

ИЗВЕСТИЯ

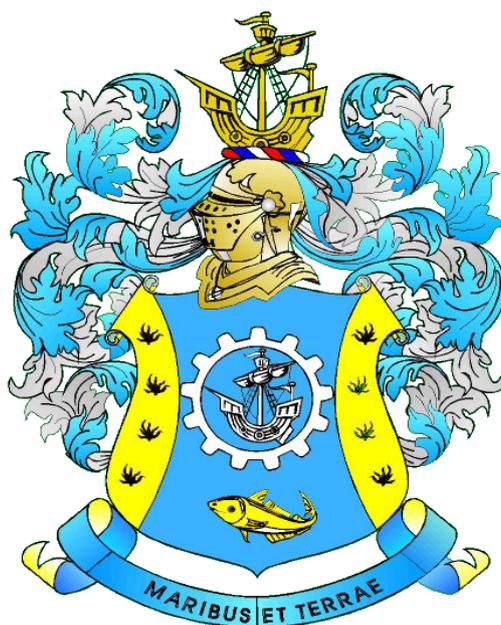
КГТУ

2020

№ 59

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Научный журнал



Индексирование журнала, включение в базы данных
*Входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны
быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой
степени доктора наук Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
Agricultural Research Information System (Agris)*

Калининград

«Известия КГТУ»
Учредитель: ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный
технический университет»

Научный журнал
Основан в 2002 г.

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915 от 22 декабря 2011 г.

Редакционный совет:

Главный редактор: В. А. Волкогон, канд. экон. наук, доц.
Зам. главного редактора: Н. А. Кострикова, канд. физ.-мат. наук, доц.

С. Т. Антипов, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный университет инженерных технологий, проректор по научной и инновационной деятельности, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств;
А. В. Бараненко, д-р техн. наук, проф., Национально-исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, советник ректора, заведующий кафедрой холодильных установок;
О. А. Булатов, д-р биол. наук, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва, заместитель директора по научной работе;
А. М. Ершов, д-р техн. наук, проф., ООО «Айсберг-Норд», главный научный сотрудник по развитию, г. Мурманск;
Е. А. Криксунов, д-р биол. наук, проф., МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, заведующий лабораторией онтогенеза кафедры ихтиологии;
С. Е. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, г. Санкт-Петербург;
Ю. И. Нечаев, д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный морской технический университет;
В. А. Панфилов, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева;
О. Я. Тимофеев, д-р техн. наук, доц., Крыловский государственный научный центр, г. Санкт-Петербург, заместитель генерального директора;
Мирослав Шредер, д-р экон. наук, проф., Гданьский университет (Польша, г. Гданьск), декан факультета управления;
А. В. Юров, д-р физ.-мат. наук, проф., Институт физико-математических наук и информационных технологий БФУ им. И. Канта, г. Калининград, директор;
Марек Якубовский, д-р техн. наук, проф., Кошалинский политехнический университет (Польша, г. Кошалин), заведующий кафедрой «Процессы и аппараты пищевых производств»

Редакционная коллегия:

О. В. Агеев, канд. техн. наук, доц.; *О. А. Анциферова*, канд. с.-х. наук, доц.;
А. Г. Архипов, д-р биол. наук, проф.; *О. М. Бедарева*, д-р биол. наук, доц.;
В. Ф. Белей, д-р техн. наук, проф.; *В. В. Брюханов*, д-р физ.-мат. наук, проф.;
Р. Н. Буруковский, д-р биол. наук, проф.; *Верхотуров В. В.*, д-р биол. наук, проф.;
А. А. Герасимов, д-р техн. наук, проф.; *С. В. Дятченко*, д-р техн. наук, доц.;
А. В. Иванов, д-р экон. наук, проф.; *В. П. Иванов*, д-р техн. наук, проф.;
И. П. Корнева, канд. физ.-мат. наук, проф.; *О. Я. Мезенова*, д-р техн. наук, проф.;
В. М. Минько, д-р техн. наук, проф.; *А. Г. Мнацаканян*, д-р экон. наук, проф.;
А. Б. Муромцев, д-р вет. наук, проф.; *Е. Н. Науменко*, д-р биол. наук, доц.;
В. А. Наумов, д-р техн. наук, проф.; *В. И. Одинцов*, д-р техн. наук, проф.;
А. И. Притыкин, д-р техн. наук, проф.; *М. М. Розенштейн*, д-р техн. наук, проф.;
Е. С. Роньжина, д-р биол. наук, проф.; *В. И. Саускан*, д-р биол. наук, проф.;
Л. И. Сергеев, д-р экон. наук, проф.; *Г. Г. Серпунин*, д-р биол. наук, проф.;
Н. Я. Синявский, д-р физ.-мат. наук, проф.; *В. А. Слежкин*, канд. хим. наук, доц.;
Т. Е. Степанова, д-р экон. наук, проф.; *А. Э. Суслов*, канд. техн. наук, доц.;
В. И. Сутырин, д-р техн. наук, проф.; *И. М. Титова*, канд. техн. наук, доц.;
А. Б. Тристанов, канд. техн. наук, доц.; *Ю. А. Фатыхов*, д-р техн. наук, проф.;
С. В. Фёдоров, д-р техн. наук, проф.; *В. А. Фунтиков*, д-р хим. наук, проф.;
С. В. Шibaев, д-р биол. наук, проф.; *А. Я. Яфасов*, д-р техн. наук

Выпускающий редактор С. В. Супрунова

Адрес редакции: 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1;
тел.: (4012) 99-59-01, 99-59-10, 99-59-74; факс: (4012) 91-68-46;
сайт: www.klgtu.ru; E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
2020



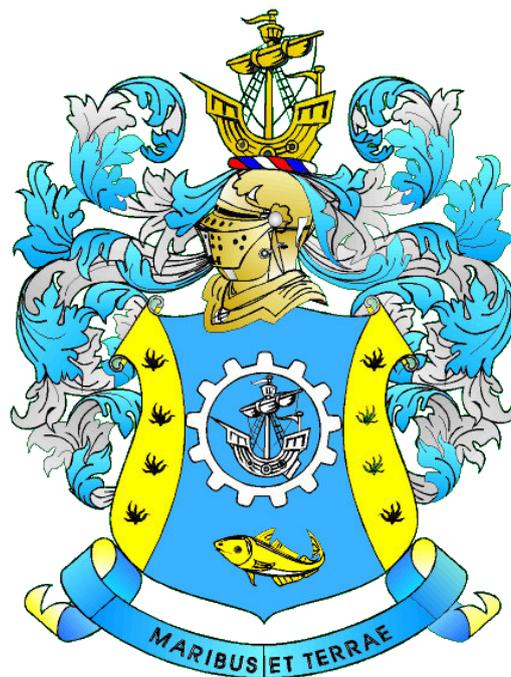
KSTU NEWS

2020

№ 59

FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL
INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION
«KALININGRAD STATE TECHNICAL UNIVERSITY»

SCIENTIFIC JOURNAL



Journal index, registration in databases

Included in the list of peer-reviewed scientific publications, in which the main scientific results of dissertations for the candidate of science degree and for the doctor of science degree should be published

Russian Index of Scientific Citation (RISC)

Agricultural Research Information System (Agris)

Kaliningrad

СОДЕРЖАНИЕ

Биология, экология и рыбное хозяйство

<i>Гоголев Д. Г., Буканова Т. В., Александров С. В.</i> Региональная коррекция алгоритмов расчета концентрации хлорофилла «а» по данным спутниковых радиометров VIIRS и OLCI в юго-восточной части Балтийского моря.....	13
<i>Горбунова Ю. А., Есюкова Е. Е.</i> Выбросы макроводорослей и морских трав на российской части юго-восточного побережья Балтийского моря.....	24
<i>Гранин А. В., Шакирова Ф. М., Северов Ю. А., Горшков М. А., Калайда А. Э., Анохина О. К., Шакиров И. Р., Утямышева Ю. С.</i> Структура популяции стерляди (<i>Acipenser guthenus</i> L.) Куйбышевского водохранилища по материалам 2012–2019 гг.	35
<i>Дубравин В. Ф., Капустина М. В.</i> Районирование гидрохимических полей глубинной структурной зоны Балтийского моря.....	49
<i>Дьякова Н. А., Гапонов С. П., Сливкин А. И.</i> Эколого-гигиеническая оценка состояния почв антропогенных экосистем Воронежской области.....	61
<i>Лозицкая Е. А., Бугранова О. С., Казимирченко О. В., Цупикова Н. А.</i> Оценка экологического состояния озера Карповского в 2019 г.	73
<i>Наумов В. А., Землянов А. А.</i> Расчет нестационарного притока водорыбной смеси в рабочую емкость вакуумной рыбонасосной установки.....	88
<i>Никитенко А. И., Артеменков Д. В., Беляев В. А.</i> Специфические особенности размерно-весовых характеристик некоторых пелагических и донных видов рыб Центрально-Восточной Атлантики.....	97

Техника и технология пищевых производств

<i>Алексеев Г. В., Егорова О. А., Леу А. Г., Юхник И. П.</i> Моделирование температурного поля насыпи крахмал- или пектинсодержащего сырья при внутреннем самосогревании.....	111
<i>Альшевская М. Н., Анистратова О. В., Свириденко И. И.</i> Разработка рецептуры полуфабриката из мяса птицы, обогащенного растительными компонентами.....	119
<i>Воробьев В. И., Нижникова Е. В.</i> Использование рыбьей чешуи в косметических целях.....	132
<i>Казакова В. С., Землякова Е. С.</i> Высокотемпературный гидролиз покровных тканей рыб Калининградского региона (доработка).....	141
<i>Макеева А. В., Ключко Н. Ю.</i> Оценка химической и биологической ценности речного окуня (<i>Perca fluviatilis</i>) Калининградской области.....	151

Сельское хозяйство и природопользование

- Анциферова О. А., Юсупова Д. И.* Структурное состояние дерново-подзолистых глееватых почв на сенокосе в пределах Лава-Прегольской низменности..... 163
- Калинина Е. А., Балабай Ю. А.* Влияние биофунгицидов на хозяйственную продуктивность озимого чеснока (*Allium sativum* L.)..... 173

Судостроение, машиностроение и энергетика

- Мазур Е. В., Шинкаренко И. А., Сутырин В. И., Великанов Н. Л.* Вибрационный контроль состояния подшипников качения гребного вала судна..... 183

CONTENT

Biology, ecology and fisheries

<i>Gogolev D. G., Bukanova T. V., Aleksandrov S. V.</i> Regional correction of algorithms for chlorophyll “a” concentration retrieval from VIIRS and OLCI radiometers satellite data of in the south-eastern part of the Baltic sea.....	13
<i>Gorbunova Ju. A., Esiukova E. E.</i> Emissions of macroalgae and seagrass in the russian part of the South-East Baltic sea coast.....	24
<i>Granin A. V., Shakirova F. M., Severov Yu. A., Gorshkov M. A., Kalaida A. E., Anokhina O. K., Shakirov I. R., Utyamysheva Yu. S.</i> Structure of the sterlet population (<i>Acipenser ruthenus</i> L.) of the Kuibyshev reservoir based on materials of 2012–2019.....	35
<i>Dubravin V. F., Kapustina M. V.</i> Zoning of hydrochemical fields of the Baltic sea deep layer.....	49
<i>Dyakova N. A., Gaponov S. P., Slivkin A. I.</i> Ecological and hygienic assessment of soil condition of the anthropogenic ecosystems of the Voronezh region.....	61
<i>Lozitskaya E. A., Bugranova O. S., Kazimirchenko O. V., Tsupikova N. A.</i> Assessment of the ecological condition of the Karpovskoe lake in 2019.....	73
<i>Naumov V. A., Zemlyanov A. A.</i> Calculation of water-fish mixture unsteady inflow into the working tank of the vacuum fish pump unit	88
<i>Nikitenko A. I., Artemenkov D. V., Belayev V. A.</i> Specific features of length-weight characteristics of some pelagic and demersal fish species of the Central Eastern Atlantic.....	97

Processes and technology of food manufacturing

<i>Alekseev G. V., Egorova O. A., Leu A. G., I. P. Yukhnik I. P.</i> Modeling of the temperature pattern of a starch- or pectin-containing raw materials bulk in the presence of internal self-heating.....	111
<i>Alshevskaya M. N., Anistratova O. V., Sviridenko I. I.</i> Formulation of a semi-finished product from poultry meat enriched with vegetable components.....	119
<i>Vorobyov V. I., Nizhnikova E. V.</i> The use of fish scales for cosmetic purposes.....	132
<i>Kazakova V. S., Zemlyakova E. S.</i> High temperature hydrolysis of fish integumentary tissues in the Kaliningrad region.....	141
<i>Makeeva A. V., Klyuchko N. Yu.</i> Assessment of the chemical and biological value of river perch (<i>Perca fluviatilis</i>) in the Kaliningrad region.....	151

Agriculture and environmental management

- Antsiferova O. A., Yusupova D. I.* Structural state of sod-podzolic gleyed soils on haymaking within the Lava-Pregol lowland..... 163
- Kalinina E. A., Balabay Ju. A.* Influence of biofungicides on economic productivity of winter garlic (*Allium sativum* L.)..... 173

Shipbuilding, machine manufacturing and power engineering

- Mazur E. V., Shinkarenko I. A., Sutyurin V. I., Velikanov N. L.* Vibration diagnostics of anti-friction bearings of the ship propeller shaft 183

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 551.468

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-13-23

РЕГИОНАЛЬНАЯ КОРРЕКЦИЯ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОМЕТРОВ VIIRS И OLCI В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Д. Г. Гоголев, Т. В. Буканова, С. В. Александров

REGIONAL CORRECTION OF ALGORITHMS FOR CHLOROPHYLL «A» CONCENTRATION RETRIEVAL FROM VIIRS AND OLCI RADIOMETERS SATELLITE DATA OF IN THE SOUTH-EASTERN PART OF THE BALTIC SEA

D. G. Gogolev, T. V. Bukanova, S. V. Aleksandrov

Работа посвящена оценке точности расчета концентрации хлорофилла «а» в поверхностном горизонте юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым данным видимого диапазона. Проведено сопоставление величин концентрации хлорофилла «а», собранных в морских экспедициях 2019 г. и рассчитанных по данным новейших спутниковых радиометров: VIIRS, установленных на спутниках Suomi-NPP и NOAA-20, и OLCI – на SENTINEL-3А и 3В. Сравнение традиционных судовых и современных данных дистанционного зондирования позволило рассчитать ошибки вычисления концентрации хлорофилла «а» стандартными алгоритмами обработки: ОСИ для данных VIIRS и алгоритм с использованием нейронной сети – для OLCI. Верификация спутниковых значений, обработанных стандартными алгоритмами расчета концентрации хлорофилла «а», показала слабую связь с натурными измерениями и соответствующие ошибки: для алгоритма ОСИ коэффициент детерминации равен 0,3 и ошибка регрессии составляет 2,51 мг/м³ по данным радиометра VIIRS, для алгоритма с использованием нейронной сети коэффициент детерминации равен 0,06 и ошибка регрессии составляет 1,65 мг/м³ по OLCI. Предложена коррекция стандартных алгоритмов посредством уравнений регрессии, обеспечивших наименьшие погрешности вычисления концентрации хлорофилла «а» в акватории исследования по спутниковым данным и позволивших улучшить степень связи между судовыми и спутниковыми данными. Наибольшая точность расчета концентрации хлорофилла «а» в юго-восточной части Балтийского моря обеспечивается по данным спутникового радиометра OLCI с предложенной региональной коррекцией: ошибка регрессии равна 1,1 мг/м³, коэффициент детерминации – 0,3.

концентрация хлорофилла «а», спутниковые данные видимого диапазона, региональные алгоритмы, Балтийское море

The work is devoted to the assessment of accuracy of chlorophyll “a” concentration retrieval from satellite data of visible range in the surface layer of the south-eastern Baltic Sea. Values of chlorophyll “a” concentration collected in the marine expeditions of 2019 and calculated using the novel satellite radiometers: VIIRS installed on the Su-

omi-NPP and NOAA-20 satellites, and OLCI working on the SENTINEL-3A and 3B satellites were compared. Comparison of traditional ship measurements and state-of-the-art satellite technique allowed estimating the errors of chlorophyll “a” concentration calculation using standard satellite data processing algorithms: the OCI algorithm for VIIRS radiometer data and the algorithm using a neural network for OLCI radiometer data. Verification of satellite data processed by standard algorithms showed a weak connection with field data and corresponding errors: the determination coefficient was 0.3 and the regression error was 2.51 mg/m^3 for the OCI algorithm applied for VIIRS radiometer data and the determination coefficient was 0.06 and the regression error was 1.65 mg/m^3 for the algorithm using a neural network applied for OLCI radiometer data. Correction of standard algorithms by regression equations was proposed, and provided the smallest errors in calculating the chlorophyll “a” concentration in the study area using satellite data and improved the fit between ship and satellite data. The highest accuracy of concentration of chlorophyll “a” calculation for the south-eastern Baltic Sea is provided by OLCI satellite radiometer with the proposed regional correction: the regression error is 1.1 mg/m^3 , the determination coefficient is 0.3.

chlorophyll «a» concentration, satellite data of visible range, regional algorithms, the Baltic Sea

ВВЕДЕНИЕ

В течение последних 50 лет одной из главных экологических проблем Балтийского моря признана эвтрофикация – процесс повышения биологической продуктивности вод вследствие чрезмерного поступления биогенных элементов, что в результате приводит к различным негативным эффектам (ухудшению качества вод, исчезновению кислорода и появлению сероводорода, сокращению биоразнообразия и т. д.) [1]. В комплексном анализе состояния водоемов информация о биомассе и скорости продукции фитопланктона играет важнейшую роль [2]. Для измерения показателей биомассы фитопланктона удобно использовать хлорофилл «a» – главный фотосинтетически активный пигмент фитопланктона, преобладающий во всех группах водорослей. Помимо стандартных лабораторных измерений концентрации хлорофилла «a» существует возможность и дистанционного ее вычисления с помощью спутниковых данных видимого диапазона с высоким разрешением как в пространстве, так и во времени [3].

Юго-восточная часть моря относится к наиболее эвтрофированным районам Балтики [4]. В калининградской зоне Балтийского моря наибольшие концентрации хлорофилла «a» наблюдаются в прибрежной зоне от м. Таран до побережья Куршской косы, где они достигают эвтрофного уровня (больше 4 mg/m^3) за счет интенсивного развития диатомовых водорослей в весенний период (до $19,8 \text{ mg/m}^3$) и сине-зеленых – в летний (до $19,3 \text{ mg/m}^3$) [5, 6].

С 2003 г. отмечается ежегодный рост концентрации хлорофилла «a» в юго-восточной части моря, равный $+0,1 \text{ mg/m}^3/\text{год}$ [4]. Сегодня существует единственный региональный алгоритм расчета концентрации хлорофилла «a» для этого района Балтийского моря по спутниковым данным видимого диапазона [7]. Он был разработан только для данных сканера цвета океана MODIS, установленного на спутниках Terra и Aqua, которые функционируют на орбите Земли уже довольно продолжительное время (с 1999 г. и 2002 г. соответственно), выполняя

большой спектр научно-исследовательских задач. В ближайшем будущем собственник спутников (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА), США) не исключает истощение их ресурсов, в связи с чем с 2012 г. устанавливаются новые приборы на более молодых спутниках – продолжателях миссии Terra и Aqua. Относительно недавно аппараты Suomi-NPP и NOAA-20 были оборудованы радиометром VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), работающим в УФ, ИК и видимом диапазоне. Именно VIIRS стал приемником миссии аппарата MODIS по исследованию температуры морской поверхности и биологической продуктивности океана.

В свою очередь, в 2016 г. Европейское космическое агентство вывело на орбиту Земли спутники Sentinel-3A и 3B, предназначенные для оперативного мониторинга Мирового океана в течение следующих 20 лет. На их борту с 2019 г. стал работать радиометр OLCI (Ocean and Land Colour Instrument), ставший заменой спектрометрира MERIS, установленного на аппарате Envisat, связь с которым была потеряна в 2012 г.

Спутниковые данные радиометров VIIRS и OLCI еще не были апробированы в акватории Юго-Восточной Балтики, поэтому необходимо выяснить возможности их применения для района изучения.

Цель исследования – разработка новых региональных алгоритмов расчета концентрации хлорофилла «а» для юго-востока Балтийского моря по спутниковым данным радиометров VIIRS и OLCI.

Задачи исследования:

1. Оценить точность расчета концентрации хлорофилла «а» стандартными алгоритмами, применяемыми для приборов VIIRS/Suomi-NPP, NOAA-20 и OLCI/Sentinel-3 на основе сравнения с результатами судовых съемок;
2. Провести коррекцию (модификацию) существующих алгоритмов расчета концентрации хлорофилла «а» по информации с радиометров VIIRS и OLCI с целью получения наиболее точных значений концентрации хлорофилла «а» в акватории исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Судовые данные. В рамках экологических исследований на протяжении всех гидрологических сезонов (с января по октябрь 2019 г.) проведено девять экспедиций. Всего было выполнено 65 измерений концентрации хлорофилла «а» в поверхностном горизонте Юго-Восточной Балтики на 33 станциях, расположенных в этом районе в пределах территориальных вод и исключительной экономической зоны России (рис. 1).

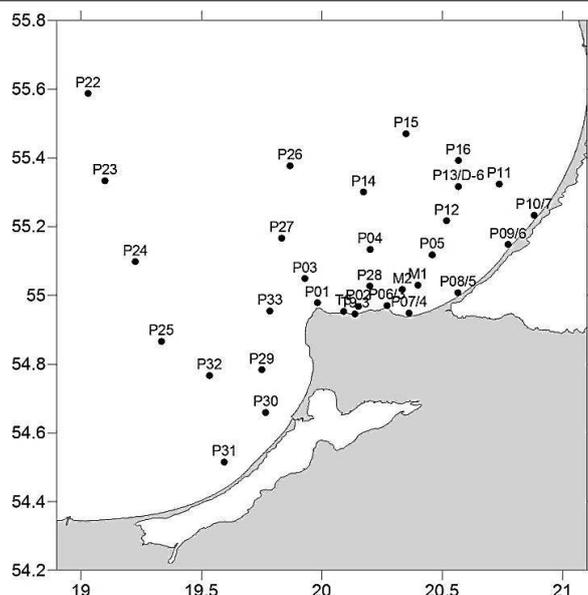


Рис. 1. Расположение судовых станций в 2019 г.

Fig. 1. Location of stations for ship measurements in 2019

Измерения концентрации хлорофилла «а» выполнены сотрудниками Атлантического филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО). Определение этого параметра проводилось спектрофотометрическим методом [8].

Спутниковые данные. Для расчета концентрации хлорофилла «а» использованы спутниковые данные видимого диапазона радиометров VIIRS (спутники Suomi-NPP и NOAA-20) и OLCI (спутники Sentinel-3).

Для анализа был выбран 41 снимок спектрорадиометра VIIRS за период с января по октябрь 2019 г. Уровень обработки level 2, пространственное разрешение – 1 км. Время пролета спутников Suomi-NPP и NOAA-20 над исследуемой акваторией – с 9:30 до 14:00, периодичность – 1 раз в сутки. Для дешифрирования спутниковых данных использовалась программа SeaDAS версии 7.4 [9]. Доступ к данным радиометра VIIRS является свободным и бесплатным, осуществляется через Интернет-сайт Годдардского аэрокосмического центра НАСА Ocean Color Web (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) [9].

В стандартный пакет анализа спутниковых данных VIIRS входит расчет концентрации хлорофилла «а» двумя алгоритмами:

- 1) Ocean color index (OCI), предложенный авторами [10]:

$$Chl_{OCI} = Rrs(\lambda_{green}) - [Rrs(\lambda_{blue}) + (\lambda_{green} - \lambda_{blue}) / (\lambda_{red} - \lambda_{blue}) \times (Rrs(\lambda_{red}) - Rrs(\lambda_{bleu}))]. \quad (1)$$

Принцип определения концентрации хлорофилла «а» по алгоритму OCI основан на индексе цвета, определяемом как разность между коэффициентом яркости восходящего излучения в зеленой области спектра $Rrs(\lambda_{green})$ и отношением между коэффициентами яркости восходящего излучения в синей $Rrs(\lambda_{blue})$ и красной $Rrs(\lambda_{red})$ областях. Для расчета применяются коэффициенты яркости излучения на следующих каналах:

- для VIIRS на спутнике Suomi-NPP: 443 нм (голубой), 551 нм (зеленый), 671 нм (красный);
- для VIIRS на спутнике NOAA-20: 445 нм (голубой), 556 нм (зеленый), 667 нм (красный).

Алгоритм ОСІ был апробирован, в том числе, для прибрежных и внутриматериковых вод, и использует в расчете весь спектр излучения – голубой, зеленый и красный каналы, что необходимо для оптически сложных мутных вод;

2) ОСЗ, созданный авторами [11]:

$$Chl_{OC3} = 10^{(a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + a_3 X^3 + a_4 X^4)}, \text{ где } X = \log_{10} \left(\frac{Rrs1}{Rrs2} \right), \quad (2)$$

где $X = \log_{10}(Rrs_1/Rrs_2)$, Rrs_1 – коэффициент яркости восходящего с поверхности воды излучения на голубом канале (443, 445 нм); Rrs_2 – коэффициент яркости восходящего с поверхности воды излучения на зеленом канале (551, 556 нм).

Алгоритм ОСЗ использует в расчете только голубой и зеленый каналы, тем самым он применяется по большей части только для открытых вод океана. Таким образом, в дальнейшей работе предпочтение было отдано алгоритму ОСІ, а ОСЗ не был задействован для расчета концентрации хлорофилла «а» в юго-восточной части Балтийского моря по данным радиометра VIIRS, так как это район мутных прибрежных и оптически сложных вод, сильно отличных по характеристикам от океанических.

