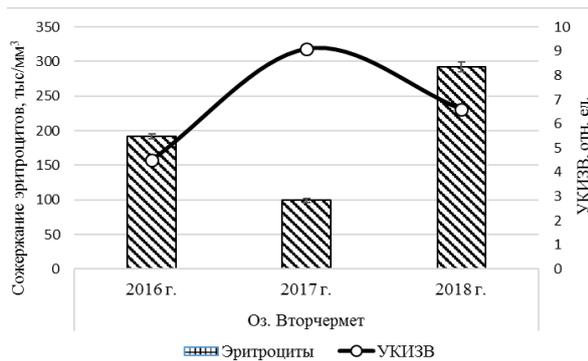


Рис. 4. Зависимость количества эритроцитов в периферической крови прудовых лягушек оз. Вторчермет от УКИЗВ

Таким образом, проведенное нами исследование показало, что при высоком содержании в водном объекте токсичных веществ в организме прудовых лягушек происходит угнетение лейкоцитарного и эритроцитарного ростков гемопоэза. Это приводит к снижению общего содержания форменных элементов в периферической крови лягушек и ослаблению защитных гомеостатических систем организма.

Проведенный микроядерный анализ свидетельствует о трансформации водных объектов и нарушении цитогенетического гомеостаза прудовых лягушек, обитающих в условиях повышенного загрязнения среды и подтверждает необходимость проведения комплексных исследований состояния водоемов с использованием наряду с общепринятыми гидрохимическими и гидробиологическими методами методов биоиндикации, суммирующих биологически важные данные об окружающей среде и отражающих ее состояние в целом.

### Заключение

1. Выявлено повышение доли эритроцитов с микроядрами в крови прудовых лягушек в динамике трехлетнего мониторинга, обусловленное специфическими гидрохимическими условиями исследованных водных объектов Нижегородской области.

2. Показано изменение соотношения видов микроядер в эритроцитах прудовых лягушек в динамике трехлетнего мониторинга: в 2016–2017 г. преобладали прикрепленные и разрыхленные микроядра, в 2018 г. – преобладали микроядра прикрепленного вида.

3. Впервые получены размерные характеристики микроядер (мкм<sup>2</sup>) в эритроцитах прудовых лягушек: наиболее крупными были разрыхленные ( $7,27 \pm 0,41$  мкм<sup>2</sup>), превосходящие по площади мелкие прикрепленные микроядра ( $1,32 \pm 0,02$  мкм<sup>2</sup>) в 5,5 раза.

4. Установлено снижение общего числа форменных элементов (эритроцитов и лейкоцитов) при высоком содержании токсичных веществ в водном объекте, определенном по показателю УКИЗВ, что свидетельствует об угнетении лейкоцитарного и эритроцитарного ростков гемопоэза и ослаблении защитных гомеостатических систем организма прудовых лягушек.

### Литература

1. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / *О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, Т.И. Евсеева, В.М. Глазер* и др. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.
2. *Жулева Л.Ю., Дубинин Н.П.* Использование микроядерного теста для оценки экологической обстановки в районах Астраханской области // *Генетика*. – 1994. – Т. 30, № 7. – С. 999–1004.
3. *Ильин Д.А.* Аспекты формирования микроядер // *Естествознание и гуманизм: сб. науч. тр.* – Новосибирск, 2006. – Т. 3, вып. 3. – С. 43–65.
4. *Ковалева О.А.* Цитогенетические аномалии в соматических клетках млекопитающих // *Цитология и генетика*. – 2008. – № 1. – С. 58–72.
5. Принципы и методы экологической токсикологии / *Д.Б. Гелашвили, В.С. Безель, Е.Б. Романова, М.Е. Безруков, А.А. Силкин, А.А. Нижегородцев*; под ред. проф. Д.Б. Гелашвили. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2016. – 702 с.
6. Гематология. Новейший справочник / под ред. К.М. Абдулкадырова. – СПб.: Сова, 2004. – 928 с.
7. Лабораторные методы исследования в клинике / *В.В. Меньшиков, Л.Н. Делекторская, Р.П. Золотницкая* и др. – М.: Медицина, 1987. – 368 с.
8. Лейкоцитарные индексы и микроядра в эритроцитах как популяционные маркеры иммунного статуса *Pelophylax ridibundus*, Pallas 1771 (Amphibia: Ranidae), обитающих в различных биотопических условиях / *Е.Б. Романова, К.В. Шаповалова, Е.С. Рябинина, Д.Б. Гелашвили* // *Поволжский экологический журнал*. – 2018. – № 1. – С. 60–75. DOI: 10.18500/1684-7318-2018-1-60-75.
9. *Реброва О.Ю.* Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ StatisticaM. – МедиаСфера, 2006. – 312 с.
10. Руководство по краткосрочным тестам для выявления мутагенных и канцерогенных химических веществ. Совместное издание ООН, МОТ и ВОЗ. – Женева, 1989. – 212 с.
11. *Сычева Л.П.* Биологическое значение, критерии определения и пределы варьирования полного спектра кариологических показателей при оценке цитогенетического статуса человека // *Медицинская генетика*. – 2007. – Т. 6, № 11. – С. 3–11.
12. *Migliore L., Barale R., Bulluomini D.* Cytogenetic damage induced in human lymphocytes by adriamycin and vincristine a comarison between micronucleus and chromosomal aberration assays // *Toxicol. In vitro*. – 1997. – Vol. 1. – P. 247–254.
13. *Романова Е.Б., Рябинина Е.С.* Анализ микроядер в эритроцитах амфибий, обитающих в водоемах урбанизированной территории // *Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование: V Межд. науч.-практ. конф.* – 2017. – С. 344–349.
14. *Kasuba V., Rozgaj R., Trusic I.* Genotoxic effects of cadmium chloride in V79 cell culture // *Toxicol. Lett.* – 2003. – Vol. 144. – P. 136.
15. *Хантурина Г.Р., Ибраева Л.К., Норцева М.А.* Цитогенетические нарушения при интоксикации солями цинка и меди // *Современные наукоемкие технологии*. – 2011. – № 3. – С. 13–15.
16. *Zhu Yi., Zhang Y.* Formation of micronucleates in carp polychromatocytes under the influence of cadmium, chromium and copper: a synergistic effect // *Univ. Nat. Sci.* – 1999. – Vol. 22, № 3. – P. 60–63.

### Информация об авторах Information about the authors

**Романова Елена Борисовна** – Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (ННГУ); 603950, Россия, Нижний Новгород; доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры экологии, romanova@ibbm.unn.ru;

**Romanova Elena Borisovna** – National Research State University of Nizhniy Novgorod named after N.I. Lobachevsky, 603950, Russia, Nizhniy Novgorod; Doctor of Biological Sciences (Ph.D. Biol.), Docent; Professor of the Ecology Chair, romanova@ibbm.unn.ru

**Рябинина Елена Сергеевна** – Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (ННГУ); 603950, Россия, Нижний Новгород; студент; ryabinina.E.S@yandex.ru

**Ryabinina Elena Sergeevna** – National Research State University of Nizhniy Novgorod named after N.I. Lobachevsky; 603950, Russia, Nizhniy Novgorod; Student; ryabinina.E.S@yandex.ru

УДК 639.3.043 + 639.55

**С.Е. Лескова, Н.Н. Ковалев, Ю.М. Позднякова, Е.В. Михеев, Р.В. Есипенко****ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ БАВ НА ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА  
И ВЫЖИВАЕМОСТИ МОЛОДИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ТРЕПАНГА  
В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

Изучали влияние многокомпонентных рецептур кормов на массу, выживаемость, темп роста и скорость поглощения корма пигментированной и непигментированной молоди трепанга в экспериментальных условиях. Показано, что темп роста молоди при постоянных условиях температуры носит нелинейный характер. Отмечено снижение массы тела молоди трепанга на первый и второй месяц эксперимента. Отмечен стимулирующий эффект на показатели роста пигментированной молоди и выживаемости непигментированной молоди трепанга от включения в рецептуру корма ДНК из молок лососевых. Включение в корм ДНК и гаммаруса приводило к повышению массы тела экспериментальных животных по сравнению с таковой в контрольной группе в 216,7–222,2 раза. Исследование показало, что добавка в корма ДНК не оказывала влияния на скорость поглощения и темп роста молоди пигментированного трепанга. Внесение в рецептуру корма пигментированной молоди трепанга гаммаруса, напротив, увеличивало скорость его поглощения.

**Ключевые слова:** трепанг, аквакультура, корма, ДНК, гаммарус, выживаемость, темп роста, скорость поглощения корма.

**S.E. Leskova, N.N. Kovalev, Y.M. Pozdnyakova, E.V. Mikheev, R.V. Esipenko****SOME SURFACTANTS INFLUENCE ON GROWTH AND SURVIVAL RATES OF FAR  
EASTERN TREPANG JUVENILE IN EXPERIMENTAL CONDITIONS**

The influence of multicomponent feed formulations on weight, survival, growth rate and rate of feed absorption of pigmented and non-pigmented trepang juvenile in experimental conditions was investigated. It is shown that the growth rate of juveniles under constant temperature conditions is not linear. A decrease in body weight of trepang juvenile on the first and second month of the experiment was noted. The stimulating effect on the growth of pigmented juvenile and not-pigmented trepang juvenile survival caused by adding salmon roe DNA in the feed formulation. The addition of DNA and gammarus to the feed led to the weight increase of experimental animals compared to that in the control group by 216,7–222,2 times. The study showed that the addition of DNA to the feed had no effect on the absorption rate and growth rate of pigmented trepang juvenile. The introduction of gammarus into the feed formulation of pigmented juvenile trepang, on the contrary, increased the rate of its absorption.

**Key words:** trepang, aquaculture, feeds, DNA, gammarus, survival, growth rate, feed absorption rate.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-49-50-56

**Введение**

Дальневосточный трепанг, *Apostichopus japonicus*, является важным объектом марикультуры в России и ряде стран Юго-Восточной Азии. Рыночный спрос на этот вид увеличивается. Успешное выращивание молоди трепанга основывается на знании пищевого поведения и состава корма [1]. Однако сведения об искусственных кормах, способных вызывать быстрый рост и высокую выживаемость молоди трепанга, крайне ограничены [1, 2]. В целом известно, что они обычно состоят из порошка макроводорослей и морского ила.

В некоторых исследованиях сообщается об использовании в кормах для молоди трепанга порошка водорослей, таких как *Ulva lactuca*, *Laminaria japonica*, *Sargassum thunbergii*, *Sargassum polycystum*, и морского ила, и показано, что они оказывают значительное влияние на показатели роста животных [3, 4]. В то же время в исследовании Ю. Лю с соавторами [5] показано, что добавление к кормам ювенильного трепанга водорослевого детрита не оказало существенного влияния на его рост и энергетический баланс.

В научной литературе существует не много сведений об использовании биологически активных веществ нуклеиновой природы в составе кормов для трепанга. Так, было показано, что удельные темпы роста массы были значительно выше у молоди трепанга ( $5,87 \pm 0,03$  г), диета которых включала 375 мг нуклеотидов на кг корма, по сравнению с животными, содержащимися на контрольной диете [6]. В то же время введение только гуанозина в корма для молоди трепанга ( $6,80 \pm 0,10$  г) в количестве 0,6 и 1,2 г/кг значительно увеличивало рост молоди [7].

Гаммарус является массовым пресноводным видом амфипод на всей территории России. Его химический состав достаточно хорошо изучен [8, 9]. В настоящее время он активно используется на рыбозаводах для выращивания ценных видов рыб: форели, осетровых, карповых, а также в промышленном и декоративном птицеводстве в качестве высокопитательной белковой добавки, содержащей каротиноиды.

В настоящей работе приведены результаты изучения влияния кормов с добавлением ДНК и порошка гаммаруса на выживаемость и динамику роста молоди трепанга в аквариальных условиях.

### Материалы и методы

Объектом исследования служила молодь дальневосточного трепанга, выращенная в контролируемых условиях в цеху для экспериментального выращивания гидробионтов в бух. Воевода (о. Русский, Приморский край). Экспериментальные исследования проводили с ноября по февраль в течение 95 дней. Молодь трепанга содержали в емкостях объемом 100 л при плотности посадки 1,5 экз. на л. Она была разделена на восемь экспериментальных групп: четыре группы пигментированных особей трепанга и четыре группы непигментированных особей. В начале эксперимента количество животных в каждой группе составляло 150 шт. Кормление трепанга осуществляли два раза в сутки из расчета 40 мг корма на 1 пигментированную особь и 20 мг на 1 непигментированную особь.

Смену воды производили ежедневно, два раза в сутки. Показатели температуры и солёности воды определяли три раза в день с помощью электронного термометра и солемера. В состав базовой рецептуры корма входили: сушеный саргассум, рыбная мука и сухой ил в соотношении 4 : 5 : 0,5. В качестве биологически активного компонента в корма вносили ДНК в виде нуклеопротеинового комплекса из молок лососевых рыб в количестве 5 г (корм № 1), порошок гаммаруса в количестве 50 г (корм № 2) и смесь ДНК и гаммаруса, в тех же количествах, на 1 кг массы корма (корм № 3). Для контрольной группы животных использовали корма, изготовленные в соответствии с базовой рецептурой, без добавок (корм № 4).

Биологически активную добавку из молок лососевых получали по методу, описанному в работе Ю.И. Касьяненко и Т.Н. Пивненко [10]. Она содержала 80% ДНК с молекулярной массой 300 кДа. В ходе эксперимента использовали также коммерческий препарат порошка гаммаруса, изготовленный ООО «Зоомир» в соответствии с ТУ 9692-001-50005735-2000 «Гаммарус. Корм, стимулирующий окраску, для крупных и средних рыб».

Обработку экспериментальных данных проводили по таким показателям, как выживаемость, специфический темп роста, скорость поглощения корма. Показатели рассчитывали по методу, предложенному Ю. Лю с соавторами [5], следующим образом:

$$\text{выживаемость (\%)} = 100 \times (N_2 / N_1);$$

$$\text{темп роста (\% сут}^{-1}\text{)} = 100 \times (\ln W_2 - \ln W_1) / T;$$

$$\text{скорость поглощения корма (г}^{-1}\text{ сут}^{-1}\text{)} = I / (T(W_2 + W_1) / 2);$$

где  $N_1$  – число животных в начале эксперимента,  $N_2$  – число животных в конце эксперимента,  $W_1$  и  $W_2$  – начальные и окончательные значения массы трепангов в каждом экспериментальном аквариуме,  $T$  – экспериментальный период,  $I$  – сухой вес корма, подаваемого в аквариум.

Для оценки эффективности кормов с содержанием разных БАВ ДНК (корм № 1), гаммаруса (корм № 2) и смеси ДНК и гаммаруса (корм № 3) проводили сравнительный анализ изучаемых показателей у экспериментальных и контрольной групп животных, получавших корм без добавления ДНК и гаммаруса (контроль).

Об эффективности кормов судили по изменению массы тела молоди трепанга. Для оценки изменений массы тела молоди ежемесячно проводили контрольные взвешивания. Для этого животных извлекали из воды, обсушивали на фильтровальной бумаге, взвешивали на электронных весах с точностью до 0,01 г. Для определения средней массы мелкой молоди использовали объемно-весовой метод. После определения массы молодь помещали обратно в те же емкости, где

они содержались для дальнейшего экспериментального выращивания. Выживаемость определяли по количеству выжившей молоди в каждом эксперименте.

### Результаты и обсуждение

Количественные данные по изменению массы тела молоди трепанга представлены на рис. 1 и 2. Об эффективности кормов с содержанием разных БАВ судили по изменению массы тела экспериментальных животных. Эти данные представлены на рис. 1. Они свидетельствуют о том, что не все экспериментальные рецептуры кормов способствовали увеличению массы тела животных и что за время эксперимента увеличение массы животных имело нелинейный временной характер.

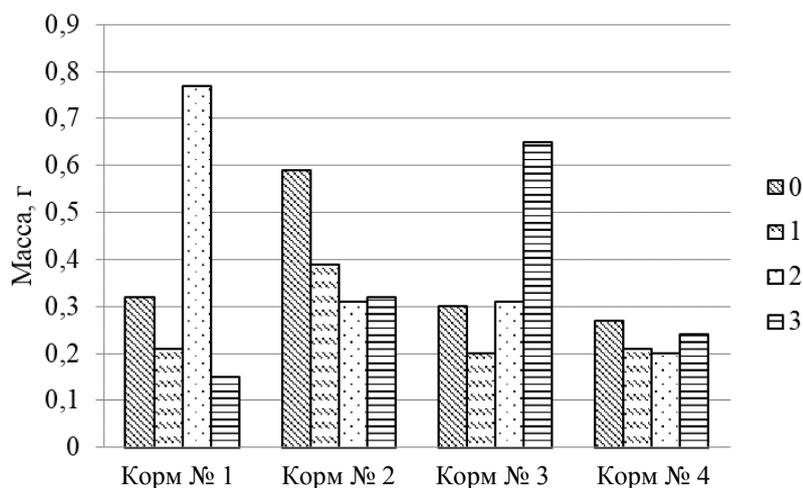


Рис. 1. Динамика массы тела молоди пигментированного трепанга при выращивании на кормах разной рецептуры. Условные обозначения: 0 – начало эксперимента, 1 – через 1 месяц эксперимента; 2 – через два месяца эксперимента, 3 – через 3 месяца эксперимента

Во-первых, следует отметить, что к концу первого месяца эксперимента во всех экспериментальных группах молоди пигментированного трепанга отмечалось снижение массы тела. Процент ее снижения при использовании экспериментальных кормов составил 33,3 – 34,4%. В то же время снижение массы тела животных в контрольной группе составило 22,2%.

Следует отметить, что масса тела молоди пигментированного трепанга, содержащегося на рецептуре корма с использованием гаммаруса, снижалась с первого по четвертый месяц эксперимента.

Проведение исследований в течение трех месяцев позволило выявить рост молоди пигментированного трепанга только при скармливании корма, содержащего ДНК. Разница роста массы молоди трепанга контрольной и экспериментальной групп за этот период составила 570,0 мг (385,0%). Другие рецептуры кормов были в 1,5 раза более эффективны по сравнению с контролем.

Дальнейшее проведение эксперимента (3 мес) показало отсутствие положительной динамики увеличения массы молоди трепанга в контрольной группе и группе, содержащейся на корме с добавлением гаммаруса. В группе животных, содержащейся на корме с внесением ДНК, отмечено резкое, пятикратное, снижение массы тела. В то же время в группе животных, получавших корм со смесью биологически активных компонентов, отмечен рост массы тела за один месяц в два раза. Разница массы тела животных этой группы по сравнению с контрольной группой составляла 3,1 раза (410 мг).

При определении изменений массы тела непигментированного трепанга была выявлена та же закономерность: снижение к концу первого месяца эксперимента массы тела животных, поедавших разный экспериментальный корм (рис. 2).

Следует отметить, что скармливание корма с добавлением гаммаруса в течение 3-го месяца эксперимента не оказывало влияния на массу тела экспериментальных животных.

К концу эксперимента во всех группах экспериментальных животных, получавших корм с добавлением ДНК, наблюдалось увеличение массы тела. Более эффективным оказался корм с добавкой смеси БАВ. Его использование привело более чем к двукратному увеличению массы тела особей непигментированного трепанга. При этом возрастание массы активно протекало в течение третьего месяца эксперимента.

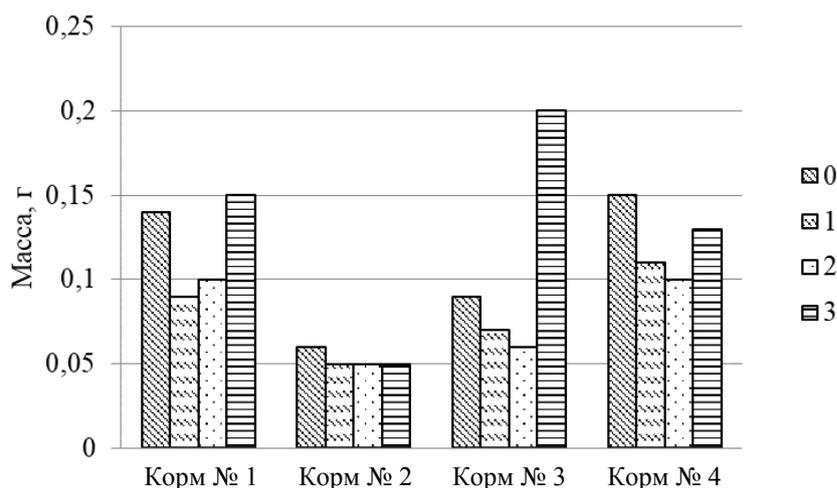


Рис. 2. Динамика массы тела молоди непигментированного трепанга при выращивании на кормах разной рецептуры. Условные обозначения как на рис. 1

В целом за время от начала до конца эксперимента применение корма, содержащего смесь БАВ, произошло двукратное увеличение массы тела непигментированного трепанга. При этом масса тела молоди трепанга в данной экспериментальной группе к концу эксперимента оказалась в 1,5 раза выше, чем в контрольной группе.

Углубленный анализ экспериментальных данных показывает, что изучаемые нами корма оказали разное влияние на выживаемость пигментированной и непигментированной молоди трепанга (табл. 1). Для пигментированной молоди трепанга показано отсутствие влияния кормов с внесением ДНК и смеси БАВ на ее выживаемость по сравнению с влиянием корма без добавок. Внесение в рецептуру корма гаммаруса повышало показатель выживаемости до 58,7%, что в 1,6 раза больше, чем в контрольной группе.

Таблица 1

Выживаемость молоди трепанга при кормлении разными кормами, (%)

Изучаемая группа животных	Корм № 1	Корм № 2	Корм № 3	Корм № 4
Пигментированные	38,7	58,7	36,7	36,0
Непигментированные	44,7	25,3	20,0	35,3

В то же время выживаемость непигментированного трепанга при использовании кормов с добавлением гаммаруса и смеси БАВ была в 1,4–1,8 раза ниже, чем в контрольной группе. Наибольшее количество выживших непигментированных животных (44,7%) зафиксировано при скармливании корма с ДНК. Этот показатель для данной группы выше, чем в контрольной группе в 1,3 раза.

Для более полной оценки влияния на развитие молоди трепанга был рассмотрен такой показатель, как темп роста. Он характеризует суточную динамику массы тела (%) в течение всего эксперимента. Из приведенных в табл. 2 данных видно, что темп роста для молоди пигментированного трепанга имел положительную динамику только у группы животных, поедавших корм с добавкой смеси БАВ (корм № 3). Следует отметить, что в обеих группах экспериментальных животных, содержащихся на корме без добавок (контроль), положительная динамика темпов роста не отмечалась.

Таблица 2

Темп роста молоди трепанга при кормлении разными кормами, (% сут<sup>-1</sup>)

Изучаемая группа животных	Корм № 1	Корм № 2	Корм № 3	Корм № 4
Пигментированные	-0,8	-0,45	0,8	-0,12
Непигментированные	0,08	-0,19	0,53	-0,15

У непигментированной молоди трепанга положительная динамика темпов роста в течение всего времени эксперимента отмечена для групп животных, рецептура кормов которых содержала ДНК и смесь БАВ.

Морфометрические показатели молоди трепанга и его масса во многом зависят от скорости поглощения корма. Этот показатель также позволяет оценить эффективность использовавшихся нами кормов. Результаты проведенного нами эксперимента показывают, что скорость поглоще-

ния корма пигментированной и непигментированной молодью трепанга значительно различались: непигментированная молодь трепанга поглощала контрольного корма в 2,8 раза больше, чем группа пигментированного трепанга (табл. 3).

Таблица 3

Скорость поглощения разного корма молодью трепанга, ( $\text{г}^{-1} \text{сут}^{-1}$ )

Изучаемая группа животных	Корм № 1	Корм № 2	Корм № 3	Корм № 4
Пигментированные	$0,27 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,02$	$0,25 \pm 0,03$
Непигментированные	$0,7 \pm 0,06$	$1,82 \pm 0,08$	$0,69 \pm 0,04$	$0,71 \pm 0,05$

Следует отметить, что внесение ДНК в рецептуру корма для пигментированного трепанга не оказывало влияния на скорость его поглощения по сравнению с контролем. В то же время внесение в рецептуру корма гаммаруса и смеси БАВ приводило к снижению скорости его поглощения в 1,8–1,9 раза по сравнению с контрольной группой. У непигментированного трепанга увеличение скорости поглощения корма отмечалось только при введении в корм добавки гаммаруса. В этом случае скорость поглощения корма по сравнению с контролем возрасла в 2,6 раза.

### Заключение

Исследования других авторов свидетельствуют о том, что в контролируемых оптимальных для выращивания молоди трепанга условиях содержания критическим фактором роста является качество корма [2, 5, 11, 12]. Проведенное исследование показало, что молодь пигментированного и непигментированного трепанга, питавшаяся обычным кормом, не содержащим биологически активных добавок, развивалась одинаково: масса тела экспериментальных животных обеих групп снижалась на 1-й и 2-й месяц эксперимента и увеличивалась к окончанию 3-го месяца до значений, близких к их исходной массе. Показатели выживаемости пигментированной и непигментированной молоди так же были близки.