Сформированы массивы спутниковых данных радиометра VIIRS в акватории исследования – всего обнаружено 32 пары для сравнения судовых данных по концентрации хлорофилла «а» и спутниковых данных VIIRS (таблица).

Таблица. Число сравниваемых пар измерений для судовых и спутниковых данных радиометра VIIRS по концентрации хлорофилла «а»

Table. Number of compared pairs of measurements in situ and satellite VIIRS data on chlorophyll «a» concentration

Месяц	Число пар измерений для данных VIIRS	Число пар измерений для данных OLCI
Январь	1	0
Февраль	1	0
Апрель	7	9
Май	1	1
Июнь	3	4
Июль	11	26
Август	2	5
Сентябрь	1	6
Октябрь	5	6
ИТОГО	32	57

Также для анализа были выбраны 59 спутниковых изображений радиометра OLCI за апрель-октябрь 2019 г. Уровень обработки level 2, пространственное разрешение – 300 м. Время пролета спутников Sentinel-3А и 3В над акваторией

юго-восточной части Балтийского моря – с 10:30 до 12:00, периодичность – 1 раз в сутки. Для дешифрирования спутниковых данных применялся программный комплекс Sentinel Application Platform (SNAP) версии 7 [12]. Оператором данных OLCI является портал Copernicus Online Data Access (CODA) (<https://coda.eumetsat.int>) Европейской организации спутниковой метеорологии (Eumetsat) [13]. Доступ к информации – бесплатный, по предварительной регистрации пользователей.

В стандартный пакет обработки данных OLCI входит расчет концентрации хлорофилла «а» алгоритмом, разработанным с помощью нейронной сети, вычисляющим весь набор биооптических параметров (концентрации хлорофилла «а», взвешенного и окрашенного растворенного органического вещества) [14]:

$$Chl_{NN_OLCI} = 22 \times a_{pig(443)}^{1,04}, \quad (3)$$

где $a_{pig(443)}$ – показатель поглощения на канале 443 нм.

Вышеупомянутый алгоритм был создан специально для внутренних морей и прибрежной зоны Мирового океана, что делает его пригодным для использования в нашей акватории.

Всего обнаружено 57 пар измерений для сравнения судовых данных по концентрации хлорофилла «а» и спутниковых данных радиометра OLCI, что охватывает большую часть из 65 имеющихся натуральных ежемесячных измерений концентрации хлорофилла «а», за исключением зимнего периода (таблица). Вероятно, это связано с тем, что радиометр OLCI имеет пространственное разрешение 300 м (разрешение данных VIIRS ниже – 1 км). В условиях сплошной облачности данные видимого диапазона отсутствуют.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Верификация спутниковых алгоритмов расчета концентрации хлорофилла «а» по результатам судовых измерений 2019 г. показала следующие результаты.

Сравнительный анализ данных по концентрации хлорофилла «а», полученных в лаборатории (судовые измерения) и с радиометра VIIRS (рассчитаны стандартным алгоритмом OCI по уравнению (1)), показал слабую корреляцию и систематическую ошибку (в большинстве случаев завышение) спутниковых данных по отношению к таковым, полученным *in situ*: коэффициент детерминации $R^2 = 0,3$, ошибка регрессии $S_{reg} = 2,51 \text{ мг/м}^3$, объем выборки $n = 32$ (рис. 2,а).

С помощью подбора коэффициентов для уравнения регрессии проведена коррекция стандартного алгоритма OCI (уравнение (1)). Полученное уравнение имеет вид

$$Chl_{OCI_corr} = 0,815 \times Chl_{OCL} + 0,15. \quad (4)$$

Коррекция стандартного алгоритма OCI позволила увеличить значение коэффициента детерминации $R^2 = 0,3$ и уменьшить ошибку регрессии $S_{reg} = 2,04 \text{ мг/м}^3$. Результаты коррекции представлены на рис. 2,б.

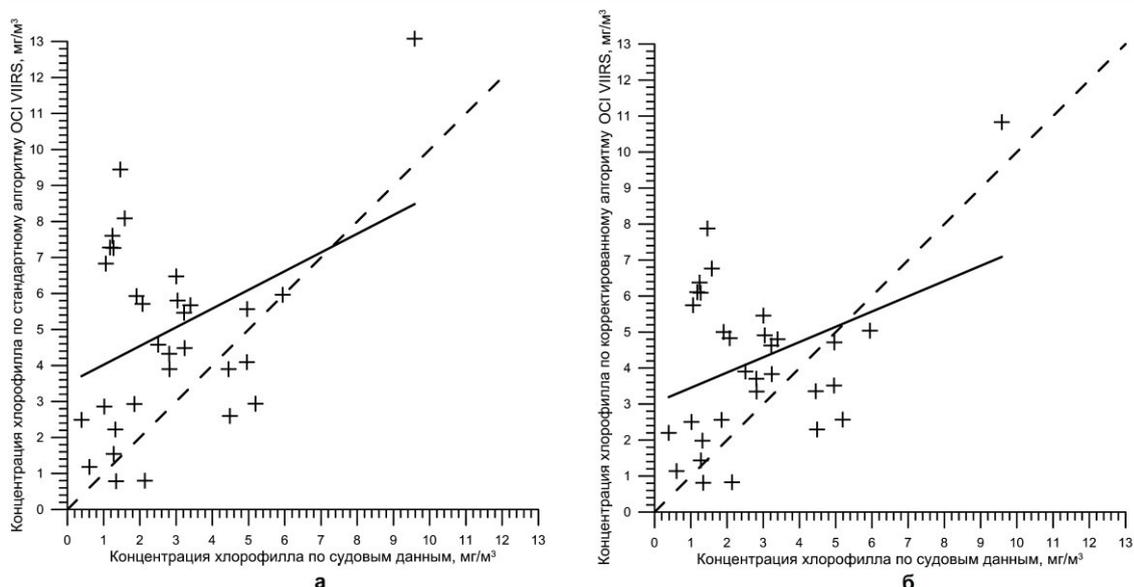


Рис. 2. Сопоставление результатов расчета концентрации хлорофилла «а», полученных по данным судовых и спутниковых измерений радиометром VIIRS: а – по стандартному алгоритму (уравнение (1)); б – по региональному алгоритму (уравнение (4)). Сплошная линия – линейная корреляция между данными, пунктир – линия идеального соотношения 1:1. Число пар измерений $n = 32$
 Fig. 2. Comparison between chlorophyll «а» concentration values measured *in situ* and obtained from VIIRS data: а – calculated by standard algorithm (equation (1)); б – corrected with the regional algorithm (equation (4)). The solid line corresponds to the regression equation. The dash line shows the perfect agreement.

Number of pairs $n = 32$

Сравнительный анализ величин концентрации хлорофилла «а», полученных в лаборатории (судовые измерения) и рассчитанных стандартным алгоритмом с использованием нейронной сети (NN) по уравнению (3) для данных радиометра OLCI, показал слабую связь и систематическую ошибку спутниковых значений по отношению к *in situ*: коэффициент детерминации $R^2 = 0,06$, ошибка регрессии $S_{reg} = 1,65 \text{ мг/м}^3$, объём выборки $n = 57$ (рис. 3,а).

С целью проведения коррекции стандартного алгоритма с использованием нейронной сети (уравнение (3)) были подобраны коэффициенты для уравнения регрессии, принимающего следующий вид:

$$Chl_{NN_OLCI_corr} = 0,67 \times Chl_{NN_OLCI} + 1,2. \quad (5)$$

Удалось значительно увеличить тесноту связи $R^2 = 0,3$ и существенно уменьшить ошибку регрессии: $S_{reg} = 1,1 \text{ мг/м}^3$. Результаты коррекции представлены на рис. 3,б.

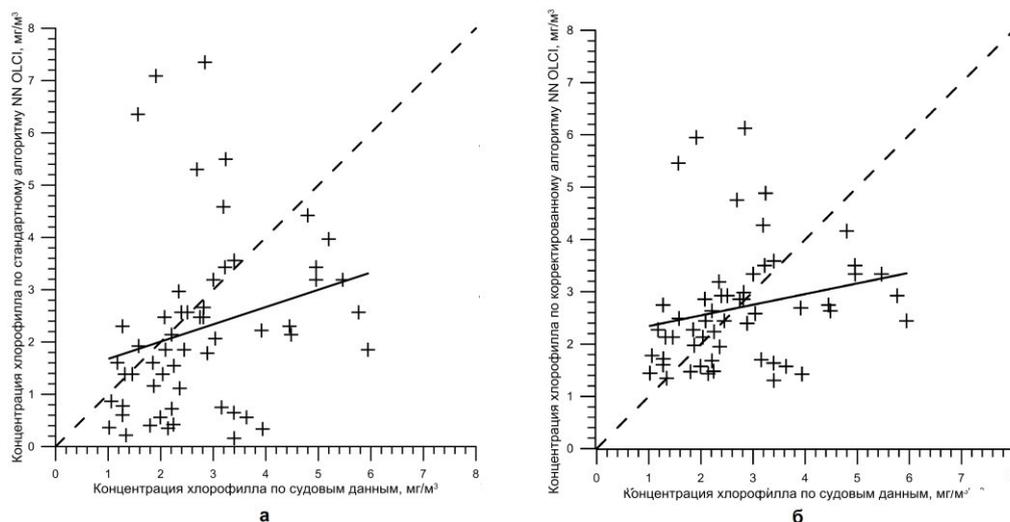


Рис. 3. Сопоставление результатов расчета концентрации хлорофилла «а», полученных по данным судовых и спутниковых измерений радиометром OLCI: а – по стандартному алгоритму (уравнение (3)); б – по региональному алгоритму (уравнение (5)). Сплошная линия – линейная корреляция между данными, пунктир – линия идеального соотношения 1:1. Число пар измерений $n = 57$

Fig. 3. Comparison between chlorophyll «a» concentration values measured *in situ* and obtained from OLCI data: a – calculated by standard algorithm (equation (3)); b – corrected with the regional algorithm (equation (5)). The solid line corresponds to the regression equation. The dash line shows the perfect agreement. Number of pairs $n = 57$

Таким образом, наиболее точный расчет концентрации хлорофилла «а» в юго-восточной части Балтийского моря обеспечивается по данным спутникового радиометра OLCI с региональной коррекцией алгоритмом по уравнению (5). По сравнению с региональным алгоритмом для спутникового радиометра MODIS, при котором ошибка регрессии составляет $1,2 \text{ мг/м}^3$ [7], региональный алгоритм для OLCI (уравнение (5)) показывает меньшую ошибку расчета концентрации хлорофилла «а» (ошибка регрессии равна $1,1 \text{ мг/м}^3$). В связи с чем информация с радиометров OLCI и MODIS на сегодняшний день является самой приемлемой для вычисления концентрации хлорофилла «а» в акватории исследования при условии использования региональных алгоритмов расчета.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания № 0149-2019-0013.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненного исследования позволяют сделать следующие выводы:

- стандартные алгоритмы расчета концентрации хлорофилла «а» по данным спутниковых радиометров VIIRS и OLCI дают существенные погрешности вычислений, в частности, для данных радиометра VIIRS выявлено значительное завышение по сравнению с результатами судовых натурных измерений;
- для более точных расчетов концентрации хлорофилла «а» рекомендуется использовать корректирующие уравнения регрессии, позволяющие снизить ошибку регрессии на 20 % для радиометра VIIRS и на 50 % – для OLCI;

• для расчета концентрации хлорофилла «а» в юго-восточной части Балтийского моря рекомендуется использовать данные спутникового радиометра OLCI с региональной коррекцией алгоритмом по уравнению (5), для которого получена наименьшая ошибка измерения. Ошибка регрессии скорректированного алгоритма для OLCI ($1,1 \text{ мг/м}^3$, $R^2 = 0,3$) вдвое ниже, чем для радиометра VIIRS ($2,04 \text{ мг/м}^3$, $R^2 = 0,3$).

Авторы благодарят порталы Ocean Color Web и CODA EUMETSAT за доступ к спутниковым изображениям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ecology of Baltic coastal waters / Schiewer U. – Springer-Verlag, 2008. – 430 pp.
2. Eutrophication in the Baltic Sea. Present situation, nutrient transport process, remedial strategies / Hakanson L., Bryhn A.C. - Springer, 2008. - 264 pp.
3. Doerffer, R. Concentration of chlorophyll, suspended matter, and gelbstoff case II water derived from satellite coastal zone color scanner data with inverse modeling methods / R. Doerffer, J. Fiseher // J. Geophysical Research. – 1994. – V. 99. – № С4. – P. 7457–7466.
4. Буканова, Т. В. Тенденции эвтрофирования юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым данным: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.28 / Буканова Татьяна Васильевна; БФУ им. Канта. – Калининград, 2014. – 142 с.
5. Кудрявцева, Е. А. Сезонная изменчивость первичной продукции и состава фитопланктона в береговой зоне российского сектора Гданьского бассейна Балтийского моря / Е. А. Кудрявцева, С. В. Александров, О. А. Дмитриева // Океанологические исследования. – 2018. – Т. 46, № 3. – С. 99–115.
6. Кудрявцева, Е. А. Гидролого-гидрохимические основы первичной продуктивности и районирование российского сектора Гданьского бассейна Балтийского моря / Е. А. Кудрявцева, С. В. Александров // Океанология. – 2019. – Т. 59, – № 1. – С. 56–71.
7. Региональные алгоритмы оценки концентрации хлорофилла и взвеси в Юго-Восточной Балтике по данным спутниковых сканеров цвета / Т. В. Буканова, С. В. Вазюля, О. В. Копелевич, В. И. Буренков [и др.] // Современные проблемы дистанционного исследования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 2. – С. 64–73.
8. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла «а». ГОСТ 17.1.04.02-90. Москва: Издательство стандартов, 1990. – 15 с.
9. Архив спутниковых данных Годдардского аэрокосмического центра НАСА Ocean Color Web. [Электронный ресурс]. – URL: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov> (дата обращения: 10.03.2020).
10. Hu C. Chlorophyll-a algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three-band reflectance difference / C. Hu, Z. Lee, B.A. Franz // J. Geophys. Res. – 2012. – Pp. 1–25.
11. Технический меморандум НАСА. Анализ калибровки и валидации данных SeaWiFS. [Электронный ресурс]. – URL: https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/docs/technical/seawifs_reports/postlaunch/post_vol11_abs/ (дата обращения: 1.03.2020).

12. Архив Европейского космического агентства. [Электронный ресурс]. – URL: <http://step.esa.int> (дата обращения: 9.04.2020).
13. Архив спутниковых данных Sentinel Европейской организации спутниковой метеорологии (Eumetsat). [Электронный ресурс]. – URL: <https://coda.eumetsat.int> (дата обращения: 15.04.2020).
14. Теоретические основы алгоритма для данных OLCI уровня 2. [Электронный ресурс]. – URL: https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/349589/OLCI_L2_Transparency_Products.pdf (дата обращения: 15.03.2020).

REFERENCES

1. Schiewer U. *Ecology of Baltic coastal waters*. Berlin, Springer, 2008. 430 p.
2. Hakanson L., Bryhn A. C. *Eutrophication in the Baltic Sea. Present situation, nutrient transport process, remedial strategies*. Berlin, Springer, 2008. 264 p.
3. Doerffer R., Fiseher J. Concentration of chlorophyll, suspended matter, and gelbstoff case II water derived from satellite coastal zone color scanner data with inverse modeling methods. *J. Geophysical Research*, 1994, vol. 99, no. C4, pp. 7457–7466.
4. Bukanova T. V. *Tendentsii evtrofirovaniya yugo-vostochnoy chasti Baltiyskogo morya po sputnikovym dannym. Diss. dokt. geogr. nauk* [Tendencies in eutrophication of the south-eastern part of the Baltic Sea from satellite data. Dis. dr. geogr. sci.]. Kaliningrad, 2014, 142 p.
5. Kudryavtseva E. A. Aleksandrov S. V., Dmitrieva O. A. Sezonnaya izmenchivost' pervichnoy produktsii i sostava fitoplanktona v beregovoy zone rossiyskogo sektora Gdan'skogo basseyna Baltiyskogo morya [Seasonal change of phytoplankton primary production and composition in the coastal area of the Russian sector of the Gdansk basin of the Baltic Sea]. *Okeanologicheskie issledovaniya*, 2018, vol. 46, no. 3, pp. 99–115.
6. Kudryavtseva E. A. Aleksandrov S. V. *Gidrologo-gidrokhimicheskie osnovy pervichnoy produktivnosti i rayonirovanie rossiyskogo sektora Gdan'skogo basseyna Baltiyskogo morya* [Hydrologic and hydrochemical basis of primary production and zoning of the Russian sector of the Gdansk basin of the Baltic Sea]. *Okeanologiya*, 2019, vol. 59, no. 1, pp. 56–71.
7. Bukanova T. V., Vazyulya S. V., Kopelevich O. V., Burenkov V. I. [i dr.]. Regional'nye algoritmy otsenki kontsentratsii khlorofilla i vzvesi v Yugo-Vostochnoy Baltike po dannym sputnikovykh skanerov tsveta [Regional algorithms for retrieval of chlorophyll and suspended matter concentrations in the south-eastern Baltic Sea from satellite ocean color data]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, vol. 8, no. 2, pp. 64–73.
8. Metodika spektrofotometricheskogo opredeleniya khlorofilla «a». GOST 17.1.04.02-90. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1990, 15 p.
9. *Satellite data archive of Goddard space flight center NASA Ocean Color Web*, available at: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov> (Accessed 10 March 2020).
10. Hu C., Lee Z., Franz B.A. Chlorophyll-a algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three-band reflectance difference. *J. Geophys. Res.*, 2012, no. 117, pp. 1–25.

11. *Tekhnicheskiy memorandum NASA. Analiz kalibratsii i validatsii dannykh SeaWiFS* [NASA Technical Memorandum. SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses], available at: https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/docs/technical/seawifs_reports/postlaunch/post_voll1_abs (Accessed 1 March 2020).

12. *Arkhiv Evropeyskogo kosmicheskogo agentstva* [European space agency archive], available at: <http://step.esa.int> (Accessed 9 April 2020).

13. *Arkhiv sputnikovykh dannykh Sentinel Evropeyskoy organizatsii sputnikovoy meteorologii (Eumetsat)* [Sentinel satellite data archive of European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (Eumetsat)], available at: <https://coda.eumetsat.int> (Accessed 15 April 2020).

14. *Teoreticheskie osnovy algoritma dlya dannykh OLCI urovnya 2* [OLCI Level 2. Algorithm Theoretical Basis Document], available at: https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/349589/OLCI_L2_Transparency_Products.pdf (Accessed 15 March 2020).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гоголев Денис Григорьевич – Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта; студент-магистрант кафедры географии океана; E-mail: dengg@mail.ru

Dogolev Denis Grogorievich – Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad); Graduate student; Institute of Environmental Management, Urban Development and Spatial Planning; E-mail: dengg@mail.ru

Буканова Татьяна Васильевна – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории физики моря; E-mail: tatiana.bukanova@gmail.com

Bukanova Tatiana Vasilyevna – Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences Candidate of Geographic Sciences; researcher of the Laboratory for marine physics; E-mail: tatiana.bukanova@gmail.com

Александров Сергей Валерьевич – Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии; кандидат биологических наук, зав. лабораторией гидробиологии; E-mail: hydrobio@mail.ru

Aleksandrov Sergey Valerievich – Atlantic Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (Kaliningrad); PhD Biologic Sciences; head of the Laboratory for hydrobiology; E-mail: hydrobio@mail.ru

УДК 551.468.1

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-24-34

ВЫБРОСЫ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ И МОРСКИХ ТРАВ НА РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Ю. А. Горбунова, Е. Е. Есюкова

EMISSIONS OF MACROALGAE AND SEAGRASS IN THE RUSSIAN PART OF THE SOUTH-EAST BALTIC SEA COAST

Ju. A. Gorbunova, E. E. Esiukova

На побережье Балтийского моря периодически наблюдается выброс макроводорослей и морских трав, составляющий естественный природный процесс. Однако его интенсивность и особенности в значительной степени обусловлены эвтрофикацией морских вод. Выбросы макроводорослей, которые могут аккумулировать мусор и загрязнители (макро/мезо/микропластик, нефтяные углеводороды, тяжелые металлы и др.), являются агентом, ускоряющим транзит этих веществ из моря на побережье и обратно. Появление выбросов на пляжах ухудшает их рекреационную привлекательность. В то же время выбросы макроводорослей и морских трав могут служить ценным сырьем, промышленное использование которого требует оценки и прогноза возможных объемов поступления. Наблюдения особенностей и пространственно-временных закономерностей выбросов макроводорослей и морских трав проводились на российской части юго-восточного побережья Балтийского моря в период с января 2017 по май 2020 г. Распределение выбросов характеризовалось значительной пространственной и временной изменчивостью. Наибольшие скопления макроводорослей имели локальный характер и были в основном приурочены к естественным (мысы) и искусственным (молы, слипы, буны) выступам береговой линии. На северном побережье Самбийского п-ва наблюдались большие объемы выбросов (пятна протяженностью до 1,5 км, местами шириной до 12–20 м, у уреза высотой до 60–100 см) в отличие от западного побережья, Вислинской и Куршской кос, особенно в период с поздней осени до ранней весны, когда основная биомасса выбросов была сформирована красными водорослями. В летний период существенное значение приобретали представители отделов зеленых и бурых водорослей. Появление и время существования выбросов макроводорослей были обусловлены гидрометеорологическими причинами. Как правило, большие объемы выбросов наблюдались после штормов. Время нахождения макроводорослей на берегу сильно варьировало и часто ограничивалось несколькими днями. Дальнейшая трансформация выбросов могла проходить несколькими путями – смывом обратно в море (преимущественно), захоронением под толщей песка или мелкой гальки (чаще всего с последующим смывом в море) и ветроволновым рассеиванием по пляжу.

макроводоросли, морские травы, выбросы макроводорослей, прибрежная зона, побережье, гидрометеорологические условия, Балтийское море

Emission of macroalgae and seagrass is a natural process on the Baltic seashore. However its amount and features are largely preconditioned by the sea waters eutrophication. Macroalgae emissions can accumulate litter and pollutants (macro/meso/microplastics, petroleum hydrocarbons, heavy metals, etc.). They are mediators that accelerate the transit of these substances from the sea to the coast and back. Emissions on the beaches worsen their recreational attractiveness. At the same time, emissions of macroalgae and seagrass can serve as a valuable raw material, the industrial use of which requires an assessment and forecast of possible volumes of emission. Observations of the features and spatial distribution of macroalgae and seagrass emissions were carried out in the Russian part of the south-east Baltic sea coast in January 2017 - May 2020. Distribution of the emissions was characterized by significant spatial and temporal variability. The largest macroalgae accumulations were local and mainly near the coastline protrusions as capes (natural) and breakwaters, slipways, groins (man-made). Large amounts of emissions were observed on the northern coast of the Sambia Peninsula (patches up to 1,5 km long, at times up to 12–20 m wide, at the sea face up to 60–100 cm high), in contrast to the western coast and Curonian and Vistula spits especially from late autumn till early spring when Radophyta is a main biomass in emissions. Chlorophyta and Phaeophyta were in a large amount in summer. The appearance and residence time of emissions was due to hydrometeorological conditions. Usually the largest amount of macroalgae was after storms. The residence time of macroalgae on the beach varied greatly and was often limited to a few days. Further transformation of emissions could take place in several ways – by flushing back into the sea (most often), by burial under a layer of sand or small pebbles, and by wind dispersal along the beach.

macroalgae, seagrass, macroalgae emissions, coastal zone, sea coast, hydrometeorological conditions, Baltic Sea

ВВЕДЕНИЕ

Макроводоросли и морские травы являются важной составной частью экосистемы Балтийского моря как первичные продуценты и эдификаторные организмы [1]. Будучи оторванными от субстрата, макроводоросли часто образуют скопления, дрейфующие под действием течений и выбрасываемые на побережье при ветроволновом воздействии. На берегу они включаются в биотический круговорот наземной экосистемы. Биогенные вещества, высвобождающиеся в результате разложения выброшенных на берег водорослей, играют важную роль при формировании пионерной растительности песчаных дюн морского побережья [2]. Аккумулируя мусор и загрязнители, такие как макро/мезо/микропластик, нефтяные углеводороды, тяжелые металлы и другие продукты [3–5], они являются агентом, ускоряющим транзит этих веществ из моря на побережье и обратно. Также выбросы водорослей снижают рекреационный потенциал пляжей. В то же время, выбросы макроводорослей и морских трав могут служить ценным сырьем для получения гидроколлоидов, биогаза, производства удобрений [6, 7]. Однако для промышленного использования необходима оценка возможных объемов выбросов, изучение их качественных характеристик и разработка методов прогнозирования.

Интенсивность выбросов макроводорослей в значительной степени обусловлена уровнем содержания биогенных веществ в морских водах [8]. Повышение трофности вод может провоцировать развитие оппортунистических видов макроводорослей [9]. В настоящее время эвтрофикация является одной из центральных проблем Балтийского моря [10]. Поступление биогенных веществ с водосборного бассейна, в первую очередь от антропогенных источников, обуславливает высокий уровень эвтрофированности вод, прежде всего в эвтрофно-гипертрофных Вислинском и Куршском заливах, откуда избыточная первичная продукция поступает в прибрежную зону моря [11, 12]. В Юго-Восточной Балтике повышенный уровень продуктивности и загрязнения вод в основном свойственен прибрежной зоне [13]. Известно, что в настоящее время в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря изменилась структура видового состава макрофитобентоса. Наблюдается снижение представленности многолетних видов водорослей и возрастает доля эврибионтных однолетних нитчатых водорослей [14].

Явление выбросов макроводорослей в юго-восточной и восточной частях Балтийского моря изучали специалисты ВНИРО в 1950–1956 гг. [15] и 1968–1972 гг. [16, 17]. Однако исследования охватывали побережье Литвы и Латвии и были сфокусированы на промысловых видах бурых и красных водорослей. В Рижском заливе в 2011 г. проводили исследования эстонские ученые [18]. В российском секторе Юго-Восточной Балтики явление выбросов макроводорослей практически не изучено и ограничивается краткими научными сообщениями [19]. Выбросы макроводорослей являются одним из медиаторов взаимодействия наземной и водной сред прибрежной зоны. Особенно актуально обнаружение пространственных и временных закономерностей этого явления в условиях эвтрофикации морских вод.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Наблюдения проводились на российской части юго-восточного побережья Балтийского моря (Калининградская область) с января 2017 по май 2020 г. В период 2017–2018 гг. осуществлялись эпизодические, рекогносцировочные выезды на различные участки побережья Самбийского п-ва для регистрации наличия или отсутствия выбросов макроводорослей. По результатам наблюдений были выбраны модельные участки для дальнейших исследований. Обследование побережья с целью количественной и качественной характеристики выбросов проводилось ежемесячно на двух модельных участках: в Филинской бухте и на пляже г. Зеленоградска с марта 2019 г. по март 2020 г. Наблюдения на дополнительных участках (р-н пос. Куликово, Отрадное, Заостровье, западная часть Куршской косы) проводились с интервалом два-три месяца в период с марта 2019 по март 2020 г. Также осуществлялись эпизодические, рекогносцировочные выезды на другие участки побережья Самбийского п-ва. Обширные съемки всего морского побережья Калининградской области были проведены после сильных штормов в июле 2019 г. и в марте 2020 г. При обследовании производился отбор проб и учет (обмер, описание) по стандартизированной схеме с географической привязкой результатов при помощи GPS навигации и фотофиксацией. Мониторинг времени нахождения выбросов макроводорослей на побережье выполнялся ежедневно при помощи веб-камеры на пляже пос. Отрадное в период с ноября 2019 по май

2020 г. Идентификация таксономической принадлежности водорослей осуществлялась по определителям [20–23].

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате рекогносцировочных наблюдений 2017–2018 гг. было зафиксировано 30 эпизодов значительных по площади и объему выбросов макроводорослей на побережье Самбийского п-ва. В большинстве случаев они имели локальный характер и были в основном приурочены к районам пос. Куликово (наиболее значительный выброс зарегистрирован 10.11.2018 г., протяженность (L) 450 м, максимальная толщина слоя (h) до 70 см); западное устья р. Забавы (04.11.2018 г., L=200 м, h до 50 см); пос. Заостровье с восточной стороны от мыса Гвардейский (25.03.2018 г., L=50 м, h до 20 см); пос. Отрадное (05.11.2018 г., L=250 м, h до 60 см) и в Филинской бухте (16.12.2017 г., L=500 м, h до 25 см). Дальнейшие исследования 2019–2020 гг. подтвердили, что наиболее часто наблюдаются выбросы макроводорослей на этих участках, а также в летний период в западной части пляжа г. Балтийска и западной части пляжа г. Пионерского.

В июле–августе 2019 г. при отсутствии сильного прибоя фрагменты выброшенных макроводорослей и морских трав встречались практически на всем протяжении российской части юго-восточного побережья Балтики. В основном эти выбросы не образовывали сплошного проективного покрытия на побережье. Существенные по площади и объему скопления биомассы наблюдались локально. В июле 2019 г. после эпизодов штормов (27.06–07.07.2019 г., ветер северо-западных направлений до 20 м/с) большая часть сплошных скоплений имела среднюю толщину слоя, не превышающую 15 см, за исключением четырех локальных участков, расположенных на северном побережье Самбийского п-ва, а также на пляже г. Балтийска (рисунок). Максимальная наблюденная протяженность сплошного пятна выброса макроводорослей составила 250 м (Филинская бухта), наибольшая толщина слоя – 1 м (западная часть пляжа г. Балтийска), ширина (от уреза воды вглубь пляжа) сплошных пятен – 1–20 м. Узкие полосы выбросов, не превышающие ширину 0,5–1 м, в которых макроводоросли не образовывали сплошное проективное покрытие, встречались вдоль всего морского побережья Калининградской области и имели протяженность до 1 км (пляжи Янтарного и Зеленоградска). В марте 2020 г. после эпизодов штормов (11–13.03.2020 г., ветер северо-западных направлений до 20 м/с) на трех участках, расположенных на северном побережье, отмечены выбросы макроводорослей с толщиной слоя более 15 см (рисунок). Максимальная наблюденная протяженность сплошного пятна выброса макроводорослей составила 300 м (пляж пос. Отрадного), наибольшая толщина слоя – 0,6 м (Филинская бухта). При этом на большей части остального российского морского побережья макроводоросли в этот период встречались в основном фрагментарно.

На северном побережье Самбийского п-ва наблюдались большие объемы выбросов водорослей в отличие от западного побережья и Вислинской и Куршской кос особенно в период с поздней осени до ранней весны, когда основная биомасса выбросов была сформирована видами из отдела красных водорослей *Furcellaria lumbricalis* и в меньшей степени *Polysiphonia sp.* По всей видимости, это связано с тем, что в районе мыса Таран находится пояс этих водорослей [14]. В летний период существенное значение в выбросах на всем протяжении морского побережья Калининградской области приобретали представители отдела зеле-

ных, а также бурых водорослей, из которых большая часть видов однолетние, произрастающие вдоль всей прибрежной зоны на камнях и бунах [14]. Виды макроводорослей, обнаруженные в береговых выбросах, представлены в таблице.

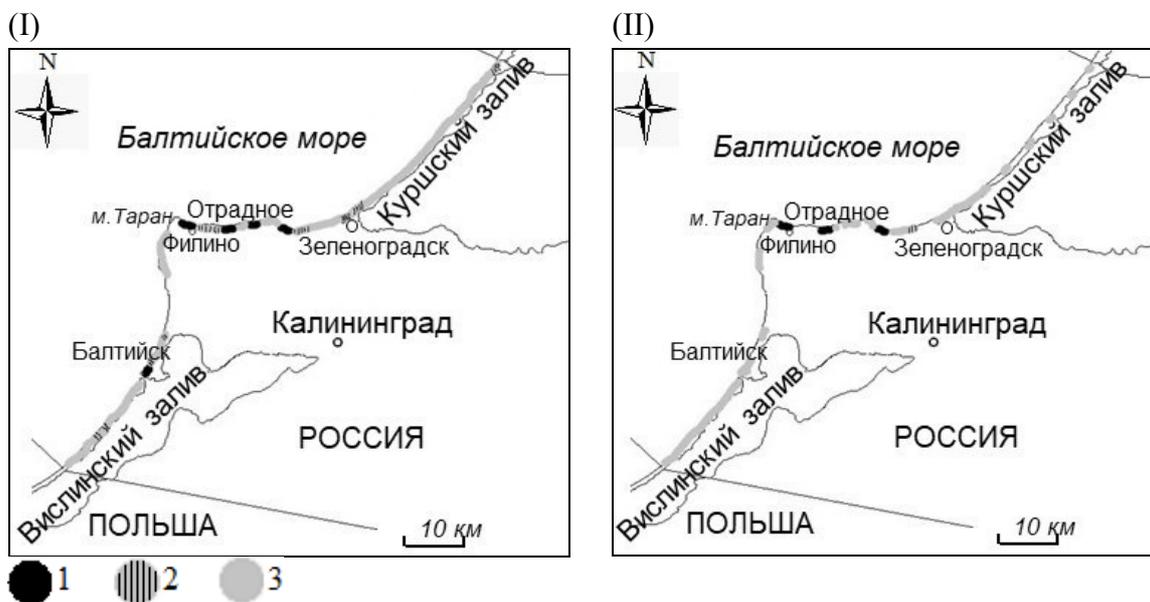


Рис. Оценка количества выбросов макроводорослей по состоянию на июль 2019 г. (Куршская коса – сентябрь 2019 г.) (I) и март 2020 г. (II): 1 – толщина слоя выброса более 15 см; 2 – толщина слоя выброса менее 15 см; 3 – макроводоросли отсутствуют или их количество незначительно (не образуют сплошной слой)
 Fig. Macroalgae stock estimations as of July 2019 (Curonian Spit - September 2019) (I) and March 2020 (II): 1 – layer thickness more than 15 cm; 2 – layer thickness less than 15 cm; macroalgae is absent or in a small amount (coating is not solid)

В целом обнаружено, что распределение выбросов макроводорослей на морском побережье Калининградской области характеризовалось значительной пространственной и временной изменчивостью. Наибольшие их скопления имели локальный характер и были в основном приурочены к естественным (мысы) и искусственным (молы, слипы, буны) выступам береговой линии. Приуроченность выбросов водорослей в первую очередь к участкам с неровной береговой линией отмечалась и на других побережьях Балтийского моря [18, 24].

Время существования выбросов макроводорослей на берегу сильно варьировало и часто было ограничено несколькими днями. За период ежедневных наблюдений (ноябрь 2019 г. – май 2020 г.) на модельном участке пос. Отрадное, время нахождения выброса на пляже составляло от 22 до менее 1 дня, в среднем 4 дня. Модельный участок пляжа имел северную экспозицию. Сравнение ежедневных данных о появлении и исчезновении макроводорослей, полученных снимкам веб-камеры с метеорологическими параметрами из архива метеоданных [25], показало, что время существования выброса было связано с гидрометеорологической обстановкой. При ветрах южных и восточных направлений, а также слабых западных выброс сохранялся на побережье. При формировании волн и подъеме уровня воды ветрами значительной силы северного и западного направлений его смывало.

Таблица. Список видов макроводорослей и морских трав в выбросах на российской части юго-восточного побережья Балтийского моря

Table. List of macroalgae and seagrass species in the emissions on the Russian part of South-Eastern Baltic sea coast

Таксон	Вид
Красные водоросли Rhodophyta	<i>Ceramium tenuicorne</i> (Kützing) Waern <i>Ceramium virgatum</i> Roth <i>Coccotylus truncatus</i> (Pallas) M.J. Wynne&J.N. Heine <i>Furcellaria lumbricalis</i> (Turner) Lamouroux <i>Polysiphonia</i> sp.
Зеленые водоросли Chlorophyta	<i>Cladophora glomerata</i> (L.) Kützing <i>Cladophora rupestris</i> (L.) Kützing <i>Cladophora sericea</i> (Hudson) Kützing <i>Urospora penicilliformis</i> (A.W. Roth) J.E. Areschoug <i>Ulva intestinalis</i> L. <i>Ulva prolifera</i> O. F. Müller
Бурые водоросли Phaeophyta	<i>Fucus vesiculosus</i> L. <i>Pilayella littoralis</i> (L.) Kjellman
Сосудистые растения Plantae Vasculares	<i>Zostera marina</i> L.

Появление выбросов макроводорослей также было обусловлено гидрометеорологическими условиями. Однако в отличие от процесса смыва выброса его появление не так однозначно зависело от ветров определенных румбов. Наибольшие по объему выбросы были приурочены к эпизодам штормов, что отмечается и для других побережий [18, 24]. Для появления выброса должны сложиться определенные условия. Так, в случае с побережьем Литвы Е. Блинова [23] отмечает, что для формирования выброса необходимы ветра западных направлений во время шторма и 1–2 дня после него. В наших исследованиях для модельного участка в районе пос. Отрадное выброс чаще всего формировался по простествию ветров значительной силы северных и западных направлений, после того как происходила смена направления на южные, восточные или западные слабой силы. По всей видимости, основным условием формирования выброса является последовательность двух событий: стога водорослей к урезу воды и последующее быстрое снижение уровня моря, при котором макроводоросли, принесенные к берегу, остаются в пляжной зоне.

Дальнейшая трансформация выбросов макроводорослей происходит несколькими путями. Чаще всего наблюдался смыв выброса обратно в море. Иногда случается погребение под толщей песка или мелкой гальки, часто с последующим смывом в море. Также возможен ветроволновой разнос по пляжу. Фрагменты макроводорослей и морских трав были обнаружены в поясе растительности в задней части пляжа Филинской бухты, в растительности дюнного вала Куршской и Вислинской кос, пляжа в районе г. Янтарного на расстоянии 50 и более метров от уреза воды. Таким образом, макроводоросли и морские травы, выбрасываемые на побережье, могут включаться в биотический круговорот наземных экосистем.

ВЫВОДЫ

Распределение выбросов макроводорослей и морских трав в калининградском секторе юго-восточного побережья Балтийского моря характеризовалось значительной пространственной и временной изменчивостью. В целом наибольшее количество выбросов наблюдалось на северном побережье Самбийского п-ва, в отличие от западного побережья – Куршской и Вислинской кос.

Наибольшие скопления водорослей были в основном локализованы вблизи выступов береговой линии как естественных (мысов), так и искусственных (волнорезов, слипов, бун), толщина слоя выброса могла достигать 1 м.

С октября по март выбросы в основном были представлены водорослями отдела Radophyta, в летний периода существенное значение приобретали представители отделов Chlorophyta и Rhaeophyta.

Время нахождения макроводорослей на берегу сильно варьировало (от 22 до менее 1 дня) и часто ограничивалось несколькими днями. Дальнейшая трансформация выбросов могла проходить различными путями – смывом обратно в море, захоронением под толщей песка или мелкой галькой и ветроволновым разносом по пляжу.

Появление и время существования выбросов макроводорослей зависело от гидрометеорологических условий. Как правило, большие объемы выбросов обусловлены предшествующими штормовыми эпизодами. Время существования выброса было ограничено наступлением гидрометеорологических условий, при которых его смывало волнами в результате подъема уровня воды.

БЛАГОДАРНОСТИ

При подготовке настоящей публикации сбор данных 2017-2018 гг. и видовой анализ водорослей выполнен за счет госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013); анализ результатов наблюдений за период 2017-2018 гг. сделан при поддержке гранта РФФИ (проект № 18-55-76001 ЭРА_a); экспедиционные исследования 2019-2020 гг. и интерпретация результатов выполнены в рамках Проекта #R090 CONTRA Interreg Baltic Sea Region Programme.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории прибрежных систем АО ИО РАН А. Н. Граве, Д. А. Домнину и А. В. Килесо за техническую помощь в организации работ по дистанционному наблюдению при помощи веб-камеры и обследованию побережья.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kraufvelin, P. Animal diversity in Baltic rocky shore macroalgae: can *Cladophora glomerata* compensate for lost *Fucus vesiculosus*? / P. Kraufvelin, S. Salovius // Estuarine, Coastal and Shelf Science. – 2004. – Vol. 61, Issue 2. – Pp. 369–378.
2. Вальтер, Г. Растительность земного шара: в 3 т. / Г. Вальтер. – Москва: Прогресс, 1975. – Т. 3. Тундры, луга, степи, внетропические пустыни. – 428 с.
3. Gubelit, Y. Nutrient and metal pollution of the eastern Gulf of Finland coastline: Sediments, macroalgae, microbiota / Y. Gubelit, Y. Polyak, G. Dembska, G. Pazikowska-Sapota, L. Zegarowski, D. Kochura, D. Krivorotov, E. Podgornaya,

O. Burova, C. Maazouzi // *Science of Total Environment*. – 2016. – Vol. 550. – Pp. 806–819.

4. Franzen, D. Beach-cast as biofertiliser in the Baltic Sea region-potential limitations due to cadmium-content / D. Franzen, E. Infantes, F. Grondahl // *Ocean and Coastal Management*. – 2019. – Vol. 169. – Pp. 20–26.

5. Chubarenko, I. Marine macrophytes retain microplastics/ I. Chubarenko, E. Esiukova, O. Lobchuk, A. Volodina, A. Kupriyanova, T. Bukanova // *EGU General Assembly (4–8 May 2020)*. – Vienna, 2020, available at: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-9473> (Accessed 10 June 2020).

6. Tuvikene, R. The extraction, structure, and gelling properties of hybrid galactan from the red alga *Furcellaria lumbricalis* (Baltic Sea, Estonia) / R. Tuvikene, K. Truus, M. Robal, O. Volobujeva, E. Mellikov, T. Pehk, A. Kollist, T. Kailas, M. Vaher // *Journal of Applied Phycology*. – 2010. – Vol. 22. – Pp. 51–63.

7. Thompson, T.M. Pelagic Sargassum for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study on Barbados / T.M. Thompson, B.R. Young, S. Baroutian // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2020. – Vol. 118. – Pp. 1–12.

8. Kirkman, H. Ecological significance and commercial harvesting of drifting and beach-cast macro-algae and seagrass in Australia: a review / H. Kirkman, C.A. Kendrick // *Journal of Applied Phycology*. – 1997. – Vol. 9. – Pp. 311–326.

9. Orfanidis, S. An insight to the ecological evaluation index (EEI) / S. Orfanidis, P. Panayotidis, N. Stamatidis // *Ecological Indicators*. – 2003. – Vol. 3. – Pp. 27–33.

10. HELCOM Baltic Sea Action Plan. Helsinki: Baltic Marine Environment Protection Commission, 2007. – 101 p.

11. Александров, С. В. Многолетние изменения трофического статуса Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря / С. В. Александров // *Биология внутренних вод*. – 2009. – № 4. – С. 27–34.

12. Горбунова, Ю. А. Анализ сценариев развития агропромышленного сектора в водосборном бассейне реки Преголи как определяющего фактора биогенной нагрузки / Ю. А. Горбунова, Д. А. Домнин, Б. В. Чубаренко // *Известия КГТУ*. – 2015. – № 39. – С. 11–19.

13. Кудрявцева, Е. А. Гидролого-гидрохимические основы первичной продуктивности и районирование российского сектора Гданьского бассейна Балтийского моря / Е. А. Кудрявцева, С. В. Александров // *Океанология*. – 2019. – Т. 59, № 1. – С. 56–71.

14. Володина, А. А. Макрофиты прибрежной зоны российского сектора юго-восточной части Балтийского моря (Калининградская область) / А. А. Володина, М. А. Герб // *Известия КГТУ*. – 2013. – № 28. – С. 129–135.

15. Киреева, М. С. Количественный учет выбросов водорослей в Балтийском море / М. С. Киреева // *Труды ВНИРО*. – 1960. – Т. 42. – С. 206–209.

16. Блинова, Е. И. Размер и динамика выбросов фуцеллярии на Балтийском побережье / Е. И. Блинова // *Рыбное хозяйство*. – 1971. – № 7. – С. 10–11.

17. Блинова, Е. И. Многолетняя динамика выбросов фуцеллярии на литовском побережье Балтийского моря / Е. И. Блинова, И. А. Кунютис // *Рыбное хозяйство*. – 1973. – № 9. – С. 20.

18. Suursaar, U. Formation and species composition of stormcast beach wrack in the Gulf of Riga, Baltic Sea / U. Suursaar, K. Torn, G. Martin, K. Herkul, T. Kullas // *Oceanologia*. – 2014. – Vol.56 (4). – Pp. 673–695.

19. Беседина, М. А. Количественная и качественная оценка штормовых выбросов водорослей-макрофитов в Филинской бухте / М. А. Беседина, О. А. Назарова // *Естественнонаучные основы медико-биологических знаний: студ. конф. (9-10 нояб. 2017): материалы.* – Рязань, 2017. – С. 206–208.
20. Виноградова, К. Л. Ульвовые водоросли (Chlorophyta) морей СССР / К. Л. Виноградова. – Ленинград: Наука, 1974. – 166 с.
21. Водоросли: справочник / под ред. С. П. Вассер, Н. В. Кондратьев, Н. П. Масюк [и др.] – Киев: Наукова думка, 1989. – 608 с.
22. Зинова, А. Д. Определитель красных водорослей северных морей СССР / А. Д. Зинова. – Москва: Изд-во АН СССР, 1953. – 212 с.
23. Зинова, А. Д. Определитель бурых водорослей северных морей СССР / А. Д. Зинова. – Москва – Ленинград: Наука, 1955. – 115 с.
24. Блинова, Е. И. Водоросли-макрофиты и травы морей европейской части России (флора, распространение, биология, запасы, марикультура) / Е. И. Блинова. – Москва: Изд-во ВНИРО, 2007. – 114 с.
25. Архив погоды в г. Пионерском, Калининградская область [Электронный ресурс]. – URL: <https://rp5.ru> (дата обращения: 10.06.2020).

REFERENCES

1. Kraufvelin P., Salovius S. Animal diversity in Baltic rocky shore macroalgae: can *Cladophora glomerata* compensate for lost *Fucus vesiculosus*? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, vol. 61, iss. 2, pp. 369–378.
2. Val'ter G. *Rastitel'nost' zemnogo shara. Tom 3. Tundry, luga, stepi, vnetropicheskie pustyni* [Earth vegetation. Volume 3. Tundra, meadows, steppes, extratropical deserts]. Moscow, Progress, 1975, 428 p.
3. Gubelit Y., Polyak Y., Dembska G., Pazikowska-Sapota G., Zegarowski L., Kochura D., Krivorotov D., Podgornaya E., Burova O., Maazouzi C. Nutrient and metal pollution of the eastern Gulf of Finland coastline: Sediments, macroalgae, microbiota. *Science of Total Environment*, 2016, vol. 550, pp. 806–819.
4. Franzen D., Infantes E., Grondahl F. Beach-cast as biofertiliser in the Baltic Sea region-potential limitations due to cadmium-content. *Ocean and Coastal Management*, 2019, vol. 169, pp. 20–26.
5. Chubarenko I., Esyukova E., Lobchuk O., Volodina A., Kupriyanova A., Bukanova T. Marine macrophytes retain microplastics. *EGU General Assembly (4–8 May 2020)*. Vienna, 2020, available at: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-9473> (Accessed 10 June 2020).
6. Tuvikene R., Truus K., Robal M., Volobueva O., Mellikov E., Pehk T., Kollist A., Kailas T., Vaher M. The extraction, structure, and gelling properties of hybrid galactan from the red alga *Furcellaria lumbricalis* (Baltic Sea, Estonia). *Journal of Applied Phycology*, 2010, vol. 22, pp. 51–63.
7. Thompson T. M., Young B. R., Baroutian S. Pelagic Sargassum for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study on Barbados. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, vol. 118, pp. 1–12.
8. Kirkman H., Kendrick C. A. Ecological significance and commercial harvesting of drifting and beach-cast macro-algae and seagrass in Australia: a review. *Journal of Applied Phycology*, 1997, vol. 9, pp. 311–326.

9. Orfanidis S., Panayotidis P., Stamatis N. An insight to the ecological evaluation index (EEI). *Ecological Indicators*, 2003, vol. 3, pp. 27–33.

10. *HELCOM Baltic Sea Action Plan*. Helsinki: Baltic Marine Environment Protection Commission, 2007, 101 p.

11. Aleksandrov S. V. Mnogoletnie izmeneniya troficheskogo statusa Kurshskogo i Vislinskogo zalivov Baltiyskogo morya [Long-term changes in the trophic status of the Curonian and Vistula Gulfs of the Baltic Sea]. *Biologiya vnutrennikh vod*, 2009, no. 4, pp. 27–34.

12. Gorbunova Yu. A., Domnin D. A., Chubarenko B. V. Analiz stsenariiev razvitiya agropromyshlennogo sektora v vodosbornom bassejne reki Pregoli kak opredelyayushchego faktora biogennoy nagruzki [Analysis of scenarios for the development of the agro-industrial sector in the catchment of the Pregol river as a determining factor in the nutrient load]. *Izvestiya KGTU*, 2015, no. 39, pp. 11–19.

13. Kudryavtseva E. A., Aleksandrov S. V. Gidrologo-gidrokhimicheskie osnovy pervichnoy produktivnosti i rayonirovanie rossiyskogo sektora Gdan'skogo basseyna Baltiyskogo morya [Hydrologic and hydrochemical basis of primary production and zoning of the Russian sector of the Gdansk basin of the Baltic Sea]. *Okeanologiya*, 2019, vol. 59, no. 1, pp. 56–71.

14. Volodina A. A. Gerb M. A. Makrofity pribrezhnoy zony rossiyskogo sektora yougo-vostochnoy chasti Baltiyskogo moria (Kaliningradskaya oblast') [Macrophytes of the coastal zone of the Russian sector of the southeastern part of the Baltic Sea (Kaliningrad region)]. *Izvestiya KGTU*, 2013, no. 28, pp. 129–135.

15. Kireeva M. S. Kolichestvennyy uchet vybrosov vodorosley v Baltiyskom more [Quantification of algae emissions in the Baltic Sea]. *Trudy VNIRO*, 1960, vol. 42, pp. 206–209.

16. Blinova E. I. Razmer i dinamika vybrosov furcellarii na Baltiyskom poberezh'e [Volume and dynamics of *Furcellaria* emissions on the Baltic coast]. *Rybnoe khozyaystvo*, 1971, no. 7, pp. 10–11.

17. Blinova E. I., Kunyutis I. A. Mnogoletnyaya dinamika vybrosov furcellarii na litovskom poberezh'e Baltiyskogo morya [Long-term dynamics of *Furcellaria* emissions on the Lithuanian coast of the Baltic Sea]. *Rybnoe khozyaystvo*, 1973, no. 9, pp. 20.

18. Suursaar U., Torn K., Martin G., Herkul K., Kullas T. Formation and species composition of stormcast beach wrack in the Gulf of Riga, Baltic Sea. *Oceanologia*, 2014, vol. 56 (4), pp. 673–695.

19. Besedina M. A., Nazarova O. A. Kolichestvennaya i kachestvennaya otsenka shtormovykh vybrosov vodorosley-makrofitov v Filinskoy bukhte [Quantitative and qualitative estimation of storm beach wrack in the Filinskaya Bay]. *Materialy stud. konf. "Estestvennonauchnye osnovy mediko-biologicheskikh znaniy" (9–10 noyab. 2017)* [Proceedings of student conference "Natural background of the medical and biological knowledge" 09–10 November]. Ryazan', 2017, pp. 206–208.

20. Vinogradova K. L. *Ul'vovye vodorosli (Chlorophyta) morey SSSR* [Ulva algae (Chlorophyta) of the seas of the USSR]. Leningrad, Nauka, 1974, 166 p.

21. *Vodorosli: spravochnik* [Algae: reference book]. Ed. S. P. Wasser, N. V. Kondratiev, N. P. Masyuk et al. Kiev, Naukova dumka, 1989, 608 p.