Введение в рецептуру корма высокобелковой добавки (гаммарус) не влияло на эти особенности развития и изменение массы животных в течение всего эксперимента. Оно было близко к таковым у животных обеих контрольных групп. Однако у непигментированного трепанга при применении данного корма процент выживших животных был ниже, чем в соответствующей контрольной группе, а для пигментированных животных на 22,7% выше.

Различное действие БАВ было отмечено при применении корма с добавлением ДНК (корм № 1). Так, у пигментированной молоди трепанга максимальный эффект отмечался в конце 2-го месяца эксперимента, у непигментированной – к концу 3-го месяца.

Применение корма с внесением смеси БАВ показало эффективность данной рецептуры только на 3-й месяц эксперимента. При этом масса тела молоди трепанга по сравнению с таковой в начале эксперимента увеличилась на 216,7–222,2%. Преимущество этого вида корма подтверждается и более высокими показателями темпов роста молоди трепанга, содержавшейся на корме с добавлением смеси БАВ.

Проведенное исследование показало, что поглощение непигментированными и пигментированными животными обычного корма ( $\text{г}^{-1} \text{сут}^{-1}$ ) значительно различалось. У первой группы особей оно было в 2,8 раза больше, чем у второй.

Следует отметить, что введение в рецептуру корма ДНК не оказывало влияния на его поглощение молодью пигментированной трепанга. В то же время введение в рецептуру белковой добавки (гаммарус) и смеси БАВ вызывало снижение количества поглощаемых кормов в 1,8 и 1,9 раза соответственно. Аналогичная ситуация при выращивании непигментированной молоди трепанга имела место и при использовании корма со смесью БАВ.

Явление снижения скорости поглощения корма в ответ на увеличение в рационе корма органического вещества от 8 до 74% уже отмечали зарубежные ученые [2, 5]. В нашем эксперименте у непигментированной молоди трепанга было зарегистрировано увеличение этого показателя при ее вскармливании кормом с добавкой гаммаруса. Разница с аналогичными по окрасу животными, питавшимися кормом № 4 без добавок БАВ, составляла 2,6 раза.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными других авторов [13]. Они свидетельствуют о том, что повышение в корме органического вещества до 20%, при его содержании в естественной среде обитания 4%, приводит к увеличению поглощения молодью трепанга питательных веществ.

Таким образом, проведенное исследование расширило представление об особенностях искусственного выращивания молоди пигментированного и непигментированного трепанга. Оно позволяет говорить о том, что повышение доступности органических (питательных) веществ в корме мальков трепанга приводит к увеличению темпов их роста только на определенной стадии развития. Однако использование обогащенных кормов в товарной культуре молоди *A. japonicas* потребует от рыбопромышленников соблюдения тщательного режима кормления молоди трепанга на ранних стадиях развития, а также контроля состояния среды во избежание чрезмерной ее элиминации при загрязнении воды разложившейся органикой при недоиспользовании пищи.

### Литература

1. Slater M.J., Carton, A.G. Survivorship and growth of the sea cucumber *Australostichopus* (*Stichopus*) *mollis* (Hutton 1872) in polyculture trials with green-lipped mussel farms // *Aquaculture*. – 2007. – V. 272. – P. 389–398.
2. The influence of diets containing dried bivalve feces and/or powdered algae on growth and energy distribution in sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) (Echinodermata: Holothuroidea) / X. Yuan, H. Yang, Y. Zhou, Y. Mao, T. Zhang, Y. Liu // *Aquaculture*. – 2006. – V. 256. – P. 457–467.
3. The effect of different macroalgae on the growth of sea cucumbers (*Apostichopus japonicus* Selenka) / Y. Liu, S. Dong, X. Tian, F. Wang, Q. Gao // *Aquaculture Research*. – 2010. – V. 41(11). – P. 881–885.
4. Study on dietary protein and lipid requirement for sea cucumber, *Stichopus japonicas* / W. Zhu, K. Mai, B. Zhang, F. Wang, G. Xu // *Mar. Sci.* – 2005. – V. 3. – P. 54–8.
5. Effects of dietary sea mud and yellow soil on growth and energy budget of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) / Y. Liu, S. Dong, X. Tian, F. Wang, Q. Gao // *Aquaculture*. – 2009. – V. 286. – P. 266–270.
6. Effects of dietary nucleotides on growth, non-specific immune response and disease resistance of sea cucumber *Apostichopus japonicus* / Z. Wei, L. Yi, W. Xu, H. Zhou, Y. Zhang, W. Zhang, K. Mai // *Fish & Shellfish Immunology*. – 2015. – Vol. 47, iss. 1. – P. 1–6.
7. Dietary supplements of guanosine improve the growth, nonspecific immunity of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka, and its resistance against *Vibrio splendidus* / X.R. Chen, K.S. Mai, W.B. Zhang, B.P. Tan, Y.H. Yuan, Q.C. Wang, H.O. Liang, L.M. Zhao // *Aquaculture Nutrition* – 2018. – V. 24. – P. 571–578.
8. РЫБПРОМ: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов / А.В. Подкорытова, Н.В. Семикова, А.И. Литвиненко, О.В. Козлов. – 2010. – № 4. – С. 60–63.
9. Корляков В.А., Шапошников В.В. Некоторые данные по химическому составу гаммаруса озера Кадкуль (Челябинская область) // *Вестник молодых ученых и специалистов Челябинской области*. – 2017. – Т. 1, № 4 (19). – С. 3–4.
10. Касьяненко Ю.И., Пивненко Т.Н. Сравнительные физико-химические характеристики низкомолекулярной дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) из морских гидробионтов // *Известия ТИПРО*. – 1999. – Т. 125. – С. 152–158.
11. Preliminary study of the optimum dietary ascorbic acid level in sea cucumber *Apostichopus japonicas* / O.E. Okorie, S.H. Ko., S. Go, S. Lee, J.Y. Bae, K. Han, S.C. Bai // *J. World Aquacult. Soc.* – 2008. – V. 39. – P. 758–765.
12. Giraspy D.A.B., Ivy G. The influence of commercial diets on growth and survival in the commercially important sea cucumber *Holothuria scabra* var. *versicolor* (Conand, 1986) (Echinodermata: Holothuroidea) // *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*. – 2008. – V. 28. – P. 46–52.
13. Zamora L.N., Jeffs A.G. Feeding, selection, digestion and absorption of the organic matter from mussel waste by juveniles of the deposit-feeding sea cucumber, *Australostichopus mollis* // *Aquaculture*. – 2011. – V. 2. – P. 1–6.

### Информация об авторе Information about the author

Лескова Светлана Евгеньевна – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; 690087, Владивосток; кандидат биологических наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры; svetaleskova@mail.ru

**Leskova Svetlana Evgen'evna** – Far Eastern State Technical Fisheries University; 690087, Vladivostok; Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Aquatic Bioresources and Aquaculture Chair; svetaleskova@mail.ru

**Ковалев Николай Николаевич** – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; 690087, Владивосток; главный научный сотрудник НИИ инновационных биотехнологий, доктор биологических наук; kovalevnn61@yandex.ru

**Kovalev Nikolai Nikolaevich** – Far Eastern State Technical Fisheries University; 690087, Vladivostok; Chief Researcher, Research Institute of Innovative Biotechnologies, Doctor of Biological Sciences; kovalevnn61@yandex.ru

**Позднякова Юлия Михайловна** – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; 690087, Владивосток; директор НИИ инновационных биотехнологий; кандидат технических наук; pozdnyakova.julia@yandex.ru

**Pozdnyakova Yulia Mikhailovna** – Far Eastern State Technical Fisheries University, 690087, Vladivostok; Director of Research Institute of Innovative Biotechnology; Candidate of Technical Sciences; pozdnyakova.julia@yandex.ru

**Михеев Евгений Валерьевич** – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; 690087, Владивосток; старший научный сотрудник НИИ инновационных биотехнологий, кандидат технических наук; zhenyasuper79@mail.ru

**Mikheev Evgeny Valer'evich** – Far Eastern State Technical Fisheries University; 690087, Vladivostok; Senior Researcher of Research Institute of Innovative Biotechnology, Candidate of Technical Sciences; zhenyasuper79@mail.ru

**Есипенко Роман Владимирович** – Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; 690087, Владивосток; младший научный сотрудник НИИ инновационных биотехнологий, кандидат технических наук; azt@bk.ru

**Esipenko Roman Vladimirovich** – Far Eastern State Technical Fisheries University; 690087, Vladivostok; Junior Researcher, Research Institute of Innovative Biotechnology, Candidate of Technical Sciences; azt@bk.ru

УДК 577.1:582.26

**Ж.В. Маркина, Н.А. Айздайчер****ПОПУЛЯЦИОННЫЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОДНОКЛЕТОЧНОЙ ВОДОРОСЛИ *THALASSIOSIRA PSEUDONANA* (BACILLARIOPHYTA) В УСЛОВИЯХ ПОНИЖЕННОЙ СОЛЕННОСТИ И ДОБАВЛЕНИЯ КАДМИЯ**

Исследовано влияние кадмия в концентрациях 10, 30 и 50 мкг/л в сочетании с разной соленостью (32, 24 и 16‰) на диатомею *Thalassiosira pseudonana*. Показано, что соленость 32‰ и добавление 50 мкг/л кадмия незначительно стимулировало рост микроводоросли на седьмые сутки опыта. Уменьшение солености до 16‰ при добавлении кадмия во всех концентрациях вызывало отставание роста популяции и снижение флуоресценции хлорофилла *a*. Внесение кадмия в среду и соленость 24 и 16‰ провоцировали уменьшение доли крупных клеток, внутренняя структура клеток упрощалась. Содержание нейтральных липидов увеличивалось при воздействии пониженной солености и металла. Зарегистрированные эффекты носили дозозависимый характер. В сочетании факторов кадмий и пониженная соленость определяющую роль играет соленостный режим.

**Ключевые слова:** *Thalassiosira pseudonana*, кадмий, соленость, флуоресценция хлорофилла *a*, активные формы кислорода, нейтральные липиды, проточная цитометрия.

**Zh.V. Markina, N.A. Aizdaicher****UNICELLULAR MICROALGAE *THALASSIOSIRA PSEUDONANA* (BACILLARIOPHYTA) POPULATION AND PHYSIOLOGICAL CHANGES IN LOW SALINITY AND CADMIUM POLLUTED CONDITIONS**

Cadmium influence in concentrations 10, 30 and 50 mkg/L combined with different salinity (32, 24 and 16‰) on diatom *Thalassiosira pseudonana* was investigated. The salinity 32‰ with adding 50 mkg/L of cadmium slightly stimulated microalgae growth on the 7th day of experiment. The salinity reduction to 16‰ combined with all cadmium concentrations led to growth inhibition and chlorophyll *a* fluorescence diminishing. Cadmium addition to medium with salinity 24 and 16‰ provoked decreasing of larger cells, inner cells structure simplified. Neutral lipids content increased under low salinity and metal addition. The registered effects were dose-dependent. Within the combination of cadmium and low salinity factors the salinity regime plays a decisive role.

**Key words:** *Thalassiosira pseudonana*, cadmium, salinity, chlorophyll *a* fluorescence, reactive oxygen species, neutral lipids, flow cytometry.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-49-57-64

**Введение**

Среди широкого спектра экологических факторов соленость, наряду с температурой и освещенностью, является одним из первостепенных для водных растений [1]. В связи с этим, несмотря на накопленный фактический материал, исследования действия данного экологического фактора на живые системы остаются актуальными. В настоящее время к природным факторам добавились антропогенные. Кадмий является одним из наиболее опасных загрязняющих веществ [2]. Как и все металлы, он персистентен, что приводит к его распространению в водах Мирового океана, передаче по пищевым цепям [3, 4].

**Фитопланктонные одноклеточные водоросли.** Одноклеточные водоросли – основа пищевых цепей и главный источник кислорода для животных пелагиали. Диатомовые водоросли рода *Thalassiosira* – одни из доминантов фитопланктона морских умеренных вод на протяжении всех сезонов года и способны вызывать «цветения» [5]. Представители данного рода легко поддерживаются в лабораторной культуре, что также обуславливает их применение в качестве объектов исследования [6–9].

Стрессовое воздействие далеко не всегда приводит к элиминации вида из экосистемы, однако вызывает изменение его численности, морфологии и физиологических реакций. У микроводорослей, как у всех растительных организмов, первый отклик дает фотосинтетический аппарат.

В качестве показателя, характеризующего состояние фотосинтетического аппарата, традиционно используется флуоресценция хлорофилла *a*, отражающая эффективность протекания процесса фотосинтеза [10].

Действие неблагоприятных факторов индуцирует интенсивное выделение активных форм кислорода (АФК). Они вызывают повреждение мембран клетки в результате дезинтеграции белков и перекисного окисления липидов, поэтому определение содержания АФК часто входит в протоколы исследований воздействий тяжелых металлов [11, 12]. В то же время есть сведения, что АФК выступают как сигнальные молекулы, индуцирующие и регулирующие многие физиологические процессы, в том числе синтез нейтральных липидов. Данный класс липидов играет роль в адаптации к неблагоприятным факторам среды, выполняет запасающую функцию и, как правило, накапливается при стрессовых условиях разной природы [13, 14].

В практике исследования факторов среды на одноклеточные водоросли все чаще используется проточная цитометрия. Данный метод позволяет учесть численность клеток и их размерную структуру, оценить физиологическое состояние и биохимический состав микроводорослей. При этом он обеспечивает быстрое получение необходимых данных и оказывает минимальное инвазивное воздействие на культуру вследствие небольшого объема отбираемого образца [15].

Цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния кадмия при разных соленостных режимах на динамику численности, размерную структуру, флуоресценцию хлорофилла *a*, содержание активных форм кислорода и нейтральных липидов у морской планктонной диатомеи *Thalassiosira pseudonana*.

### Материалы и методы

Объектом исследования служила культура одноклеточной водоросли *Thalassiosira pseudonana* Hasle & Heimdal (Bacillariophyta). Водоросли выращивали на среде *f/2*, приготовленной на основе фильтрованной и стерилизованной морской воды в 250 мл колбах Эрленмейера с объемом культуральной среды 100 мл, при температуре 18°C, интенсивности освещения 70 мкмоль/м<sup>2</sup>·с в области видимого света и свето-темновым периодом 14 ч свет : 10 ч темнота [16]. В качестве инокулята использовали культуры на экспоненциальной стадии роста. Начальная концентрация клеток микроводоросли во всех опытах составляла  $5 \cdot 10^4$  кл/мл.

В экспериментах исследовали действие морской воды соленостью 32, 24 и 16‰. Воду необходимой солености получали путем разведения морской воды дистиллированной [1]. Соленость измеряли на электросолемере ГМ-65М.

Кадмий добавляли в виде раствора  $3\text{CdSO}_4 \times 8\text{H}_2\text{O}$ , концентрации (10, 30 и 50 мкг/л) пересчитаны на ионы кадмия. Пробы для анализа отбирали через 3 и 7 суток опыта. Согласно российским нормативам в морской воде ПДК кадмия составляет 10 мкг/л, загрязнение относится к категории «высокое» при его содержании 30 мкг/л, «экстремально высокое» – 50 мкг/л. Данные концентрации регулярно регистрируются в прибрежных водах России, особенно в акваториях морских портов [17]. В связи с этим в настоящей работе использовались перечисленные выше уровни содержания металла.

Измерения всех показателей проведены на проточном цитометре CytoFLEX (Beckman Coulter, США). Для анализа записано 10 000 событий (регистрируемых в пробе частиц) в течение каждого измерения. Выбор клеток водорослей из общего числа событий, регистрируемых цитометром, проводили по флуоресценции хлорофилла *a* [18].

Диаметр клеток определяли с помощью калибровочных бусин (Molecular Probes, США) по показателю прямого светорассеяния. Значения показателя бокового светорассеяния использовали для относительной оценки внутренней структуры клеток [10, 15].

Интенсивность флуоресценции хлорофилла *a* регистрировали на длине волны 690 нм, длина волны возбуждения составляла 488 нм [18]. Для определения продукции активных форм кислорода (АФК) использовали флуоресцентный краситель 2',7'-дихлородигидрофлуоресцеин диацетат, окрашивание проводили в течение одного часа при комнатной температуре в темноте, показатель флуоресценции его окисленного и диацетилированного продукта определяли на длине волны 525 нм, длина волны возбуждения 488 нм [19]. Содержание нейтральных липидов определяли по флуоресценции флуорохрома Nile Red, окрашивание проводили в течение 15 мин при комнатной температуре в темноте, длина волны возбуждения – 488 нм, испускания – 580 нм [20].

Эксперименты продолжительностью семь суток проведены в трех биологических повторностях, данные выражали в процентах к контролю. За контроль принимали показатели, полученные при солености 32‰ без добавления кадмия. На графиках представлены средние значения и стандартные отклонения.

### Результаты и обсуждение

Число клеток микроводоросли *T. pseudonana* при солености 32‰ и концентрациях 10 и 30 мкг/л  $Cd^{2+}$  не отличалось от такового в контроле в течение опыта, а при 50 мкг/л снижалось на третьи сутки и восстанавливалось к завершению эксперимента (рис. 1, а).

Понижение солености до 24‰ без добавок приводило к некоторому замедлению роста через трое суток, а при увеличении экспозиции до конца опыта численность клеток была как при 32‰ (см. рис. 1, б). Внесение кадмия во всех концентрациях при солености 24‰ стимулировало рост микроводоросли на третьи сутки, а через семь суток численность клеток была незначительно ниже контрольной. В чистой среде при 16‰ рост водоросли был такой же, как и при 24‰, а с добавлением кадмия он замедлялся и эффект возрастал с увеличением концентрации металла (см. рис. 1, в). У диатомеи *Chaetoceros gracilis* и гаптофиты *Isochrysis* sp. снижение числа клеток в два раза происходило при концентрациях 2 370 и 490 мкг/л соответственно [21], динофлагелляты *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* при 1 000 мкг/л [22], гаптофиты *Phaeocystis antarctica* – 30 мкг/л [23]. Однако данное сравнение справедливо при солености 32‰, так как ранее исследования действия кадмия в сочетании с соленостным фактором не проводились.

При солености 32‰ без добавления кадмия на третьи сутки в популяции преобладали клетки диаметром 2–4 мкм (рис. 2, а); на седьмые сутки их доля существенно уменьшалась, преобладали клетки 5–6 мкм, увеличивалась доля клеток 7–10 мкм (см. рис. 2, б). Внесение кадмия, особенно в концентрации 50 мкг/л, приводило к небольшому снижению количества самых крупных клеток и увеличению – с диаметром 2–4 мкм. Уменьшение солености до 24 и 16‰ вызывало увеличение доли клеток диаметром 2–4 мкм до 80% на третьи сутки и снижение на седьмые (см. рис. 2, в – е). Сходная тенденция наблюдалась при всех уровнях содержания токсиканта.

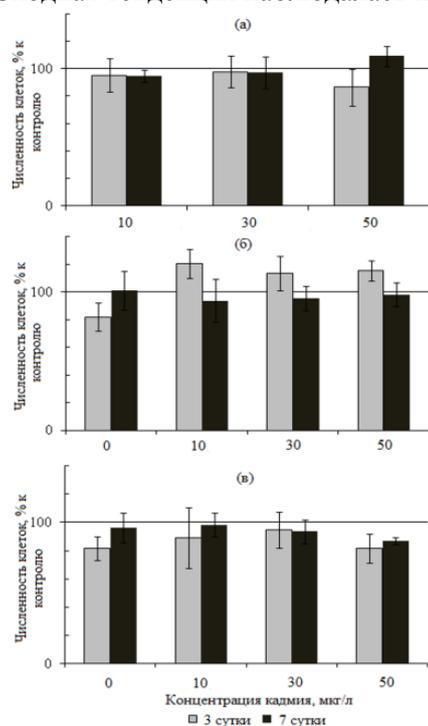


Рис. 1. Численность клеток *Thalassiosira pseudonana* (% к контролю) при разных соленостных режимах и содержании кадмия в среде: а – соленость 32‰; б – соленость 24‰; в – соленость 16‰

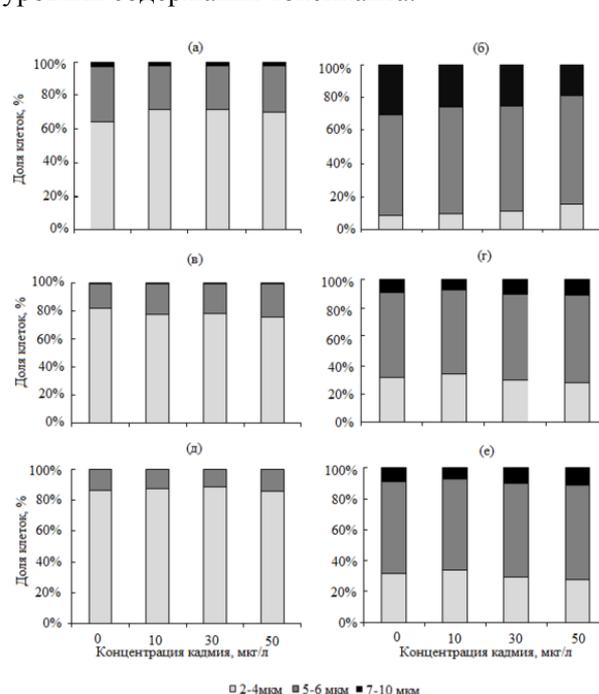


Рис. 2. Размерная структура популяции *Thalassiosira pseudonana* при разных соленостных режимах и содержании кадмия в среде: а – соленость 32‰, третьи сутки опыта; б – соленость 32‰, седьмые сутки опыта; в – соленость 24‰, третьи сутки опыта; г – соленость 24‰, седьмые сутки опыта; д – соленость 16‰, третьи сутки опыта; е – соленость 16‰, седьмые сутки опыта

Измельчание клеток, отмеченное в наших опытах, при одновременном сохранении численности популяции на уровне контроля, по-видимому, связано с поддержанием темпов деления клеток, когда часть энергии уходит на адаптацию к неблагоприятным условиям. Однако на формирование клеток полноценного размера энергии недостаточно [24]. Предположено, что измельчание клеток – универсальный механизм адаптации диатомовых к пониженной солености [25]. Также показано, что клетки зеленой микроводоросли *Chlamydomonas reinhardtii* увеличиваются в размерах [10], а у зеленой *Scenedesmus quadricauda* и некоторых синезеленых остаются неизменными даже при концентрации кадмия 5 000 мкг/л [26]. Вероятно, при сочетании факторов солености и кадмия в концентрациях до 50 мкг/л изменение диаметров клеток *P. pseudonana* детерминируется соленостью среды.

Показатель бокового светорассеяния был ниже контрольного при солености 32‰ и внесении кадмия во всех концентрациях (рис. 3, а). При солености 24 и 16‰, в том числе и с добавлением металла, этот показатель еще больше уменьшался (см. рис. 3, б, в).

Снижение показателя бокового светорассеяния свидетельствует об упрощении внутренней структуры клеток, в том числе о появлении большого числа вакуолей, лизосом, разрушении оргanelл [27]. На *Chlorella sorokiana* показано, что при интоксикации кадмием происходит вакуолизация клетки, разрежение тилакоидов, уменьшается и даже совсем исчезает пиреноид [28, 29]. У зеленой водоросли *Chlamydomonas reinhardtii*, напротив, происходило увеличение показателя бокового светорассеяния, что авторы связали с накоплением кадмия в вакуолях [10]. Концентрации до 50 мкг/л Cd<sup>2+</sup>, по-видимому, не вызывают его накопления внутри клеток, а экскретируются в среду или накапливаются в клеточной оболочке.

У *T. pseudonana* флуоресценция хлорофилла *a* не отличалась от контрольной при солености 32‰ и содержании 10 и 30 мкг/л Cd<sup>2+</sup>, а в сочетании с концентрацией 50 мкг/л Cd<sup>2+</sup> зарегистрировано снижение показателя на седьмые сутки (рис. 4, а). В условиях понижения солености до 24 и 16‰ наблюдались сходные изменения: флуоресценция хлорофилла *a* была меньше таковой в контроле, и чем ниже была соленость, тем изменения этого показателя были более выраженными (см. рис. 4, б, в).