22. Zinova A. D. *Opredelitel' krasnykh vodorosley severnykh morey SSSR* [Guide to red algae of the northern seas of the USSR]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1953, 212 p.

23. Zinova A. D. *Opredelitel' burykh vodorosley severnykh morey SSSR* [Guide to brown algae of the northern seas of the USSR]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1955, 115 p.

24. Blinova E. I. *Vodorosli-makrofity i travy morey Evropeyskoy chasti Rossii (flora, rasprostranenie, biologiya, zapasy, marikul'tura)* [Macrophyte algae and grasses of the seas of the European part of Russia (flora, distribution, biology, stocks, mariculture)]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2007, 114 p.

25. *Arkhiv pogody v g. Pionerskom, Kaliningradskaya oblast'* [Weather archive in Pionersky, Kaliningrad region]. Available at: <https://rp5.ru> (Accessed 10 June 2020).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Горбунова Юлия Александровна – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; кандидат биологических наук, научный сотрудник;
E-mail: julia_gorbunova@mail.ru

Gorbunova Julia Alexandrovna – Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences; PhD, Scientific researcher; E-mail: julia_gorbunova@mail.ru

Есюкова Елена Евгеньевна – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; кандидат географических наук, старший научный сотрудник; E-mail: elena_esiukova@mail.ru

Esiukova Elena Evgen'evna – Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences; PhD, Senior Researcher; E-mail: elena_esiukova@mail.ru

УДК 597.442:57.017

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-35-48

СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ СТЕРЛЯДИ (ACIPENSER RUTHENUS L.)
КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО МАТЕРИАЛАМ 2012–2019 ГГ.

А. В. Гранин, Ф. М. Шакирова, Ю. А. Северов, М. А. Горшков, А. Э. Калайда,
О. К. Анохина, И. Р. Шакиров, Ю. С. Утямышева

STRUCTURE OF THE STERLET POPULATION (ACIPENSER RUTHENUS L.)
OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR BASED ON MATERIALS OF 2012–2019

A. V. Granin, F. M. Shakirova, Yu. A. Severov, M. A. Gorshkov, A. E. Kalaida,
O. K. Anokhina, I. R. Shakirov, Yu. S. Utyamysheva

В статье приводятся данные многолетних исследований популяции стерляди Куйбышевского водохранилища и изменения, произошедшие в ее структуре. Анализируются биологические показатели стерляди Куйбышевского водохранилища последних десятилетий в сравнении с таковыми предыдущих лет исследований. Исследование вылова стерляди в Куйбышевском водохранилище выявило, что по сравнению с данными прошлых лет промысловый вылов ее значительно уменьшился. Стерлядь является объектом браконьерского лова и редко сдается на приемные пункты. Основу численности уловов в 2012–2019 гг. в Волжском, Камском и Волжско-Камском плесах, как и по всему водохранилищу, составили рыбы абсолютной длиной 30–45 см. Рыбы промысловой длины 42 см (абсолютная длина 47–48 см) и более составили 4 % от общей численности выборки. В наших уловах по численности преобладает стерлядь массой 150–300 г. Отмечено отсутствие рыб старше 10-летнего возраста, увеличение линейных размеров у 3–5-годовалых особей и численное преобладание самок над самцами. По размерно-весовым показателям у рыб отмечается половой диморфизм. Выявлено, что самки стерляди Волжского плеса Куйбышевского водохранилища, находящиеся на II жировой стадии половой зрелости, растут интенсивнее, чем самки с отсутствием отложения жира в гонадах. Материалы, полученные в ходе исследований, имеют важное практическое значение для рационального рыбохозяйственного использования и природоохранное значение для существующего биоразнообразия. Результаты исследований позволяют оценить современное состояние популяции стерляди как одного из ценнейших представителей семейства осетровых Волги и ее водохранилищ.

стерлядь, Куйбышевское водохранилище, возрастной состав, размерно-весовые показатели, половой состав

The article presents data from long-term studies of the population of sterlet in the Kuibyshev reservoir and the changes that have occurred in its structure. Biological indicators of the Kuibyshev reservoir sterlet of recent decades are analyzed, compared to those of previous years of research. The study of the sterlet catch in the Kuibyshev

reservoir revealed, what is compared to the data from previous years, the commercial catch of it has significantly decreased. Sterlet is the object of poaching and is rarely given up at reception points. The basis of the number of catches in 2012–2019 in the Volga, Kama and Volga-Kama ples, as well as throughout the reservoir, were fish with an absolute length of 30–45 cm. Fish with a commercial length of 42 cm (absolute length of 47–48 cm) or more accounted for 4 % of the total sample size. Our catches are dominated by sterlet weighing 150–300 g. The absence of fish older than 10 years of age was noted, increase in linear size in 3–5-year-olds and numerical predominance of females over males. According to size and weight indicators, fish have sexual dimorphism. It is revealed that females of sterlet of the Volga reach of Kuibyshev water reservoir, those who are at the II fat stage of puberty, grow more intensively than females with no fat deposition in the gonads. The materials obtained in the course of research are of great practical significance for the rational use of fisheries and environmental significance for existing biodiversity. The research results allow us to assess the current state of the sterlet population as one of the most valuable representatives of the Volga sturgeon family and its reservoirs.

sterlet, Kuibyshev reservoir, age structure, size and weight indicators, sexual structure

ВВЕДЕНИЕ

Стерлядь – один из ценных представителей пресноводных рыб семейства осетровых р. Волги и ее водохранилищ [1-3]. В Волжско-Камском крае обитает в Чебоксарском, Куйбышевском и Нижнекамском водохранилищах [1, 3-6], наиболее многочисленна в бассейне р. Волга [7]. Встречается в уловах по всей акватории Камского водохранилища, включая приплотинную и среднюю части, а также в пределах крупных заливов, что не отмечалось ранее [8].

Практически во все времена основными факторами, влияющими на воспроизводство и численность стерляди, являлись разрушение и уничтожение естественных нерестилищ, а также усиленный вылов особей любых размеров, в том числе и неполовозрелых, имеющих размеры 25–30 см [9]. В Куйбышевском водохранилище стерлядь распространена и сохраняет свою численность в значительных количествах в Волжском, Камском и Волжско-Камском плесах, где сохранились ее естественные нерестилища, и с определенными ограничениями эксплуатируется промыслом [1, 3, 6].

Исследование вылова стерляди в Куйбышевском водохранилище за период с 2014 по 2018 г. выявило, что по сравнению с данными прошлых лет промысловый вылов ее значительно уменьшился и в среднем составил 0,52 т. Если в 1989 г. промыслом добывали 41,2 т стерляди, то в 1999 г. ее уловы составляли 7,1 т, в 2009 г. – 3,7 т, в 2015 г. – 0,7 т, в 2016 г. и 2017 г. по 0,4 т (рис. 1).

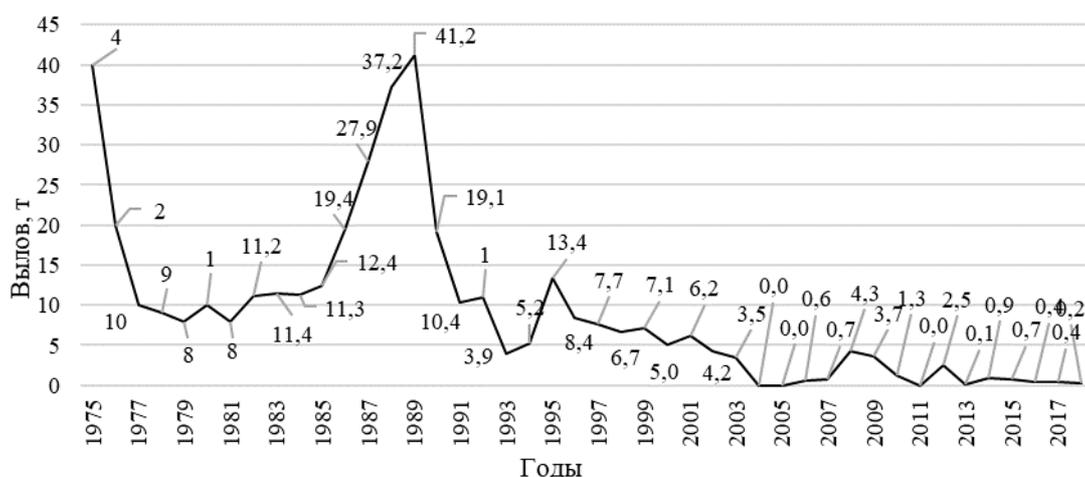


Рис. 1. Промысловый вылов (т) стерляди в Куйбышевском водохранилище (1975–2018 гг.)

Fig. 1. Commercial catch (t) of sterlet in the Kuibyshev reservoir (1975–2018)

Однако следует признать, что стерлядь как ценная промысловая рыба является объектом браконьерского лова и поэтому редко сдается на приемные пункты. Отсюда фактический вылов ее, по-видимому, в десятки раз превышает статистический [10, 11].

С первых лет образования Куйбышевского водохранилища (1957 г.) и по настоящее время сотрудниками Татарского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (прежде – Татарского отделения ФГБНУ «ГосНИОРХ») ведутся исследования биологии и экологии популяции стерляди в условиях водохранилища.

Целью настоящей работы являются изучение популяции стерляди Куйбышевского водохранилища и анализ изменений, произошедших в ее структуре в последние десятилетия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В основу работы положены материалы 2012–2019 гг., собранные во время рейсовых обследований Куйбышевского водохранилища на научно-исследовательском судне «Академик Берг» в летний и осенний периоды, а также данные весенних наблюдений с контрольно-наблюдательных пунктов.

Отлов стерляди проводился 18-метровым двухпластным донным тралом конструкции ГосНИОРХ с ячейей в кутке 40 мм, а также ставными и плавными сетями с ячейей 26–70 мм. Ихтиологический материал собирался из уловов стерляди в Волжском, Камском и Волжско-Камском плесах Куйбышевского водохранилища. Основные уловы стерляди приходятся на бентальную зону в русле водохранилища, в литоральной зоне (пойменные участки) она встречается в единичных экземплярах. Места поимки стерляди показаны на карте-схеме (рис. 2).

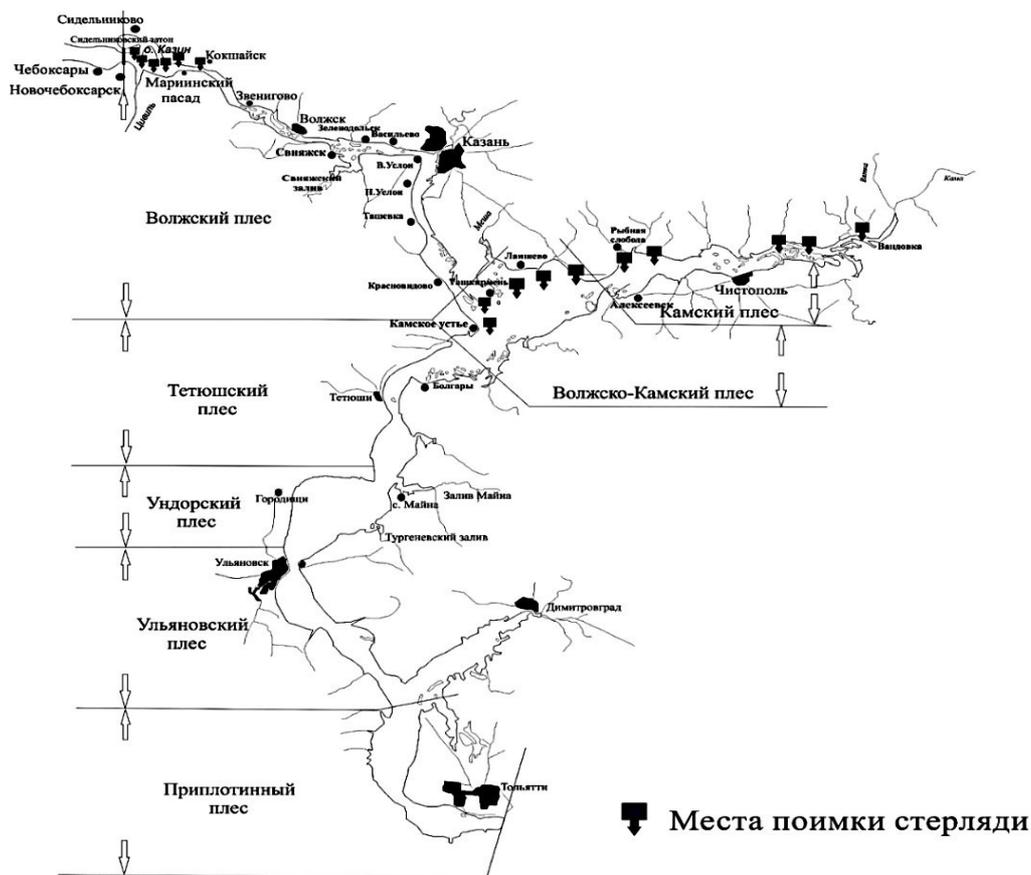


Рис. 2. Карта-схема поимки стерляди в Куйбышевском водохранилище
 Fig. 2. Map-scheme of the capture of sterlet in the Kuibyshev reservoir

Сбор и камеральная обработка материала проводились согласно общепринятым методикам [12–14], а также по рекомендациям Ю. С. Решетникова [15]. Возраст стерляди определяли по шлифам (*marginalia*) грудных плавников [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для изучения популяции стерляди всего отловлено и исследовано 203 экз. рыб, у которых промерили абсолютную длину с точностью до 0,5 см. Возраст определили у 131 экз., половую зрелость – у 115. В литературе встречаются размерные классы абсолютной длины стерляди с шагом 1,0 см [17], 2,0 см [18], 2,5 см [19], 5 см [20–22]. Размерные показатели выловленных рыб по абсолютной длине по 5 см сгруппировали в классы: 20–25 см, 25–30 см и т. д. (табл. 1).

Таблица 1. Численность стерляди по длине (%) и ее средняя масса (г)
 Table 1. Number of sterlet by length (%) and its average weight (g)

Абсолютная длина, см	Куйбышевское водохранилище		Волжский плес		Камский плес		Волжско-Камский плес	
	п, %	средняя масса, г	п, %	средняя масса, г	п, %	средняя масса, г	п, %	средняя масса, г
1	2	3	4	5	6	7	8	9
20-25	1,0	41	(1,0)	(42)	-	-	(4,2)	(40)
25-30	3,9	68	1,9	80	4,1	61	12,5	63
30-35	16,7	164	16,2	137	14,9	209	25,0	147
35-40	52,2	224	55,2	207	54,1	257	33,3	207

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
40-45	21,2	381	22,9	302	21,6	450	12,5	390
45-50	3,0	474	1,9	379	2,7	632	8,3	410
50-55	1,0	625	-	-	(1,4)	(700)	(4,2)	(549)
55-60	(0,5)	(1188)	-	-	(1,4)	(1188)	-	-
60-65	(0,5)	(1428)	(1,0)	(1428)			-	-
п, экз.	203	-	105	-	74	-	24	-

* В скобки заключены цифры, выведенные на единичных экземплярах

Исследованиями выявлено, что в 2012–2019 гг. в водохранилище доминировали рыбы размером 35–40 см, составлявшие 52 % от всего количества выловленных особей, причем наибольшее число их отмечалось в уловах в Волжском и Камском плесах. Более крупные особи размером 40–45 см, также выловленные в Волжском и Камском плесах, составляли 21 %, а длиной 30–35 см – 16 % (рис. 3).

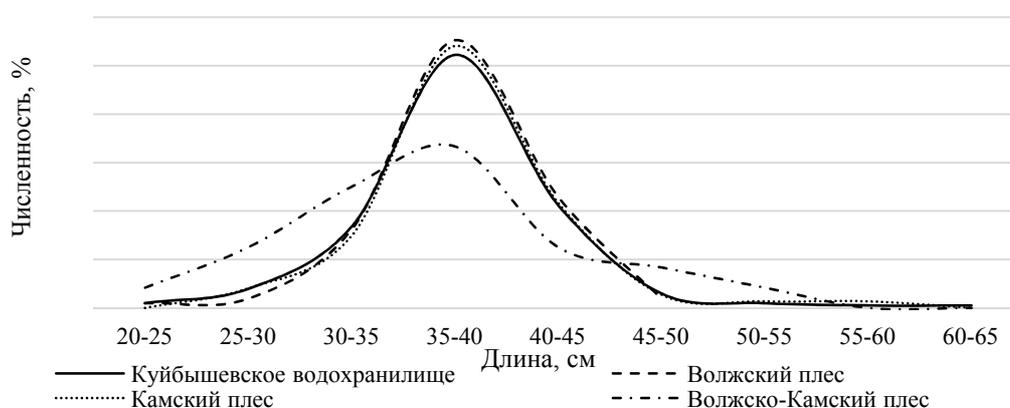


Рис. 3. График численности стерляди по ее длине, %
Fig. 3. Graph of the number of sterlet along its length, %

В 1958 г. в научных уловах в Волжском плесе доминировали особи абсолютной длины 35–40 см, составлявшие 24 % от всего вылова. Более крупные особи длиной 40–45 и 45–50 см составляли по 20 % [17]. По материалам 1960–1962 гг. [19] в уловах преобладала стерлядь размером 25–35 см. По данным 1969 г. [20], в Волжском и Камском плесах по численности превалировала стерлядь размером 25–40 см, в 1970 г. – 15–25 см. В Камском плесе в 1977 г. доминировала стерлядь размером 45–50 см – 31 %, в Волжском – 50–55 см (49 %), в 1978 г. 45–50 см (24 %) и 50–55, 55–60 см (21 и 20 % соответственно) [21]. В Камском плесе в 2006 г. преобладала стерлядь длиной 30–35 см – 41 %, 35–40 см – 29 % и 40–45 см – 15 % [22]. По материалам 1999–2009 гг. в Куйбышевском водохранилище встречались особи стерляди длиной от 15 до 80 см [23], в 2012–2019 гг. – от 24 до 64 см.

Основу численности уловов 2012–2019 гг. в Волжском, Камском и Волжско-Камском плесах, как и по всему водохранилищу, составляли рыбы абсолютной длиной 30–45 см, соответственно, 94; 90; 70–90%. В конце 50-х годов в Волжском плесе рыбы размером 30–45 см составили 44 % [17], в 2006 г. в Камском плесе – 86 % [22].

Стерлядь абсолютной длиной от 40 см чаще встречается в Волжском и Камском плесах. При этом рыбы промысловой длины 42 см (абсолютная длина 47–48 см) и более составили 4 % от общей численности выборки.

В Камском плесе средняя масса одноразмерных рыб была несколько выше по сравнению с таковой в Волжском и Волжско-Камском плесах. Масса одноразмерных рыб из разных плесов Куйбышевского водохранилища представлена на рис. 4.

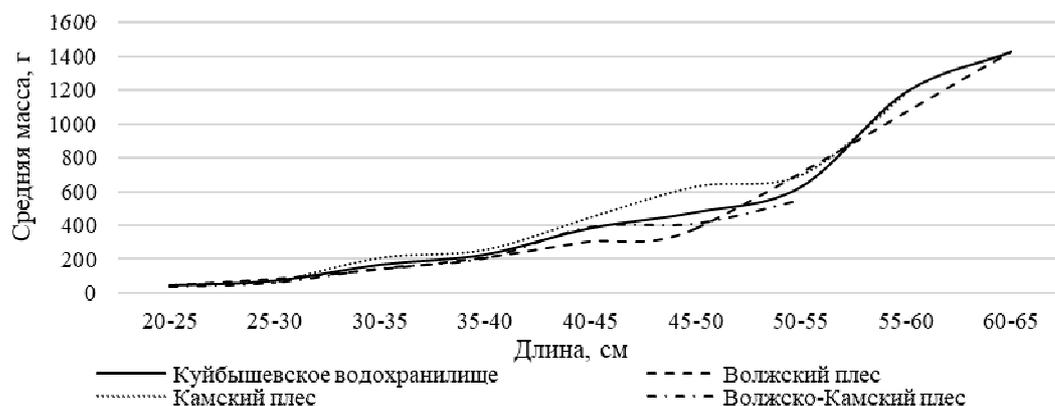


Рис. 4. Средняя масса одноразмерных рыб, г
Fig. 4. Average weight of one-size fish, g

Выявлено, что в наших уловах в Волжском, Камском и Волжско-Камском плесах по численности преобладает стерлядь массой 150–300 г, составляя – 73, 53 и 52 % соответственно.

Возрастной состав стерляди в уловах 2012–2019 гг. представлен 2–9-годовалыми особями (табл. 2).

Таблица 2. Возрастной состав стерляди в разных плесах Куйбышевского водохранилища, %

Table 2. The age structure of sterlet in different ples of the Kuibyshev reservoir, %

Акватория исследований	Возраст, лет								n, экз.
	2	3	4	5	6	7	8	9	
Куйбышевское водохранилище	3,1	16,0	25,2	23,7	19,1	7,6	3,8	1,5	131
Волжский плес	3,8	10,6	25,0	25,0	22,1	9,6	3,8	-	104
Камский плес	-	64,3	(7,1)	14,3	(7,1)	-	-	(7,1)	14
Волжско-Камский плес	-	(7,7)	46,2	23,1	(7,7)	-	(7,7)	(7,7)	13

Примечание. В скобки заключены цифры, выведенные на единичных экземплярах.

Известно, что средний возраст рыб в популяции зависит от величины их пополнения. С увеличением доли пополнения, по отношению к остатку, и происходит омоложение популяции. В настоящее время средний возраст рыб в Волжском плесе составляет 5, в Камском – 4, в Волжско-Камском – 5 лет.

Численность 4- и 5-годовалых особей по всему водохранилищу составляет 49 % от численности выборки. В Волжском плесе преобладают 4-, 5-годовалые особи, составляющие в сумме 50 %, в Волжско-Камском плесе на долю 4-годовиков приходится 69 %. В Камском плесе доминируют 3-годовики (64 %)

поколения 2014, 2015 гг. По данным 2006 г., в районе Камских полян по численности преобладали 6–7-годовалые особи стерляди (35 %) поколения 1999–2000 гг. [22].

Данные по возрастному составу, полученные нами в период исследований, схожи с таковыми периода 1960–1962 гг., когда на всех участках водохранилища преобладали рыбы поколений 1956 и 1957 гг. (4+ и 5+). Однако старшевозрастные группы рыб (более 10+) в тот период были представлены в уловах незначительно и составляли лишь 9 % [20], а в период 1965–1974 гг. рыбы в возрасте более 10+ – в среднем 15 % [3]. В 2006 г. в Камском плесе, в районе Камских полян, старшевозрастные рыбы составляли 23 % [22], а в 2012–2019 гг. они не отмечались в уловах.

По материалам 1959–1962 гг., размеры стерляди в Волжском плесе Куйбышевского водохранилища в возрасте 3+ колебались от 30,5 до 32 см, составляя в среднем 31 см, в возрасте 4+, соответственно, от 32 до 38 см (в среднем 34 см), в возрасте 5+ от 33 до 39 см (в среднем 36 см) [19]. Отмечается увеличение линейных размеров 3-, 4-, 5-годовалых особей в Волжском плесе в 2012–2019 гг. по сравнению с таковыми 1959–1962 гг. и данными обратных расчислений 1956–1966 гг. [21]. Тем не менее в сравнении с данными 1967–1975 гг. [21] 5-, 6-годовалые особи стерляди в 2012–2019 гг. характеризуются более мелкими размерами (на 6–10 см, или 14–16%). Сравнение средней длины стерляди Куйбышевского водохранилища 2012–2019 гг. с таковыми р. Иртыш 2012–2018 гг. [24], выявило, что более высокие показатели в возрасте 2–4 лет наблюдаются у рыб Куйбышевского водохранилища, а в возрасте 6–7 лет стерлядь крупнее в реке (табл. 3).

Таблица 3. Показатели средней длины (см) одновозрастных особей стерляди Куйбышевского водохранилища и р. Иртыш

Table 3. Indicators of the average length (cm) of the same-aged sterlet of the Kuibyshev reservoir and the Irtysh river

Акватория исследований	Возраст, лет							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Куйбышевское водохранилище	29,6	37,4	36,5	37,8	38,4	41,6	42,6	52,0
Волжский плес	29,6	37,9	36,5	37,1	38,0	41,6	40,9	-
Камский плес	-	36,8	(40,0)	40,5	(41,0)	-	-	(54,0)
Волжско-Камский плес	-	(36,5)	36,1	42,2	(46,0)	-	(49,5)	(50,0)
р. Иртыш	28,0	31,8	34,8	38,2	42,2	47,6	-	-

Примечание. В скобки заключены цифры, выведенные на единичных экземплярах.

Анализ соотношения полового состава стерляди в наших уловах характеризуется преобладанием самок по сравнению с численностью самцов. В частности, в 3-годовалом возрасте отношение количества самок и самцов – 15:4, соответственно, у 4-годовиков – 22:10, 5-годовиков – 17:10, 6-годовиков – 15:6. Общее соотношение самок и самцов составляет 2:1. При этом самцов старше 7 лет в выборке 2012–2019 гг. не наблюдалось (табл. 4).

Таблица 4. Возрастной, половой, размерно-весовой состав стерляди Куйбышевского водохранилища

Table 4. Age, sex, size and weight composition of the Kuibyshev reservoir sterlet

Годы	Пол, стадия зрелости	Показатели	Возраст, лет							n, экз.
			3	4	5	6	7	8	9	
2012-2019	♂ II, III	n, экз.	4	10	10	6	3	-	-	33
		L _{сред.} , см	36,6	34,9	36,9	37,9	39,3	-	-	
		m _{сред.} , гр.	208	175	187	233	271	-	-	
	♀ II, II ж,	n, экз.	15	22	17	15	4	2	1	76
		L _{сред.} , см	38,0	37,2	37,9	38,4	39,4	45,8	(54)	
		m _{сред.} , гр.	257	224	235	244	294	343	(700)	

Примечание. В скобки заключены цифры, выведенные на единичных экземплярах

Отмечено, что у самцов доминируют 4-, 5-годовики, 4-годовалые самки представлены в бóльшем количестве, а 3-, 5-, 6-годовалые самки встречаются практически в равных долях. В общей численности выборки доля самок составляет 70, самцов 30 %.

У стерляди наблюдается половой диморфизм по размерно-весовым признакам. У одновозрастных особей размерно-весовые показатели самок заметно выше, чем у самцов. При этом средняя длина и масса самок и самцов стерляди 3-годовиков по размерно-весовым показателям превышают показатели стерляди 4- и 5-годовиков.

Сравнение размеров одновозрастных самок с разных участков водохранилища выявило, что в Волжском плесе 3–5-годовалые самки, находящиеся на II жировой стадии половой зрелости, характеризуются более высокими показателями линейного роста, чем 6–7-годовалые самки на II стадии половой зрелости (табл. 5).

Таблица 5. Сравнение размеров одновозрастных особей стерляди Куйбышевского водохранилища, находящиеся на II и II жировой стадии половой зрелости (см)

Table 5. Comparison of the size of the same-age individuals of the Kuibyshev reservoir sterlet that are at the II and II fat stages of sexual maturity (cm)

Акватория исследований	Стадия половой зрелости	Число рыб	Возраст, лет						
			3	4	5	6	7	8	9
Волжский плес	II	42	39,3	36,9	36,9	38,2	40	-	-
	II ж	14	40,5	40,3	41	38,4	38,8	(42)	-
Камский плес	II	2	(31,5)	-	(39)	-	-	-	
	II ж	12	37,5	(40)	(42)	(41)	-	-	(54)
Волжско-Камский плес	II	3	-	33,5	-	-	-	-	-
	II ж	3	-	(40)	(38)	-	-	(49,5)	-

Примечание. В скобки заключены цифры, выведенные на единичных экземплярах.

Таким образом, самки стерляди в Волжском плесе Куйбышевского водохранилища, находящиеся на II жировой стадии половой зрелости, растут интенсивнее, чем самки на II стадии с отсутствием отложения жира в гонадах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований структуры популяции стерляди в Куйбышевском водохранилище сохраняется преобладание в уловах доли мелких рыб размером 30–45 см и массой 150–300 г. Тенденция уменьшения в уловах доли крупных рыб и преобладание мелких наблюдалась также в первое десятилетие образования водохранилища. Если в период 1999–2009 гг. в уловах еще отмечалась стерлядь до 80 см, то с 2012 по 2019 г. максимальные размеры вылавливаемых рыб достигали лишь 64 см. Размерно-весовой состав стерляди за более чем 60-летнее существование Куйбышевского водохранилища варьирует, что говорит об изменчивости условий жизни (различные обеспеченность пищей, урожайность и численность маточного стада и др.).

Возрастной состав стерляди состоит из десяти возрастных групп. По численности преобладают 4- и 5-годовалые особи. В уловах отсутствуют рыбы старше 10 лет, что ранее не наблюдалось. Отмечается увеличение линейных размеров у 3-, 4-, 5-годовалых особей, по сравнению с таковыми у стерляди 1956–1966 гг. 5-, 6-годовалые особи стерляди в 2012–2019 гг. характеризуются более мелкими размерами (на 6–10 см) по сравнению с особями 1967–1975 гг.

Анализ соотношения полового состава стерляди характеризуется преобладанием в популяции самок по сравнению с численностью самцов. У стерляди наблюдается половой диморфизм по размерно-весовым показателям. Так, длина и масса у самок заметно выше, чем у самцов того же возраста. В Волжском плесе встречаются 3–5-годовалые самки на II жировой стадии, показатели линейного роста которых выше, чем аналогичные показатели у 6–7-годовалых самок на II стадии половой зрелости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецов, В. А. Рыбы Волжско-Камского края / В. А. Кузнецов. – Казань, 2005. – 208 с.
2. Shakirova, F. M. Species Composition of Ichthyofauna of the Kuibyshev Reservoir / F. M. Shakirova, Ya. A. Severov // Journal of Ichthyology. – 2014. Vol. 54, No. 8, P. 513–525.
3. Шакирова, Ф. М. Состояние стерляди Куйбышевского водохранилища и возможности восстановления и поддержания ее запасов / Ф. М. Шакирова [и др.] // Эколого-биологические исследования внутренних водоемов России: сб. науч. тр. – Казань, 2017. – Вып. 14. – С. 210–218.
4. Shashulovsky, V. A. The composition of the ichthyofauna of the Volgograd reservoir / V. A. Shashulovsky, V. P. Ermolin // Journal of Ichthyology. – 2005. – Vol. 45, No. 3. – P. 324–330.
5. Ermolin, V. P. The composition of the ichthyofauna of the Saratov reservoir / V. P. Ermolin // Journal of Ichthyology. – 2010. – Vol. 50, No. 2. – P. 280–284.
6. Таиров, Р. Г. Состояние водных биологических ресурсов Куйбышевского и Нижнекамского водохранилищ и перспективы их оптимального освоения / Р. Г. Таиров [и др.] // Эколого-биологические исследования внутренних водоемов России: сб. науч. тр. – Казань, 2017. – Вып. 14. – С. 233–252.

7. Атлас пресноводных рыб России: в 2 т. / под ред. Ю. С. Решетникова. – Москва: Наука, 2003. – Т. 1. – 379 с.
8. Михеева, О. И. Мероприятия по компенсации ущерба водным биоресурсам от хозяйственной деятельности человека и оценка их эффективности на примере стерляди *Acipenser ruthenus*, выпускаемой в Камское водохранилище / О. И. Михеева [и др.] // Современное состояние водных биоресурсов: материалы 5-й Международной конференции, г. Новосибирск, 27–29 ноября 2019 г. / под ред. Е. В. Пищенко, И. В. Моружи. – Новосибирск: НГАУ. – 2019. – С. 229–231.
9. Анохина, О. К. Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов и пути их рационального использования / О. К. Анохина [и др.] // Материалы докладов Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 85-летию Татарского отделения ГОСНИОРХ (Казань, 24–29 октября 2016 г.). – Казань, 2016. – С. 59–64.
10. Бартош, Н. А. Состояние рыбных ресурсов в Нижнекамском и Куйбышевском водохранилищах в начале XXI столетия / Н. А. Бартош. – Казань: Отечество. 2006. – 181 с.
11. Вчера, сегодня, завтра / под ред. В.А. Шашуловского. – Санкт-Петербург, 2013. – 228 с.
12. Чугунова, Н. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб: метод. пособие по ихтиологии / Н. И. Чугунова. – Москва: Изд-во АН СССР, 1959. – 165 с.
13. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб / И. Ф. Правдин. – Москва: Пищ. пром-сть, 1966. – 376 с.
14. Кафанова, В. В. Методы определения возраста и роста рыб: учебн. пособие / В. В. Кафанова. – Томск: 1984. – 59 с.
15. Решетников, Ю. С. О методиках полевых ихтиологических исследований и точности полученных результатов / Ю. С. Решетников, О. А. Попова // Труды ВНИРО. – Москва: ВНИРО, 2015. – Т. 156. – С. 114–131.
16. Чугунов, Н. Л. Определение возраста и роста рыб по костям / Н. Л. Чугунов // Сборник статей по методике определения возраста и роста рыб. – Красноярск, 1926. – С. 1–16.
17. Батыева, Л. Р. Наблюдения над распределением и ростом стерляди в Куйбышевском водохранилище в 1958 и 1959 годах / Л. Р. Батыева, А. В. Лукин // Труды Тат. отд. ГосНИОРХ. – 1960. – Вып. 9. – С. 229–242.
18. Шмидтов, А. И. Стерлядь (*Acipenser ruthenus* L.) / А. И. Шмидтов. – Казань, 1939. – Т. 99, кн. 4–5. – 279 с.
19. Батыева, Л. Р. Наблюдения над распределением и ростом стерляди Куйбышевского водохранилища в 1960–1962 гг. / Л. Р. Батыева // Труды Тат. отд. ГосНИОРХ. – 1964. – Вып. 10. – С. 195–204.
20. Васянин, К. И. Стерлядь. Распределение и численность промысловых рыб Куйбышевского водохранилища и обуславливающие их факторы / К. И. Васянин // Труды Тат. отд. ГосНИОРХ. – 1972. – Вып. 12. – С. 146–151.
21. Лукин, А. В. Стерлядь Куйбышевского водохранилища и пути ее приспособления к новому существованию: моногр. / А. В. Лукин. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1981. – 84 с.
22. Кузнецов, В. А. К изучению современного состояния популяции стерляди в Камском плесе Куйбышевского водохранилища / В. А. Кузнецов, И. Ф. Га-

ланин, Р. Т. Хасанов // Рыбные ресурсы Камско-Уральского региона и их рациональное использование: материалы науч.-практ. конф. (5–6 ноября 2008 г.) / под общ. ред. Е.А. Зиновьева. – Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2008. – С.77–81.

23. Анохина, О. К. Промыслово-биологическая характеристика, состояние промысловых запасов и допустимые уловы рыб в Куйбышевском водохранилище / О. К. Анохина, К. С. Гончаренко, Л. К. Говоркова // Сборник научных трудов ФГБНУ «ГосНИОРХ». – Санкт-Петербург: 2013. – Вып. 13. – С. 152–176.

24. Шиповалов, Л. А. Размерно-возрастная характеристика стерляди *Acipenser ruthenus* L. реки Иртыш в Омской области в 2018 г. Современное состояние водных биоресурсов: материалы 5-й Международной конференции, г. Новосибирск, 27–29 ноября 2019 г. / Л. А. Шиповалов, В. Ф. Зайцев, А. А. Ростовцев; под ред. Е. В. Пищенко, И. В. Морузи. – Новосибирск: НГАУ. – 2019. – С. 161–164.

REFERENCES

1. Kuznetsov V. A. *Ryby Volzhsko-Kamskogo kraja* [Fishes of the Volga-Kama edge]. Kazan', 2005, 208 p.

2. Shakirova F. M., Severov Ya. A. Species Composition of Ichthyofauna of the Kuibyshev Reservoir. *Journal of Ichthyology*, 2014, vol. 54, no. 8, pp. 513–525.

3. Shakirova F. M., Tairov R. G., Severov YU. A., Kalayda A. E., Gorshkov M. A., Anokhina O. K., Shakirov I. R., Granin A. V. Sostoyanie sterlyadi Kuybyshevskogo vodokhranilishcha i vozmozhnosti vosstanovleniya i podderzhaniya eyo zapasov [The state of the Kuibyshev reservoir sterlet and the possibility of restoring and maintaining its reserves]. *Ekologo-biologicheskie issledovaniya vnutrennikh vodoemov Rossii. Sb. nauchn. tr. Tat. otd.*, 2017, vol. 14, pp. 210–218.

4. Shashulovskiy V. A., Ermolin V. P. The composition of the ichthyofauna of the Volgograd reservoir. *Journal of Ichthyology*, 2005, vol. 45, no. 3, pp. 324–330.

5. Ermolin V. P. The composition of the ichthyofauna of the Saratov reservoir. *Journal of Ichthyology*, 2010, vol. 50, no. 2, pp. 280–284.

6. Tairov R. G., Shakirova F. M., Anokhina O. K., Akhtyamova R. K., Valieva G. D., Akhmetzyanov D. R. Sostoyanie vodnykh biologicheskikh resursov Kuybyshevskogo i Nizhnekamskogo vodokhranilishch i perspektivy ikh optimal'nogo osvoeniya [State of water biological resources of Kuibyshev and Nizhnekamsk reservoirs and prospects for their optimal development]. *Ekologo-biologicheskie issledovaniya vnutrennikh vodoemov Rossii. Sb. nauchn. tr. Tat. otd.*, 2017, vol. 14, pp. 233–252.

7. *Atlas presnovodnykh ryb Rossii: v 2 t., pod red. Yu. S. Reshetnikova* [Atlas of freshwater fish of Russia: in 2 vol., under the editorship of Yu. S. Reshetnikov]. M., Nauka, 2003, vol. 1, 379 p.

8. Mikheeva O. I., Mikheev P. B., Mel'nikova A. G., Kazarinov S. N., Petrenko N. G., El'chenkova O. N. Meropriyatyya po kompensatsii ushcherba vodnym bioresursam ot khozyaystvennoy deyatel'nosti cheloveka i otsenka ikh effektivnosti na primere sterlyadi *Acipenser ruthenus*, vypuskaemoy v Kamskoe vodokhranilishche [Measures for compensation of damage to water bioresources from human economic activity and assessment of their effectiveness on the example of *Acipenser ruthenus* sterlet released into the Kama reservoir]. *Sovremennoe sostoyanie vodnykh bioresursov: materialy 5-y mezhdunarodnoy konferentsii* [Current state of aquatic bioresources: proceedings of the 5th international conference]. Novosibirsk, 2019, pp. 229–231.

9. Anokhina O. K., Govorkov V. I., Gorshkov M. A., Akhmetzyanov D. R., Govorkova L. K. *Sovremennoe sostoyanie bioresursov vnutrennikh vodoyomov i puti ikh ratsional'nogo ispol'zovaniya* [Current state of bioresources of inland reservoirs and ways of their rational use]. *Materialy dokladov Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 85-letiyu Tatarskogo otdeleniya GosNIORKH* [Materials of reports of the all-Russian conference with international participation dedicated to the 85th anniversary of the Tatar branch of GosNIORH]. Kazan', 2016, pp. 59–64.

10. Bartosh N. A. *Sostoyanie rybnyykh resursov v Nizhnekamskom i Kuybyshevskom vodokhranilishchakh v nachale XXI stoletiya* [State of fish resources in the Nizhnekamsk and Kuibyshev reservoirs in the beginning of the XXI century]. Kazan', Otechestvo, 2006, 181 p.

11. *Vchera, segodnya, zavtra* [Yesterday, today, tomorrow]. Saint-Petersburg, 2013, 228 p.

12. Chugunova N. I. *Rukovodstvo po izucheniyu vozrasta i rosta ryb (metodicheskoe posobie po ikhtiologii)* [Guide to the study of the age and growth of fish (methodological guide to ichthyology)]. Izd-vo AN SSSR, M., 1959, 165 p.

13. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* [Guide to the study of fish]. M., Pishchevaya prom-st', 1966, 376 p.

14. Kafanova V. V. *Metody opredeleniya vozrasta i rosta ryb: uchebnoe posobie* [Methods for determining the age and growth of fish: textbook]. Tomsk, 1984, 59 p.

15. Reshetnikov Yu. S., Popova O. A. *O metodikakh polevykh ikhtiologicheskikh issledovaniy i tochnosti poluchennykh rezul'tatov* [On the methods of field ichthyological research and the accuracy of the results obtained]. *Trudy VNIRO*, 2015, vol. 156, pp. 114–131.

16. Chugunov N. L. *Opredelenie vozrasta i rosta ryb po kostyam* [Determining the age and growth of fish by bones]. *Sbornik statey po metodike opredeleniya vozrasta i rosta ryb*, 1926, pp. 1–16.

17. Batyeva L. R., Lukin A. V. *Nablyudeniya nad raspredeleniem i rostom sterlyadi v Kuybyshevskom vodokhranilishche v 1958 i 1959 godakh* [Observations on the distribution and growth of sterlet in the Kuibyshev reservoir in 1958 and 1959]. *Trudy Tat. otd. GosNIORKH*, 1960, vol. 9, pp. 229–242.

18. Shmidtov A. I. *Sterlyad' (Acipenser ruthenus L.)*. [The sterlet (Acipenser ruthenus L.)]. *Uch. zap. Kazanskogo un-ta*, 1939, b. 4-5, vol. 99, 279 p.

19. Batyeva L. R. *Nablyudeniya nad raspredeleniem i rostom sterlyadi Kuybyshevskogo vodokhranilishcha v 1960–1962 gg.* [Observations on the distribution and growth of sterlet in the Kuibyshev reservoir in 1960–1962.]. *Trudy Tat. otd. GosNIORKH*, 1964, vol. 10, pp. 195–204.

20. Vasyanin K. I. *Sterlyad'. Raspredelenie i chislennost' promyslovykh ryb Kuybyshevskogo vodokhranilishcha i obuslovlivayushchie ikh faktory* [Sterlet. The distribution and number of commercial fishes in Kuibyshev water reservoir and the factors involved]. *Trudy Tat. otd. GosNIORKH*, 1972, vol. 12, pp. 146–151.

21. Lukin A. V. *Sterlyad' Kuybyshevskogo vodokhranilishcha i puti ee prisposobleniya k novomu sushchestvovaniyu* [Sterlet of the Kuibyshev reservoir and ways of its adaption to a new existence]. Kazan', Izd-vo Kazanskogo universiteta, 1981, 84 p.

22. Kuznetsov V. A., Galanin I. F., Khasanov R. T. *K izucheniyu sovremennogo sostoyaniya populyatsii sterlyadi v Kamskom plese Kuybyshevskogo vodokhranilishcha* [To study the current state of the sterlet population in the Kama ples of the Kuibyshev

reservoir]. *Rybnye resursy Kamsko-Ural'skogo regiona i ikh ratsional'noe ispol'zovanie: materialy nauch.-prakt. konf.* [Fish resources of the Kama-Ural region and their rational use: materials of scientific and practical conference.]. Perm', 2008, pp. 77–81.

23. Anokhina O. K., Goncharenko K. S., Govorkova L. K. Promyslovo-biologicheskaya kharakteristika, sostoyanie promyslovykh zapasov i dopustimye ulovy ryb v Kuibyshevskom vodokhranilishche [Commercial and biological characteristics, the state of commercial stocks and allowable fish catches in the Kuibyshev reservoir]. *Sbornik nauchnykh trudov FGBNU "GosNIORKH"*, 2013, vol. 13, pp. 152–176.

24. Shipovalov L. A., Zaytsev V. F., Rostovtsev A. A. Razmerno-voznrastnaya kharakteristika sterlyadi Acipenser ruthenus L. reki Irtysh v Omskoy oblasti v 2018 g. [Size and age characteristics of the sterlet Acipenser ruthenus L. of the Irtysh river in the Omsk region in 2018]. *Sovremennoe sostoyanie vodnykh bioresursov: materialy 5- y mezhdunarodnoy konferentsii* [Current state of aquatic bioresources: materials of the 5th international conference]. Novosibirsk, 2019, pp. 161–164

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гранин Антон Валентинович – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Татарский филиал (г. Казань); специалист лаборатории аквакультуры; E-mail: antongranin828@yandex.ru

Granin Anton Valentinovich – Research Institute of Fisheries and Oceanography, Tatar branch (Kazan); specialist of the aquaculture laboratory; E-mail: antongranin828@yandex.ru

Шакирова Фирдауз Мубараковна – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Татарский филиал (г. Казань); кандидат биологических наук, доцент; зам. директора по науке; E-mail: shakirovafm@gmail.com

Shakirova Firdauz Mubarakovna – Research Institute of Fisheries and Oceanography, Tatar branch (Kazan); candidate of biology, associate professor; Deputy Director for science; E-mail: shakirovafm@gmail.com

Северов Юрий Александрович – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Татарский филиал (г. Казань); кандидат биологических наук; зав. лабораторией водных биологических ресурсов; E-mail: gosniiorh@gmail.com

Severov Yuri Aleksandrovich – Research Institute of Fisheries and Oceanography, Tatar branch (Kazan); candidate of biology; head of the laboratory of aquatic biological resources; E-mail: gosniiorh@gmail.com

Горшков Михаил Александрович – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Татарский филиал (г. Казань); зав. лабораторией аквакультуры; E-mail: gosniiorh@gmail.com

Gorshkov Mihail Aleksandrovich – Research Institute of Fisheries and Oceanography, Tatar branch (Kazan); head of the aquaculture laboratory; E-mail: gosniiorh@gmail.com

Калайда Андрей Эдуардович – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Татарский филиал (г. Казань); старший специалист лаборатории аквакультуры; E-mail: gosniiorh@gmail.com

Kalaida Andrey Eduardovich – Research Institute of Fisheries and Oceanography, Tatar branch (Kazan); senior specialist of the aquaculture laboratory; E-mail: gosniiorh@gmail.com

Анохина Ольга Константиновна – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Татарский филиал (г. Казань); кандидат химических наук; зав. лабораторией ихтиологии; E-mail: gosniiorh@gmail.com

Anokhina Olga Konstantinovna – Research Institute of Fisheries and Oceanography, Tatar branch (Kazan); candidate of chemical Sciences, head of the laboratory of ichthyology; E-mail: gosniiorh@gmail.com

Шакиров Ильдар Рафаилевич – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Татарский филиал (г. Казань); специалист лаборатории ихтиологии; E-mail: gosniiorh@gmail.com

Shakirov Il'dar Rafailevich – Research Institute of Fisheries and Oceanography, Tatar branch (Kazan); specialist of the laboratory of ichthyology; E-mail: gosniiorh@gmail.com;

Утямышева Юлия Семеновна – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Татарский филиал (г. Казань); лаборант лаборатории аквакультуры; E-mail: gosniiorh@gmail.com

Utyamysheva Yulia Semyonovna – Research Institute of Fisheries and Oceanography, Tatar branch (Kazan); laboratory assistant of the aquaculture laboratory; E-mail: gosniiorh@gmail.com

УДК 551.464 (261.24)

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-49-60

РАЙОНИРОВАНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ГЛУБИННОЙ СТРУКТУРНОЙ ЗОНЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

В. Ф. Дубравин, М. В. Капустина

ZONING OF HYDROCHEMICAL FIELDS OF THE BALTIC SEA DEEP LAYER

V. F. Dubravina, M. V. Kapustina

Среднегодовые значения солености (S, PSU), растворенного кислорода (O_2), фосфатов (PO_4), аммонийного азота (NH_3) и нитратов (NO_3) (мкмоль/кг), усредненные на регулярной одноградусной сетке за 1950–2005 гг. [1], разделены на кластеры. Кластерный анализ (в модификации Ряховского [2]) проведен в двух вариантах – по пяти параметрам (с учетом солености, первый вариант) и по четырем (без учета солености, второй вариант). Это позволило в глубинном слое (на глубине ядра максимума солености S_{max}) Балтийского моря выделить по первому варианту пять кластеров и по второму – четыре. При этом кластеры 1–4 в обоих вариантах практически схожи: 1-й – Аландский, 2-й – Окраинный, 3-й – Основной, 4-й – Готландско-Финский, 5-й кластер – Западный – выделяется по первому варианту, а по второму переходит к третьему кластеру. Аландский кластер характеризуется повышенными значениями фосфатов и аммония; Окраинный – пониженными значениями фосфатов; Готландско-Финский – пониженными значениями нитратов; Западный (по первому варианту) – повышенной соленостью; Основной кластер не имеет ярко выраженных экстремумов. В работе приведены результаты корреляционного анализа, выполненного для выделенных кластеров. Полученные оценки подтверждают вывод о влиянии устойчивой стратификации и водообмена с Северным морем на распределение в глубинной структурной зоне не только солености, но и растворенного кислорода, фосфатов, аммонийного азота и нитратов. Результаты этого исследования и проведенного ранее для деятельного слоя [3] подтверждают вывод, сделанный в работах [4–6], для обеих структурных зон, но с получением количественных оценок.

соленость, растворенный кислород, фосфаты, аммонийный азот, нитраты, глубинный слой Балтийского моря, кластерный анализ, корреляционный анализ

Average annual values of salinity (S, PSU), dissolved oxygen (O_2), phosphates (PO_4), ammonium nitrogen (NH_3) and nitrates (NO_3) ($\mu\text{mol/kg}$), averaged for 1950–2005 on a regular grid of one degree [1], are divided into clusters. The cluster analysis (modification by V. Ryakhovsky [2]), has been carried out in two variations: by five parameters (including salinity, 1st variation) and by four parameters (excluding salinity, 2nd variation). It allowed us to distinguish five and four clusters (regions) in the deep

layer (at salinity maximum layer S_{\max}) of the Baltic Sea, according to the 1st and 2nd variants of the analysis, respectively. Clusters 1–4 in both versions are quite similar: 1 – Aland, 2 – Marginal, 3 – Main Area, 4 – Gotland-Finland. Fifth cluster – Western – distinguish according to the 1st variant of the analysis, while in the 2nd variant it goes to the 3rd cluster. Aland cluster is characterized by high values of phosphates and ammonium; Marginal – by low phosphate values; Gotland-Finland – by lowered values of nitrates; Western (according to the 1st variant) – by high salinity values; Main Area cluster allocated on a leftover basis. The paper presents the results of the correlation analysis performed for the clusters. The calculations allow us to conclude that stratification of the Baltic Sea and water exchange with the North Sea control the distribution of salinity and dissolved oxygen, phosphorus and nitrogen in the deep layer. The results of this study and the one carried out earlier for the surface layer [3] confirms the conclusion, made in [4–6], but now with the quantitative estimates.

salinity, dissolved oxygen, phosphate, ammonium nitrogen, nitrates, deep structural zone, cluster analysis, correlation analysis

ВВЕДЕНИЕ

Гидрологическая структура (как термохалинная, так и гидрохимическая) Балтийского моря характеризуется устойчивой плотностной стратификацией, связанной со значительным речным стоком и затрудненным водообменом с Мировым океаном [4–6]. Стратификация препятствует перемешиванию поверхностных и придонных слоев; эвтрофированность моря и наблюдаемое снижение частоты затоков североморских вод в Балтику приводят к образованию бескислородных зон и повышению эвтрофикации вследствие высвобождения фосфатов со дна; содержание растворенного кислорода растет в процессе фотосинтеза, расходуется на дыхание живых организмов и деструкцию органического вещества [5, 7].

Термохалинная структура Балтийского моря представлена двумя структурными зонами: поверхностной, или деятельным слоем (ДС), и глубинной [3, 8]. Гидрохимические параметры в Балтике распределены также в соответствии со структурными зонами, что обусловлено наличием устойчивой стратификации. При этом нижняя граница ДС, соответствующая максимуму вертикального градиента ГХ параметра – G_{\max} , в среднем возрастает от 55–65 м для NO_3 и O_2 до 75 м для PO_4 . Если за границу ДС принять глубину залегания изофосфаты 1,0 мкг-ат Р/л (1,0 $\mu\text{моль Р/кг}$), разница с границей по G_{\max} для исследуемых параметров составит не более 5 м [9].