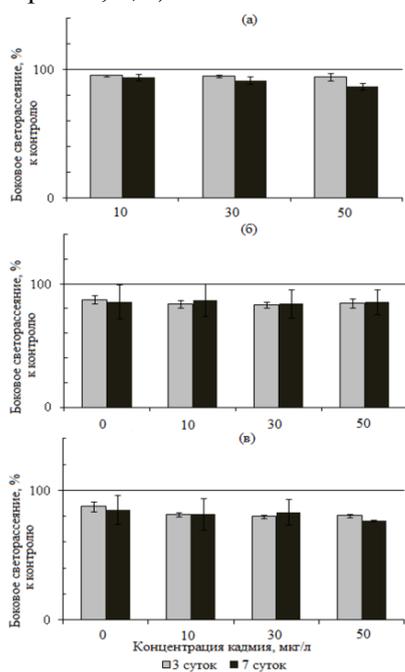


Рис. 3. Показатель бокового светорассеяния клеток *Thalassiosira pseudonana* (% к контролю) при разных соленостных режимах и содержании кадмия в среде: а – соленость 32‰; б – соленость 24‰; в – соленость 16‰

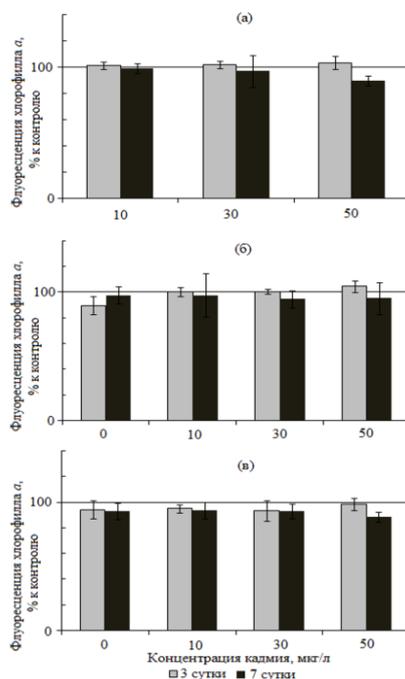


Рис. 4. Флуоресценция хлорофилла *a* у *Thalassiosira pseudonana* (% к контролю) при разных соленостных режимах и содержании кадмия в среде: а – соленость 32‰; б – соленость 24‰; в – соленость 16‰

Таким образом, флуоресценция хлорофилла *a* снижалась незначительно при всех уровнях содержания кадмия, что позволяет заключить о его слабом токсическом влиянии в концентрациях 10–50 мкг/л на фотосинтетические процессы *T. pseudonana*. Причиной снижения показателя

флуоресценции, как было неоднократно показано ранее, может быть также снижение содержания хлорофилла *a* под действием кадмия [11, 28].

Содержание АФК при солености 32 и 24‰ в сочетании с кадмием возрастало на седьмые сутки, эффект носил дозозависимый характер (рис. 5, *a, б*). Напротив, при солености 16‰ и всех концентрациях вещества уровень АФК значительно увеличивался через трое суток, а к седьмым понижался до контрольного (см. рис. 5, *в*).

Известно, что кадмий, как стрессовый фактор, способен вызывать накопление нейтральных липидов, особенно триацилглицеридов, выполняющих защитную функцию у микроводорослей [30]. В наших экспериментах содержание нейтральных липидов при солености 32‰ и присутствии кадмия в концентрации 10 мкг/л не отличалось от значений в контроле на всем протяжении опыта (см. рис. 6, *a*). Добавление кадмия в концентрациях 30 и 50 мкг/л как при 32, так и 24‰ на третьи сутки превышало значения в контроле, а на седьмые оно уменьшалось (см. рис. 6, *a, б*). При солености 16‰ этот показатель не отличался от контрольного уровня через трое суток, а на седьмые сутки возрастал (рис. 6, *в*). Ранее показано, что накопление нейтральных липидов уменьшается при высоком уровне АФК [31]. Данное наблюдение подтверждается и проведенными в нашей работе экспериментами: соленость 24 и 16‰ при увеличении содержания АФК приводила к снижению нейтральных липидов.

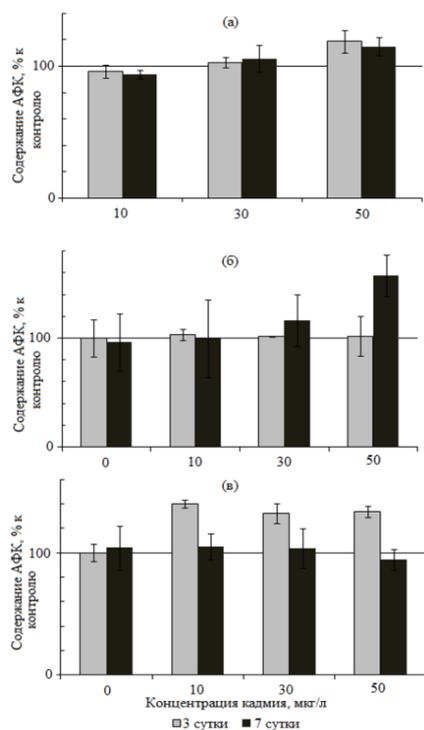


Рис. 5. Содержание активных форм кислорода (АФК) в клетках *Thalassiosira pseudonana* (% к контролю) при разных соленостных режимах и содержании кадмия в среде: *a* – соленость 32‰; *б* – соленость 24‰; *в* – соленость 16‰

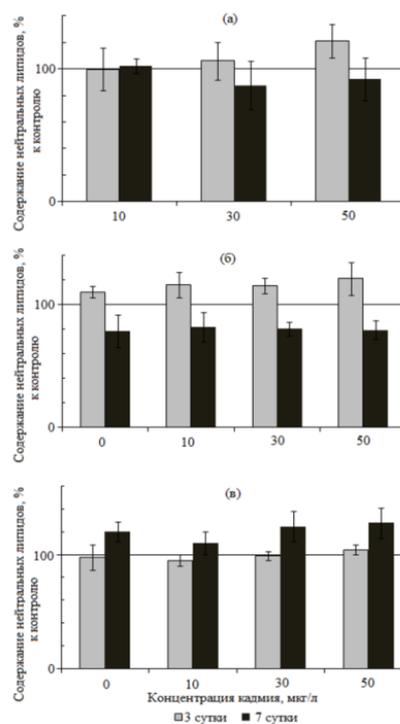


Рис. 6. Содержание нейтральных липидов в клетках *Thalassiosira pseudonana* (% к контролю) при разных соленостных режимах и содержании кадмия в среде: *a* – соленость 32‰; *б* – соленость 24‰; *в* – соленость 16‰

Таким образом, кадмий оказывает наименьшее влияние на микроводоросль при концентрациях до 30 мкг/л и солености 32‰. Ранее в обзоре Джамали с соавторами [32] отмечено, что действие кадмия на микроводоросли зависит от условий среды. Проведенные в настоящей работе опыты показали, что добавление данного вещества в сочетании с понижением солености вызывает негативные изменения у микроводоросли *T. pseudonana* как на популяционном уровне, что выражается в сокращении численности клеток, так и на клеточном уровне (изменения внутренней структуры клеток, диаметра, флуоресценции хлорофилла *a*, содержания АФК и нейтральных липидов). В то же время необходимо отметить, что понижение солености без изменения других факторов также приводит к вышеуказанным эффектам, однако менее выраженным. Таким образом, можно сделать вывод, что в совокупности факторов кадмий в концентрациях 10–50 мкг/л и соленостный режим определяющим является последний.

Несмотря на изменение внутренней структуры клеток, рост *T. pseudonana* несущественно отличался от контрольного при внесении кадмия и понижении солености до 24‰, следовательно, микроводоросль способна к воспроизведению даже при внутриклеточных нарушениях. Возможно, это связано с уменьшением диаметра клеток, которые при неблагоприятных условиях способны перестраивать метаболизм для поддержания численности на максимально возможном уровне.

Проведенные исследования показали, что кадмий в концентрациях 10 и 30 мкг/л оказывает слабое отрицательное воздействие на рост и физиологическое состояние микроводоросли *T. pseudonana* при солености 32‰. Повышение содержания вещества до 50 мкг/л, а также его присутствие в концентрациях 10–50 мкг/л при солености 24 и 16‰ вызывало большее снижение числа клеток и уменьшение флуоресценции хлорофилла *a* к завершению опыта. Внесение кадмия в среду, понижение солености, а также сочетание данных факторов индуцировали изменение размерной структуры популяции: в ней уменьшалась доля клеток диаметром 7–10 мкм и возрастало количество более мелких клеток. В присутствии в среде кадмия и изменении соленостного режима происходило упрощение внутренней структуры клеток.

Авторы признательны ресурсному центру «Морской биобанк» ННЦМБ ДВО РАН (<http://marbank.dvo.ru>) за предоставление культуры *Thalassiosira pseudonana* Hasle & Heimdal (Bacillariophyta) штамм MBRU\_TSP-02. Проточно-цитометрический анализ выполнен в ННЦМБ ДВО РАН, авторы искренне благодарят сотрудников Лаборатории клеточных технологий за помощь в работе.

### Литература

1. Fu F.-X., Bell P.R.F. Effect salinity on growth, pigmentation, NO<sub>2</sub> fixation and alkaline phosphatase activity of cultured *Trichodesmium* sp. // Mar. Ecol. Progr. Ser. – 2003. – V. 257. – P. 69–76.
2. Nagajyoti P.S., Lee K.d., Sreekanth T.V.M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review // Environ. Chem. Lett. – 2010. – V. 8. – P. 199–216.
3. Burungi I.S., Chirwa E.M.N. Bioreduction of thallium and cadmium toxicity from industrial wastewater using microalgae // Chem. Engineering transaction. – 2017. – V. 57. – P. 1183–1188.
4. Penen F., Isaure M.P., Dobritzsch D. et al. Pools of cadmium in *Chlamydomonas reinhardtii* revealed by chemical imaging and XAS spectroscopy // Metallomics. – 2017. – V. 7. – P. 910–923.
5. *Thalassiosira* species (Bacillariophyceae, Thalassiosirales) in the North Sea at Helgoland (Greenman Bight) and Sylt (North Frisian Wadden Sea) – a first approach to assessing diversity / M. Hoppenrath, B. Beszter, G. Drebes, H. Halliger et al. // European J. Phycology. – 2007. – V. 42. – P. 271–288.
6. Alverson A.J., Beszteri B., Julims M.L. et al. The model marine diatom *Thalassiosira pseudonana* likely descended from of freshwater ancestor in the genus *Cyclotella* // Evolutionary Biology. – 2011. – V. 11. – P. 125–133.
7. Baek S.H., Jung S.W., Shin K. Effect temperature and salinity on growth of *Thalassiosira pseudonana* (Bacillariophyceae) isolated from ballast water // Journal of Freshwater Ecology. – 2011. – V. 26. – P. 547–552.
8. Clement R., Lignon S., Mansuelle P. et al. Responses of the diatom *Thalassiosira pseudonana* to changes in CO<sub>2</sub> concentration: a proteomic approach // Scientific Reports. – 2016. – V. 11. – P. 1–12.
9. Yung M.M.N., Kwok K.W.H., Djuricic A.B. et al. Influences of temperature and salinity of physicochemical properties and toxicity of zinc oxide nanoparticles to the marine diatom *Thalassiosira pseudonana* // Scientific Reports. – V. 7. – 2016. – P. 1–9.
10. Jamers A., Lenjou M., Deraedt P. et al. Flow cytometric analysis of the cadmium exposed green alga *Chlamydomonas reinhardtii* (Chlorophyceae) // Europ. J. Phycol. – 2009. – V. 44(4). – P. 541–550.
11. Cheng J., Qui H., Chang Z. et al. The effect of cadmium on the growth and antioxidant response for fresh water algae *Chlorella vulgaris* // Springer Plus. – 2016. – V. 5. – P. 1290–1298.
12. Romano R.L., Lirice C.W., Machini W.T. et al. Cadmium decreases the levels of glutathione and enhances the phytohelatin in the marine dinoflagellate *Lingulodinium polyedrum* // J. Appl. Phycol. – 2017. – V. 29. – P. 811–820.
13. Соловченко А.Е. Физиологическая роль накопления нейтральных липидов эукариотическими микроводорослями при стрессах // Физиол. раст. – 2012. – Т. 59. – С. 192–202.
14. Puc M., Cai Y., Greer M.S. et al. Tuning over a new leaf in lipid droplet biology // Trends in PlantScience. – 2017. – V. 22. – P. 596–609.

15. *Huka P., Lickova S., Pribyl P. et al.* Flow cytometry for development of biotechnological processes with microalgae // *Biotechnol. Adv.* – 2013. – V. 31. – P. 2–16.
16. *Орлова Т.Ю., Айздайчер Н.А., Стоник И.В.* Лабораторное культивирование морских микроводорослей, включая продуцентов фитотоксинов: научно-методическое пособие. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 89 с.
17. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2016 / под ред. А.Н. Коршенко. – М.: Наука, 2017. – 190 с.
18. *Read D.S., Bowes M.J., Newbold L.R. et al.* Weekly flow cytometric analysis of riverine phytoplankton to determine seasons bloom dynamics // *Environ. Sci.: Processes Impacts.* – 2014. – V. 16. – P. 594–603.
19. *Gomes A., Fernandes E., Lima J.F.L.C.* Fluorescence probes used for detection of reactive oxygen species // *J. Biochem. Biophys. Methods.* – 2005. – V. 65. – P. 45–80.
20. *Alemán-Nava G.S., Cuellar-Bermudez S.P., María Cuaresma R.B. et al.* How to use Nile Red, a selective fluorescent stain for microalgal neutral lipids // *J. Microbiol. Meth.* – 2016. – Vol. 128. – P. 74–79.
21. *Suranto S., Puspitasari R., Purbonegoro T. et al.* Copper and cadmium toxicity to marine phytoplankton, *Chaetoceros gracilis* and *Isochrysis* sp. // *Indones. J. Chem.* – 2015. – V. 15. – P. 172–178.
22. *Obena R.P., Arco S.R., Azanza R.V.* Pyrodinium bahamense var. compressum Bohöm survival in high and low cadmium levels // *Philippine J. Sci.* – 2017. – V. 146. – P. 287–292.
23. *Gissi F., Adams M.S., King C.K. et al.* A robust bioassay to assess the toxicity of metals to the Antarctic marine microalga *Phaeocystis antarctica* // *Environ. Toxicity Chem.* – 2015. – V. 34. – P. 1578–1587.
24. *Adanan N.S., Yusoff F.Md., Shariff M.* Effect of salinity and temperature on the growth of diatoms and green algae // *J. Fisher. Aquat. Sci.* – 2013. – V. 8. – P. 397–404.
25. *Svesson F., Norberg J., Shoeij S.P.* Diatom cell size, coloniality and motility: trade-offs between temperature, salinity and nutrient supply with climate change // *PLOS One* – 2014. – V. 9. – P. 1–17.
26. *Shanab S., Essa A., Shalaby E.* Bioremoval capacity of three heavy metals by some microalgae species (Egyptian Isolates) // *Plant Signal. Behavior.* – 2012. – V. 7. – P.1–8.
27. Протоочная цитометрия в медицине и биологии. 2-е изд., доп. и расшир. / *А.В. Зурочка, С.В. Хайдуков, И.В. Кудрявцев, В.А. Черешнев.* – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. – 576 с.
28. *La Rossa N., Andreoli C., Glacometti G.M. et al.* Responses of the Antarctic microalgal *Koliella antarctica* (Trebouxiphyceae, Chlorophyta) to cadmium contamination // *Photosynthetica.* – 2009. – V. 47. – P. 471–479.
29. *Carfanga S., Lanza N., Salbitani G. et al.* Physiological and morphological responses lead or cadmium exposed *Chlorella sorokiniana* 211-8k (Chlorophyceae) // *SpringerPlus.* – 2013. – V. 2. – P. 147.
30. *Zhu Q.L., Guo S.-N., Wen F. et al.* Transcriptional and physiological responses of *Dunaliella salina* to cadmium reveals time-dependent turnover of ribosome, photosystem, and ROS-scavenging pathways // *Aquat. Toxicol.* – 2019. – V. 207. – P. 153–162.
31. *Chia M.A., Lombardi A.T., Melão M.G.G. et al.* Lipid composition of *Chlorella vulgaris* (Trebouxiphyceae) as a function of different cadmium and phosphate concentrations // *Aquat. Toxicol.* – 2013. – V. 128. – P. 171–182.
32. *Jamali A.A., Akbari F., Ghorakhlu M.M. et al.* Applications of diatoms as potential microalgae in nanobiotechnology // *BioImpacts.* – 2012. – V. 2. – P. 83–89.

#### Информация об авторах Information about the authors

**Маркина Жанна Васильевна** – Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского, (ННЦМБ) ДВО РАН; 690041, Россия, Владивосток; кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории морской микробиоты; Дальневосточный федеральный университет; 690950, Россия, Владивосток; доцент кафедры биоразнообразия и морских биоресурсов; zhannav@mail.ru

**Markina Zhanna Vasilievna** – National Scientific Center of Marine Biology named after A.V. Zhirmunsky, FEB RAS; 690041, Russia, Vladivostok; Candidate of Biological Sciences, Researcher (Laboratory of Marine Microbiota); 690950, Russia, Vladivostok, Assistant Professor of Biodiversity and Marine Bioresources Chair; zhannav@mail.ru

**Айздайчер Нина Александровна** – Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского (ННЦМБ) ДВО РАН; 690041, Россия, Владивосток; кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории морской микробиоты; aizdaicher@mail.ru

**Aizdaicher Nina Alexandrovna** – National Scientific Center of Marine Biology named after A.V. Hirmunsky, FEB RAS, 690041, Russia, Vladivostok, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher (Laboratory of Marine Microbiota); aizdaicher@mail.ru

УДК 58.02:582.272.74

А.В. Климова, А.Н. Кашутин, Т.А. Клочкова

**РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ *FUCUS DISTICHUS* SUBSP. *EVANESCENS*  
(PHAEOPHYCEAE, FUCALES) В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ СОЛЕННОСТИ,  
ТЕМПЕРАТУРЫ И ФОТОПЕРИОДА**

Изучено влияние солёности, низких температур и короткого дня на развитие проростков бурой водоросли *Fucus distichus* subsp. *evanescens* в условиях лабораторных экспериментов. Наиболее активные рост и развитие проростков фукуса наблюдали при 10°C и 12-часовом световом периоде, их абсолютная скорость роста за весь период наблюдений составила 24,9 мкм/сут. Незначительное отставание в ростовых процессах отмечалось у проростков, выращиваемых при 8°C и в условиях короткого дня, скорость роста не превышала 19,5 мкм/сут. У эмбрионов в условиях низкой температуры среды (2°C) и короткого дня, несмотря на значительно медленный рост и задержку процессов дифференциации клеток, прирост длины был постоянным, средняя скорость роста составила 11,6 мкм/сут. Поскольку условия культивирования проростков были близкими к таковым в зимние месяцы, можно предположить, что у ювенильных растений *F. distichus* subsp. *evanescens* в умеренных широтах в холодное время года также происходит стабильный прирост длины. При этом их морфофункциональное развитие существенно замедленно. Проведенные эксперименты по выращиванию проростков *F. distichus* subsp. *evanescens* в изменяющихся условиях солёности показали, что их раннее развитие в пресной воде невозможно. Массовая гибель эмбрионов, развивающихся при температуре 10°C в условиях нулевой солёности, начинается на шестые сутки, полная гибель происходит на 15-е сутки. Проведенный эксперимент помогает объяснить некоторые наблюдаемые у побережья Камчатки особенности размножения и распределения фукуса.

**Ключевые слова:** абсолютная скорость роста, градиент температуры и солёности, фотопериод, ранние стадии развития, *Fucus distichus* subsp. *evanescens*, Камчатка.

A.V. Klimova, A.N. Kashutin, T.A. Kluchkova

**DEVELOPMENT OF GERMLINGS OF *FUCUS DISTICHUS* SUBSP. *EVANESCENS*  
(PHAEOPHYCEAE, FUCALES) UNDER CHANGING CONDITIONS OF SALINITY,  
TEMPERATURE AND PHOTOPERIOD**

The influence of salinity, low temperatures and short day on the development of germlings of *Fucus distichus* subsp. *evanescens* in conditions of laboratory experiments were studied. The most active growth and development of *Fucus* germlings was observed at 10°C and 12-hour light period; during the observation period, their absolute growth rate was 24,9 µm/day. A slight delay in growth was observed at 8°C and in a short-day condition, since the growth rate did not exceed 19,5 µm/day. In the embryos grown under conditions of low temperature (2°C) and short day, despite of significantly slower growth and delay of cell differentiation, the increase in length was constant and the average growth rate was 11,6 µm/day. Since our cultivation conditions were close to those in the winter months, we can assume that in temperate latitudes during cold season juvenile plants of *F. distichus* subsp. *evanescens* also have a steady increase in length. Moreover, their morphofunctional development is significantly slowed down. Experiments on the cultivation of seedlings of *F. distichus* subsp. *evanescens* under changing salinity conditions have shown that in the fresh water their early development was not possible. Mass death of the embryos developing at 10°C in conditions of zero salinity begins on the 6th day, complete death occurs on the 15th day. Our experiments would provide an explanation to some peculiarities of reproduction and distribution of *Fucus* in Kamchatka.

**Key words:** absolute growth rate, gradient of temperature and salinity, photoperiod, early developmental stages, *Fucus distichus* subsp. *evanescens*, Kamchatka.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-49-65-75

**Введение**

Бурая водоросль *Fucus distichus* Linnaeus широко распространена в водах Северного полушария [1–5]. Как правило, она является фонообразующим видом в литоральных сообществах Северного Ледовитого [6–9], Атлантического [3, 10] и Тихого океанов [11–13]. Широкое распро-

странение и доминирование в альгоценозах арктических и бореальных морей во многом связано со способностью этого вида адаптироваться к экстремальным условиям произрастания: в полярных и субполярных зонах к низкой температуре окружающей среды, дефициту света в условиях долгой полярной ночи [14] и значительному опреснению прибрежных вод [15]. Выживание фукуса в условиях нефтяного, металлического и любого другого загрязнения в условиях возрастающей антропогенной нагрузки обеспечивается его исключительной устойчивостью к разного рода поллютантам [16–18].

В дальневосточных морях России встречается только один из трех подвидов *F. distichus* – *F. distichus* subsp. *evanescens* [19–22]. Он характеризуется высокой скоростью роста и растянутым в течение всего года периодом размножения [16, 23, 24]. Так, наши недавние исследования меченых растений этого вида в Авачинском заливе (восточная Камчатка) показали, что максимальное значение скорости его роста может достигать 2,33 мм/сут [24]. При том, что фукус здесь размножается практически постоянно, период его наиболее массового размножения и оседания оплодотворенных клеток на грунт приходится на конец лета – начало осени. Менее активный процесс оседания зигот длится вплоть до наступления холодного периода. Проростки из осенней и позднеосенней генераций зигот приобретают размеры, видимые невооруженным взглядом, только к весне. Считается, что в холодное время года для многолетних бурых водорослей характерно снижение ростовых процессов и метаболической активности в целом [25], и они переходят в состояние «зимнего покоя» [26]. Однако специальные исследования, направленные на изучение развития ранних стадий жизненного цикла *F. distichus* subsp. *evanescens* в условиях низкой температуры и короткого светового дня, ранее не проводились.

В разных районах Мирового океана достаточно хорошо изучено развитие взрослых растений фукуса в разных условиях произрастания [27–30]. В работах разных авторов рассмотрено и влияние на его развитие высокого распреснения и показано, что общей тенденцией роста у всех представителей рода *Fucus*, населяющих водоемы с прогрессивно убывающей соленостью, является уменьшение размеров их талломов [31]. Для арктической популяции *F. distichus* установлено, что в мезогалинных условиях он может существовать только ограниченное время, не более трех недель [32], тогда как *F. vesiculosus* способен выдерживать опреснение до 2,5‰ [33]. Тем не менее соленость ниже критических величин (0,1–10‰) значительно уменьшает продолжительность жизни фукоидов [32].

У берегов Камчатки, в частности в Авачинском заливе, *F. distichus* subsp. *evanescens* нередко встречается в условиях значительного распреснения морских вод. Так, в летний период во время прилива вода, поступающая в Авачинскую губу из Тихого океана и распространяющаяся вдоль восточного побережья, заселенного фукусом, может иметь соленость 31–32‰, тогда как у западного берега, куда направлен сток крупных рек Авача и Паратунка, она может быть на порядок меньше. Пресные воды частично проникают и в расположенные в куту губы бухт Моховая и Сероглазка [34]. Соленость вод поверхностного слоя там летом периодически может снижаться до 4,9‰ [24]. Ее могут еще больше понижать обильные в летнее время атмосферные осадки. Это, безусловно, оказывает негативное воздействие на заросли фукуса и отражается на изменении возрастной структуры и плотности его поселений в местах постоянного воздействия пресных вод. Мы неоднократно наблюдали это в ходе изучения биологии развития *F. distichus* subsp. *evanescens* в Авачинской губе [35]. Вопрос о том, как влияют столь значительные перепады солености на раннее развитие проростков этого вида до наших исследований оставался неизученным.

Известно, что ранние стадии развития многолетних бурых водорослей являются уязвимыми к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды [31]. В то же время повсеместное массовое распространение *F. distichus* subsp. *evanescens* в дальневосточных морях демонстрирует наличие у него широкого диапазона адаптивных стратегий на всех стадиях жизненного цикла. С учетом того, что наиболее важными факторами, определяющими распределение морских бурых водорослей в шельфовой зоне, является продолжительность дня, температура и соленость воды, нами были проведены лабораторные эксперименты по их воздействию на развитие проростков фукуса в лабораторных культурах.

### Материалы и методы

Объектом исследования являлись проростки *F. distichus* subsp. *evanescens* от стадии двухклеточных эмбрионов до ювенильных растений размером 2 мм. Исходным материалом для вы-

сева зигот и получения эмбрионов послужили фертильные водоросли второго года жизни, собранные 25 декабря 2017 г. и 6 ноября 2018 г. в литоральной зоне бух. Сероглазка (Авачинская губа, юго-восточная Камчатка). Для получения зигот фукуса в лабораторных условиях использовали метод, описанный нами ранее [36]. В его основе лежит кратковременное неблагоприятное воздействие на зрелую фертильную ткань водорослей, что приводит к синхронному выходу из гаметангиев яйцеклеток и сперматозоидов [37, 38]. Оплодотворенные яйцеклетки содержали в чашках Петри. Их размеры составляли 68,5–86,5 мкм. Полученные таким методом монокультуры фукуса использовали для дальнейших экспериментов. Отсчет времени культивирования его проростков вели с момента размещения зигот в чашки Петри.

Среды для культивирования готовили на основе морской воды соленостью 28–32‰, отобранной в месте сбора маточных слоевищ *F. distichus*. Морскую воду перед использованием стерилизовали и обогащали необходимыми витаминами, микро- и макроэлементами, согласно протоколу для приготовления IMR-среды [39]. Заданные значения солености 10 и 20‰ получали путем разбавления морской воды дистиллированной, конечное содержание соли в средах измеряли с помощью ручного оптического рефрактометра Master-S/Mill M (Atago, Japan). В экспериментах по выращиванию фукуса в среде с разной соленостью использовали также дистиллированную воду, обогащенную указанными выше компонентами. Питательные среды меняли каждые 3–5 дней.

В зависимости от цели эксперимента культуры фукуса содержали в трех независимых инкубаторах при следующих значениях температуры и фотопериода: 2°C и короткий день (8 ч); 8°C и короткий день (8 ч); 10°C и фотопериод 12 ч света : 12 ч темноты. Интенсивность освещения во всех экспериментах была одинаковой и составляла 30 мкмоль·фотон·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>. Условия культивирования проростков фукуса приведены в таблице. Каждую серию экспериментов проводили в трех независимых повторностях. Для серий № 1–3 продолжительность культивирования составила 72 сут, в качестве контрольной группы использовали серию № 1. Выращивание проростков фукуса в среде с разной соленостью (серии № 4–7) продолжалось 21 сут, за контрольную группу применяли серию № 7.

#### Условия культивирования проростков *Fucus distichus* subsp. *evanescens*

##### Cultivation conditions of *Fucus distichus* subsp. *evanescens* germlings

Серия № Series №	Соленость, ‰ Salinity, ‰	Температура, °C Temperature, °C	Фотопериод, ч Photoperiod, hr	Длительность эксперимента, сут Duration of experiment, days
1	28	10	12 : 12	72
2		8	8 : 16	
3		2		
4	0	10	12 : 12	21
5	10			
6	20			
7	32			

Наблюдения за развитием эмбрионов и проростков *F. distichus* subsp. *evanescens* проводили с помощью стереомикроскопа Olympus SZX10 с цветной фотокамерой DP27 (Olympus, Japan). Определение их линейных размеров выполняли в программе CellSens Entry (Olympus, Japan). За общую длину проростков принимали сумму значений длины ризоидальной и талломической частей, длина гиалиновых волосков не учитывалась. Измерения проводили через каждые 3–5 сут. Объем выборки в каждой культивируемой группе составлял не менее 30 проростков. Полученные значения длины усредняли и высчитывали стандартное отклонение. Абсолютную скорость роста (AGR, мкм/сут) рассчитывали по стандартной формуле [40]:

$$AGR = \frac{(L_{обш})_2 - (L_{обш})_1}{t_2 - t_1},$$

где  $(L_{обш})_1$  – начальная и  $(L_{обш})_2$  – конечная длина проростка;  $(t_2 - t_1)$  – период времени между двумя последовательными измерениями, выраженный в сутках. Статистическую обработку и построение графиков выполняли в Microsoft Office Excel 2013.

Одновременно с измерениями линейных размеров проростков фукуса отмечали стадии их морфогенеза. Всего их было выделено 4 – эмбрионы, состоящие из 2–5 клеток (0); одно-

двухслойные эмбрионы с развитым ризоидом, длина которого превышает таковую талломической части (I); проростки с многослойной талломической частью (II); проростки, имеющие гиалиновые волоски (III). Детальное описание и иллюстрации ранних стадий развития камчатской популяции *F. distichus* subsp. *evanescens* приведены в нашей работе [36].

### Результаты и обсуждение

#### *Рост и развитие проростков F. distichus subsp. evanescens в условиях низких температур и короткого дня (серии экспериментов № 1–3)*

Для изучения воздействия температуры и продолжительности дня на развитие проростков *F. distichus* subsp. *evanescens* было выбрано три разных режима (см. таблицу), в целом соответствующих таковым в летние месяцы (серия № 1), весеннему и осеннему периодам (серия № 2) и холодному времени года (серия № 3).

Развитие проростков в сериях № 1–3 в течение всего эксперимента протекало нормально, без видимых нарушений формирования у них клеток и соотношения длины ризоидальной и талломической частей. Наиболее активный рост прослеживался у проростков контрольной группы (серия № 1), культивируемых при 10°C и фотопериоде 12 ч света : 12 ч темноты (рис. 1, а).

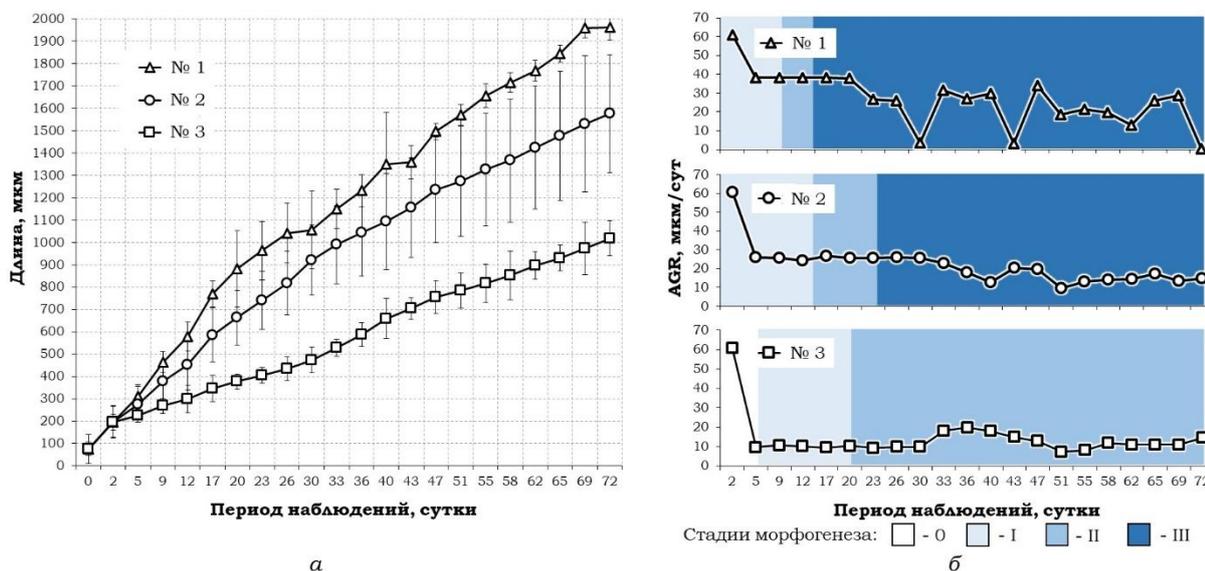


Рис. 1. Развитие проростков *Fucus distichus* subsp. *evanescens* в лабораторных условиях при разной температуре и продолжительности дня и ночи: а – динамика изменения длины, б – абсолютная скорость роста (AGR). Условия культивирования и № серий соответствуют таковым в таблице: № 1 – 10°C и 12 : 12 (контрольная группа); № 2 – 8°C и 8 : 16; № 3 – 2°C и 8 : 16. Стадии морфогенеза 0–III описаны в разделе «Материалы и методы». Графики построены с использованием усредненных данных экспериментов, проведенных в 3-кратной повторности. Планки погрешности соответствуют величине стандартного отклонения

Fig. 1. Development of germlings of *Fucus distichus* subsp. *evanescens* at different temperatures and duration of day and night in laboratory conditions: а – dynamics of length changes, б – absolute growth rate (AGR).

Cultivation conditions and number (№) of series correspond to those in the table: № 1 – 10°C and 12:12 (control group); № 2 – 8°C and 8:16 hr; № 3 – 2°C and 8:16 hr. Morphogenesis stages 0–III are described in «Materials and Methods» section. The graphs were plotted using averages from experiments conducted in triplicate. Error bars correspond to the standard deviation value

Как видно из рис. 1, за 72 дня эксперимента общая длина проростков достигла в среднем 1961,5 мкм при скорости роста 24,9 мкм/сут. В то же время линейные размеры проростков в серии № 2 едва превышали 1,5 мм, а в серии № 3 – 1 мм. Скорость их роста, соответственно, была в 1,3 и 2,5 раза ниже, чем у проростков из серии № 1. Скорость морфофункциональной дифференциации клеток у эмбрионов фукуса (серии № 1–3), культивируемых при разных температурных и световых режимах, также различалась (рис. 1, б). Хорошо выраженный ризоид у эмбрионов (стадия морфогенеза I) в сериях № 1 и № 2 был заметен на вторые сутки культивирования, а в серии № 3 – только на пятые сутки. Дальнейшее развитие проростков приводило к формированию многослойной талломической части на восьмые сутки в серии № 1, 11-е сутки в серии № 2 и 19-е – в серии № 3. К концу эксперимента проростки в сериях № 1 и № 2 имели

по 2–10 гиалиновых волоска, в серии № 3 они так и не сформировались (рис. 1, б), что говорит о том, что в последней серии проростки не достигли физиологической зрелости.

Наиболее активные рост и развитие проростков фукуса наблюдали в серии № 1 при 10°C и 12-часовом световом периоде. Незначительное отставание в ростовых процессах отмечалось у проростков из серии № 2. Однако, несмотря на значительно медленный рост и задержку процессов дифференциации клеток у эмбрионов в серии № 3, прирост их длины был, тем не менее, постоянным на протяжении всего эксперимента. Абсолютная средняя скорость роста проростков в этой группе составила 11,6 мкм/сут. Поскольку условия культивирования, в частности низкая температура и короткий световой день, для проростков в серии № 3 были близкими к таковым в зимние месяцы, можно предположить, что у ювенильных растений *F. distichus* subsp. *evanescens* в умеренных широтах с декабря по февраль также происходит стабильный прирост длины. При этом их морфофункциональное развитие существенно замедленно. Так, в наших экспериментах проростки фукуса на протяжении более двух месяцев оставались на стадии II. Для дальнейшего развития и перехода к стадии III, то есть появлению в апикальной части их талломов гиалиновых волосков, в условиях короткого дня необходимо, как показали наши эксперименты, повышение температуры среды на 6°C. В Авачинском заливе такие температурные изменения происходят в поздневесенний период, в конце апреля – начале мая [24].

#### ***Рост и развитие проростков F. distichus subsp. evanescens в условиях переменной солености (серии экспериментов № 4–7)***

Исследования воздействия солености на развитие проростков *F. distichus* subsp. *evanescens* проводили в течение трех недель. В экспериментах культуральные среды имели значения солености 0‰ для серии № 4; 10‰ – серии № 5; 20‰ – серии № 6 и 32‰ для серии № 7. Проростки, развивающиеся в последней серии, представляли собой контрольную группу (см. табл.). Результаты исследований приведены на рис. 2.

Проростки фукуса во всех указанных выше сериях развивались также из зигот. В течение первых двух суток значительных различий в развитии проростков, содержащихся в среде с соленостью 10‰ и выше, не обнаружено (рис. 2). К этому моменту все они были прикреплены ко дну чашек Петри и достигали 169,6 мкм длины в среднем в серии № 5. Максимальная длина проростков, 187,3 мкм, была отмечена в среде с соленостью 32‰ (серия № 7) (рис. 2, а). Скорость их роста составила 54,9 мкм/сут. Проростки, развивавшиеся в пресной воде, к концу вторых суток к субстрату не прикрепилась. Их размеры едва достигали 135 мкм, значение скорости роста было вдвое меньшим, чем у проростков, развивавшихся при нормальной морской солености.

На пятые сутки проростки фукуса, содержащиеся при солености 10, 20 и 32‰, уже имели многоклеточную талломическую часть и, как правило, один хорошо сформированный и несколько дополнительных ризоидов меньшего размера. Средние линейные размеры этих проростков не превышали 370 мкм (рис. 2, б). Скорость их роста составляла в среднем 55,9 мкм/сут (для серии № 6) и 60,2 мкм/сут (для серии № 7). У представителей последней группы в апикальной части талломов начали формироваться гиалиновые волоски. Скорость роста проростков, развивающихся в среде с соленостью 10‰, равнялась 43,8 мкм/сут.

У проростков фукуса, содержащихся в пресной воде (серия № 4), было выявлено заметное отставание эмбрионального развития. Их талломическая часть представляла собой однослойную пластину, единственный ризоид у них был слабо выражен и состоял из нескольких сегментов. Скорость роста этих проростков на пятые сутки культивирования существенно снизилась, до 12,2 мкм/сут.

После недели культивирования средние линейные размеры проростков в сериях № 5–7 практически не различались. Их длина не превышала 500 мкм (рис. 2, а). Скорость роста проростков в сериях № 6 и № 7 снизилась практически вдвое, тогда как у проростков в серии № 5 значения этого показателя возросли до 49,4 мкм/сут. Эти различия можно объяснить тем, что у проростков фукуса, содержащихся при солености 20 и 32‰, в течение указанного выше времени культивирования активно развивались гиалиновые волоски. Их длина в общий учет линейных размеров не входила. В культурах с соленостью 10‰ (серия № 5) волоски стали формироваться только к концу шестых суток.

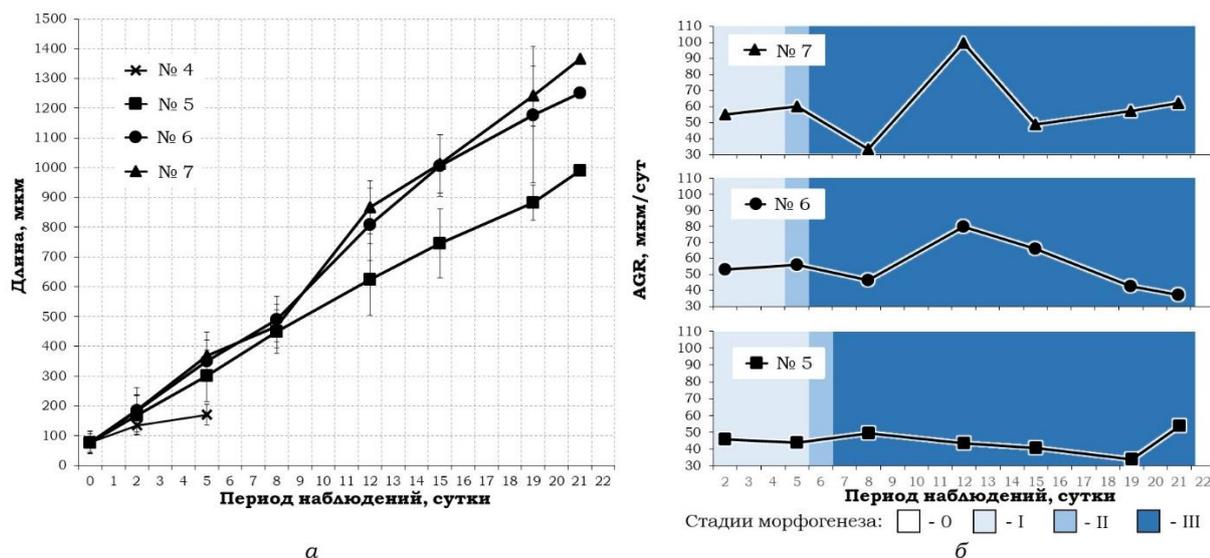


Рис. 2. Развитие проростков *Fucus distichus subsp. evanescens* в условиях разной солености среды: а – динамика изменения длины, б – абсолютная скорость роста (AGR). Условия культивирования и № серий соответствуют таковым в таблице: № 4 – 0‰, № 5 – 10‰, № 6 – 20‰ и № 7 – 32‰ (контрольная группа). Стадии морфогенеза 0–III описаны в разделе «Материалы и методы». Графики построены с использованием усредненных данных, полученных в 3-кратной повторности. Планки погрешности соответствуют величине стандартного отклонения

Fig. 2. Development of germlings of *Fucus distichus subsp. evanescens* at different salinities in laboratory conditions: а – dynamics of length changes, б – absolute growth rate (AGR). Cultivation conditions and number (№) of series correspond to those in the table: № 4 – 0‰, № 5 – 10‰, № 6 – 20‰ and № 7 – 32‰ (control group). Morphogenesis stages 0–III are described in «Materials and Methods» section. The graphs were plotted using averages from experiments conducted in triplicate. Error bars correspond to the standard deviation value

У фукусов, содержащихся в пресной воде (серия № 4), на 8-е сутки стали отчетливо наблюдаться признаки разрушения клеток. В течение этого периода ни один проросток не закрепился ко дну чашек Петри. Количество эмбриональных растений без признаков дегградации кутикулы и содержимого клеток к концу восьмых суток было незначительным. Их длина при этом не превышала 220 мкм, и у них отсутствовали гиалиновые волоски. Пластинчатая (талломическая) часть проростков состояла из более мелких, чем в других сериях экспериментов, клеток, ризоиды были плохо развиты.

После 12 сут культивирования линейные размеры и скорость роста фукусов в сериях № 6 и № 7 существенно не отличались. Их общие линейные размеры варьировали от 809,5 до 866,6 мкм (рис. 2, а). В то же время значения AGR у проростков из серии № 5 были в два раза меньше, чем в серии № 7. При этом у проростков, содержащихся в условиях нормальной морской солености (32‰), длина гиалиновых волосков превысила общую длину растений. На 12-е сутки культивирования у них наблюдалась максимальная скорость роста за весь период наблюдений – 99,6 мкм/сут. В результате при среднем значении AGR 48,8 мкм/сут уже после двух недель культивирования проростков в среде с нормальной морской соленостью их длина превысила 1 мм. Проростки фукуса из этой серии к этому времени имели от 3 до 5 хорошо развитых гиалиновых волосков. Длина их ризоидов, как правило, вдвое превышала длину пластинчатой части. Проростки, развивавшиеся при солености 10‰ (серия № 5), росли менее активно, их длина не превышала 650 мкм, а скорость роста – 40 мкм/сут. В культурах с пресной водой на 15-е сутки культивирования была отмечена гибель абсолютно всех проростков.

К концу наблюдений длина проростков, культивировавшихся при нормальной морской солености, достигла 1,3 мм (серии № 6 и № 7), в солоноватой среде – 990 мкм (серия № 5). Абсолютная скорость их роста за весь период наблюдений составила в среднем 55,9; 61,3 и 43,4 мкм/сут соответственно.

Таким образом, наши эксперименты показали, что раннее развитие *Fucus distichus subsp. evanescens* в пресной воде невозможно. Массовая гибель его эмбрионов, развивающихся при температуре 10°C в условиях нулевой солености, начинается на шестые сутки, а полная гибель происходит на 15-е сутки. При этом они не способны прикрепиться к субстрату. Исходя из этого,

можно предположить, что экстремально низкая и нулевая соленость препятствует выработке у эмбрионов фукуса адгезивного материала. У проростков фукуса, развивавшихся при солености 10‰, критические изменения в морфофизиологическом состоянии не обнаружены. Однако скорость их роста уменьшается почти в три раза по сравнению с таковой у растений, культивированных в воде с нормальной морской соленостью.

### Заключение

Результаты, полученные в ходе проведенных экспериментов, помогают объяснить многие моменты, связанные с особенностями распределения фукуса и формирования размерно-возрастной структуры его популяций у побережья Камчатки. Здесь из-за таяния большого количества снега, обильных летних осадков, стока большого количества рек наблюдаются высокие колебания солености. Температура прибрежных вод ниже 6°C наблюдается в течение 6–7 месяцев. Однако фукус остается одним из наиболее массовых и высокопродуктивных видов литорального макрофитобентоса. Результаты выполненных нами экспериментов свидетельствуют о высокой адаптивной способности этого вида в период эмбрионального развития. Полученные нами данные могут быть использованы при прогнозировании изменения запасов *Fucus distichus* subsp. *evanescens* в прикамчатских водах.

### Литература

1. *Зинова А.Д.* Определитель бурых водорослей Северных морей СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – 224 с.
2. *Петров Ю.Е.* Обзорный ключ порядков Laminariales и Fucales морей СССР // *Новости систематики низших растений.* – 1974. – Т. 11. – С. 153–169.
3. *Mathieson A.C., Dawes C.J.* Seaweeds of the Northwest Atlantic. – Amherst & Boston: University of Massachusetts Press, 2017. – 798 p.
4. *Mondragon J., Mondragon J.* Seaweeds of the Pacific Coast. Common marine algae from Alaska to Baja California. – Monterey, California: Sea Challengers, 2003. – 97 p.
5. *Guiry M.D., Guiry G.M.* AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway [Electronic resource]. – URL: <http://www.algaebase.org> (Accessed on: 24.06.2019).
6. *Fredriksen S., Kile M.R.* The algal vegetation in the outer part of Isfjorden, Spitsbergen: revisiting Per Svendsens sites 50 years later // *Polar Research.* – 2012. – Vol. 31. – P. 1–9.
7. Species composition, zonation, and biomass of marine benthic macroalgae in Kongsfjorden, Svalbard / *H. Hop, C. Wiencke, B. Vogeley, N.A. Kovaltchouk* // *Botanica Marina.* – 2002. – Vol. 55, iss. 4. – P. 399–414.
8. *Garbary D.J., Tarakhovskaya E.R.* Marine macroalgae and associated flowering plants from the Keret Archipelago, White Sea, Russia // *Algae.* – 2013. – Vol. 28, iss. 3. – P. 267–280.
9. *Малавенда С.В.* Флора водорослей макрофитов Кольского залива (Баренцево море) // *Вестник МГТУ* – 2018. – Т. 21, № 2. – P. 245–252.
10. *Seaweeds of Britain and Ireland / F.St.P.D. Bunker, J.A. Brodie, C.A. Maggs, A.R. Bunker.* – Plymouth: Wild Nature Press, 2017. – 312 p.
11. *Клочкова Н.Г., Королева Т.Н., Кусиди А.Э.* Атлас водорослей макрофитов прикамчатских вод. Т. 2. – Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2009. – 302 с.
12. *Lindeberg M.R., Lindstrom S.C.* Field guide to the seaweeds of Alaska. – Fairbanks: Alaska Sea Grant College Program, 2010. – 188 p.
13. *Miller K.A.* Seaweeds of California. Updates of California Seaweed Species List. – Berkeley: University of California Jepson Herbarium, 2012. – 59 p.
14. *Воскобойников Г.М.* Механизмы адаптации, регуляции роста и перспективы использования макрофитов Баренцева моря: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Мурманск, 2006. – 45 с.
15. *Малавенда С.В.* Устойчивость фукоидов Баренцева моря к переменной солености // *Ботанический журнал.* – 2011. – Т. 96, № 3. – С. 342–349.
16. *Клочкова Н.Г., Березовская В.А.* Макрофитобентос Авачинской губы и его антропогенная деструкция. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 208 с.
17. Воздействие антропогенного загрязнения на состояние макрофитобентоса в бухте Раковая (Авачинская губа, юго-восточная Камчатка) / *Н.Г. Клочкова, А.В. Климова, С.О. Очеретяна, А.Э. Кусиди, Е.В. Касперович* // *Вестник КамчатГТУ.* – 2016. – № 35. – С. 53–64.