Глубины залегания максимумов вертикального градиента гидрологических параметров (температура воды и соленость) и ГХ (содержание растворенного кислорода и нитратов) в характерных точках (Арконской, Борхольской, Гданьской, Готландской впадинах и Финском заливе) следующие: в Южной и Центральной Балтике глубина G_{\max} возрастает от 15 м в Арконском бассейне до 55–75 м в Борнхольмской и Гданьской впадинах и уменьшается до 65 м в Готландской. В Финском заливе, находящемся под большим влиянием речного стока, глубина G_{\max} варьирует от 45 до 75 м.

В работах [4–6] отмечалась общность процессов – атмосферная циркуляция, речной сток и водообмен с Северным морем, управляющих распределением в Балтике не только солености, но и кислорода, фосфатов и форм азота. С помощью

количественных оценок это было подтверждено для деятельного слоя [3]. Для глубинного слоя таких оценок на данный момент не было. Получение среднеголетних коэффициентов корреляции между гидрохимическими параметрами позволит оценить вклад затоков североморских вод в изменение гидрохимического состава вод придонного слоя. Поэтому целью данной работы стало районирование глубинной структурной зоны по ГХ параметрам Балтийского моря с получением количественных оценок по данным кластерного и корреляционного анализа [2].

Авторы выражают благодарность А. В. Смирнову за помощь в обработке данных.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Ранее авторами для разных слоев Балтийского моря были исследованы характеристики поля солёности [8], кислорода, фосфатов, аммонийного азота и нитратов [10]. Районирование среднегодовых глубинных¹, как и поверхностных в [3], полей солёности, кислорода, фосфатов, аммония и нитратов было выполнено с использованием кластерного анализа – метода агломерации многомерной информации, где исходные данные объединяются в группы (кластеры) по степени корреляционной близости исходных точек, в качестве меры расстояния между которыми выбрана евклидова норма (модификация В. М. Ряховского [2]). Районирование выполнялось в двух вариантах: ГХ параметры с учетом солёности (по пяти параметрам) и без учета (по четырем).

Исследование выполнено на данных многолетнего гидрологического массива Института исследований Балтийского моря за 1950–2005 гг. [1]. Среднегодовые значения солёности (PSU), кислорода, фосфатов, аммония и нитратов (мкмоль/кг) усреднены на регулярной сетке $1 \times 1^\circ$ (рис. 1).

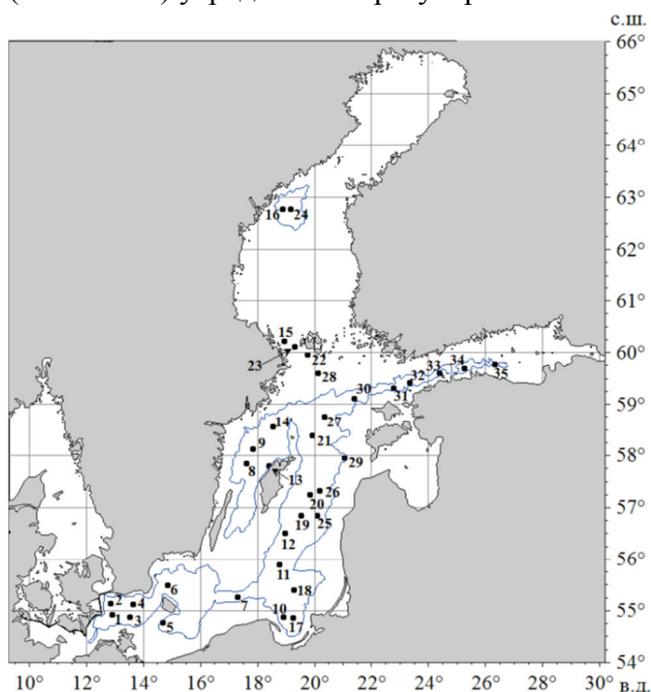


Рис. 1. Условная нумерация одноградусных трапеций, использованных для кластерного анализа на глубине ядра максимума солёности в Балтийском море по [1]
 Fig. 1. Conditional numbering of one-degree trapezium of the Baltic Sea salinity maximum layer, used for cluster analysis, according to [1]

¹ Расчеты велись для параметров на глубине ядра максимума солёности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный анализ позволил выделить следующее количество кластеров: по первому варианту (с учетом солёности): первый шаг – 13, второй – 5 (рис. 2, а, табл. 1); по второму (только гидрохимические параметры): первый шаг – 13, второй – 4 (рис. 2, б, табл. 1). На рис. 2 представлены кластеры, выделенные по второму шагу. Стоит отметить, что кластеры 1–4 в обоих вариантах практически схожи; по первому варианту выделяется пятый кластер – Западный, по второму варианту он переходит к третьему кластеру – Основному (кв. 2) (см. рис. 1).

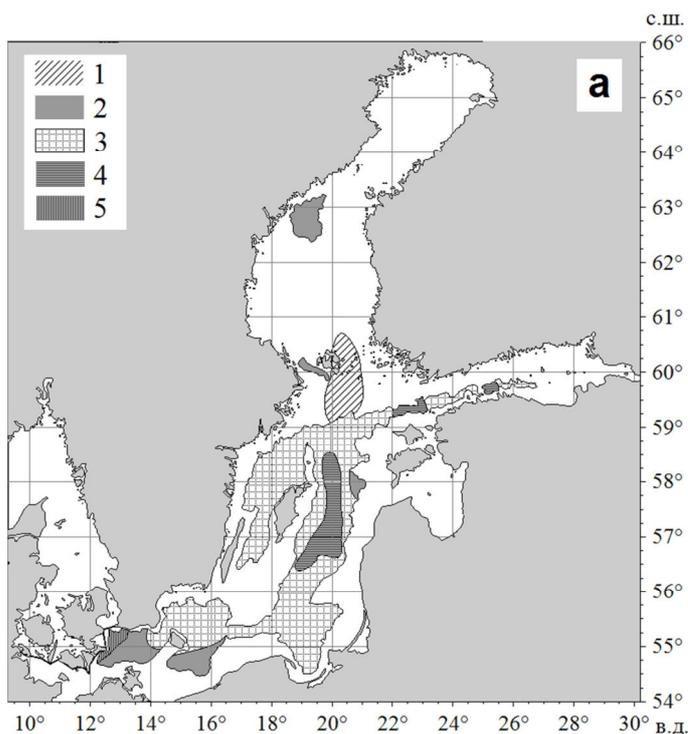
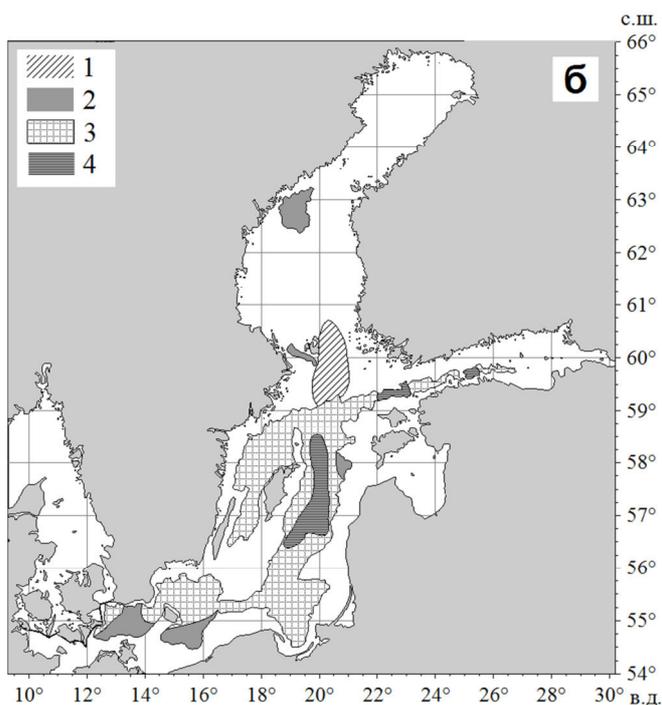


Рис. 2. Районирование гидрохимических полей Балтийского моря на глубине ядра максимума солёности по данным кластерного анализа – первый вариант (а):

1 – Аландский, 2 – Крайний, 3 – Основной, 4 – Готландско-Финский, 5 – Западный;



второй вариант (б):
1 – Аландский, 2 – Крайний, 3 – Основной, 4 – Готландско-Финский

Fig. 2. Zoning of the hydrochemical fields of the Baltic Sea salinity maximum layer according to cluster analysis – 1st version (a):
1 – Aland, 2 – Marginal, 3 – Main Area, 4 – Gotland-Finland, 5 – Western; 1 – Aland, 2 – Marginal, 3 – Main Area, 4 – Gotland-Finland – 2nd version (b)

Признаки, по которым выделяются кластеры гидрохимических полей Балтийского моря на глубине ядра максимума солености, таковы: кластер 1 – Аландский – характеризуется повышенными значениями фосфатов и аммония; кластер 2 – Окраинный – пониженными значениями фосфатов, кластер 4 – Готландско-Финский – пониженными значениями нитратов; кластер 5, выделенный в первом варианте кластерного анализа, – Западный – повышенной соленостью, кластер 3 – Основной – выделяется по остаточному признаку (не имеет ярко выраженных экстремумов) (табл. 1).

Таблица 1. Средние значения гидрохимических характеристик и солености на глубине ядра максимума солености Балтийского моря по данным кластерного анализа

Table 1. Hydrochemical characteristics and salinity of the Baltic Sea salinity maximum layer using cluster analysis

Номер кластера	Название кластера (региона)	Кол-во точек в кластере	S, PSU	O ₂ , мкмоль/ кг	P-PO ₄ , мкмоль/ кг	N-NH ₃ , мкмоль/ кг	N-NO ₃ , мкмоль/ кг
Первый вариант							
1	Аландский	1	9,99	226,86	8,51	24,85	0,18
2	Окраинный	10	9,99	276,57	0,81	0,75	4,88
3	Основной	15	10,88	57,39	3,40	1,82	5,96
4	Готландско-Финский	8	11,37	29,45	4,28	7,10	2,03
5	Западный	1	32,26	188,18	0,97	0,98	8,48
Второй вариант							
1	Аландский	1	-	226,86	8,51	24,85	0,18
2	Окраинный	10	-	276,57	0,81	0,75	4,88
3	Основной	16	-	65,56	3,25	1,77	6,12
4	Готландско-Финский	8	-	29,45	4,28	7,10	2,03

Оба варианта кластерного анализа демонстрируют схожесть районирования глубинных гидрохимических полей Балтики не только качественно, но и количественно. На рис. 3 приведены соотношения между средними для каждого кластера величинами гидрохимических характеристик (мкмоль/кг) и соленостью на глубине ядра S_{max} Балтийского моря (первый вариант) и между биогенами и кислородом (второй вариант). Соотношения между ГХ параметрами и соленостью ($S-O_2$, $S-PO_4$, $S-NH_3$ и $S-NO_3$) представлены двумя типами зависимости: прямой и обратной. Прямая зависимость (с увеличением солености растет величина ГХ параметров) соответствует кластерам 3–5; 2–4; 2–4 и 1–5 с теснотой связи r , равной 0,64; 0,28; 0,20 и 1,0, соответственно (табл. 2). Обратная зависимость (с увеличением солености падает значение ГХ параметров) наблюдается для кластеров 1, 2, 5; 1, 5; 1, 5 и 2–4 с теснотой связи r , равной (-0,64); (-1,0); (-1,0) и (-0,13), соответственно.

Для соотношений O_2-PO_4 , O_2-NH_3 и O_2-NO_3 по первому (рис. 3, б) и второму вариантам представлено два типа распределения: прямой, соответствующий кластерам 1, 4; 1, 4 и 3, 5 с теснотой связи r , равной 0,94; 0,79 и 0,62, и обратный, соответствующий кластерам 2–5; 2–5 и 1–4 с теснотой связи (-0,84); (-0,46) и 0,10.

Для соотношения O_2 - NH_3 слабая обратная зависимость отмечается для кластеров 2–5 и 2, 3, 5 (теснота связи составляет соответственно (-0,46) и (-0,43)).

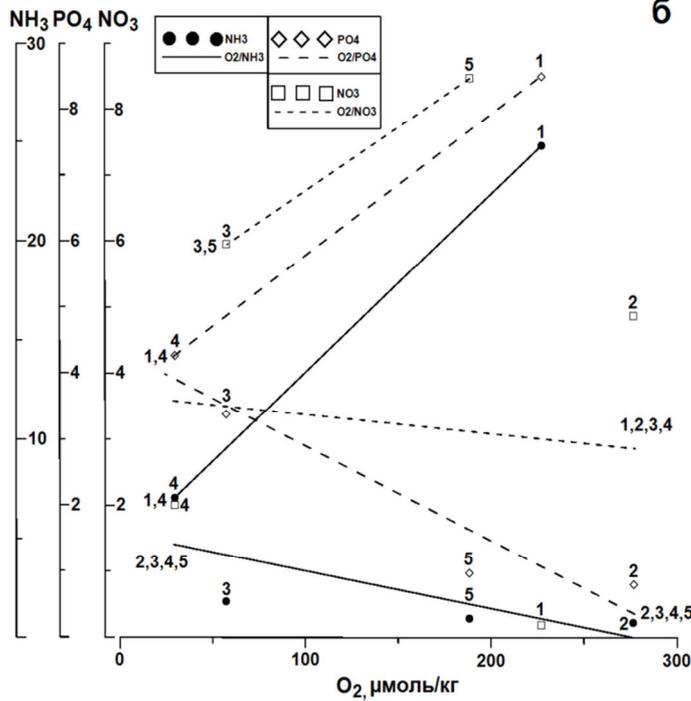
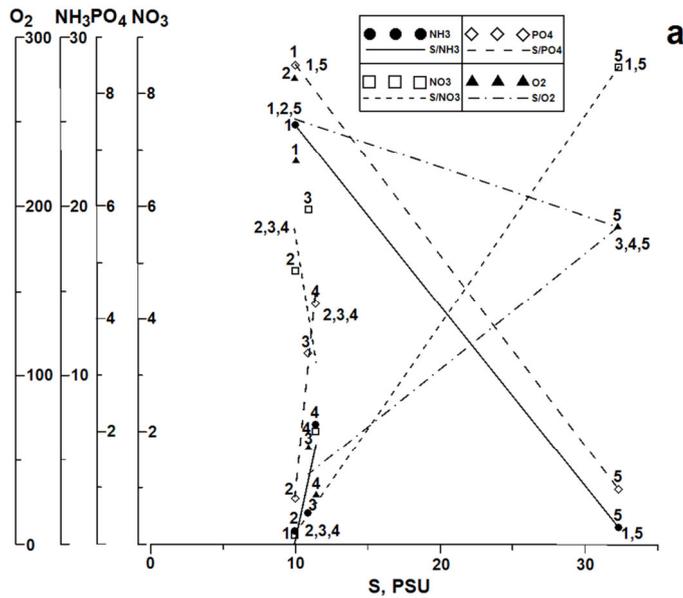


Рис. 3. Соотношение между средним для каждого кластера содержанием гидрохимических характеристик ($\mu\text{моль/кг}$) и соленостью на глубине ядра максимума солености Балтийского моря – (а) и между биогенами и кислородом – (б).

Цифры – номера кластеров по варианту 1

Fig. 3. Relationship between the average content of hydrochemical characteristics ($\mu\text{mol/kg}$) and salinity of the Baltic Sea salinity maximum layer – (a) and between nutrients and oxygen – (b) for each cluster.

Numbers – cluster numbers according to 1st variant

Величины PO_4 и NH_3 находятся в прямо пропорциональной зависимости для кластеров 2, 3, 5 и 1, 3, 4 (с коэффициентом корреляции 0,61 и 0,73). Соотношения PO_4 - NO_3 и NH_3 - NO_3 обратно пропорциональны для кластеров 2–5 и 1, 4 с коэффициентами корреляции (-0,27) и (-0,67) (первый вариант) и (-0,60) и (-0,65) (второй вариант), соответственно (табл. 2).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции и уравнения регрессии между гидрохимическими характеристиками и соленостью на глубине ядра максимума солености Балтийского моря

Table 2. Correlation coefficients and regression equations between hydrochemical characteristics and salinity in the salinity maximum layer of the Baltic Sea

Параметры	Номера кластеров	Количество точек в кластерах	Коэффициент корреляции r	Уравнение регрессии	
				коэффициент регрессии m	свободный член b
1	2	3	4	5	6
Первый вариант					
O ₂ (S)	1, 2, 5	12	-0,64	-2,853	280,20
	3, 4, 5	24	0,64	6,826	-32,35
	1-5	35	-0,04	1,219	137,54
PO ₄ (S)	2, 3, 4	33	0,28	2,554	-24,62
	1, 5	2	-1,0	-0,339	11,90
	1-5	35	-0,03	-0,153	5,87
NH ₃ (S)	2, 3, 4	33	0,20	4,175	-41,65
	1, 5	2	-1,0	-1,072	35,56
	1-5	35	-0,02	-0,373	12,66
NO ₃ (S)	2, 3, 4	33	-0,13	-1,660	22,14
	1, 5	2	1,0	0,373	-3,54
	1-5	35	0,20	0,242	0,71
PO ₄ (O ₂)	2, 3, 4, 5	34	-0,84	-0,014	4,36
	1, 4	9	0,94	0,021	3,65
	1-5	35	-0,63	-0,003	4,07
NH ₃ (O ₂)	2, 3, 4, 5	34	-0,46	-0,019	5,30
	1, 4	9	0,79	0,090	4,45
	1-5	35	-0,18	0,018	4,36
NO ₃ (O ₂)	1, 2, 3, 4	34	0,10	-0,003	3,70
	3, 5	16	0,62	0,019	4,85
	1-5	35	0,13	0,001	4,19
NH ₃ (PO ₄)	1, 3, 4	24	0,73	4,406	-12,53
	2, 3, 5	26	0,61	0,387	0,51
	1-5	35	0,71	3,103	-4,06
NO ₃ (PO ₄)	2, 3, 4, 5	34	-0,27	-1,029	7,77
	1, 4	9	-0,67	-0,436	3,90
	1-5	35	-0,40	-0,883	7,48
NO ₃ (NH ₃)	2, 3, 4, 5	34	-0,60	-0,729	7,28
	1, 4	9	-0,65	-0,104	2,77
	1-5	35	-0,63	-0,264	6,18
Второй вариант					
PO ₄ (O ₂)	1, 3, 4	25	0,08	0,025	2,68
	1, 2	11	-0,55	-0,155	43,67
	1-4	35	-0,63	-0,001	4,31
NH ₃ (O ₂)	1, 3, 4	25	0,33	0,106	-0,15
	1, 2	11	-0,50	-0,485	134,85
	1-4	35	-0,18	0,023	5,14

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
NO ₃ (O ₂)	1, 2, 4	19	0,65	0,006	1,37
	2, 3	26	-0,24	-0,006	6,50
	1–4	35	0,13	-0,003	3,73
NH ₃ (PO ₄)	1, 3, 4	25	0,72	4,329	-11,92
	2, 3	26	0,61	0,421	0,40
	1–4	35	0,71	3,32	-5,40
NO ₃ (PO ₄)	1, 2, 4	19	-0,83	-0,603	5,10
	2, 3	26	0,21	0,508	4,47
	1–4	35	-0,40	-0,696	6,24
NO ₃ (NH ₃)	1, 3, 4	25	-0,68	-0,175	4,27
	2, 3	26	-0,05	1,208	3,98
	1–4	35	-0,63	-0,215	5,15

Соотношения между средними для каждого кластера значениями содержания биогенных элементов и растворенного в воде кислорода (мкмоль/кг) на глубине S_{max} Балтийского моря и между фосфатами и формами азота представлены на рис. 4. Для соотношений O₂-PO₄, O₂-NH₃ и O₂-NO₃ наблюдается два типа распределения (рис. 4, а): прямая зависимость – для кластеров 1, 3, 4; 1, 3, 4 и 1, 2, 4 с теснотой связи r, равной 0,08; 0,33 и 0,65 (см. табл. 2), и обратная – для кластеров 1, 2; 1, 2 и 2, 3 с теснотой связи, равной (-0,55), (-0,50) и (-0,24), соответственно. Для соотношения O₂-NO₃ прямая зависимость отмечается для кластеров 1, 2, 4 и 2–4 с теснотой связи 0,65 и 0,20. Исходя из величины тесноты связи, предпочтение надо отдать кластерам 1,2,4 с коэффициентом корреляции r = 0,65.

Для соотношения PO₄-NH₃ наблюдается прямая зависимость для кластеров 1, 3, 4 и 2, 3 с теснотой связи 0,72 и 0,61. Для PO₄-NO₃ и NH₃-NO₃ – два типа распределения: с прямой зависимостью для кластеров 2, 3 и 2, 3 с теснотой связи, равной соответственно 0,21 и (-0,05), и обратной, соответствующей кластерам 1, 2, 4 и 1, 3, 4, коэффициенты корреляции равны (-0,83) и (-0,68) (см. табл. 2).

Для обоих вариантов районирования (рис. 2, а, б) для кластеров 1, 3, 4 прямая зависимость отмечается только для соотношения PO₄-NH₃ с высокой значимой связью r = 0,72 ÷ 0,73. Для первого варианта для кластеров 2–4 (см. рис. 2, а) для соотношений S-NH₃ и S-PO₄ корреляция практически отсутствует: теснота связи составляет 0,20 ÷ 0,28; для S-NO₃ корреляция также не наблюдается (r = (-0,13)). Для кластеров 1,4 выявлена прямая зависимость для соотношений O₂-NH₃ и O₂-PO₄ с высокой положительной связью (0,79 и 0,94, соответственно) и обратная – для соотношений NH₃-NO₃ и PO₄-NO₃ с отрицательной значимой связью r = (-0,65) ÷ (-0,67). Для кластеров 2-5 соотношения NH₃-NO₃ и O₂-PO₄ имеют умеренный и высокий коэффициенты корреляции r = (-0,60) ÷ (-0,84); для соотношений PO₄-NO₃ и O₂-NH₃ выявлена слабая связь r = (-0,27) ÷ (-0,46).

По второму варианту анализа: для кластеров 1, 2, 4 для соотношения O₂-NO₃ отмечается положительная умеренная связь (r = 0,65); для соотношений NH₃-NO₃ и PO₄-NO₃ – умеренная и высокая обратная теснота связи (r = (-0,68) ÷ (-0,83)). Кроме того, для кластеров 1, 3, 4 (за исключением соотношения PO₄-NH₃, которое наблюдается для обоих вариантов) для второго варианта имеют место соотношения O₂-PO₄ и O₂-NH₃ с невысокой положительной связью r = 0,08 ÷ 0,33.

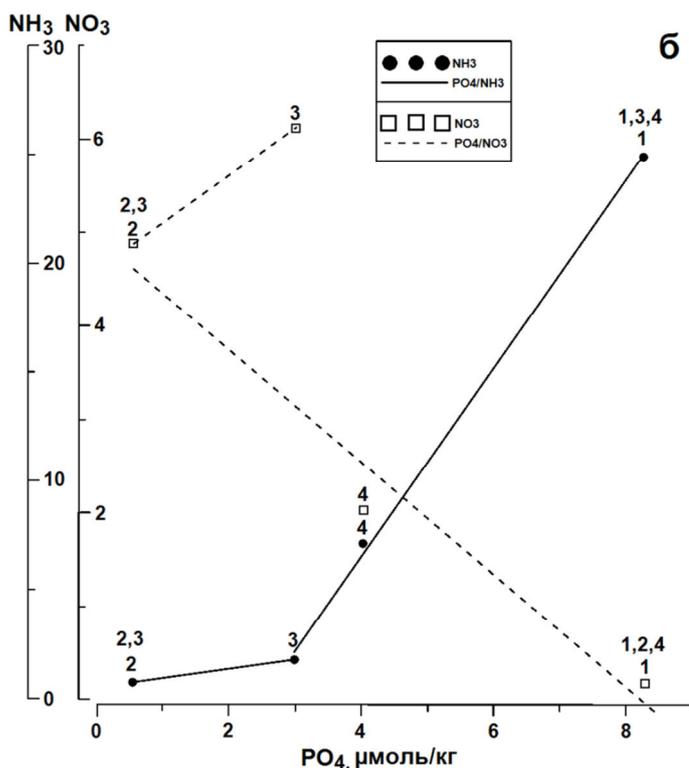
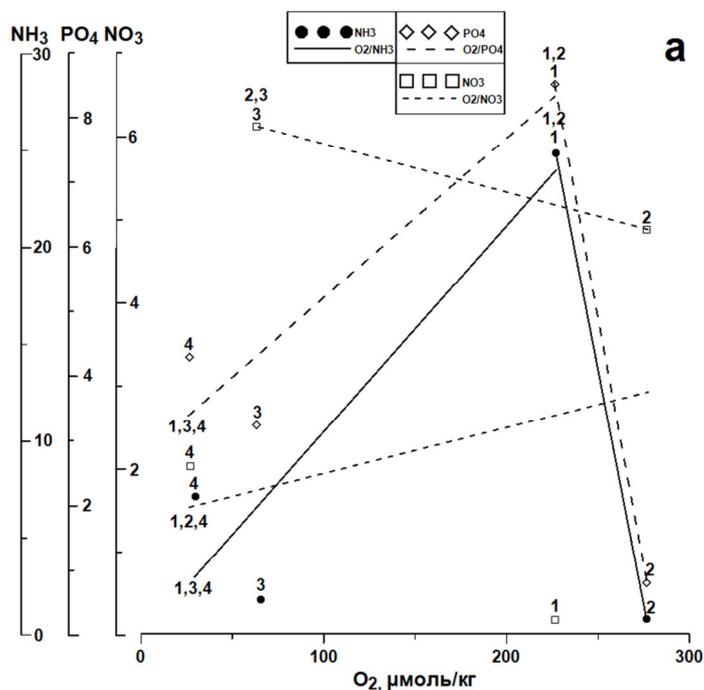


Рис. 4. Соотношение между средним для каждого кластера содержанием гидрохимических характеристик (мкмоль/кг) на глубине ядра максимума солености Балтийского моря: между биогенами и кислородом (а) и азотом и фосфором (б). Цифры – номера кластеров по варианту 2

Fig. 4. Relationship between the average content of hydrochemical characteristics ($\mu\text{mol/kg}$) for each cluster in the deep layer of the Baltic Sea: between nutrients and oxygen (a) between nitrogen and phosphorus (b). Numbers – cluster numbers according to 2nd variant

ВЫВОДЫ

1. Проведенный кластерный анализ усредненных за 1950–2005 гг. среднегодовых значений S , O_2 , PO_4 , NH_3 и NO_3 на глубине ядра максимума солености (глубинный слой) Балтийского моря на одноградусной сетке в двух вариантах –

по пяти параметрам (с учетом солености) и по четырем (без нее) – позволил выделить по первому варианту пять кластеров, по второму – четыре. Кластеры 1–4 в обоих вариантах практически схожи: 1-й – Аландский, 2-й – Краинный, 3-й – Основной, 4-й – Готландско-Финский; 5-й кластер – Западный – выделен по первому варианту анализа, по второму варианту он примыкает к третьему кластеру – Основному.

2. Кластеры гидрохимических полей Балтийского моря в глубинном слое выделены по следующим признакам: кластер 1 – Аландский – характеризуется повышенными значениями фосфатов и аммония; кластер 2 – Краинный – пониженными значениями фосфатов и кластер 4 – Готландско-Финский – пониженными значениями нитратов; кластер 5 (по первому варианту) – Западный – характеризуется повышенной соленостью; кластер 3 – Основной – выделяется по остаточному признаку, не имея выраженных экстремумов.

3. Схожесть районирования по обоим вариантам подтверждена количественно: для обоих вариантов анализа для кластеров 1, 3, 4 прямая зависимость отмечается только для соотношения PO_4-NH_3 с коэффициентом корреляции $0,72 \div 0,73$. Для кластеров 1, 4 отмечается прямая зависимость для соотношений O_2-NH_3 и O_2-PO_4 с высокой положительной связью $r = 0,79$ и $0,94$ и обратная – для соотношений NH_3-NO_3 и PO_4-NO_3 с отрицательной умеренной связью $r = (-0,65) \div (-0,67)$. Для кластеров 2–5 для соотношений NH_3-NO_3 и O_2-PO_4 отмечается умеренно-сильная отрицательная связь $r = (-0,60) \div (-0,84)$. Для второго варианта для кластеров 1, 2, 4 для соотношения O_2-NO_3 характерна положительная значимая связь ($r = 0,65$) и отрицательная для NH_3-NO_3 и PO_4-NO_3 ($r = (-0,68) \div (-0,83)$). Для остальных кластеров и соотношений корреляция практически отсутствует.

4. Распределение в глубинной структурной зоне не только солености, но и кислорода, фосфатов, аммонийного азота и нитратов обуславливается, прежде всего, устойчивым пикноклином, препятствующим вертикальному перемешиванию, и водообменом с Северным морем. В межзатокные периоды в глубоководных впадинах с уменьшением содержания растворенного кислорода и солености происходит уменьшение концентрации нитратов и увеличение концентрации фосфатов и аммония, что подтверждается полученными коэффициентами корреляции. Иными словами, проведенные расчеты с помощью количественных оценок, подтверждают вывод об общности процессов, управляющих распределением в глубинной структурной зоне термохалинных и гидрохимических параметров, сделанный ранее в работах [4–6]. Подобный вывод был также сделан для деятельного слоя в [3].

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment / Editors: R. Feistel, G. Nausch, N. Wasmund. 2008 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.io-warnemuende.de/projects/baltic/index.html> (дата обращения – 15.04.2019).

2. Ряховский, В. М. Закономерности развития базальтового магматизма в океанах: дис. ... докт. геол.-минер. наук: 04.00.11 / Ряховский Владимир Михайлович; РАН. – Москва, 1999. – 68 с.
3. Дубравин, В. Ф. Районирование гидрохимических полей поверхностного слоя Балтийского моря / В. Ф. Дубравин, М. В. Капустина, Д. В. Ерошенко // Известия КГТУ. – 2020. – № 56. – С. 22–33.
4. Добровольский, А. Д. Моря СССР / А. Д. Добровольский, Б. В. Залогин. – Москва: Мысль, 1965. – 351 с.
5. Берникова, Т. А. Гидрология и промысловая океанология: учебник / Т. А. Берникова. – Москва: Пищ. пром-сть, 1980. – 240 с.
6. Антонов, А. Е. Крупномасштабная изменчивость гидрометеорологического режима Балтийского моря и ее влияние на промысел: моногр. / А. Е. Антонов. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. – 248 с.
7. Гидрохимические условия и основы формирования биологической продуктивности. Проект «Моря СССР». Балтийское море / отв. ред. Ф. С. Терзиев. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1994. – Т. 3, вып. 2. – 435 с.
8. Дубравин, В. Ф. Эволюции термохалинной структуры вод Балтийского моря / В. Ф. Дубравин. – Москва: Изд-во «Перо», 2017. – 438 с.
9. Дубравин, В. Ф. Эволюции гидрохимических структур вод Балтийского моря / В. Ф. Дубравин, М. В. Капустина, В. А. Кречик // Известия КГТУ. – 2017. – № 46. – С. 24–33.
10. Дубравин, В. Ф. Гидрохимический режим / В. Ф. Дубравин [и др.] // Система Балтийского моря / под ред. А. П. Лисицына [и др.]. – Москва: Научный мир, 2017. – С. 80–109.

REFERENCES

1. Feistel R., Nausch G., Wasmund N. *State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment*, 2008, available at: <http://www.iowarnemuende.de/projects/baltic/index.html> (Accessed 15 June 2019).
2. Ryakhovskiy V. M. *Zakonomernosti razvitiya bazal'tovogo magmatizma v okeanakh. Diss. dokt. geol.-mineral. nauk* [Patterns of development of basaltic magmatism in the oceans. Diss. dr. geol.-min. sci.]. Moscow, 1999, 68 p.
3. Dubravin V. F., Kapustina M. V., Eroshenko D. V. Rayonirovanie gidrokhimicheskikh poley poverkhnostnogo sloya Baltiyskogo morya [Zoning of hydrochemical fields of the Baltic Sea surface layer]. *Izvestiya KGTU*, 2020, no. 56, pp. 22–33.
4. Dobrovolskiy A. D., Zalogin B. V. *Morya SSSR* [Seas of the USSR]. Moscow, Mysl', 1965, 351 p.
5. Bernikova T. A. *Gidrologiya i promyslovaya okeanologiya: uchebnik* [Hydrology and commercial oceanology: student's book]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1980, 240 p.
6. Antonov A. E. *Krupnomasshtabnaya izmenchivost' gidrometeorologicheskogo rezhima Baltiyskogo morya i ee vliyanie na promysel* [Large-scale variability of the hydro-meteorological conditions of the Baltic Sea and its influence on fishing]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1987, 248 p.

7. *Gidrokhimicheskie usloviya i osnovy formirovaniya biologicheskoy produktivnosti. Proekt "Morya SSSR". Baltiyskoe more* [Hydrochemical Conditions and Oceanological Basis for the Formation of Primary Productivity. "The USSR seas" project. The Baltic Sea]. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, 1994, vol. 3, no. 2, 435 p.

8. Dubravin V. F. *Evolyutsii termokhalinnoy struktury vod Baltiyskogo morya* [Evolution of the thermohaline structure of the Baltic Sea waters]. Moscow, Pero, 2017, 438 p.

9. Dubravin V. F., Kapustina M. V., Krechik V. A. *Evolyutsii gidrokhimicheskikh struktur vod Baltiyskogo morya* [Evolution of hydrochemical structures of the Baltic Sea waters]. *Izvestiya KGTU*, 2017, no. 46, pp. 24–33.

10. Dubravin V. F., Kapustina M. V., Krechik V. A., Lukashin V. N. *Gidrokhimicheskiy rezhim* [Hydrochemical regime]. *Sistema Baltiyskogo morya* [The Baltic Sea System]. Pod red. A. P. Lisitsyn [i dr.]. Moscow, Nauchnyy Mir, 2017, pp. 80–109.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дубравин Владимир Филиппович – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; доктор географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник;
E-mail: v_dubravin@mail.ru

Dubravin Vladimir Filippovich – Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; Doctor of Geography, Associate Professor, Leading Researcher;
E-mail: v_dubravin@mail.ru

Капустина Мария Владимировна – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН; младший научный сотрудник; E-mail: kapustina.mariya@yandex.ru

Kapustina Mariya Vladimirovna – Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences; Junior Researcher; E-mail: kapustina.mariya@yandex.ru

УДК 574.24: 615.322

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-61-72

ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ
АНТРОПОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

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

ECOLOGICAL AND HYGIENIC ASSESSMENT OF SOIL CONDITION
OF THE ANTHROPOGENIC ECOSYSTEMS OF THE VORONEZH REGION

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

Тяжелые металлы в настоящее время являются одними из наиболее важных загрязнителей объектов окружающей среды в силу их миграции по биологическим цепям. Целью исследования являлось изучение эколого-гигиенического состояния верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Воронежской области. В регионе была выбрана 51 точка образцов верхних слоев почв в различных с точки зрения антропогенного воздействия районах. В анализируемых образцах изучено содержание основных тяжелых металлов: свинца, ртути, кадмия, мышьяка, кобальта, никеля, хрома, цинка, меди. Выявлены территории, для которых характерно загрязнение верхних слоев почв теми или иными элементами, а также показаны объекты хозяйственной деятельности человека в регионе, наносящие наибольший вред окружающей среде. Не соответствуют требованиям нормативной документации по содержанию тяжелых металлов 18 образцов почв. Наибольшее негативное влияние на состояние верхних слоев почв региона оказывают такие предприятия, как ООО «Бормаш» и ОАО «Минудобрения», ТЭЦ «ВОГРЭС», а также автомобильная трасса М4 и железная дорога. При общем благополучии большего числа исследуемых почв по содержанию определяемых тяжелых металлов и мышьяка расчет суммарного показателя загрязнения позволил сделать неутешительный вывод: допустимую степень загрязнения имеют лишь 10 образцов, отобранных в пос. Елань-Колено, Нижнедневицке, г. Нововоронеже, а также образцы, собранные в Ольховатском, Грибановском, Хохольском, Новохоперском, Репьевском, Воробьевском районах и на удалении более 100 м от скоростной автомобильной дороги в Богучарском районе. При этом самыми чистыми почвами региона можно считать почвы вблизи г. Нововоронежа, пос. Елань-Колено, в Новохоперском и Богучарском районах.

Воронежская область, свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, кобальт, никель, хром, цинк, медь, почва, показатель загрязнения

Today heavy metals are one of the most dangerous pollutants of objects of a surrounding medium owing to their migration on biological chains. The research was aimed at studying of ecological-hygienic condition of the upper layers of soils of urban and agroecosystems of the Voronezh region. 51 points of exemplars of upper layers of soils in areas, various in terms of anthropogenic influence, have been chosen in the re-

gion. The content of the main heavy metals has been studied in the analyzed examples: lead, mercury, cadmium, arsenic, cobalt, nickel, chrome, zinc, copper. Territories have been identified where upper layers of soils are polluted with these or those elements, and also facilities used for economic activities in the region doing the greatest harm to the environment have been shown. 18 examples of soils do not conform to the requirements of the standard documentation on the content of heavy metals. At the same time the industrial enterprises LLC Bormash and JSC Minudobrenie, combined heat and power plant of "VOGRES" and also automobile route M4 and the railroad have the greatest negative impact on the condition of upper layers of soils of the region. At the general wellbeing of bigger number of the explored soils on the maintenance of separate elements, calculation of a total indicator of pollution allowed us to draw a conclusion that only 10 exemplars which have been collected in Elan-Koleno, Nizhnednevitk, the Novovoronezh and also exemplars collected in Olkhovatsky, Gribovsky, Hokholsky, New Khopyor, Repyevsky, Voro-byevsky districts and at a distance of more than 100 m from not high-speed automobile road in Bogucharsky district demonstrate tolerable rate of pollution. At the same time the clearest soils of the region can be considered soils near the Novovoronezh, the settlement of Elan-Koleno, in the New Khopyor and Bogucharsky districts.

Voronezh region, lead, mercury, cadmium, arsenic, cobalt, nickel, chrome, zinc, copper, soil, index of pollution

ВВЕДЕНИЕ

Активизация хозяйственной деятельности человека – одна из глобальных экологических проблем современности. В результате роста городов природные экосистемы претерпевают значительные изменения, формируются новые антропогенные экосистемы, характеризующиеся неустойчивостью и значительными изменениями в составах воздуха, водных объектов и почв [1, 2].

Центральное Черноземье является развитым районом растениеводства и земледелия. Из-за активного освоения минеральных ресурсов, значительной химизации в сельском хозяйстве, последствий чернобыльской трагедии возникла актуальная проблема снабжения пищевой промышленности безопасным растительным сырьем. Загрязненное растительное сырье – важный источник попадания в организм человека различных экотоксикантов, в частности, тяжелых металлов [3, 4].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является изучение эколого-гигиенического состояния верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Воронежской области.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на основе Воронежской области как среднестатистического региона Центрального Черноземья. Выбор территорий для забора образцов верхних слоев почв обусловлен особенностями воздействия человека (рисунок): химические предприятия (23, 24, 28); теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) (27); атомная электростанция (АЭС) (8); аэропорт (30); улица г. Воронежа (31); высоковольтные линии электропередач (ВЛЭ) (9); городское водохранилище (29);

районные центры с развитой инфраструктурой (Борисоглебск (25), Калач (26)); зона месторождения сульфидных медно-никелевых руд (4); районы, попавшие в зону радионуклидного загрязнения после аварии на Чернобыльской АЭС (5–7); районы активной сельскохозяйственной деятельности (10–22); в качестве сравнения (фона) – заповедные территории (Воронежский природный биосферный заповедник (1), Хоперский государственный природный заповедник (2, 3)). Также осуществляли отбор верхних слоев почв вдоль и на удалении от дорог разной степени загруженности и в разных природных зонах: лесная зона (32–35) – трасса М4 «Дон», лесостепная зона (36–39) – трасса А144 «Курск-Саратов», степная зона (40–43) – трасса М4 «Дон», проселочная автомобильная дорога малой загруженности (44–47) и железнодорожные пути (48–51). Проводился отбор проб почв глубиной 0-10 см. Географические координаты точек отбора образцов верхних слоев почв приведены в таблице.



Рис. Карта отбора образцов (цифры расшифрованы выше)
Fig. Map of sampling

Изучали образцы верхних слоев почв на базе атомно-абсорбционного спектрометра МГА-915МД. Определяли содержание свинца, мышьяка, ртути, кадмия – эти наиболее токсичные элементы нормируются в растительном сырье и продуктах питания. Кроме того, проводился анализ образцов на содержание никеля, так как в Новохоперском районе области разрабатывается проект по добыче

руды данного аллергенного и канцерогенного элемента, причем открытым способом. Также исследовали образцы на содержание цинка (элемент 1-го класса опасности), хром, кобальт и медь (элементы 2-го класса опасности) [2, 5].

Тяжелые металлы в образцах верхних слоев почв выявляли в соответствии с Методическими указаниями по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных и продуктивных растениеводств. Исследования проводились с двумя параллельными опытами, их среднее арифметическое – результат определения пробы. Допускаемые расхождения в результатах параллельных определений при доверительной вероятности 95 % не превышали 33 %.

Для более полной оценки загрязнения верхних слоев почв региона рассчитали суммарный показатель загрязнения (Z_c):

$$Z_c = \sum(K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1), \quad (1)$$

$$K_{ci} = \frac{c_i}{c_{\phi}}, \quad (2)$$

где n – число определяемых элементов; K_{ci} – коэффициент концентрации i -го элемента; C_i – реальное содержание загрязняющего элемента; C_{ϕ} – фоновое содержание элемента.

Интерпретация результатов расчета степени опасности загрязнения почв токсичными элементами осуществлялась по шкале, в которой величина Z_c менее 16 оценивается как допустимая, от 16 до 32 – умеренно опасная, от 32 до 128 – опасная, а свыше 128 – чрезвычайно опасная [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка в образцах верхних слоев почв и суммарный показатель загрязнения отражены в таблице.

Концентрация свинца превышена в почвах, отобранных вблизи регионального аэропорта им. Петра I и ООО «Бормаш». Вероятной причиной загрязнения почв вблизи аэропорта может являться использование топлива, включающего в качестве присадки тетраэтилсвинец. Загрязнение почв вблизи предприятия машиностроения может быть связано с недостаточной фильтрацией выбросов завода, специализирующегося на изготовлении оборудования для предприятий разных отраслей промышленности, в сплав для которого входит свинец для повышения прочности, антифрикционных и антикоррозийных качеств.

Содержание кадмия превышает предельно допустимые концентрации в образцах почв: около ОАО «Минудобрения» (используется на данном производстве в качестве катализатора при синтезе минеральных удобрений); вблизи ООО «Бормаш» (широко применяется как антифрикционная добавка для сплавов); на расстоянии 100 м от трассы М4 в лесной зоне (загрязнение может быть связано с выбросами автотранспорта); на расстоянии 100 м от железной дороги (загрязнение может быть следствием эксплуатации железных дорог) [8, 9].

Превышение предельно допустимых концентраций мышьяка отмечается: около ОАО «Минудобрения» (вероятно, он используется для производства инсектицидов); около ООО «Бормаш» (может являться примесью к руде); около ТЭЦ «ВОГРЭС» (ТЭЦ более 80 лет использовала в качестве топлива каменный уголь, который всегда содержит значительные примеси мышьяка).

Таблица. Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка в образцах почв и суммарный показатель загрязнения
 Table. Gross content of heavy metals and arsenic in exemplars of soils and a total indicator of pollution

№ п/п	Место отбора	Географические координаты	Содержание, мг/кг										Z _c
			Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	Воронежский заповедник им. В. М. Пескова	51°48'23"N, 39°32'27"E	4,10	0,04	0,02	0,90	2,24	3,90	2,99	3,30	11,48	-	
2	Холерский заповедник (Новохоперский район)	51°18'01"N, 41°52'42"E	4,32	0,02	0,07	0,62	5,76	4,62	2,16	7,41	17,34	-	
3	Хоперский заповедник (Грибановский район)	51°30'47"N, 42°35'07"E	4,74	0,01	0,03	0,55	2,85	2,86	1,84	6,84	25,61	-	
	Среднее региональное фоновое		4,39	0,02	0,04	0,69	3,62	3,79	2,33	5,85	18,14		
4	Поселок Елань-Колено	51°09'41"N, 41°08'43"E	3,23	0,04	0,06	0,78	6,67	10,20	4,75	7,19	22,68	6	
5	Поселок Нижнедевицк	51°32'47"N, 38°23'07"E	8,95	0,06	0,16	0,64	1,54	17,47	6,28	13,90	17,00	13	
6	Город Острогожск	50°51'31"N, 39°05'48"E	7,66	0,03	0,19	0,92	10,83	23,41	7,26	16,46	42,70	19	
7	Город Семилуки	51°42'13"N, 39°00'24"E	9,87	0,02	0,10	1,12	8,33	26,42	10,61	27,73	50,76	21	
8	Город Нововоронеж	51°16'25"N, 39°12'38"E	4,45	0,09	0,02	0,75	2,23	8,29	4,42	4,67	13,87	5	
9	ВЛЭ (Нововоронежский городской округ)	51°17'46"N, 39°14'37"E	12,63	0,05	0,25	1,41	20,12	14,13	8,40	7,97	66,12	23	
10	Сельскохозяйственные поля Лискинского р-на	51°09'44"N, 39°26'57"E	7,79	0,05	0,34	0,73	1,46	9,56	9,32	17,86	9,58	16	
11	Сельскохозяйственные поля Ольховатского р-на	50°17'31"N, 39°17'26"E	1,68	0,07	0,25	0,99	8,95	12,70	5,45	9,34	30,21	14	
12	Сельскохозяйственные поля Подгоренского р-на	50°24'41"N, 39°40'14"E	3,30	0,03	0,24	0,92	13,84	4,48	7,37	26,94	26,63	16	
13	Сельскохозяйственные поля Петропавловского р-на	50°04'51"N, 40°55'09"E	4,59	0,07	0,26	0,68	1,35	8,40	10,04	29,62	28,90	17	
14	Сельскохозяйственные поля Грибановского р-на	51°26'52"N, 41°59'33"E	6,18	0,02	0,07	1,29	11,83	4,19	4,04	18,00	35,71	9	
15	Сельскохозяйственные поля Хохольского р-на	51°35'17"N, 38°47'33"E	3,48	0,03	0,18	0,81	12,14	6,61	7,00	15,47	41,84	13	
16	Сельскохозяйственные поля Новохоперского р-на	51°06'36"N, 41°36'51"E	4,39	0,01	0,21	1,06	4,84	2,53	4,02	10,55	17,85	7	
17	Сельскохозяйственные поля Рельевского р-на	51°05'27"N, 38°38'50"E	3,19	0,09	0,17	1,18	6,20	7,25	9,90	9,36	21,09	13	
18	Сельскохозяйственные поля Воробьевского р-на	50°38'54"N, 40°57'52"E	2,82	0,06	0,10	0,65	7,30	4,00	5,10	23,39	14,78	9	
19	Сельскохозяйственные поля Панинского р-на	51°40'01"N, 40°06'58"E	6,91	0,10	0,24	1,25	10,88	12,88	8,60	10,33	47,93	20	
20	Сельскохозяйственные поля Верхнехавского р-на	51°49'53"N, 39°55'01"E	11,60	0,09	0,30	1,34	4,87	10,53	6,38	26,82	29,08	21	
21	Сельскохозяйственные поля Эртильского р-на	51°49'44"N, 40°49'45"E	13,09	0,11	0,32	0,72	12,99	4,67	4,59	14,97	46,72	21	
22	Сельскохозяйственные поля Россошанского р-на	50°12'47"N, 39°34'58"E	6,80	0,13	0,24	1,20	14,57	8,50	8,30	28,75	25,00	23	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
23	500 м от ОАО «Минудобрения»	50°08'54"N, 39°39'47"E	10,14	0,12	0,52	2,79	28,46	45,16	18,92	51,55	154,45	62
24	500 м от ООО «Бормаш»	51°14'51"N, 42°28'36"E	34,57	0,06	0,71	3,09	98,25	37,72	16,73	62,35	128,74	87
25	Город Борисоглебск	51°22'33"N, 42°04'28"E	12,35	0,05	0,47	1,11	14,94	25,28	10,53	24,63	95,45	35
26	Город Калач	50°25'23"N, 41°01'11"E	14,02	0,02	0,13	1,12	29,9	42,81	9,12	39,24	81,46	36
27	500 м от ТЭЦ «ВОГРЭС» (г. Воронеж)	51°37'48"N, 39°13'37"E	7,34	0,16	0,09	3,81	5,35	36,73	12,07	37,88	94,26	36
28	500 м от ООО «Сибур» (г. Воронеж)	51°37'23"N, 39°14'36"E	17,39	0,15	0,12	1,63	4,23	43,47	11,26	28,68	132,08	37
29	Побережье Воронежского водохранилища	51°44'48"N, 39°13'42"E	11,91	0,14	0,16	1,45	8,45	18,10	7,31	7,94	37,13	20
30	Вблизи Воронежского аэропорта им. Петра I	51°48'36"N, 39°14'37"E	33,80	0,12	0,21	1,57	15,53	24,62	6,29	28,05	25,91	32
31	Улица г. Воронеж (ул. Ленинградская)	51°39'37"N, 39°15'01"E	15,83	0,16	0,19	1,67	6,15	35,48	21,78	38,31	123,25	43
32	Вдоль трассы М4 (в Рамонском р-не)	51°51'21"N, 39°12'57"E	26,55	0,09	0,68	1,90	37,32	25,27	14,98	59,04	94,13	60
33	100 м от М4 (в Рамонском р-не)	51°51'21"N, 39°12'57"E	12,58	0,08	0,58	1,71	26,88	32,10	13,23	30,63	87,41	47
34	200 м от М4 (в Рамонском р-не)	51°51'21"N, 39°12'57"E	10,11	0,02	0,21	1,17	11,22	18,42	8,17	19,56	46,29	19
35	300 м от М4 (в Рамонском р-не)	51°51'21"N, 39°12'57"E	7,99	0,02	0,20	1,12	8,15	19,39	5,09	19,46	30,35	16
36	Вдоль трассы А144 (в Аннинском р-не)	51°29'27"N, 40°27'51"E	24,8	0,02	0,34	1,34	39,39	26,93	10,53	42,73	105,59	45
37	100 м от А144 (в Аннинском р-не)	51°29'27"N, 40°27'51"E	17,7	0,02	0,29	1,1	31,32	28,42	11,17	36,19	98,48	38
38	200 м от А144 (в Аннинском р-не)	51°29'27"N, 40°27'51"E	13,77	0,02	0,13	0,81	22,4	23,41	10,21	31,64	86,24	27
39	300 м от А144 (в Аннинском р-не)	51°29'27"N, 40°27'51"E	10,38	0,02	0,09	0,76	12,1	20,7	8,18	32,07	78,57	21
40	Вдоль трассы М4 (в Павловском р-не)	50°25'17"N, 40°08'06"E	26,76	0,02	0,27	0,96	36,65	22,89	15,65	46,52	116,9	44
41	100 м от М4 (в Павловском р-не)	50°25'17"N, 40°08'06"E	19,13	0,02	0,24	0,87	25,94	20,35	14,11	41,78	105,75	36
42	200 м от М4 (в Павловском р-не)	50°25'17"N, 40°08'06"E	12,61	0,01	0,19	0,63	17,77	18,55	13,06	35,74	92,71	28
43	300 м от М4 (в Павловском р-не)	50°25'17"N, 40°08'06"E	10,79	0,01	0,17	0,54	5,84	19,59	12,75	27,48	74,86	21
44	Вдоль нескоростной дороги	49°53'53"N, 40°32'47"E	10,69	0,02	0,13	1,14	4,83	16,64	7,85	27,85	54,84	17
45	100 м от нескоростной дороги	49°53'53"N, 40°32'47"E	4,10	0,01	0,09	0,98	3,91	12,52	6,17	26,75	50,65	11
46	200 м от нескоростной дороги	49°53'53"N, 40°32'47"E	3,70	0,01	0,04	0,85	3,43	15,03	6,38	29,49	51,51	11
47	300 м от нескоростной дороги	49°53'53"N, 40°32'47"E	3,34	0,01	0,04	0,67	3,04	11,07	6,27	21,52	36,78	7
48	Вдоль железной дороги	51°48'17"N, 39°34'15"E	20,23	0,24	0,30	0,91	28,03	18,30	12,81	65,38	90,87	50

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
49	100 м от железной дороги	51°48'17"N, 39°34'15"E	6,16	0,06	0,22	0,75	15,62	14,24	9,63	58,03	83,74	29
50	200 м от железной дороги	51°48'17"N, 39°34'15"E	3,85	0,07	0,45	0,42	10,24	10,53	4,09	42,84	74,39	27
51	300 м от железной дороги	51°48'17"N, 39°34'15"E	3,03	0,02	0,40	0,12	6,26	9,42	2,22	31,40	64,80	18
	Среднее		9,86	0,07	0,21	1,21	13,07	17,03	8,36	23,25	52,69	26
	ПДК (ОДК) [6,7]		32,0	2,1	3,0	2,0	85,0	100	20	55,0	80,0	

Концентрация никеля превышает нормы в почвах вблизи ООО «Бормаш», что может указывать на недостаточность очистки выбросов предприятием. Образцы, отобранные с территорий, на которых предполагается добыча медно-никелевой руды, не отличаются высокими показателями содержания данного металла.