18. Воскобойников Г.М., Степаньян О.В. Морфофункциональные изменения макроводорослей и прогноз развития прибрежных фитоценозов мурманского побережья под влиянием нефтяного загрязнения // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России: коллективная монография. – Владивосток: Институт биологии моря им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, 2007. – С. 392–417.
19. Петров Ю.Е. *Fucus distichus* L. emend. Powell и *Fucus evanescens* C. Ag. // Новости систематики низших растений. – 1965. – Т. 2. – С. 64–70.
20. Serrão E.A., Alice L.A., Brawley S.H. Evolution of the Fucaceae (Phaeophyceae) inferred from nrDNA-ITS // J. Phycol. – 1999. – Vol. 35. – P. 382–394.
21. A mtDNA-based phylogeny of the brown algal genus *Fucus* (Heterokontophyta; Phaeophyta) / J.A. Coyer, G. Hoarau, M.-P. Oudot-Le Secq et al. // Mol. Phylogenet. Evol. – 2006. – Vol. 39, iss. 1. – P. 209–222.
22. Checklist of Marine Algae of Japan (Revised in 2015) / T. Yoshida, M. Suzuki, K. Yoshinaga // The Japanese Journal of Phycology. – 2015. – Vol. 63, iss. 3. – P. 129–189.
23. Чмыхалова В.Б. Особенности развития фукуса в прикамчатских водах. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2010. – 105 с.
24. Каушутин А.Н., Климова А.В., Ключкова Н.Г. Сезонная динамика роста *Fucus distichus* subsp. *evanescens* (C. Agardh) H.T. Powell, 1957 (Phaeophyceae: Fucales) в Авачинской губе (юго-восточная Камчатка) // Биология моря. – 2019. – Т. 45, № 4. – С. 231–239.
25. Шошина Е.В., Макаревич П.П. Морская ботаника. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2016. – 176 с.
26. Кусиди А.Э., Ключкова Н.Г. Стратегия возрастного и сезонного развития *Saccharina dentigera* (Phaeophyta, Laminariales) у восточной Камчатки // Исслед. вод. биол. ресурсов Камчатки и сев.-запад. части Тихого океана. – 2009. – № 14. – С. 14–19.
27. Ang P.O. Jr. Age- and size-dependent growth and mortality in a population of *Fucus distichus* // Mar. Ecol.: Prog. Ser. – 1991. – Vol. 78. – P. 173–187.
28. Keser M., Larson B.R. Colonization and growth dynamics of three species of *Fucus* // Mar. Ecol.: Prog. Ser. – 1984. – Vol. 15. – P. 125–134.
29. Seasonal growth and reproduction of estuarine fucoid algae in New England / A.C. Mathieson, J.W. Shipman, J.R. O’Shea, R.C. Hasevlat // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. – 1976. – Vol. 25. – P. 273–284.
30. Sideman E.J., Mathieson A.C. The growth, reproductive phenology, and longevity of non-tide-pool *Fucus distichus* (L.) Powell in New England // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. – 1983. – Vol. 68. – P. 111–127.
31. Камнев А.Н. Структура и функции бурых водорослей. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 200 с.
32. Малавенда С.В. Влияние солености на фукусовые водоросли Баренцева моря: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Мурманск, 2007. – 27 с.
33. Адаптация и регуляция роста у макрофитов Баренцева моря / Г.М. Воскобойников, М.В. Макаров, С.В. Малавенда, И.В. Рыжик // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2015. – № 2(21). – С. 40–48.
34. Исторический обзор исследований и основные результаты комплексного экологического мониторинга Авачинской губы в 2013 г. / Е.В. Лепская, О.Б. Тепнин, В.В. Коломейцев, Е.А. Устименко, Н.В. Сергеенко, Д.С. Виноградова, В.Д. Свириденко, М.А. Походина, В.А. Щеголькова, В.В. Максименков, А.А. Полякова, Р.С. Галямов, С.Л. Горин, М.В. Коваль // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. – 2014. – Вып. 34. – С. 5–21.
35. Каушутин А.Н., Климова А.В., Ключкова Т.А. Воздействие ледового покрова на межгодовые изменения состояния литоральных зарослей бурой водоросли *Fucus distichus* subsp. *evanescens* в Авачинской губе (юго-восточная Камчатка) // Вестник КамчатГТУ. – 2018. – № 44. С. 88–99.
36. Климова А.В., Каушутин А.Н. Раннее развитие камчатских представителей *Fucus evanescens* (Phaeophyceae, Fucales) в условиях лабораторного культивирования // Вестник КамчатГТУ. – 2016. – № 37. – С. 50–56.
37. Wakana I., Abe M. Artificial insemination ‘regulated by EDTA’ in the monoecious brown alga *Fucus evanescens* // Plant Cell Physiol. – 1992. – Vol. 33. – P. 569–575.
38. Motomura T. Electron and immunofluorescence microscopy on the fertilization of *Fucus distichus* (Fucales, Phaeophyceae) // Protoplasma. – 1994. – Vol. 178. – P. 97–110.

39. Biology of a terrestrial green alga *Chlorococcum* sp. (Chlorococcales, Chlorophyta) collected from the Miruksazi stupa in Korea / T.A. Klochkova, S.-H. Kang, G.Y. Cho, C.M. Pueschel, J.A. West, G.H. Kim // *Phycologia*. – 2006. – Vol. 45. – P. 115–124.
40. Hunt R. Absolute growth rates [Electronic resource] // *Basic Growth Analysis*. – Dordrecht: Springer, 1990. – P. 17–24. – URL: [https://doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6_2).

### References

1. Zinova A.D. *Opredelitel burykh vodoroslej severnykh morej SSSR* (Manual for identification of the brown algae of the northern seas of the USSR). – Moscow & Leningrad: Akad. Nauk SSSR, 1953 – 224 p.
2. Petrov Y.E. *Clavis synoptica Laminarialium et Fucalium e maribus URSS* (Synoptical Key to the Laminariales and Fucales of the Seas of the USSR) // *Novosti Sistematiki Nizshikh Rastenii* (Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium). – 1974. – Vol. 11. – P. 153–169.
3. Mathieson A.C., Dawes C.J. *Seaweeds of the Northwest Atlantic*. – Amherst & Boston: University of Massachusetts Press, 2017. – 798 p.
4. Mondragon J., Mondragon J. *Seaweeds of the Pacific Coast. Common marine algae from Alaska to Baja California*. – Monterey, California: Sea Challengers, 2003. – 97 p.
5. Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway [Electronic resource]. – URL: <http://www.algaebase.org> (Accessed on: 24.06.2019).
6. Fredriksen S., Kile M.R. The algal vegetation in the outer part of Isfjorden, Spitsbergen: revisiting Per Svendsens sites 50 years later // *Polar Research*. – 2012. – Vol. 31. – P. 1–9.
7. Species composition, zonation, and biomass of marine benthic macroalgae in Kongsfjorden, Svalbard / H. Hop, C. Wiencke, B.Vogele, N.A. Kovaltchouk // *Botanica Marina*. – 2002. – Vol. 55, iss. 4. – P. 399–414.
8. Garbary D.J. Tarakhovskaya E.R. Marine macroalgae and associated flowering plants from the Keret Archipelago, White Sea, Russia // *Algae*. – 2013. – Vol. 28, iss. 3. – P. 267–280.
9. Malavenda S.V. Flora vodorosley makrofitov Kol'skogo zaliva (Barentsevo more) (Flora of macrophyte algae Kola Bay (the Barents Sea)) // *Bulletin of Murmansk State Technical University*. – 2018. – Vol. 21, iss. 2. – P. 245–252.
10. *Seaweeds of Britain and Ireland* / F.StP.D. Bunker, J.A. Brodie, C.A. Maggs, A.R. Bunker – Plymouth: Wild Nature Press, 2017. – 312 p.
11. 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)
12. Lindeberg M.R., Lindstrom S.C. *Field guide to the seaweeds of Alaska*. – Fairbanks: Alaska Sea Grant College Program, 2010. – 188 p.
13. Miller K.A. *Seaweeds of California. Updates of California Seaweed Species List*. – Berkeley: University of California Jepson Herbarium, 2012. – 59 p.
14. Voskoboinikov G.M. Mechanisms of adaptation, growth regulation and prospects for the use of macrophytes of the Barents Sea: Thesis of Doctor of Biological Sciences degree. – Murmansk, 2006. – 45 p.
15. Malavenda S.V. The tolerance of the Barents Sea fucoids for varying salinity // *Botanicheskii Zhurnal*. – 2011. – Vol. 96, iss. 3. – P. 342–349.
16. Klochkova N.G., Berezovskaya V.A. Makrofitobentos Avachinskoy guby i ego antropogennaya destrukciya (Macrophytobenthos of the Avacha bay and its anthropogenic destruction). – Vladivostok: Dalnauka, 2001. – 208 p.
17. Influence of the antropogenous pollution on Rakovaya bay benthic communities (Avacha bay, south-eastern Kamchatka) / N.G. Klochkova, A.V. Klimova, S.O. Ocheretyana, A.E. Kusidi, E.V. Kasperovich // *Bulletin of Kamchatka State Technical University*. – 2016. – Vol. 35. – P. 53–64.
18. Voskoboinikov G.M., Stepanyan O.V. Morphofunctional changes in macroalgae and the forecast for the development of coastal phytocenoses of the Murmansk coast under the influence of oil pollution // *Dynamics of marine ecosystems and modern problems of preserving biological potential of the Russian seas*. – Vladivostok: Dalnauka, 2007. – P. 392–417.
19. Petrov J.E. *Fucus distichus* L. emend. Powell et *Fucus evanescens* C. Ag. // *Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium*. – 1965. – Vol. 2. – P. 64–70.

20. *Serrão E.A., Alice L.A., Brawley S.H.* Evolution of the Fucaceae (Phaeophyceae) inferred from nrDNA-ITS // *J. Phycol.* – 1999. – Vol. 35. – P. 382–394.
21. A mtDNA-based phylogeny of the brown algal genus *Fucus* (Heterokontophyta; Phaeophyta) / *J.A. Coyer, G. Hoarau, M.-P. Oudot-Le Secq et al.* // *Mol. Phylogenet. Evol.* – 2006. – Vol. 39, iss. 1. – P. 209–222.
22. Checklist of Marine Algae of Japan (Revised in 2015) / *T. Yoshida, M. Suzuki, K. Yoshinaga* // *The Japanese Journal of Phycology.* – 2015. – Vol. 63, iss. 3. – P. 129–189.
23. *Chmykhalova V.B.* Osobennosti razvitiya fukusa v prikamchatskikh vodakh (Peculiarities of the Development of *Fucus* in the Kamchatka Waters). – Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatskii Gos. Tekh. Univ., 2010. – 105 p.
24. *Kashutina A.N., Klimova A.V., Klochkova N.G.* The Seasonal growth dynamics of *Fucus distichus* subsp. *evanescens* (C. Agardh) H.T. Powell, 1957 (Phaeophyceae: Fucales) in the Avacha bay (southeastern Kamchatka) // *Russian Journal of Marine Biology.* – 2019. – Vol. 45, №. 4. – P. 275–282.
25. *Shoshina E.V., Makarevich P.R.* Morskaya botanika (Marine botany). – Murmansk: Izd-vo MGTU, 2016. – 176 p.
26. *Kusidi A.E., Klochkova N.G.* Growth and seasonal development strategy of *Saccharina dentigera* (Phaeophyta, Laminariales) on east Kamchatka // *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean.* – 2009. – Vol. 14. – P. 14–19.
27. *Ang P.O. Jr.* Age- and size-dependent growth and mortality in a population of *Fucus distichus* // *Mar. Ecol.: Prog. Ser.* – 1991. – Vol. 78. – P. 173–187.
28. *Keser M., Larson B.R.* Colonization and growth dynamics of three species of *Fucus* // *Mar. Ecol.: Prog. Ser.* – 1984. – Vol. 15. – P. 125–134.
29. Seasonal growth and reproduction of estuarine furoid algae in New England / *A.C. Mathieson, J.W. Shipman, J.R. O'Shea, R.C. Hasevlat* // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* – 1976. – Vol. 25. – P. 273–284.
30. *Sideman E.J., Mathieson A.C.* The growth, reproductive phenology, and longevity of non-tide-pool *Fucus distichus* (L.) Powell in New England // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* – 1983. – Vol. 68. – P. 111–127.
31. *Kamnev A.N.* Struktura i funkcii buryh vodoroslej (Structure and functions of brown algae). – M.: Izd-vo MSU, 1989. – 200 p.
32. *Malavenda S.V.* The effect of salinity on fucus algae of the Barents Sea. – Thesis of Candidate of Biological Sciences degree. – Murmansk, 2007. – 27 p.
33. Adaptation and regulation of growth of macrophytes in the Barents sea / *G.M. Voskoboinikov, M.V. Makarov, S.V. Malavenda, I.V. Ryzhik* // *Bulletin of Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences.* – 2015. – № 2(21). – C. 40–48.
34. Historical review of studies of Avachinskaya bay and principle results of complex ecological monitoring 2013 / *E.V. Lepskaya, O.B. Tepnin, V.V. Kolomeitsev, E.A. Ustimenko, N.V. Sergeenko, D.S. Vinogradova, V.D. Sviridenko, M.A. Pokhodina, V.A. Schegolkova, V.V. Maksimenkov, A.A. Polyakova, R.S. Galyamov, S.L. Gorin, M.V. Koval* // *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean.* – 2014. – Vol. 34. – P. 5–21.
35. *Kashutin A.N., Klimova A.V., Klochkova T.A.* Impact of sea ice cover on interannual changes of the littoral vegetation of the brown alga *Fucus distichus* subsp. *evanescens* in the Avacha bay (southeastern Kamchatka) // *Bulletin of Kamchatka State Technical University.* – 2018. – № 44. – C. 88–99.
36. *Klimova A.V., Kashutin A.N.* Early development of the brown alga *Fucus evanescens* (Phaeophyceae, Fucales) from southeast Kamchatka under laboratory-controlled conditions // *Bulletin of Kamchatka State Technical University.* – 2016. – Vol. 37. – P. 50–56.
37. *Wakana I., Abe M.* Artificial insemination ‘regulated by EDTA’ in the monoecious brown alga *Fucus evanescens* // *Plant Cell Physiol.* – 1992. – Vol. 33. – P. 569–575.
38. *Motomura T.* Electron and immunofluorescence microscopy on the fertilization of *Fucus distichus* (Fucales, Phaeophyceae) // *Protoplasma.* – 1994. – Vol. 178. – P. 97–110.
39. Biology of a terrestrial green alga *Chlorococcum* sp. (Chlorococcales, Chlorophyta) collected from the Miruksazi stupa in Korea / *T.A. Klochkova, S.-H. Kang, G.Y. Cho, C.M. Pueschel, J.A. West, G.H. Kim* // *Phycologia.* – 2006. – Vol. 45. – P. 115–124.
40. *Hunt R.* Absolute growth rates [Electronic resource] // *Basic Growth Analysis.* – Dordrecht: Springer, 1990. – P. 17–24. – URL: [https://doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6_2).

**Информация об авторах**  
**Information about the authors**

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

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

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

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

**Клочкова Татьяна Андреевна** – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, проректор по научной работе и международной деятельности, профессор кафедры экологии и природопользования; tatyana\_algae@mail.ru

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

УДК 577.151:633.853.52:632.954

**М.П. Михайлова, Л.А. Каманина, В.Т. Синеговская****ИЗМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ И БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СЕМЯН СОИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГЕРБИЦИДА**

В статье приведены данные о влиянии гербицида Пульсар на изменение ферментативной активности в листьях сои сорта МК 100 и биохимического состава ее семян. Исследования проводили на опытном поле Всероссийского научно-исследовательского института сои в 2017–2018 гг. Установлено, что ежегодное применение гербицида Пульсар в фазу 3-го тройчатого листа приводило к снижению удельной активности фермента пероксидазы. Увеличение удельной активности фермента было отмечено в фазу цветения растений, что указывает на активное участие фермента в механизмах их адаптации к стрессовому воздействию гербицида. Обработка сои гербицидом в дозе 0,8 л/га привела к снижению содержания в ее семенах белка, изменению его качественного состава и увеличению содержания в семенах изучаемого сорта линоленовой кислоты.

**Ключевые слова:** соя, сорт сои МК 100, гербицид Пульсар, удельная ферментативная активность, пероксидаза.

**M.P. Mikhailova, L.A. Kamanina, V.T. Sinegovskaya****CHANGE IN THE ENZYMATIC ACTIVITY AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF SOYBEAN SEEDS UNDER THE INFLUENCE OF HERBICIDE**

The data of the Pulsar herbicide effect on the enzymatic activity change in the leaves of soybean varieties МК 100 and the biochemical composition of its seeds. The studies were performed on the experimental field of All-Russian Scientific Research Institute of Soybean during 2017-2018. It was found that the annual usage of the Pulsar herbicide in the phase of 3-rd trifoliolate leaf caused a decrease in the specific activity of the peroxidase enzyme. The increase in the specific activity of the enzyme was observed during the plants flowering phase. It indicates the active participation of the enzyme in the plant adaptation mechanisms. Pulsar herbicide treatment with a 0,8 l/ha dose led to the decrease of protein content in seeds, change of its qualitative composition and increase of linolenic acid content in seeds of the studied variety.

**Key words:** soybean, soybean varieties МК 100, the Pulsar herbicide, specific enzymatic activity, peroxidase.

*DOI: 10.17217/2079-0333-2019-49-76-80***Введение**

Химические средства защиты растений, используемые в борьбе с сорной растительностью, приводят не только к ее уничтожению, но одновременно оказывают воздействие на культивируемые растения. Те в свою очередь несут энергетические затраты на реализацию защитных биохимических реакций, направленных на уменьшение стрессового воздействия гербицидов. Однако это неизбежно приводит к снижению их биологической продуктивности и ухудшению технологических свойств полученного урожая. Это было показано рядом авторов, изучавших влияние гербицидов на физиологическое состояние и биохимические показатели сельскохозяйственных культур [1–4].

Для оценки адаптации растений к воздействию стрессовых факторов, к числу которых относятся и обработка гербицидами, большой интерес представляет изучение физиологических процессов на биохимическом уровне. Важное место в защитных реакциях растений сои от неблагоприятных факторов принадлежит антиоксидантным системам, которые включают в себя широкий спектр химических веществ белковой природы и низкомолекулярных соединений. К антиоксидантам ферментативной природы относится фермент пероксидаза, которая наряду с антиоксидантной функцией обеспечивает протекание многих других реакций [5]. Ее активность зависит от степени, природы и продолжительности стрессового воздействия на растения [6, 7].

В настоящее время широкое распространение в сельском хозяйстве получил гербицид Пульсар. Его используют для активной защиты бобовых растений от вредного воздействия двудоль-

ных и злаковых сорняков. Влияние этого гербицида на развитие сои до конца не изучено. Нами для определения воздействия на ферментативную активность растений и биохимический состав семян был выбран сорт сои МК 100. Он был создан во Всероссийском научно-исследовательском институте сои (ФГБНУ ВНИИ сои) и включен в Госреестр селекционных достижений в 2011 г. Результаты, полученные в ходе этого исследования, представлены ниже.

### Материалы и методы

Исследования проводили на сое сорта МК 100, возделываемой на опытном поле ФГБНУ ВНИИ сои в 2017–2018 гг., с. Садовое Амурской области.

Опрыскивание вегетирующих растений гербицидом Пульсар (д.в. имазамокс) в дозе 0,8 л/га проводили в фазу третьего тройчатого листа. Растения для определения удельной активности пероксидазы отбирали в фазу третьего тройчатого листа через 24 ч после опрыскивания и в фазу цветения. Всего было собрано 40 растений: 20 в фазу третьего тройчатого листа и 20 в фазу цветения. Для получения экстрактов белков листьев сои навеску материала (1 000 мг) гомогенизировали в фарфоровой ступке в течение 15 мин при охлаждении (температура + 5°C) 15 мл ацетатным буфером рН 4,7. Полученный экстракт центрифугировали при 3 000 об./мин в течение 15 мин. Осадок отбрасывали, а надосадочную жидкость фильтровали через мельничную газ для удаления липидной пленки и использовали для анализов.

Анализ проводили в двух биологических и трех аналитических повторностях. Активность пероксидазы в листьях сои определяли по методу А.Н. Бояркина в модификации А.Т. Мокроносова и выражали в единицах активности на 1 мг белка [8]. Данный метод основан на определении скорости реакции окисления бензидина под действием фермента, содержащегося в растениях, до образования продукта окисления синего цвета определенной концентрации на фотоэлектроколориметре ( $\lambda = 670$  нм) (Россия). Количество белка определяли методом Лоури [9].

Количественное содержание и качественный состав белка и жира в семенах сои определяли на ИК-анализаторе «Foss Nirsystem 5000» (Швеция) по ГОСТ Р 32749-2014 [10]. Повторность опыта трехкратная. Масса отобранных образцов – 250 г, масса навески 5–7 г. Метод основан на регистрации спектров отражения анализируемых проб в ближней инфракрасной области и определении в них массовых долей сырого протеина и аминокислот: валина, лизина, гистидина, аргинина, фенилаланина, лейцина, изолейцина, треонина, метионина+цистина, аспарагиновой кислоты, серина, аланина+глицина, пролина, тирозина, глютаминовой кислоты. Расчет значений показателей производился по заранее созданным градуировочным моделям.

### Результаты и обсуждение

Изучение физиолого-биохимических закономерностей действия гербицидов на устойчивость к ним культурных растений позволило определить адаптивный потенциал сорта по устойчивости к стрессовым факторам. Ранее было установлено, что активность фермента пероксидазы является маркером адаптации к неблагоприятным факторам среды, в том числе к воздействию химических средств защиты растений [11].

Воздействие гербицидов как на сорные, так и на культурные растения определяется погодными условиями в период их применения. В исследуемые годы применение гербицида Пульсар в фазу 3-го тройчатого листа сои привело к снижению удельной активности изучаемого фермента. Это дает основание говорить о возникновении окислительного стресса и снижении адаптивного потенциала растений сои. Наименьшее значение этого показателя (28,1 ед./мг белка) было отмечено в 2018 г. (рис. 1). Это было связано с повышенной проникающей способностью гербицида из-за 100%-ной обеспеченности растений влагой из-за переувлажнения почвы осадками в период раннего развития и цветения растений в 2018 г. Частично это привело к их угнетению.

Увеличение удельной активности фермента в листьях сои после обработки гербицидом, по сравнению с контролем, отмечено в фазу цветения: на 6 ед./мг белка в 2017 г. и на 7,4 ед./мг белка в 2018 г., что свидетельствует об активном участии пероксидазы в повышении адаптивного потенциала. Наиболее неблагоприятным для роста и развития сои был вегетационный период 2018 г., который характеризовался неустойчивым температурным режимом: частыми дождями, высокой относительной влажностью воздуха и переувлажнением почвы. Активность изучаемого фермента в растениях контрольной группы составила 45,6 ед./мг белка (рис. 2).



Рис. 1. Удельная активность пероксидазы в листьях сои сорта МК 100 в фазу третьего тройчатого листа

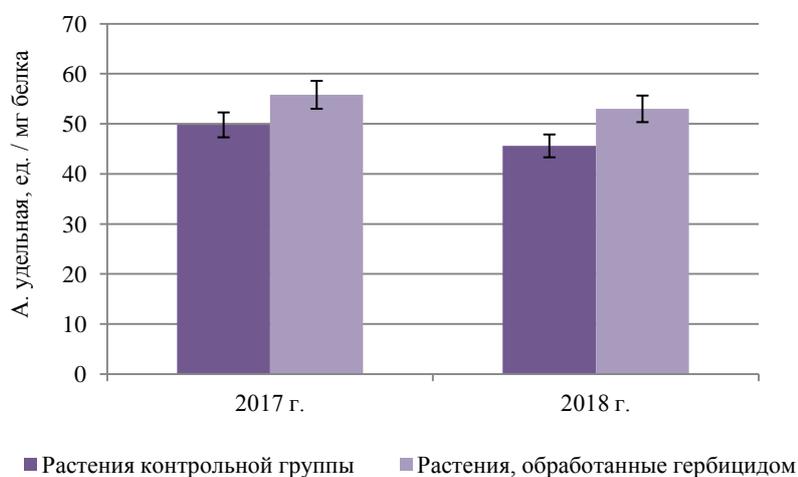


Рис. 2. Активность пероксидазы в листьях сои сорта МК 100 в фазу цветения

Известно, что содержание белков в семенах сои в первую очередь определяется интенсивностью фиксации азота клубеньковыми бактериями. Применение гербицида в посевах сои вызывает у нее нарушение физиолого-биохимических процессов, в том числе и симбиотических взаимоотношений растений с клубеньковыми бактериями. Это было показано в работе В.А. Тильбы, Л.А. Каманиной [12]. Возможно, именно в результате этого изменился биохимический состав семян (табл. 1).

Обработка гербицидом Пульсар, действующее вещество которого ингибирует синтез ряда аминокислот и способствует частичному угнетению растений, привела к снижению содержания общего белка в полученных семенах на 1,1% по сравнению с контролем (табл. 1). Наряду с изменением в семенах общего количества белка произошло изменение его качественного состава. Так, в частности, в семенах растений, подвергавшихся обработке гербицидом, количество таких незаменимых аминокислот, как гистидин, лейцин, изолейцин, валин, увеличилось по сравнению с контролем на 1,15, 0,18, 0,3 и 0,46 % соответственно, а содержание тирозина, напротив, снизилось на 0,15%.

Таблица 1

Среднее за период 2017–2018 гг. содержание общего белка и разных аминокислот в семенах сои контрольной и обработанной гербицидами групп растений, %

Семена	Общий белок	Аминокислоты					
		Гистидин	Лейцин	Изолейцин	Валин	Лизин	Тирозин
От растений контрольной группы	38,6	6,34	8,03	5,53	6,34	5,97	4,01
От растений, обработанных Пульсаром	37,5	7,49	8,21	5,83	6,80	6,01	3,86

Изучение содержания жира в семенах изучаемых групп растений, показало, что, несмотря на различия погодных условий в 2017–2018 гг., таковое менялось незначительно: у контрольной группы оно составило 19,55%, у семян растений, обработанных гербицидом – 18,95%. Разница этих показателей составляет всего 0,6%. Вместе с тем нами были отмечены некоторые изменения в количественном содержании отдельных ненасыщенных жирных кислот (табл. 2). Качество соевого масла во многом зависит от содержания линоленовой кислоты. Ее повышенное количество приводит к быстрому окислению масла и появлению у него неприятного запаха. Из представленной ниже табл. 2 видно, что применение гербицида Пульсар вызвало повышение содержания линоленовой кислоты на 1,32% и значительное понижение других ненасыщенных жирных кислот, таких как линолевая (на 0,46%) и олеиновая (на 2,73%), по сравнению с контролем. Это также ведет к ухудшению технологических свойств соевого сырья, используемого для производства растительного масла.

Таблица 2

Среднее за период 2017–2018 гг. содержание жира и ненасыщенных жирных кислот в семенах сои контрольной и обработанной гербицидами групп растений, %

Семена	Жир	Ненасыщенные жирные кислоты		
		Линоленовая	Линолевая	Олеиновая
От растений контрольной группы	19,55	5,79	52,45	15,91
От растений, обработанных Пульсаром	18,95	7,11	51,99	13,18

### Заключение

Проведенные нами исследования показали, что воздействие растения сои сорта МК 100 гербицида Пульсар в дозе 0,8 л/га изменяет физиологическое состояние и химический состав ее семян. Применение гербицида также оказывает влияние на удельную активность фермента пероксидазы в листьях сои. У растений в фазе 3-го тройчатого листа после воздействия гербицида наблюдается ее снижение, а в фазу цветения – увеличение. Изменение удельной активности пероксидазы при воздействии разных погодных условий указывает на ее активное участие в процессе адаптации сои к неблагоприятному воздействию гербицида и приводит к изменению количественного содержания и качественного состава белка и жира в семенах сои.

### Литература

1. Синеговская В.Т., Душко О.С., Иваченко Л.Е. Изучение устойчивости растений сои к гербицидам на основе использования современных физиологических и биохимических методов // Вестник ДальГАУ. – Благовещенск, 2012. – № 4. – С. 13–17.
2. Баев Н.А., Шелманова Д.Э., Максимюк Н.Н. Загрязнение объектов экосистемы пестицидами: пути и последствия // Молодой ученый. – 2014. – № 8. – С. 370–373.
3. Обработка гербицидом Гранстар вызывает окислительный стресс в листьях злаков / А.Н. Гарькова, М.М. Русяева, О.В. Нуштаева, Ю.Н. Аросланкина, А.С. Лукаткин // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, № 6. – С. 935–943.
4. Кишикаткина А.Н., Юров М.И. Влияние баковой смеси гербицида Балерина и антидота Альбит на формирование урожая и на качество зерна ярового голозерного ячменя // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3 (23). – С. 41–45.
5. Analisis and expression of the class III peroxidase large gene family in *Arabidopsis thaliana* / M. Tognolli, C. Penel, H. Greppin, P. Simon // Gene. – 2003. – V. 288. – P. 129–138.
6. Иваченко Л.Е. Ферменты как маркеры адаптации сои к условиям выращивания: монография. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2011. – 192 с.
7. Стаценко А.П., Тужилова Л.И., Вьюговский А.А. Растительные пероксидазы – маркеры химического загрязнения природных сред // Вестник ОГУ. – 2008. – № 10. – С. 188–191.
8. Малый практикум по физиологии растений / под ред. А.Т. Мокроносова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. – 184 с.
9. Protein measurement with the Folin phenol reagent / O.H. Lowry, N.J. Resebrought, A.L. Farr, R.J. Randall // J. Biol. Chem. – 1951. – V. 193, № 1. – P. 265–275.
10. ГОСТ Р 32749-2014. Семена масличные, жмыхи и шроты. Определение влаги, жира, протеина и клетчатки методом спектроскопии в ближней инфракрасной области. – М.: Стандартинформ, 2015. – 6 с.

11. Пероксидазная активность проростков сои при воздействии гербицида Фронтьер различных концентраций / *М.П. Михайлова, В.Т. Синеговская, В.А. Кузнецова, Л.Е. Иваченко* // Итоги координации НИР по сое за 2011–2014 годы: сб. науч. ст. по материалам координационного совещания по сое зоны Дальнего востока и Сибири (с международным участием), 09–10 сентября 2015 г. – Благовещенск, 2015 – С. 106–110.

12. *Тильба В.А., Каманина Л.А.* Симбиотические процессы у сои при использовании гербицидов // Пути воспроизводства плодородия почв и повышения урожайности с/х культур в Приамурье: сб. науч. тр., ДальГАУ. – Благовещенск, 2001. – Вып. 7. – С. 133–137.

#### **Информация об авторах Information about the authors**

**Михайлова Мария Павловна** – Всероссийский научно-исследовательский институт сои (ФГБНУ ВНИИ сои); 675000, Россия, Благовещенск; старший научный сотрудник лаборатории первичного семеноводства и семеноведения; mihaylovamariya@mail.ru

**Mikhailova Mariya Pavlovna** – All-Russian Scientific Research Institute of Soybean (ARSRI of Soybean); 675000, Russia, Blagoveshchensk; Senior Researcher of the Primary Seed Farming and Seed Research Laboratory; mihaylovamariya@mail.ru

**Каманина Лариса Анатольевна** – Всероссийский научно-исследовательский институт сои (ВНИИ сои); 675000, Россия, Благовещенск; кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории первичного семеноводства и семеноведения; samanina.larisa@yandex.ru

**Kamanina Larisa Anatolyevna** – All-Russian Scientific Research Institute of Soybean (ARSRI of Soybean); 675000, Russia, Blagoveshchensk; Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Primary Seed Farming and Seed Research Laboratory; samanina.larisa@yandex.ru

**Синеговская Валентина Тимофеевна** – Всероссийский научно-исследовательский институт сои (ВНИИ сои); 675000, Россия, Благовещенск; доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, главный научный сотрудник ФГБНУ ВНИИ сои; valsln09@gmail.com

**Sinegovskaya Valentina Timofeevna** – All-Russian Scientific Research Institute of Soybean (ARSRI of Soybean); 675000, Russia, Blagoveshchensk; Doctor of Agricultural Sciences, Academician of RAS, Chief Researcher of the FSBSI ARSRI of Soybean; valsln09@gmail.com

УДК 504.3:613

**А.С. Холодов, К.Ю. Кириченко, К.С. Задорнов, К.С. Голохваст****ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА  
НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА**

Рассматривается влияние микроразмерных твердых частиц (PM – particulate matter), содержащихся в атмосферном воздухе населенных пунктов, на здоровье человека. В зависимости от диаметра, морфометрических и физико-химических характеристик твердые взвешенные частицы воздействуют на человека по-разному и в определенных случаях могут быть особо опасными. В первую очередь они поражают органы дыхания людей, проживающих вблизи градообразующих предприятий, рядом с автомагистралями, вредными производствами. Серьезную опасность для здоровья представляют разновидности респираторных заболеваний, возникающих под воздействием взвешенных частиц угля, цемента и горных пород. В работе также дана сравнительная характеристика российских и зарубежных стандартов допустимой концентрации взвешенных частиц в атмосферном воздухе населенных районов.

**Ключевые слова:** атмосферный аэрозоль, атмосферная взвесь, загрязнение атмосферного воздуха, микрочастицы, PM, респираторные заболевания.

**A.S. Kholodov, K.Y. Kirichenko, K.S. Zadornov, K.S. Golokhvast****EFFECT OF PARTICULATE MATTER IN THE AIR OF RESIDENTIAL AREAS  
ON HUMAN HEALTH**

The review focuses on the effects of particulate matter in the air of residential areas on human health. Particulate matter can be a significant hazard depending on its diameter, morphometric and physico-chemical characteristics. Notably, the respiratory organs of people living in the proximity of town-forming enterprises, highways and hazardous industries get affected. The variety of respiratory diseases developing under the influence of minute particles of coal, cement and rocks is a serious danger. The paper also includes a comparison of Russian and international standards of permissible concentrations of particulate matter in the atmospheric air of residential areas.

**Key words:** atmospheric aerosol, airborne particles, air pollution, microparticles, PM, respiratory diseases.

*DOI: 10.17217/2079-0333-2019-49-81-88*

Из всех сред, с которыми взаимодействует человек в процессе жизнедеятельности, наибольшее воздействие на него оказывает воздушная среда, что неудивительно, поскольку акт дыхания является непрерывным, и за сутки человек пропускает через себя около 15 л воздуха. При этом организм человека чутко реагирует на малейшие изменения в компонентном составе вдыхаемого воздуха и отвечает естественными реакциями на наличие примесей даже естественного происхождения.

В зависимости от своего состава атмосферные аэрозоли могут быть высокотоксичными или же практически безвредными, но даже в этом случае они могут представлять опасность из-за своих физических свойств. Известно, что с уменьшением размера частиц увеличивается их активность и проникающая способность [1]. Наибольшую опасность для здоровья человека представляют мелкие частицы диаметром до 5 мкм. Благодаря своим физическим свойствам они проникают во внутреннюю среду организма, не задерживаясь в верхних дыхательных путях, а попадая сразу в альвеолы и получая почти прямой контакт с кровью. Частицы диаметром до 10 мкм (по международной классификации – PM<sub>10</sub> (англ. – particulate matter)) имеют не столь сильную проникающую способность, тем не менее они также считаются опасными для здоровья.

Так, присутствовавшие с зарождения человечества в естественном атмосферном фоне частицы минералов, вулканическая пыль и др. могут вызвать специфические заболевания, например, пневмокониозы. Данная группа заболеваний связана с накоплением пыли в легких и реакцией легочной ткани на ее присутствие. Вызывается она воздействием минеральных взвесей,

имеющих важное промышленное значение – асбестом, углем и кремнеземом. Пневмокониозы, вызванные кварцевой пылью ( $\text{SiO}_2$ ), называют силикозом, силикатами (кремниевой кислотой) – силикатозом, угольной пылью – сидерозом, асбестовой – асбестозом, алюминиевой – алюминозом и т. д. [1].

Реакция организма человека на появившиеся около века назад техногенные загрязнители атмосферы (выбросы ТЭЦ, выхлопные газы, отходы производств и т. д.) еще более радикальна, так как токсичные субстанции, поступающие ингаляционным путем, часто действует в десятки раз сильнее, чем при поступлении через желудочно-кишечный тракт. В состав этих выбросов входят тяжелые металлы, многие из которых относятся к I и II классам опасности согласно ГОСТ 12.1.005-88.

Существует статистически установленная связь между загрязнением атмосферного воздуха и общей заболеваемостью населения. Согласно публикациям [2–4], вклад загрязнения воздуха в частоту и выраженность наиболее распространенных заболеваний системы органов дыхания, пищеварения, кожи, аллергических реакций и т. д. составляет до 30% от общей суммы факторов, влияющих на здоровье.

Особенность атмосферного загрязнения заключается в том, что оно создается не абсолютным влиянием отдельного вещества, а смесью веществ, которые совокупно воздействуют на организм человека [5]. Другая особенность воздействия загрязнения атмосферного воздуха на человека состоит в том, что одни вещества, попадающие в организм, могут проявить себя незамедлительно, а другие – через значительное время. Влияние загрязнения невидимо, и причина заболевания часто бывает неясна. Так, между воздействием на человека асбеста и развитием рака легких может пройти 20–40 лет.

Воздействие факторов окружающей среды малой интенсивности выражается в нарушении адаптационных возможностей организма, то есть помимо заболеваний, связанных непосредственно с воздействием на организм конкретного химического вещества, выделяют так называемые экологозависимые заболевания, или экозависимые патологии. Суть таких заболеваний в том, что, возникнув из-за инфекции или иного фактора, они развиваются или усугубляются благодаря загрязнению окружающей среды. В первую очередь это болезни органов дыхания (БОД), в том числе бронхиальная астма. Это дает основание говорить о том, что именно БОД является одним из важнейших индикаторов оценки экологического благополучия территории.

В число экологозависимых заболеваний, кроме того, входят сердечно-сосудистые заболевания, врожденные пороки, нарушения нервно-психического развития детей, злокачественные новообразования (рак легких, молочной железы, щитовидной железы) и многие другие изменения состояния здоровья, связанные с генетическими, иммунологическими, инфекционными и иными факторами [4, 6–8].

Особенно чувствительны к воздействию мелких частиц пожилые люди и дети. Отмечается, что в крупных городах и на загрязненных территориях заболевания дыхательных путей и кожи, аллергические изменения у детей наблюдаются вдвое чаще и длятся до двух с половиной раз дольше, чем на контрольных экологически безопасных территориях, ввиду того, что органы дыхания детей находятся в состоянии роста и потому более подвержены воздействию загрязняющих воздух веществ [2, 4, 9]. Например, заболеваемость бронхиальной астмой у детей вдвое выше в промышленных городах, чем на экологически безопасных территориях, а вблизи цементных заводов – втрое выше [10, 11].

Как уже было отмечено, наиболее опасными являются мелкодисперсные частицы РМ. Согласно исследованиям [12, 13], химический состав частиц не менее важен для оценки влияния РМ на здоровье человека, чем их концентрация. Так, известно, что высокие концентрации частиц  $\text{PM}_{2.5}$  и  $\text{PM}_{10}$ , содержащих бром, ванадий, медь, органический углерод, могут вызвать воспаление легких. Источником этих частиц является сжигание всех видов топлива.

Основным стационарным источником загрязнения атмосферы являются предприятия теплоэнергетики. Вся цепочка производства тепловой энергии – добыча, транспортировка, переработка сырья, выработка энергии – является источником загрязняющих выбросов, влияющих на население как небольших поселков, так и крупных городов. По оценке специалистов, вклад тепловой энергетики в загрязнение воздушного бассейна доходит до 27–30%, при этом твердые взвешенные частицы составляют 31% от общего количества выбросов [2, 14].

Угольная пыль, образующаяся при добыче, перевалке и переработке угольного сырья, является сильнейшим загрязнителем воздуха, обуславливающим высокий уровень заболеваемости людей, находящихся в зоне распространения такой пыли. Вдыхание угольной пыли вызывает целый спектр респираторных заболеваний, среди них неизлечимое заболевание пневмокониоз, хроническое обструктивное легочное заболевание, диффузный фиброз, хронический бронхит и другие хронические респираторные заболевания [15–17].

Пневмокониозы при вдыхании угольной пыли могут развиваться за 10 лет, но известны случаи, когда болезнь проявлялась за 6 лет [18]. В угольной пыли содержатся тяжелые металлы (Pb, Cr, Cd, Ni, Cu, Co, Zn и др.). Их токсическое действие на организм человека приводит к гипертонии, головной боли, боли в животе, повреждению нервных окончаний, костным болезням, заболеваниям легких, печени и почек, малокровию, умственной отсталости, внезапной остановке сердца и развитию рака [19]. Риск развития эмфиземы при вдыхании угольной пыли выше, чем при курении табака [20].

Отмечается, что выбросы предприятий топливно-энергетического комплекса, работающих на угле, обуславливают 15–20% дополнительной смертности населения, связанной с загрязнением атмосферного воздуха [21]. Так, в исследовании влияния запрета на оборот жирного угля в Дублине (Ирландия) на здоровье населения, отмечается, что выброс «черного дыма» с высоким содержанием сажи в городе снизился на 70%; смертность, связанная с респираторными заболеваниями, упала на 15%, с сердечно-сосудистыми – на 10% [22].

Длительное проживание рядом с автомобильными автомагистралями связывают с развитием хронических респираторных заболеваний, болезней сердца и снижением продолжительности жизни; особенно вредны выхлопы дизельных двигателей [8, 23–25]. При этом отметим, что состояние дорог в России таково, что две их трети не имеют твердого покрытия, препятствующего пылению [4].

Опасность для состояния окружающей среды и здоровья населения представляют градообразующие предприятия горнодобывающей, металлургической, строительной промышленности, например производство цементных изделий. Принято считать, что наибольший вред факторы, сопутствующие цементному производству, оказывают на здоровье людей, непосредственно занятых на этом производстве, так как основными опасностями на таком производстве являются частицы цемента, которые выбрасываются в окружающую среду на всех стадиях его производства, упаковки и транспортировки.

В литературе приводятся результаты большого объема исследований, посвященных воздействию частиц цементной пыли на работников цементных заводов [26–30]. Аэродинамический диаметр частиц цемента в среднем составляет 0,05–5,0 мкм. Благодаря этому они беспрепятственно проникают в респираторную систему человека [31].

Вредное воздействие цементной пыли и сопутствующих веществ может вызывать раздражение и заболевания дыхательных путей (астму, хронический бронхит, силикоз), кожи (например, аллергический дерматит), слизистых оболочек носоглотки и полости рта, органов пищеварения и др. [27, 28]. Кроме того, эпидемиологические исследования свидетельствуют о высоком риске развития раковых заболеваний у работников цементных предприятий, так как сырье для производства цемента может содержать свободную двуокись кремния, шестивалентный хром, кадмий, которые являются канцерогенами [29].

Люди, проживающие недалеко от цементных производств, подвергаются воздействию загрязняющих веществ, в том числе канцерогенов, так же как и работники цементных заводов, но при этом у простых жителей отсутствуют средства индивидуальной защиты, которыми пользуются рабочие. Эпидемиологические исследования населения, живущего вблизи цементных заводов, показывают высокие уровни респираторных и кожных заболеваний, раздражения глаз [11, 32].

В развивающихся странах содержание частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  вокруг цементных производств зачастую выше предельно допустимых концентраций, что ведет к увеличению числа и тяжести характерных заболеваний [32, 33]. Однако, согласно литературным данным, повышенную заболеваемость детей, проживающих рядом с цементными заводами, отмечают даже в развитых странах, где содержание частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  не превышает ПДК [9]. В научной литературе имеются также сведения о повышенном уровне раковых заболеваний, о росте смертности у людей, проживающих недалеко от цементных заводов [31, 34].

Некоторые последствия воздействия наиболее опасных для здоровья частиц  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  представлены в табл. 1.

Таблица 1

Воздействие частиц  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  на здоровье человека

Продолжительность воздействия	Размерный класс частиц и вызываемые ими заболевания	
	$PM_{2,5}$	$PM_{10}$
Кратковременное воздействие	Астма, бронхиты, инфекции дыхательных путей, ишемическая болезнь сердца и др.	Астма и бронхиты, инфекции дыхательных путей
Длительное воздействие	Хронические бронхиты, аллергии, астма, утолщение артерий, снижение уровня и продолжительности жизни	Хронические бронхиты, снижение уровня и продолжительности жизни

В мире широко изучаются проблемы воздействия загрязнения атмосферного воздуха на здоровье людей. Известно, что оно является причиной смерти более 2 млн человек ежегодно [35]. Исследователи подсчитали, что ежегодный материальный ущерб, связанный с воздействием одних только взвешенных частиц на здоровье людей (совокупно по смертности и заболеваемости), в 1990-х – начале 2000-х гг. имел следующие показатели: 3 600 млн долл. в Австрии, 24 300 млн долл. во Франции, 3 000 млн долл. в Швеции, 21 150 млн долл. в Великобритании. В США ущерб от воздействия атмосферных взвесей составил 40 000–50 000 млн долл. в год, а Китае 60 970 млн долл. [36, 37].

Оценка воздействия взвешенных частиц на здоровье жителей РФ в денежном эквиваленте затруднительна, известно лишь, что средние концентрации взвешенных веществ в городах России в 2–3 выше, чем в городах других стран. Считается, что до 60% населения проживает на экологически неблагоприятных территориях [4, 5]. Загрязнение воздуха выше действующих нормативов в РФ формируется за счет взвешенных веществ, оксида углерода, диоксида азота, диоксида серы и углеводородов. Согласно государственному докладу Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека содержание пыли в воздухе городских и сельских поселений в 2016 г. превышало их максимальные разовые предельно допустимые концентрации в трети всех отобранных проб [38].

В мировой практике стандарты содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе установлены официальными документами Всемирной организации здравоохранения и Евросоюза (National ambient air quality standards for particulate matter, 2006; WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, 2006). В крупных городах мира осуществляется мониторинг наиболее опасной фракции взвешенных в воздухе частиц размером менее 10 мкм ( $PM_{10}$ ).

В США с 1987 г. нормируется не общее количество взвешенных частиц, а концентрация фракции  $PM_{10}$ , что позволило оценить ее долю в общем количестве атмосферных взвесей (в среднем она составляет 57%). Во многих городах Европы частицы  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  в атмосферном воздухе изучают в рамках различных программ, создавая для этого сети мониторинга мелких взвешенных частиц [6, 39]. С момента принятия первых стандартов концентраций частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  в США в Европе поставлена цель планомерного снижения концентраций таких частиц в воздухе, что отражается в постепенном снижении ПДК в госстандартах, которые обновляются раз в несколько лет. Создана и поддерживается европейская база данных по источникам загрязнения атмосферы  $PM$  частицами [40].

В России до недавнего времени контролировали лишь общее количество взвешенных веществ, что не давало полного представления о составе окружающей воздушной среды. На станциях мониторинга в настоящее время выполняются ежедневные наблюдения за концентрациями примесей три раза в сутки. При этом ввиду ограниченных ресурсов места расположения станций выбираются таким образом, чтобы лучше охарактеризовать районы наибольшего загрязнения.

Нормативы жилой застройки во многих российских городах нарушены, из-за чего промышленные предприятия в них располагаются в жилых районах. Условно станции сети мониторинга делят на фоновые (жилые районы), автотранспортные (вблизи автомагистралей), промышленные (вблизи промышленных предприятий), но фактически любая станция может быть отнесена к любой зоне, так как в условиях городской застройки под влиянием розы ветров, физико-географических особенностей рельефа и других факторов она подвергается воздействию тех или иных загрязнителей атмосферного воздуха [7, 39].

Сравнительно недавно в России введен в действие гигиенический норматив, регулирующий предельно допустимые концентрации взвешенных веществ  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  в атмосферном воздухе (введен в 2010 г., с изменениями от 2017 г.). Согласно этому документу среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК) составляет 0,035 мг/м<sup>3</sup> (для  $PM_{2,5}$ ) и 0,06 мг/м<sup>3</sup>

(для  $PM_{10}$ ); максимальная разовая –  $0,16 \text{ мг/м}^3$  и  $0,3 \text{ мг/м}^3$ ; среднегодовая –  $0,025 \text{ мг/м}^3$  и  $0,04 \text{ мг/м}^3$  соответственно (ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений»).

В 2016 г. были введены в действие руководящие документы РД 52.04.830-2015 «Массовая концентрация взвешенных частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  в атмосферном воздухе» и РД 52.04.840-2015 «Применение результатов мониторинга качества атмосферного воздуха, полученных с помощью методов непрерывных измерений». Они регламентируют использование гравиметрического метода измерений массовой концентрации взвешенных частиц диаметром менее 10 мкм и менее 2,5 мкм как эталонного и автоматических анализаторов для определения концентрации тонкодисперсных частиц, а также использование корректировочных коэффициентов [41].

Концентрация частиц – важная экологическая характеристика, позволяющая оценить качество атмосферного воздуха. В табл. 2 приведено сравнение стандартов концентраций частиц  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  в России, США, Европе и некоторых странах Азии.

Таблица 2

Стандарты концентраций  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  в атмосферном воздухе в России и некоторых других странах\*

Стандарт	Средняя за год, мкг/м <sup>3</sup>	Среднесуточная ПДК, мкг/м <sup>3</sup>
$PM_{2,5}$ , Россия	25	35
$PM_{10}$ , Россия	40	60
$PM_{2,5}$ , США	12	35
$PM_{10}$ , США	Не нормируется	150
$PM_{2,5}$ , Европейский союз	25	Не нормируется
$PM_{10}$ , Европейский союз	40	50
$PM_{2,5}$ , Китай	35	75
$PM_{10}$ , Китай	70	150
$PM_{2,5}$ , Япония	15	35
$PM_{10}$ , Япония	Не нормируется	100
$PM_{2,5}$ , Южная Корея	25	50
$PM_{10}$ , Южная Корея	50	100

\* Данные по: (ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений»; Air quality standards – European Commission; Ambient air quality standard GB 3095-2012; Particulate Matter (PM) Standards – Table of Historical PM NAAQS)

В России ведется постоянный эколого-гигиенический мониторинг состава атмосферных взвесей в крупных городах, на техногенно загрязненных территориях и в заповедниках [42]. Однако определенный интерес представляют средние и малые (по численности населения) населенные пункты, а также территории, на которых проживает небольшое количество людей. Мы полагаем, что концентрацию и состав взвешенных частиц нано- и микрогазовых классов в небольших городах необходимо систематически изучать, потому что часто именно в небольших городах находятся градообразующие предприятия, оказывающие значительное влияние на состояние окружающей среды, особенно если это предприятия горнодобывающей, металлургической или строительной промышленности [43]. Проведенные исследования, кроме того, показывают, что атмосфера небольших городов и поселков даже при отсутствии загрязняющих окружающую среду предприятий и производств может содержать опасные для здоровья человека микрогазы (менее 10 мкм) и в значительных количествах даже потенциально опасные (10–50 мкм) из-за выхлопных газов автомобилей и работающих на угле котельных [44–46]. Поскольку микрогазы способны долгое время оставаться в воздухе, их вклад в фоновую концентрацию  $PM$  достаточно значителен.

Таким образом, анализ литературы по воздействию атмосферных взвесей на человека позволяет сделать вывод о том, что твердые частицы могут представлять значительную опасность в зависимости от их размера, морфометрических и физико-химических характеристик. В первую очередь поражаются органы дыхания людей, проживающих вблизи градообразующих предприятий, рядом с автомагистралями, вредными производствами. Можно заключить, что серьезную опасность представляют разновидности респираторных заболеваний (кониозов), возникающих под воздействием взвешенных частиц угля, цемента и горных пород. Возникает необходимость оценивать содержание и состав нано- и микрогазов в атмосферном воздухе, не оглядываясь на размер населенного пункта и количество жителей в нем.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-2461.2019.5).

## Литература

1. Чомаева М.Н. Промышленная пыль как вредный производственный фактор // Национальная безопасность и стратегическое планирование. – 2015. – № 2-1(10). – С. 119–122.
2. Христофорова Н.К. Экологические проблемы региона: Дальний Восток – Приморье. – Владивосток; Хабаровск: Хабаровск. кн. изд-во, 2005. – 304 с.
3. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения регионов России / В.М. Гильмундинов, Л.К. Казанцева, Т.О. Тагаева, К.С. Кугаевская // Регион: экономика и социология. – 2013. – № 1. – С. 209–228.
4. Кику П.Ф., Бениова С.Н., Гельцер Б.И. Среда обитания и экологозависимые заболевания человека. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2017. – 390 с.
5. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. Воздух городов и его изменения. – СПб.: Астерион, 2008. – 253 с.
6. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert panel on population and prevention science of the American Heart Association. / R.D. Brook, B. Franklin, W. Cascio, Y. Hong, G. Howard, M. Lipsett, R. Luepker, M. Mittleman, J. Samet, S.C. Smith Jr., I. Tager // Circulation. – 2004. – № 109(21). – P. 2655–2671.
7. Симонова И.Н., Антонюк М.В., Виткина Т.И. Влияние наночастиц воздушной среды на состояние бронхолегочной системы // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2013. – № 49. – С. 115–120.
8. Impact evaluation of environmental factors on respiratory function of asthma patients living in urban territory / L.V. Veremchuk, K. Tsarouhas, T.I. Vitkina, E.E. Mineeva, T.A. Gvozdenko, M.V. Antonyuk, V.N. Rakitskii, K.A. Sidletskaya, A.M. Tsatsakis, K.S. Golokhvast // Environmental Pollution. – 2018. – № 235. – P. 489–496.
9. Association between PM<sub>10</sub> concentrations and school absences in proximity of a cement plant in northern Italy / A. Marcon, G. Pesce, P. Girardi, P. Marchetti, G. Blengio, S. de Zolt Sappadina, S. Falcone, G. Frapporti, F. Predicatori, R. de Marco // International Journal of Hygiene and Environmental Health. – 2014. – № 217. – P. 386–391.
10. Новикова И.И. Гигиеническая оценка влияния среды обитания крупного промышленного города на здоровье детей и подростков // Здоровье населения и среда обитания. – 2005. – № 10(151). – С. 38–41.
11. Health effects for the population living near a cement plant: an epidemiological assessment / M. Bertoldi, A. Borgini, A. Tittarelli, E. Fattore, A. Cau, R. Fanelli, P. Crosignani // Environment International. – 2012. – № 41. – P. 1–7.
12. Lung inflammation induced by concentrated ambient air particles is related to particle composition / P.H.N. Saldiva, R.W. Clarke, B.A. Coull, R.C. Stearns, J. Lawrence, G.G.K. Murthy, E. Diaz, P. Koutrakis, H. Suh, A. Tsuda, J.J. Godleski // American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. – 2002. – Vol. 165, № 12. – P. 1610–1617.
13. Soukup J.M., Ghio A.J., Becker S. Soluble components of Utah Valley particulate pollution alter alveolar macrophage function in vivo and in vitro // Inhalation Toxicology. – 2000. – № 12(5). – P. 401–414.
14. Говорушко С.М. Влияние человека на природу: иллюстрированный атлас мира. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2016. – 376 с.
15. Petsonk E.L., Rose C., Cohen R. Coal mine dust lung disease. New lessons from old exposure // American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. – 2013. – № 187(11). – P. 1178–1185.
16. Laney A.S., Weissman D.N. Respiratory diseases caused by coal mine dust // Journal of Occupational and Environmental Medicine. – 2014. – № 56(10S). – P. 18–22.
17. Угольные терминалы в Приморском крае – источник микроразмерного загрязнения атмосферы / Е.А. Филонова, А.С. Холодов, В.В. Чайка, В.В. Кодинцев, В.А. Дрозд, Я.Ю. Блиновская, К.С. Голохваст // Проблемы региональной экологии. – 2016. – № 5. – С. 104–106.
18. Luong N.A., Matsuda S. Pneumoconiosis Problem among the Vietnamese Coal Mine Workers // Journal of UOEH. – 1998. – № 20(4). – P. 353–360.
19. Potential harmful elements in coal dust and human health risk assessment near the mining areas in Cherat, Pakistan / M. Ishtiaq, N. Jehan, S.A. Khan, S. Muhammad, U. Saddique, B. Iftikhar, Zahidullah // Environmental Science and Pollution Research. – 2018. – № 25(15). – P. 14666–14673.

20. Coal mine dust lung disease in the modern era / *J.L. Perret, B. Plush, P. Lachapelle, T.S.C. Hinks, C. Walter, P. Clarke, L. Irving, P. Brady, S.C. Dharmage, A. Stewart* // *Respirology*. – 2017. – № 22. – P. 662–670.
21. *Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова П.И.* Основы оценки воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье человека. Пособие по региональной и экологической политике. – М.: Акрополь, ЦЭПР, 2004. – 268 с.
22. Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study / *L. Clancy, P. Goodman, H. Sinclair, D.W. Dockery* // *The Lancet*. – 2002. – № 360. – P. 1210–1214.
23. Diesel exhaust inhalation causes vascular dysfunction and impaired endogenous fibrinolysis / *N.L. Mills, H. Törnqvist, S.D. Robinson, M. Gonzalez, D. Darnley, W. MacNee, N.A. Boon, K. Donaldson, A. Blomberg, T. Sandstrom, D.E. Newby* // *Circulation*. – 2005. – № 112(25). – P. 3930–3936.
24. *Pant P., Harrison R.M.* Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review // *Atmospheric Environment*. – 2013. – № 77. – P. 78–97.
25. Morphological and chemical composition of particulate matter in buses exhaust / *V.V. Chernyshev, A.M. Zakharenko, S.M. Ugay, T.T. Hien, L.H. Hai, A.S. Kholodov, T.I. Birykina, A.K. Stratidakis, Ya.O. Mezhev, A.M. Tsatsakis, K.S. Golokhvast* // *Toxicology Reports*. – 2018. – № 5. – P. 224–230.
26. *Bazas T.* Effects of occupational exposure to dust on the respiratory system of cement workers // *The Journal of the Society of Occupational Medicine*. – 1980. – № 30. – P. 31–36.
27. *Aminian O., Aslani M., Sadeghniaat H.K.* Cross-shift study of acute respiratory effects in cement production workers // *Acta Medica Iranica*. – 2014. – № 52(2). – P. 146–152.
28. The impact of reduced dust exposure on respiratory health among cement workers: an ecological study / *A.M. Tungu, M. Bråtveit, S.H. Mamuya, B.E. Moen* // *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. – 2014. – № 56(1). – P. 101–110.
29. Mortality and cancer morbidity among cement production workers: a meta-analysis / *F. Donato, G. Garzaro, E. Pira, P. Boffetta* // *International archives of occupational and environmental health*. – 2016. – № 89(8). – P. 1155–1168.
30. Prevalence of lung function impairment among Greek cement production workers: a cross-sectional study / *G. Rachiotis, K. Kostikas, D. Pinotsi, C. Hadjichristodoulou, S. Drivas* // *Industrial Health*. – 2018. – № 56(1). – P. 49–52.
31. Increased incidence of respiratory tract cancers in people living near Portland cement plants in Korea / *S.Y. Eom, E.B. Cho, M.K. Oh, S.S. Kweon, H.S. Nam, Y.D. Kim, H. Kim* // *International Archives of Occupational and Environmental Health*. – 2017. – № 90(8). – P. 859–864.
32. *Oguntoke O, Awanu A.E., Annegarn H.J.* Impact of cement factory operations on air quality and human health in Ewekoro local government area, South-Western Nigeria // *International Journal of Environmental Studies*. – 2012. – № 69(6). – P. 934–945.
33. Effects of airborne particulate matter on respiratory health in a community near a cement factory in Chilanga, Zambia: results from a panel study / *E. Nkhama, M. Ndhlovu, J.T. Dvonch, M. Lynam, G. Mentz, S. Siziya, K. Voyi* // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2017. – № 14(11). – P. 1351.
34. Impact of cement production emissions on health: effects on the mortality patterns of the population living in the vicinity of a cement plant / *F. Giordano, F. Grippo, V. Perretta, I. Figà-Talamanca* // *Fresenius Environmental Bulletin*. – 2012. – № 21(7a). – P. 1909–1913.
35. *Remoundou K., Koundouri P.* Environmental effects on public health: an economic perspective // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2009. – № 6(8). – P. 2160–2178.
36. *Pearce D.* Economic valuation and health damage from air pollution in the developing world // *Energy Policy*. – 1996. – № 24(7). – P. 627–630.
37. *Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Румянцев Г.И.* Методологические проблемы оценки угроз здоровью человека факторов окружающей среды // *Гигиена и санитария*. – 2003. – № 6. – С. 3–7.
38. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 году: государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2017. – 220 с.
39. *Сенотрусова С.В.* Загрязнение атмосферы и состояние здоровья населения промышленных городов. – СПб.: Астерион, 2004. – 246 с.

40. *Pernigotti D., Belis C.A., Spanò L.* SPECIEUROPE: The European data base for PM source profiles // *Atmospheric Pollution Research*. – 2016. – № 7(2). – P. 307–314.

41. Исследование содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе вблизи автомобильных дорог / *Т.С. Уланова, М.В. Антипова, М.В. Волкова, М.И. Гилёва* // *Анализ риска здоровью*. – 2016. – № 4(16). – С. 38–46.

42. *Голохваст К.С.* Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2013. – 178 с.

43. Микрогазовое загрязнение атмосферы небольших промышленных населенных пунктов Приморского края (Дальнегорск, Лучегорск, Рудная Пристань) / *К.С. Голохваст, И.В. Серёдкин, В.В. Чайка, Т.Ю. Романова, А.А. Карабцов* // *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. – 2015. – № 55. – С. 108–112.

44. Potential toxic risk from the nano- and microparticles in the atmospheric suspension of Russky Island (Vladivostok) / *V.A. Drozd, A.S. Kholodov, A.I. Agoshkov, V.I. Petukhov, Ya.Yu. Blinovskaya, V.P. Lushpey, Yu.A. Vasyanovich, S.F. Solomennik, A.A. Fatkulin, V.V. Slesarenko, A.N. Minaev, A.N. Gulkov, K.S. Golokhvast* // *Der Pharma Chemica*. – 2016. – № 8(11). – P. 231–235.

45. Microscale atmospheric pollution in some small and medium-sized settlements of Primorsky Region (Russian Federation) – results of particle size analysis / *A.S. Kholodov, S.M. Ugay, V.A. Drozd, K.S. Golokhvast* // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2017. – № 87. – 042007.

46. The Influence of cement plant on the atmospheric pollution with microscale particulate matter in Spassk-Dalny town (Primorsky Region, Russia) – particle size analysis / *A. Kholodov, S. Ugay, V. Drozd, S. Gulkova, K. Golokhvast* // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2018. – № 692. – P. 1017–1023.

#### **Информация об авторах** **Information about the authors**

**Холодов Алексей Сергеевич** – Дальневосточный федеральный университет; 690990, Россия, Владивосток; кандидат географических наук, главный специалист научно-организационного управления Инженерной школы; alex.holodov@gmail.com

**Kholodov Alexey Sergeevich** – Far Eastern Federal University; 690990, Russia, Vladivostok; Candidate of Geographical Sciences; Senior Specialist of Scientific and Organizational Management, School of Engineering; alex.holodov@gmail.com

**Кириченко Константин Юрьевич** – Дальневосточный федеральный университет; 690990, Россия, Владивосток; кандидат биологических наук, научный сотрудник НОЦ «Нанотехнологии»; kirichenko.kiu@dvfu.ru

**Kirichenko Konstantin Yuryevich** – Far Eastern Federal University; 690990, Russia, Vladivostok; Candidate of Biological Sciences, Researcher of the SEC of Nanotechnology; kirichenko.kiu@dvfu.ru

**Задорнов Константин Сергеевич** – Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, 119071, Россия, Москва; кандидат экономических наук, доцент кафедры коммерции и сервиса; konstantin.zadornov@yandex.ru

**Zadornov Konstantin Sergeevich** – Russian State University named after A.N. Kosygin, 119071, Russia, Moscow; Candidate of Economical Sciences, Associate Professor of the Commerce and Service Chair; konstantin.zadornov@yandex.ru

**Голохваст Кирилл Сергеевич** – Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения РАН; 690041, Россия, Владивосток; член-корреспондент РАО, профессор РАН, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии и охраны животных, droopy@mail.ru

**Golokhvast Kirill Sergeevich** – Pacific Geographical Institute, Far-Eastern Branch RAS, 690041, Russia, Vladivostok; MD, MSc, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher of Ecology and Animals Protection Laboratory; droopy@mail.ru

УДК 597.317: 639.32

**А.В. Виноградская, А.А. Матвеев, Т.В. Рязанова, Д.А. Терентьев, Ю.К. Курбанов****МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГОДОВЫХ КОЛЕЦ НА ПОЗВОНКАХ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОМБОВЫХ СКАТОВ (RAJIDAE BLAINVILLE, 1816)**

Для определения возраста трех видов скатов – щитоносного *Bathyraja parmifera* Bean, фиолетового *Bathyraja violacea* Suvorov и алеутского *Bathyraja aleutica* Gilbert – опробовано несколько методов визуализации годовых колец, расположенных на вогнутой верхней поверхности (калькареумах) позвонков. Кроме описанных в литературе методик и их модификаций, а также стандартных гистологических методов использовали разработанную нами методику окрашивания целого позвонка в 1%-ном спиртовом растворе бриллиантового зеленого (*Viride nitens*) с последующей термической обработкой. Наилучшим образом годовые кольца просматриваются на гистологических срезах и после окрашивания бриллиантовым зеленым. В отличие от трудоемкой гистологической обработки предложенный нами метод является достаточно быстрым и эффективным для определения количества годовых колец на позвонках скатов. Он простой в использовании, не требует специальных реактивов, дорогостоящего оборудования и может применяться даже в полевых условиях.

**Ключевые слова:** ромбовые скаты, годовые кольца, окрашивание позвонков, гистологический срез, декальцинация, бриллиантовый зеленый.

**A.V. Vinogradskaya, A.A. Matveev, T.V. Ryazanova, D.A. Terentiev, U.K. Kurbanov****VISUALIZATION METHODS OF ANNUAL RINGS ON THE CALLBOARDS OF SOME TYPES OF ROMBIAN SKATES (RAJIDAE BLAINVILLE, 1816)**

To determine the age of three species of rombian skates, including shield-bearing *Bathyraja parmifera* Bean, purple *Bathyraja violacea* Suvorov, and Aleutian *Bathyraja aleutica* Gilbert, several methods of visualization of annual rings located on the concave upper surface (calareums) of the vertebrae were tested. Besides applying methods described in the scientific references, their modifications and standard histological protocols, we also used our personally developed method to stain the whole vertebra in 1% alcohol solution of brilliant green (*Viride nitens*) followed by heat treatment. The annual rings were best observed in histological sections and after staining with brilliant green. In contrast to the time-consuming histological processing, our newly designed method was fast enough and effective for determining the number of annual rings on the vertebrae of rombian skates. It does not require complex and time-consuming processing, special reagents and expensive equipment and can be applied even in the field.

**Key words:** rombian skates, annual rings, vertebral staining, histological section, decalcification, brilliant green.

DOI: 10.17217/2079-0333-2019-49-89-97

**Введение**

У берегов Камчатки встречаются 16 видов скатов, относящихся к семейству обыкновенных или ромбовых Rajidae [1]. Из них наиболее массовыми и крупными скатами, представляющими промысловый интерес, являются пять видов: скат Мацубары *Bathyraja matsubarae*, пятнистый скат *Bathyraja maculata*, алеутский *Bathyraja aleutica*, фиолетовый скат *Bathyraja violacea* и щитоносный *Bathyraja parmifera* [2–7].

Представители этого рода обладают специфическими особенностями биологии. Им присущи медленный темп роста [8], позднее половое созревание [9], низкие темпы воспроизводства [10] и некоторые специфические особенности эмбрионального развития яиц, что делает их запасы уязвимыми в отношении промысла [11–17]. В настоящее время существует значительный пробел в представлениях о биологии развития скатов. Так еще до сих пор точно не установлена продолжительность их жизни. В одних случаях имеющиеся в литературе оценки возраста заметно разнятся, в других – такие сведения отсутствуют.

Материалом для определения возраста пластиножаберных рыб, к которым относятся и скаты, служат позвонки, спинные хребты, невральные (мозговые) арки и хвостовые шипы [18]. Позвонки используются для определения возраста скатов чаще, чем хвостовые шипы, поскольку сбор и подготовка препаратов из них гораздо проще, чем из шипов. Однако, по свидетельству многих авторов, они неприемлемы для его точного определения, так как размер шипа не всегда коррелирует с линейным размером рыбы [19–22]. Тем не менее российские исследователи определяют возраст скатов в основном по количеству колец на наиболее крупных шипах, расположенных на дорзальной поверхности их тела [23].

В настоящее время существуют разные методы определения возраста хрящевых рыб. Все они основаны на подсчете количества годовых колец на позвонках. Для их точной идентификации позвонки подвергают обработке – окрашивают, получают гистологические препараты или шлифовку поверхности. Перечисленные методы визуализации годовых колец дают хорошие результаты. Их общим недостатком является большая трудоемкость и необходимость использования специального оборудования [24]. Менее затратны по усилиям различные модификации стандартных методов окраски целых позвонков или их сагиттальных (продольных) срезов [20, 25–26], но и они требуют значительных затрат времени.

В ходе проведенного нами исследования были апробированы известные методы визуализации годовых колец у представителей рода *Bathyraja* и разработан собственный метод обработки и окрашивания их позвонков. Ниже представлены сравнительные результаты апробации всех упомянутых выше методов визуализации годовых колец у скатов.

### Материалы и методы

Материалом для исследований послужили позвонки *B. parmifera*, *B. violacea* и *B. aleutica*, собранные сотрудниками лаборатории морских промысловых рыб Камчатского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО») во время донного тралового промысла у юго-западного побережья Камчатки донным тралом в 2017 г. Их отбирали у свежельвовленных особей скатов. Для этого на дорзальной стороне рыб делали продольный разрез и отсекали участки позвоночника, расположенные ближе к началу хвостовой части. Отбор материала был проведен у 8 особей разных видов скатов.

От сопутствующих тканей позвонков частично очищали механическим способом. Далее образцы подвергали заморозке или фиксировали в 70%-ном спирте. В лаборатории замороженные позвонки дефростировали и подвергали тщательной механической очистке от хрящевой и мышечной ткани. Зафиксированные в спирте участки позвоночника промывали проточной водой. Подготовленный таким образом материал использовали для экспериментальных исследований. Для подсчета колец использовали стереомикроскоп Olympus CZX10. Гистологические срезы фотографировали под микроскопом Olympus BX43.

### Результаты и обсуждение

В первом случае годовые кольца на поверхности целых позвонков скатов определяли без окрашивания. Для этого вогнутую поверхность позвонка вручную шлифовали мелкозернистой наждачной бумагой (P1500), а затем просматривали под стереомикроскопом на темном фоне в отраженном свете. На поверхности позвонка очень слабо определялись кольца, при этом было трудно отличить годовое кольцо от царапины, появившейся в ходе механической обработки позвонка.

#### **Окрашивание позвонков без предварительной декальцинации**

Для сравнимости результатов окрашивания позвонков разными способами использовали позвонки от одной особи. Окрашивали как целые позвонки, так и разрезанные сагиттально. Позвонки, хранившиеся в 70%-ном спирте, перед окрашиванием промывали в проточной воде в течение 15 мин.

**Азотнокислое серебро.** Для апробации этого красителя использовали позвонки ската *B. parmifera*, длина которого достигала 90 см. Окрашивание 1%-ным азотнокислым серебром проводили в точном соответствии с методами, предложенными А.В. Деревщиковым [25] и А.С. Хендерсоном с соавторами [26], и их модифицированными вариациями, касающимися

изменения времени экспозиции позвонков в красителе и под ультрафиолетовым излучением. Отметим, что в последней статье точное время экспозиции позвонков в ультрафиолетовом свете не указано. Ее авторы предлагают облучать их ультрафиолетом до появления очертаний годовых колец.

Результаты визуализации колец на позвонках, окрашенных азотнокислым серебром, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты окрашивания изучаемого материала азотнокислым серебром разными методами

Изученный материал	Время экспозиции				Результат окрашивания
	Окрашивание	Ультрафиолетовое воздействие	Промывка в проточной воде	Тиосульфат натрия	
Целый позвонок	1 мин	10 с	5 мин	Нет	Кольца не видны
	1 мин	5 с	нет	10 мин	Очень слабо угадываются 5–6 колец
Сагиттальный срез позвонка	45 мин	10 с	нет	10 мин	Поверхность черная, колец не видно
	45 мин	5 с	нет	10 мин	Очень слабо угадываются 5 колец

*Примечание.* В первой строке приведены результаты окрашивания материала по методу А.В. Деревщикова [25], в третьей – А.С. Хендерсена с соавторами [26], во 2 и 4-й – по их методам, модифицированным авторами.

**Кристаллический фиолетовый.** Использовали позвонки ската *B. parmifera*, длина которого достигала 76 см. Целые позвонки и их половины окрашивали в 0,01%-ном растворе кристаллического фиолетового по методике, предложенной А.В. Деревщиковым [25]. Для достижения лучшего результата пробовали менять время экспозиции образцов в красителе. Процесс окрашивания останавливали путем ополаскивания в 50%-ном изопропиловом спирте или водой. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты окрашивания изучаемого материала кристаллическим фиолетовым разными методами

Изученный материал	Время экспозиции			Результат окрашивания
	Окрашивание	Ополаскивание водой	Обработка 50%-ным изопропиловым спиртом	
Целый позвонок	15 мин	Да	Да	Кольца не видны
	2 ч	Нет	Да	3 кольца
Сагиттальный срез позвонка	15 мин	Да	Нет	Очень слабо 7–9 колец
	12 ч	Да	Да	Очень слабо 7–9 колец

*Примечание.* В первой строке приведены результаты окрашивания материала по методу А.В. Деревщикова [25], в третьей – А.С. Хендерсена с соавторами [26], во 2 и 4-й – по их методам, модифицированным авторами.

**Гематоксилин Эрлиха.** Позвонок от образца того же вида ската, имевшего длину 76 см, был окрашен гематоксилином Эрлиха (водный раствор в соотношении 1 : 10). Этот краситель обычно применяется для окрашивания костной ткани с целью визуализации линий склеивания, так как с его помощью хорошо выявляются хрящевые элементы, контрастирующие с коллагеновой тканью [27]. Предварительно промытый в проточной воде в течение 12 ч позвонок разрежали на 2 части сагиттально по центру. Результаты окрашивания изученного материала представлены в табл. 3.

Таблица 3

Методы обработки сагиттальных срезов позвонков с использованием гематоксилина Эрлиха

Изученный материал	Время экспозиции		
	Окрашивание	Промывка в проточной воде	Результат
Сагиттальный срез	15 мин	15 мин	Очень слабо различаются 6 колец
Сагиттальный срез	12 ч	15 мин	Очень слабо различаются 6 колец

### Окрашивание позвонков после декальцинации

**Стандартная гистологическая обработка и окрашивание.** Позвонки от скатов *B. parmifera* длиной 79,0 см и *B. parmifera* длиной 85,0 см обработали обычными гистологическими методами. Целые позвонки фиксировали в растворе Девидсона в течение 48 ч [28]. За счет присутствия в составе этого фиксатора ледяной уксусной кислоты при обработке материала происходит декальцинация костных тканей. Обезвоживание и заливку образцов в парафин, приготовление гистологических срезов проводили по стандартной гистологической методике. Полученные препараты окрашивали гематоксилин-эозином по Эрлиху [27]. На гистологических препаратах позвонков обоих скатов линии роста видны достаточно четко. Однако в обоих случаях в срез не попала или краевая, или центральная область поверхности позвонка, и подсчет количества полос не дал однозначного результата (рис. 1).

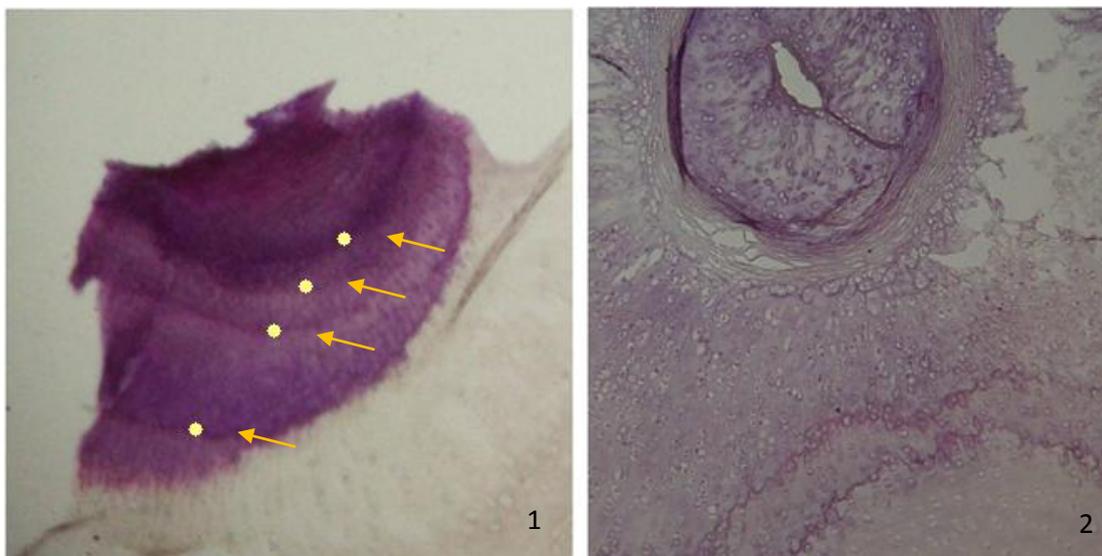


Рис. 1. Микрофотографии срезов позвонков скатов, окрашенных гематоксилин-эозином. 1 – позвонок с четырьмя годовыми кольцами (указаны стрелками); 2 – центральная часть калькареума

Таким образом, обычная гистологическая обработка дает хорошие результаты в плане визуализации линий роста. Однако даже изготовление большого количества серийных срезов не гарантирует адекватного подсчета всех линий роста. Кроме того, этот метод требует много времени, специального оборудования и не применим для массовых исследований.

### Окрашивание декальцинированного материала по методу А.В. Деревщикова [25]

Окрашивали позвонки скатов, принадлежащих к видам *B. violacea* и *B. parmifera*, длина их тела составляла 69 и 91 см соответственно. Декальцинацию проводили в 5%- и 70%-ном растворах азотной кислоты, в растворе азотная кислота – формалин, растворе EDTA [27, 29].

Позвонки *B. violacea* декальцинировали в 5%-ном растворе азотной кислоты. Для этого целый позвонок помещали в раствор азотной кислоты и каждые 15 мин проверяли степень декальцинации. Спустя 7 ч образец стал эластичным. Для прерывания декальцинации образцы помещали в 5%-ный раствор сульфата натрия на 12 ч. Затем целый позвонок разрезали по центру. Одну из половин позвонка окрашивали в 0,01%-ном растворе кристаллического фиолетового, вторую – 1%-ным азотнокислым серебром по методу А.В. Деревщикова [25]. В обоих случаях линии на вогнутой стороне позвонков и на сагиттальных срезах не были обнаружены.

Позвонки ската *B. violacea* (длиной 69,0 см) декальцинировали также в растворе азотная кислота – формалин. Целый позвонок поместили в декальцинирующий раствор и проверяли степень декальцинации каждые 15 мин. Он стал эластичным по прошествии 5 ч. Далее его промыли в проточной воде 12 ч, затем разрезали на две половины. Окрашивание в 0,01%-ном растворе кристаллического фиолетового и 1%-ном азотным серебром, как и в первом случае, не дало результатов.

Позвонки *V. parmifera* (длина 91 см) декальцинировали в растворе EDTA (5,5 г EDTA, 10 мл 40%-ного формалина, 90 мл дистиллированной воды) в течение недели. Затем для удаления декальцинирующего раствора образец перенесли в физраствор на 2 ч и далее окрашивали раствором гематоксилина по Эрлиху тем же способом, что и позвонки, не подвергавшиеся декальцинации. При микроскопировании окрашенного материала кольца не просматривались.

**Окрашивание декальцинированного материала методами, разработанными авторами**

Целые позвонки выдерживали в 70%-ном растворе уксусной кислоты. Время их экспозиции 2–14 дней, в зависимости от размера позвонков. Окончание выдержки определяли по степени размягчения хрящевой ткани на поверхности позвонка и считали его законченным, когда край калькареума с легкостью отделялся. Декальцинированные позвонки промывали в воде около 3 с и очищали от хрящевой ткани и далее использовали для окрашивания.

Целый позвонок ската *V. violacea* длиной 59,5 см окрашивали в растворе кристаллического фиолетового в течение 10 мин, далее промывали его в 96%-ном этиловом спирте. При изучении позвонка под микроскопом были хорошо видны 8 колец (рис. 2).

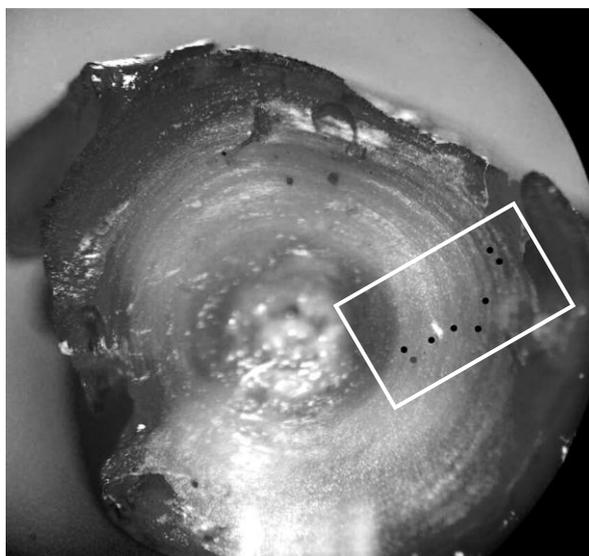


Рис. 2. Целый позвонок *V. violacea*, окрашенный кристаллическим фиолетовым. Черными точками в выделенном квадрате указаны восемь годовых колец

Тот же окрашенный позвонок разделили сагиттально на две части и подвергли повторному окрашиванию. При этом первую половину позвонка в течение 10 мин окрашивали раствором кристаллического фиолетового и промывали 96%-ным этиловым спиртом. При его микроскопировании были хорошо различимы 8 колец (рис. 3).

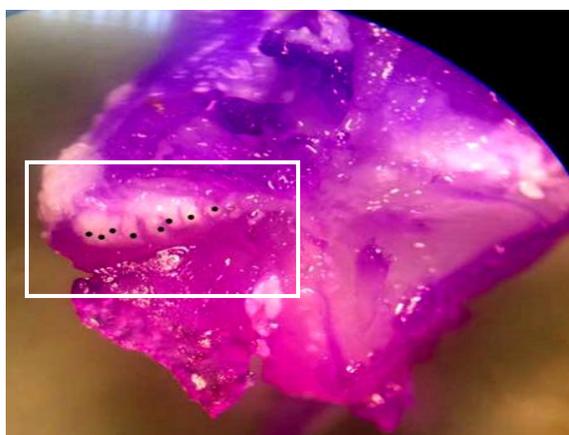


Рис. 3. Половина позвонка *V. violacea*, окрашенного кристаллическим фиолетовым. Черными точками в выделенном квадрате указаны восемь годовых колец

Эту же половину позвонка по месту среза шлифовали наждачной мелкозернистой бумагой (зернистость Р 1500). При просмотре под бинокляром годовые кольца были видны нечетко. При обработке фотографии половинки позвонка в графическом редакторе после применения черно-белого фильтра, увеличения резкости, повышения контраста они проявились отчетливее (рис. 4).

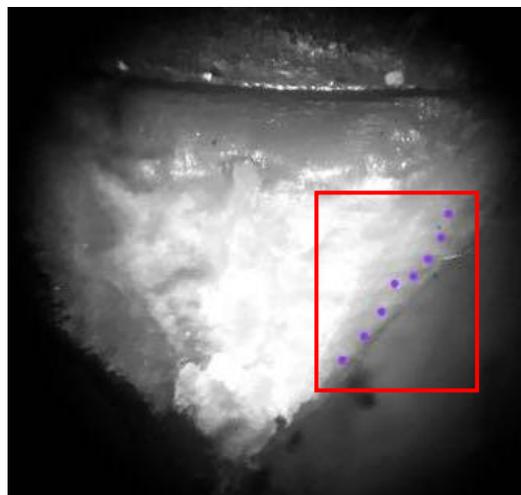


Рис. 4. Срез позвонка *B. violacea* после обработки наждачной мелкозернистой бумагой. Точками в выделенном квадрате указаны восемь годовых колец

Окрашивание позвонков ската *B. aleutica* с длиной тела 94,6 см проводили в 1%-ном спиртовом растворе бриллиантового зеленого в течение 10 мин, затем их промывали в чистой воде. После окрашивания кольца были различимы, но подсчитать их количество было трудно, поскольку невозможно было определить, какие из колец являются годовыми, а какие добавочными. Этот же позвонок осушили бумажной салфеткой и обожгли над пламенем горелки до тех пор, пока его вогнутая поверхность не поменяла цвет с зеленого на светло-коричневый. Многократные повторы данного способа окрашивания показали, что годовые кольца на вогнутой поверхности позвонка просматриваются четко и хорошо отличаются от добавочных колец (рис. 5).

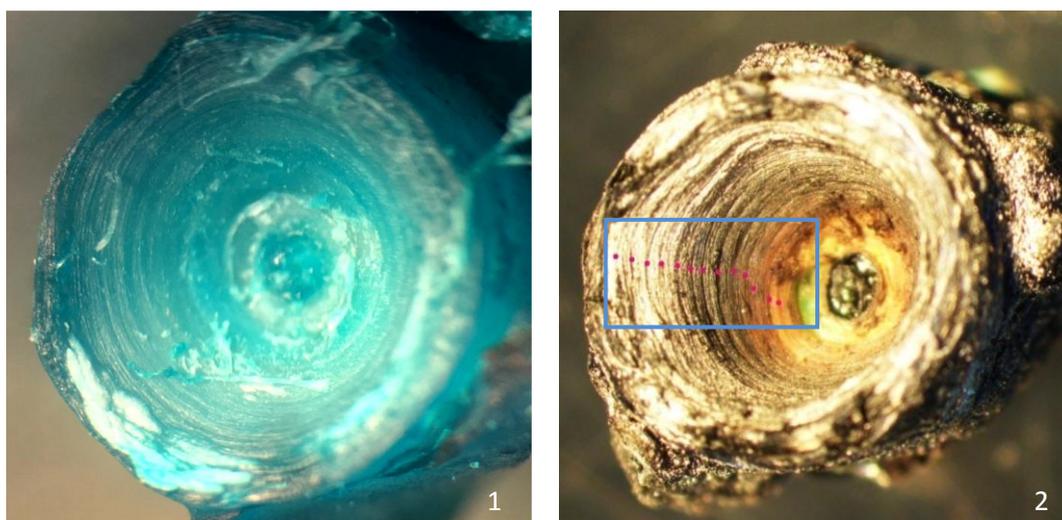


Рис. 5. Позвонок *B. aleutica*. 1 – позвонок, окрашенный в 1%-ном спиртовом растворе бриллиантового зеленого; 2 – этот же позвонок, подвергнутый термической обработке (точками в выделенном квадрате указаны тринадцать годовых колец)

Сравнение методов визуализации годовых колец у позвонков скатов, таким образом, показывает, что наилучшие результаты дает окрашивание декальцинированного материала 1%-ным спиртовым раствором бриллиантового зеленого.

### Заключение

Результаты проведенного исследования позволяют говорить о том, что обычная гистологическая методика позволяет хорошо визуализировать годовые кольца у позвонков скатов. Однако ее использование требует навыков получения качественных продольных и поперечных срезов. Она затратна по времени, требует большого расхода химреактивов, использования дорогостоящего оборудования для производства гистологических препаратов, поэтому малоприменяема для изучения большого количества образцов.

Предложенная нами методика окрашивания целого позвонка в 1%-ном спиртовом растворе бриллиантового зеленого намного проще и дешевле. При этом она пригодна для достоверного определения возраста скатов и изучения большого количества предварительно декальцинированных образцов. Полученные результаты могут быть использованы для определения возрастного состава популяций ромбовых скатов, обитающих в прикамчатских водах.

### Литература

1. Шейко Б.А., Федоров В.В. Класс *Cephalaspidomorphi* – Миноги. Класс *Chondrichthyes* – Хрящевые Рыбы. Класс *Holocephali* – Цельноголовые. Класс *Osteichthyes* – Костные рыбы // Каталог позвоночных Камчатки и сопредельных морских акваторий. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2000. – С. 7–69.
2. Долганов В.Н., Тупоногов В.Н. Определительные таблицы скатов родов *Bathyraja* и *Rhinoraja* (сем. *Rajidae*) дальневосточных морей России // Известия ТИНРО. – 1999. – Т. 126. – С. 657–664.
3. Орлов А.М. Алеутский скат – *Bathyraja aleutica* (Gilbert, 1896) // Промысловые рыбы России / под ред. О.Ф. Гриценко, А.Н. Котляра и Б.Н. Котенева. – М.: ВНИРО, 2006а. – Т. 1. – С. 45–46.
4. Орлов А.М. Пятнистый скат – *Bathyraja maculata* Ishiyama et Ishihara, 1977 // Промысловые рыбы России / под ред. О.Ф. Гриценко, А.Н. Котляра и Б.Н. Котенева. – М.: ВНИРО, 2006б. – С. 46–47.
5. Орлов А.М. Скат Мацубары – *Bathyraja matsubarai* (Ishiyama, 1952) // Промысловые рыбы России / под ред. О.Ф. Гриценко, А.Н. Котляра и Б.Н. Котенева. – М.: ВНИРО, 2006в. – Т. 1. – С. 47–49.
6. Орлов А.М. Щитоносный скат – *Bathyraja parmifera* (Bean, 1881) // Промысловые рыбы России / под ред. О.Ф. Гриценко, А.Н. Котляра и Б.Н. Котенева. – М.: ВНИРО, 2006г. – Т. 1. – С. 49–50.
7. Пространственное распределение массовых видов скатов рода *Bathyraja* в районе северных Курильских островов и юго-восточной Камчатки в различные сезоны 1996–1997 гг. / Р.Н. Фатыхов, Ю.Н. Полтев, И.Н. Мухаметов, О.Ю. Немчинов // Промыслово-биологические исследования рыб в тихоокеанских водах Курильских островов и прилегающих районах Охотского и Берингова морей в 1992–1998 гг. – М.: ВНИРО, 2000. – С. 104–120.
8. Орлов А.М., Токранов А.М. Природоохранный статус хрящевых рыб (*Chondrichthyes*) дальневосточных вод России // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Тез. докл. XII междунар. науч. конф., посвященной 300-летию со дня рождения С.П. Крашенинникова. – Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2011. – С. 113–117.
9. Adams P.B. Life history patterns in marine fishes and their consequences for fisheries management // Fishery Bulletin. – 1980. – V. 78, № 1. – P. 1–10.
10. Sharks and their relatives: ecology and conservation / M. Camhi, S. Fowler, J. Musick, A. Brautigam, S. Fordham // IUCN/SSC Shark Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 1998. – 39 p.
11. Casey J.M., Myers R.A. Near extinction of a large, widely distributed fish // Science. – 1998. – 281. – P. 690–692.
12. Cortes E. Life history patterns and correlations in sharks // Reviews in Fisheries Science. – 2000. – V. 8, № 4. – P. 299–344.
13. Fishery stability, local extinctions, and shifts in community structure in skates / N.K. Dulvy, J.D. Metcalfe, J. Glanville, M.G. Pawson, J.D. Reynolds // Conservation Biology. – 2000. – №. 14 (1). P. 283–293.

14. Gulf of Alaska skates. In Stock assessment and fishery evaluation report for the groundfish resources of the Gulf of Alaska / S. Gaichas, N. Sagalkin, C. Gburski, D. Stevenson, R. Swanson // North Pacific groundfish stock assessment and fishery evaluation reports for 2006. Appendix B. Chapter 16. – 2005. – P. 881–926.
15. Holden M.J. Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations and some suggested solutions // Sea fisheries research. – New York: John Wiley and Sons, 1974. – P. 117–137.
16. Hoenig J.M., Gruber, S.H. Life-history patterns in the elasmobranchs: implications for fisheries management // Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics, and the status of the fisheries: NOAA Technical Report NMFS 90. – 1990. – P. 1–16.
17. King J.R., McFarlane G.A. Marine fish life history strategies: applications to fishery management // Fisheries Management and Ecology. – 2003. – № 10. – P. 249–264.
18. Cailliet G.M., Goldman K.J. Age determination and validation in chondrichthyan fishes // Biology of sharks and their relatives. – FL, Boca Raton: CRC Press, 2004.
19. Davis C.D., Gailliet G.M., Ebert D.A. Age and growth of the rough-tail skate *Bathyraja trachura* (Gilbert 1892) from the eastern North Pacific // Environmental Biology of Fishes – 2007. – № 80. – P. 325–336.
20. Life history and population dynamics of Alaskan skates: providing essential biological information for effective management of bycatch and target species / D.A. Ebert, W.D. Smith, D.L. Haas, S.M. Ainsley, G.M. Cailliet // North Pacific Research Board Final Report 510. – 2007. – 124 p.
21. Gallagher M.J., Green M.J., Nolan C.P. The potential use of caudal thorns as a non-invasive ageing structure in the thorny skate (*Amblyraja radiata* Donovan, 1808) // Environmental Biology of Fishes. – 2006. – № 77. – P. 265–272.
22. Matta M.E., Gunderson D.R. Age, growth, maturity and mortality of the Alaska skate, *Bathyraja parmifera*, in the eastern Bering Sea // Environmental Biology of Fishes. – 2007. – № 80 (2–3). – P. 309–323.
23. Долганов В.Н. Размеры, возраст и рост скатов семейства *Rajidae* дальневосточных морей России // Известия ТИНРО. – 2005. – Т. 143. – С. 84–89.
24. Age and growth estimates for the smooth skate, *Malacoraja senta*, in the Gulf of Maine / L.J. Natanson, J.A. Sulikowski, J.R. Kneebone, P.C. Tsang // Environmental Biology of Fishes. – 2007. – № 80. – P. 293–308.
25. Деревщицков А.В. Методические подходы к определению возраста звездчатого ската (*Amblyraja radiata*) с использованием целых позвонков и их срезов // Рыбное хозяйство. – М.: ФГУП «Национальные рыбные ресурсы», 2013. – № 1. – С. 43–46.
26. Henderson A.C., Arkhipkin A.I., Chtcherbich J.N. Distribution, Growth and Reproduction of the White-spotted Skate *Bathyraja albomaculata* (Norman, 1937) around the Falkland Islands // J. Northw. Atl. Fish. Sci. – 2005. – № 35. – P. 79–87
27. Bancroft D., Stevens A., Turner D.R. Theory and practice of histological techniques. – Edinburgh-London-Melbourne-New York: Churchill Livingstone Inc., 1990. – 725 p.
28. Bell T.A., Lightner D.V. A handbook of normal penaeid shrimp histology. – Louisiana. Baton Rouge: The World aquaculture society, 1988. – 114 p.
29. Correia J.P., Figueiredo I.M. A modified decalcification technique for enhancing growth bands in deep-coned vertebrae of elasmobranchs // Environmental Biology of Fishes. – 1997. – № 50. – P. 225–230.

#### Информация об авторах Information about the authors

**Виноградская Анастасия Викторовна** – Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; специалист; vinogradskaya.a@kamniro.ru

**Vinogradskaya Anastasiya Viktorovna** – Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography “VNIRO”; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; specialist; vinogradskaya.a@kamniro.ru

**Матвеев Андрей Анатольевич** – Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; специалист; matveev.a.a@kamniro.ru

**Matveev Andrey Anatolevich** – Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography “VNIRO”; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; specialist; matveev.a.a@kamniro.ru

**Рязанова Татьяна Вячеславовна** – Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук; ryazanova.t.v@kamniro.ru

**Ryazanova Tatyana Vyacheslavovna** – Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography “VNIRO”; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Leading Researcher, Candidate of Biological Sciences; ryazanova.t.v@kamniro.ru

**Терентьев Дмитрий Анатольевич** – Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук; terentiev.d.a@kamniro.ru

**Terentiev Dmitry Anatolyevich** – Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography “VNIRO”; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Leading Researcher, Candidate of Biological Sciences; terentiev.d.a@kamniro.ru

**Курбанов Юрий Каримович** – Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО»; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; специалист; kurbanov.u.k@kamniro.ru

**Kurbanov Yuri Karimovich** – Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography “VNIRO”; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; specialist; kurbanov.u.k@kamniro.ru

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

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

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

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

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

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

**05.18.00 – технология продовольственных продуктов:**

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

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

05.18.17 – Промышленное рыболовство (технические науки).

**03.02.00 – общая биология:**

03.02.08 – Экология (биологические науки);

03.02.04 – Зоология (биологические науки);

03.02.10 – Гидробиология (биологические науки);

03.02.14 – Биологические ресурсы (биологические науки).

В рамках общих направлений предпочтение отдается следующим профилям:

– научно-информационное обеспечение развития технических систем, контроля природной среды и использования природных ресурсов;

– аквакультура и охрана водных биологических ресурсов и среды их обитания, воздействие природных и антропогенных факторов на состояние водных экосистем;

– пищевые технологии и рыбоперерабатывающая техника.

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

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

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

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

### **Направление рукописей**

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

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

– анкета-заявка на опубликование. Если у статьи несколько авторов, то сведения предоставляются полностью о каждом из них, указывается автор для переписки с редакцией (Приложение 1);

– согласие автора о передаче права на публикацию рукописи и распространение в российских и международных электронных базах данных (Приложение 2);

– акт экспертизы / экспертное заключение в форме, принятой в направляющей организации;

– разрешение на опубликование материалов от организации, в которой работает автор с подписью руководителя и печатью организации (для внешних авторов).

### **Рецензирование рукописей**

Статьи, присланные в журнал, проходят предварительное (общий допуск) и профильное (официальная рецензия) рецензирование. Вопрос об опубликовании рукописи, ее отклонении решает редакционная коллегия журнала.

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

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

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

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

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

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

Оригиналы рецензий хранятся в редакции журнала в течение пяти лет.

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

### Опубликование рукописей

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

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

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

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

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

Печатная версия журнала высылается по всем обязательным адресам рассылки.

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

### Приложение 1

#### Анкета-заявка

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

### Приложение 2

#### Согласие автора

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

Я, нижеподписавшийся, \_\_\_\_\_  
(Ф., И., О. автора)

автор рукописи \_\_\_\_\_

(название рукописи)

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

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

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

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

наименование  
организации

должность

дата

подпись

расшифровка  
подписи

## 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 ( $\approx 150$  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 ( $\approx 150$  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

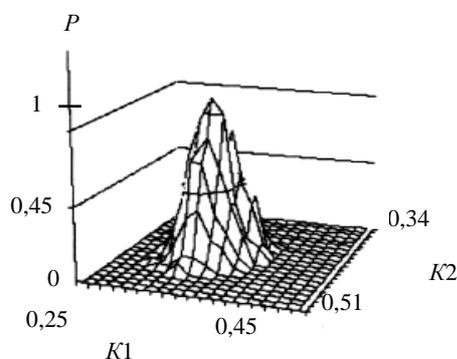


Рис. 3. Функция  $P(K1, K2)$  вероятности работоспособности трехфазового мостового выпрямителя

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  $y_j^H(x)$ .

**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. Гептнер, 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, промышленное 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](mailto: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](mailto:oni@kamchatgtu.ru)

## **РЕДАКЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ**

Редакция журнала «Вестник Камчатского государственного технического университета» информирует читателей об изменениях, вносимых в ранее опубликованные материалы.

На основании выявления некорректного заимствования в статье С.А. Поповой «Анализ ценообразования на конкурентном рынке рыбной продукции в рыбохозяйственном комплексе Камчатского края», опубликованной в выпуске 34 журнала (DOI: 10.17217/2079-0333-2015-34-114-123), принято решение о ретракции указанной статьи.

Выписка из протокола заседания редакции журнала № 3 от 02.09.2019 и необходимая информация по данному вопросу отправлены в Совет по этике научных публикаций и базы научной информации (НЭБ, КиберЛенинка).

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 30.09.2019 г.  
Формат 60\*84/8. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman  
Авт. л. 10,27. Уч.-изд. л. 10,67. Усл. печ. л. 12,78  
Тираж 500 экз. Заказ № 17

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» 81288

Цена свободная

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