Содержание меди в почве превышено вблизи машиностроительного предприятия ООО «Бормаш», вдоль автомобильной трассы М4 «Дон», на удалении 100 м от железной дороги. Вероятная причина превышения норм содержания меди вблизи предприятия связана с недостаточной эффективностью очистки выбросов, в почвах вдоль автомобильной трассы М4 «Дон» – с выбросами выхлопных газов автомобилей. Превышение ПДК меди в почве около железнодорожных путей сообщения можно объяснить поступлением ее от выхлопных газов двигателей тепловозов, истиранием рельсов и ходовой части. Также большой вклад в загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами вносит развеивание перевозимых руд [10, 11].

Превышение ПДК по содержанию цинка отмечено в одной трети изучаемых образцов (в 17 из 51 изучаемых почв). Значительные превышения допустимых норм содержания цинка в почве выявлено вблизи ОАО «Минудобрения», ООО «Бормаш», а также вблизи ООО «Сибур». Вероятная причина – недостаточная очистка выбросов данных предприятий, на которых цинк может использоваться как катализатор химических процессов, содержаться в качестве примесей в минеральных удобрениях или добавляться в виде микроэлементов (на ОАО «Минудобрения») для улучшения литейных и антикоррозийных свойств сплавов, снижения температуры их плавления (на ООО «Бормаш»), а также при производстве каучуков для их вулканизации (ООО «Сибур»). Превышена ПДК цинка в почве в г. Борисоглебске, Калаче, на ул. Ленинградской и вблизи ТЭЦ «ВОГРЭС» в г. Воронеже. Также превышены нормы содержания данного элемента вдоль и на расстоянии 100 м от трассы М4 «Дон» в лесной зоне, вдоль и на расстоянии 200 м от трассы А 144 в Аннинском районе, где дорога проходит в лесостепной зоне, вдоль и на расстоянии 200 м от трассы М4 «Дон» в Павловском районе в степной зоне, а также вдоль и на расстоянии 100 м от железной дороги. Таким образом, видна значительная защитная роль лесополосы от распространения выбросов транспорта на дальние расстояния, при этом в отсутствие насаждений наблюдается более равномерное распределение токсичных веществ при удалении от источника загрязнения. Цинк поступает в окружающую среду при истирании деталей машин, за счет использования в маслах цинковых присадок. Он применяется при вулканизации резины, поэтому истирание автомобильных шин также стало одним из путей поступления этого металла в окружающую среду. Активное использование оцинковки деталей автомобилей, прежде всего днища, также способствует поступлению цинка в придорожное пространство [11, 12].

В отношении кобальта выявлена относительная экологическая чистота исследуемых почв региона. Концентрация кобальта незначительно превышена лишь в образце, отобранном на ул. Ленинградской г. Воронежа.

Что касается загрязнения ртутью и хромом, то все образцы верхних слоев почв можно признать удовлетворительными.

Допустимую степень загрязнения, несмотря на общее благополучие исследуемых почв по содержанию отдельных загрязняющих элементов [13], имеют лишь некоторые образцы, отобранные в пос. Елань-Колено, Нижнедневицке, г. Нововоронеже (10 образцов), а также в Ольховатском, Грибановском, Хохоль-

ском, Новохоперском, Репьевском, Воробьевском районах и на удалении более 100 м от нескоростной автомобильной дороги в Богучарском районе. Самыми чистыми почвами региона считаются почвы вблизи г. Нововоронежа, пос. Елань-Колено, в Новохоперском и Богучарском районах.

Умеренно опасные почвы, для которых уже характерно увеличение общей заболеваемости населения, были выявлены в г. Острогожске, Семилуки, Лискинском, Подгоренском, Петропавловском, Панинском, Верхнехавском, Эртильском, Россошанском районах, вблизи высоковольтных линий электропередач, вдоль низовья Воронежского водохранилища, на удалении 200 м от автомобильных трасс М4 «Дон» и А144, вдоль нескоростной автомобильной дороги, на расстоянии 0–300 м от железной дороги.

Согласно рассчитанным данным к опасным районам по суммарному показателю загрязнения верхних слоев почв относятся г. Борисоглебск, Калач, улицы г. Воронежа, территории вблизи периметрового ограждения Воронежского аэропорта, промышленных предприятий ОАО «Минудобрения», ООО «Бормаш», ООО «Сибур», а также на удалении 0–100 м от автомобильных трасс М4 «Дон» и А144, вдоль железнодорожной магистрали. Для жителей таких районов характерно увеличение общей заболеваемости и числа часто болеющих детей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено изучение эколого-гигиенического состояния верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Воронежской области. В регионе была выбрана 51 точка образцов верхних слоев почв в различных с точки зрения антропогенного воздействия районах. В анализируемых образцах изучено содержание основных тяжелых металлов: свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, кобальт, никель, хром, цинк, медь. Выявлены территории, для которых характерно загрязнение верхних слоев почв теми или иными элементами, а также показаны объекты хозяйственной деятельности человека в регионе, наносящие наибольший вред окружающей среде. Из общего числа отобранных образцов верхних слоев почв не соответствуют требованиям нормативной документации по содержанию тяжелых металлов 18. Наиболее негативное влияние на состояние верхних слоев почв региона оказывают: ООО «Бормаш» и ОАО «Минудобрения», ТЭЦ «ВОГРЭС», автомобильная трасса М4 и железная дорога. На основании проведенных исследований верхних слоев почв на содержание определяемых тяжелых металлов и мышьяка, можно сделать вывод, что допустимую степень загрязнения имеют лишь некоторые образцы из отобранных в пос. Елань-Колено, Нижнедневицке, г. Нововоронеже, Ольховатском, Грибановском, Хохольском, Новохоперском, Репьевском, Воробьевском районах, а также в Богучарском районе, взятые на удалении более 100 м от нескоростной автомобильной дороги. Наиболее благополучное состояние почв Воронежской области наблюдается в Новохоперском и Богучарском районах, а также вблизи г. Нововоронежа, пос. Елань-Колено.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Alekseenko V., Alekseenko Al. The abundances of chemical elements in urban soils // Journal of Geochemical Exploration. 2014. № 147. P. 245–249.

2. Великанова, Н. А. Экооценка лекарственного растительного сырья в урбоусловиях г. Воронежа / Н. А. Великанова [и др.]. – LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 211 с.
3. Dyakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P., Myndra A.A., Samylyna I.A. Analysis of the relationship between the accumulation of pollutants and principal groups of biologically active substances in medicinal plant raw materials using knotweed (*Polygonum aviculare* L.) and broadleaf plantain (*Plantago major* L.) leaves as examples // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2015. Т. 49. № 6. Pp. 384–387.
4. Dyakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P., Myndra A.A., Samylyna I.A. Estimated heavy-metal and arsenic contents in medicinal plant raw materials of the Voronezh region // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2018. Т. 52. № 3. Pp. 220–223.
5. Осипова, Н. А. Тяжелые металлы в почве и овощах как фактор риска для здоровья человека / Н. А. Осипова, Е. Г. Языков, Е. П. Янкович // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 8. – С. 681–686.
6. ГН 2.1.7.12-1-2004 Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве.
7. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 N 1 (ред. от 26.06.2017) О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06.
8. Тимофеева, Я. О. Тяжелые металлы в почвах, прилегающих к автотрассе / Я. О. Тимофеева // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10. – С. 2226–2230.
9. Битюкова, В. Р. Экологический портрет российских городов / В. Р. Битюкова, Н. С. Касимов, Д. В. Власов // *Экология и промышленность России*. – 2011. – № 2. – С. 6–11.
10. Каплина, С. П. Тяжелые металлы в почвах городов Дубна и Дмитров / С. П. Каплина, И. З. Каманина, И. И. Судницын // *Агрехимия*. – 2012. – № 10. – С. 60–65.
11. Ключников, Д. А. Тяжелые металлы в почвах зоны железнодорожного отвода станции Уссурийск ОАО «РЖД» / Д. А. Ключников, С. А. Платонова, Е. В. Соболева // *Самарский научный вестник*. – 2018. – Т. 7, № 1 (22). – С. 54–57.
12. Шигабаева, Г. Н. Тяжелые металлы в почвах некоторых районов г. Тюмени / Г. Н. Шигабаева // *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*. – 2015. – Т. 1, № 2. – С. 92–102.
13. МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания.

REFERENCES

1. Alekseenko V., Alekseenko A.I. The abundances of chemical elements in urban soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, no. 147, pp. 245–249.
2. Velikanova N. A., Gaponov S. P., Slivkin A. I. *Ekootsenka lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya v urbousloviyakh g. Voronezha* [Ecoassessment of medicinal vegetable raw materials in the urban conditions of Voronezh]. LAMBERT Academic Publishing, 2013, 211 p.

3. Dyakova N. A., Slivkin A. I., Gaponov S. P., Myndra A. A., Samylina I. A. Analysis of the relationship between the accumulation of pollutants and principal groups of biologically active substances in medicinal plant raw materials using knotweed (*Polygonum aviculare* L.) and broadleaf plantain (*Plantago major* L.) leaves as examples. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2015, vol. 49, no. 6, pp. 384–387.
4. Dyakova N. A., Slivkin A. I., Gaponov S. P., Myndra A. A., Samylina I. A. Estimated heavy-metal and arsenic contents in medicinal plant raw materials of the Voronezh region. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2018, vol. 52, no. 3, pp. 220–223.
5. Osipova N. A., Yazikov E. G., Yankovich E. P. Tyazhelyye metally v pochve i ovoshchakh kak faktor riska dlya zdorov'ya cheloveka [Heavy metals in the soil and vegetables as a risk factor for human health]. *Fundamental'nyye issledovaniya*, 2013, no. 8, pp. 681–686.
6. GN 2.1.7.12-1-2004 Perechen' predel'no dopustimyykh kontsentratsiy (PDK) i orientirovochno dopustimyykh kontsentratsiy (ODK) khimicheskikh veshchestv v pochve [The list of the threshold limit values (TLV) and the approximately admissible concentration (AAC) of chemicals in the soil].
7. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 23.01.2006 N 1 (red. ot 26.06.2017) o vvedenii v deystvie gigienicheskikh normativov GN 2.1.7.2041-06.
8. Timofeeva Ya. O. Tyazhelyye metally v pochvakh, prilgayushchikh k avto-trasse [Heavy metals in the soils adjacent to a highway]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2013, no. 10, pp. 2226–2230.
9. Bityukova V. R., Kasimov N. S., Vlasov D. V. Ekologicheskiy portret Rossiyskikh gorodov [Ecological portrait of the Russian cities]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2011, no 2. pp. 6–11.
10. Kaplina S. P., Kamanina I. Z., Sudnitsyn I. I. Tyazhelyye metally v pochvakh gorodov Dubna i Dmitrov [Heavy metals in soils of the cities of Dubna and Dmitrov]. *Agrokimiya*, 2012, no. 10, pp. 60–65.
11. Klyuchnikov D. A., Platonova S. A., Soboleva E. V. Tyazhelyye metally v pochvakh zony zheleznodorozhnogo otvoda stantsii Ussuriysk OAO "RZHD" [Heavy metals in soils of a zone of railway withdrawal of the station Ussuriysk of JSC "Russian Railways"]. *Samarskiy nauchnyy vestnik*, 2018, vol. 7, no. 1 (22), pp. 54–57.
12. Shigabayeva G. N. Tyazhelyye metally v pochvakh nekotorykh rayonov g. Tyumeni [Heavy metals in soils of some districts of Tyumen]. *Vestnik Tyumen'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodnopol'zovaniye*, 2015, vol. 1, no. 2, pp. 92–102.
13. MU 2.1.7.730-99. Gigienicheskaya otsenka kachestva pochvy naselennykh mest. Metodicheskie ukazaniya.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дьякова Нина Алексеевна – Воронежский государственный университет;
кандидат биологических наук, ассистент кафедры фармацевтической химии
и фармацевтической технологии; E-mail: Ninochka_V89@mail.ru

Dyakova Nina Alekseevna – Voronezh State University; PhD in Biology, Assistant Professor at the Department of Pharmaceutical Chemistry and Pharmaceutical Technology; E-mail: Ninochka_V89@mail.ru

Гапонов Сергей Петрович – Воронежский государственный университет; доктор биологических наук, зав. кафедрой зоологии и паразитологии; E-mail: gaponov2003@mail.ru

Gaponov Sergey Petrovich – Voronezh State University; Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Zoology and Parasitology; E-mail: gaponov2003@mail.ru

Сливкин Алексей Иванович – Воронежский государственный университет; доктор фармацевтических наук, зав. кафедрой фармацевтической химии и фармацевтической технологии; E-mail: slivkin@pharm.vsu.ru

Slivkin Aleksey Ivanovich – Voronezh State University; Doctor of Pharmaceutical Sciences, Head of the Department of Pharmaceutical Chemistry and Pharmaceutical Technology; E-mail: slivkin@pharm.vsu.ru

УДК 504.45.058: 574.52: 574.63: 581.526.325
DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-73-87

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА КАРПОВСКОГО
В 2019 Г.

Е. А. Лозицкая, О. С. Бугранова, О. В. Казимирченко, Н. А. Цупикова

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE KARPOVSKOE
LAKE IN 2019

E. A. Lozitskaya, O. S. Bugranova, O. V. Kazimirchenko, N. A. Tsupikova

Озеро Карповское относится к категории малых водоемов Калининграда, активно используемых в рекреационных целях. Малые водоемы наиболее уязвимы к загрязнениям и в течение короткого периода времени могут утрачивать способность к самоочищению. Цель данной работы – оценка экологического состояния оз. Карповского по гидрохимическим, гидрологическим, микробиологическим и гидробиологическим параметрам. Гидрохимические показатели озера, за исключением содержания железа, соответствовали значениям рыбохозяйственных нормативов. Превышение нормативов по содержанию общего железа в водоеме характерно для поверхностных вод Калининградской области. Количество сапрофитных бактерий в воде увеличивалось к летне-осеннему сезону, что связано с повышением температуры воды летом в среднем до 22–26 °С и усилением деструктивных процессов в осенний сезон. В бактериопланктоне оз. Карповского преобладали аэробные бактерии, развитие которых определялось наличием в воде легкодоступного органического вещества, достаточного количества кислорода, благоприятного рН среды. Патогенных бактерий, опасных для здоровья человека, в микрофлоре воды не обнаруживали. Альгофлора озера по таксономическим показателям характеризовалась как «зелено-эвгленово-диатомово-синезеленая», что характерно для многих урбанизированных водоемов. В количественном отношении преобладали водоросли из отдела Cyanoprokaryota при доминировании *Limnothrix redekei* и *Planktothrix agardhii*. Вегетация водорослей в течение всего периода способствовала поддержанию стабильно высокого содержания кислорода и, возможно, оказывала влияние на снижение содержания биогенных элементов в воде. Результаты проведенного комплексного анализа показали, что оз. Карповское относится к водоемам β-мезосапробной зоны – это соответствует эвтрофному уровню.

озеро Карповское, экологическое состояние, альгологический анализ, микробиологический анализ, гидрохимическая характеристика

The Karpovskoye lake is a small reservoir of Kaliningrad, which is actively used for recreation. Small water bodies are most vulnerable to pollution and within a short period of time may lose their self-purification capacity. The purpose of this paper is to assess the ecological condition of the Karpovskoe lake by hydrochemical, hydrological,

microbiological and hydrobiological parameters. The hydrochemical parameters of the lake, with the exception of the total iron, corresponded to the values of fishery standards. High content of the total iron in the lake water above the standards is typical for the surface waters in the Kaliningrad region. The number of saprophytic bacteria in water increased by the summer-autumn season, which is associated with a growth in water temperature in summer to an average of 22–26 °C and an increase in destructive processes in the autumn season. Aerobic bacteria predominated in the bacterioplankton of the lake, development of which was determined by the presence in the water of readily available organic matter, a sufficient amount of oxygen, and a favorable pH of the environment. No pathogenic bacteria dangerous to human health have been found in the microflora of water. According to taxonomic indicators, the algaeflora of the lake was characterized as «green-euglen-diatom-blue-green», which is typical for many urbanized reservoirs. Quantitatively, algae from the Cyanoprokaryota division prevailed with the dominance of *Limnothrix redekei* and *Planktothrix agardhii*. Algae vegetation throughout the entire period contributed to the maintenance of consistently high oxygen content and possibly influenced the decrease in the content of nutrients in the water. The results of the comprehensive analysis showed that The Karpovskoe lake is β -mesosaprobic, which corresponds to the eutrophic level.

the Karpovskoe lake, ecological assessment, algological analysis, microbiological analysis, hydrochemical characteristics

ВВЕДЕНИЕ

Экологическое состояние водных объектов – важный фактор регионального развития, оказывающий существенное влияние на рост туризма Калининградской области. Регион относится к зоне избыточного увлажнения, что определяет наличие на его территории хорошо развитой водной системы. Непосредственно в Калининграде находится около 100 прудов, озер и водоемов карьерного типа, занимающих 15 % городской территории. Большая часть городских водоемов эвтрофирована за счет поступления биогенных веществ со сточными водами или с водосборного бассейна. Эвтрофирование сопровождается изменениями в трофической структуре водной экосистемы, включая бактерио- и фитопланктон. Из-за ухудшения качества воды такие объекты в дальнейшем не могут использоваться для отдельных видов водопользования, в частности в культурно-бытовых целях, включая купание и отдых людей. Незначительное число разрешенных к купанию городских водоемов способствует организации несанкционированного отдыха, что усугубляет экологическую обстановку на них.

Озеро Карповское – один из популярных среди калининградцев водоемов, используемый в рекреационных целях, входит в перечень водоемов города, где организуется официальный пляж. Особой популярностью оно пользуется среди рыболовов-любителей, несмотря на платный вылов рыбы. Этому способствует ежегодное зарыбление озера, которое проводит расположенное на восточном берегу рыбное хозяйство [1, 2].

В настоящее время санитарно-гигиенический статус водоема не отличается стабильностью. Изменение экологического состояния оз. Карповского может быть следствием антропогенной нагрузки на водоем, приводящей к постепенной утрате им способности к самоочищению. В связи с этим проведение комплексных

гидрохимических и гидробиологических исследований актуально и имеет практическое значение.

Цель данной работы – оценка экологического состояния оз. Карповского по гидрохимическим, гидрологическим, микробиологическим и гидробиологическим параметрам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили пробы воды, отобранные из оз. Карповского в весенний, летний и осенний сезоны 2019 г. Для оценки состояния экосистемы в районах с наибольшей антропогенной нагрузкой были организованы две станции мониторинга: 1 – восточная часть озера (54.6988 с. ш., 20.4100 в. д.) и 2 – юго-западная часть (54.6972 с. ш., 20.4057 в. д.) (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб на оз. Карповском
Fig. 1. The Karpovskoe lake and water quality sampling stations

Пробы воды на гидрохимический анализ отбирали ежемесячно, а микробиологический и альгологический – ежесезонно. Отбор проб производился в соответствии с требованиями [3] из поверхностного слоя ведром с мая по сентябрь 2019 г. в утреннее время. Обработку проб воды проводили в лабораториях гидрохимических исследований, микробиологии и гидробиологии КГТУ.

Гидрохимический анализ включал определение количества растворенного кислорода, перманганатной окисляемости, азота аммонийного, нитритов, фосфора фосфатов, железа общего, рН [4]. Методами микробиологического анализа в воде устанавливали общее количество сапрофитных бактерий, наличие бактерий кишечной фекальной группы, видовой состав микрофлоры [5, 6]. В ходе альгологического изучения определяли видовой состав фитопланктона, численность и биомассу таксономических групп, индекс сапробности [7, 8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Озеро Карповское – бессточный водоем, расположенный в юго-западной части Калининграда, принадлежит к бассейну р. Преголи. Точное происхождение озера неизвестно. Площадь водоема составляет около 8,5 га, максимальная длина – 410, средняя ширина достигает 210 м. Рельеф дна озера сложный, с максимальной глубиной 5,5 м [9]. Исследуемый водоем относится к категории малых, его режим находится в большой зависимости от местных факторов. По классификации В. Е. Водогрещкого [10] водный режим озера можно отнести ко второй категории со значительным колебанием уровня в половодье.

К северу от озера расположены подтопляемые земли с лесными массивами, к югу и юго-западу – жилая застройка пос. Прегольского. Озеро находится на территории с низменным рельефом (на уровне моря). Прилегающая к оз. Карповскому местность заболачивается, а пос. Прегольский подтапливается несмотря на проложенную сеть многочисленных дренажных каналов. Береговой склон в местах отбора проб умеренно крутой, сами берега травянистые, заросшие высшей водной растительностью, дно – песчаное, местами заиленное. На территории водосбора преобладает смешанная древесная растительность с елью и черной ольхой [9]. Пляжная часть (восточный берег озера) площадью около 500 м² освобождена от растительности.

Температурный режим всего водоема оценивали по данным параметров температуры береговых станций, так как известно, что вследствие отсутствия развитой зоны отмелей, интенсивного ветрового перемешивания наблюдаются небольшие различия между температурой воды в открытой части озер области и у их берегов [10]. Температура воды в оз. Карповском за период наблюдений имела плавный ход и изменялась незначительно. В мае она поднималась до 20 °С, а в июне-августе сохранялась в пределах 22–26 °С. В сентябре отмечали понижение температуры воды до 14 °С в связи с резким похолоданием (среднесуточная температура воздуха к третьей декаде упала на 10 °С).

Содержание кислорода в оз. Карповском на протяжении рассматриваемого периода не опускалось ниже установленных рыбохозяйственных нормативов предельно допустимой концентрации вредных веществ (далее – ПДК_{вр}) [11] и изменялось от 6,3 мг/л (август, ст. 2) до 9,7 мг/л (июнь, ст. 1). В среднем кислорода в воде было достаточно, его содержание повышалось к началу летних месяцев и снижалось к осени. Ход кислорода практически не различался между станциями, однако на ст. 1 его содержание постоянно было несколько выше, чем на ст. 2. Динамика насыщения воды кислородом подчинялась той же закономерности. В мае и июне насыщение достигало 100 %, однако к августу наблюдали некоторое недосыщение воды кислородом – 70–80 %. В августе-сентябре различие между ст. 1 и 2 становилось более заметным – около 10 % (рис. 2).

Установлено, что воды оз. Карповского богаты легкоокисляемыми соединениями. Величина перманганатной окисляемости согласно классификации О. А. Алекина, характеризовалась как повышенная (более 10 мгО/л), отмечали резкое снижение показателя в августе и возрастание в сентябре (рис. 2).

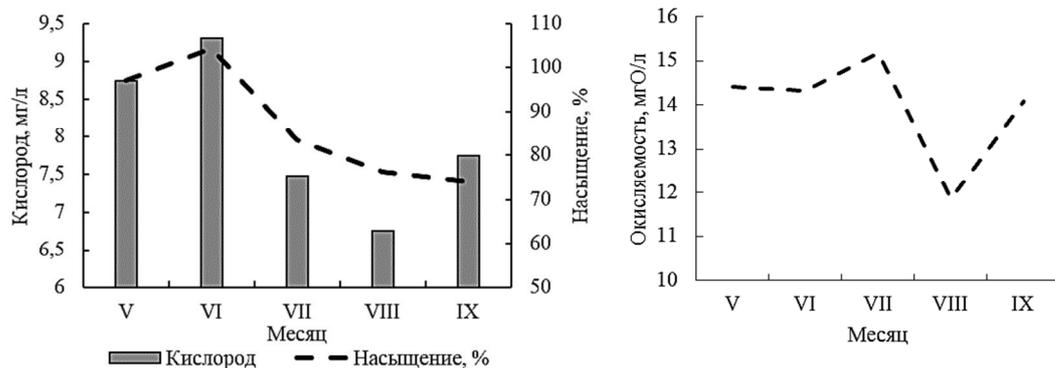


Рис. 2. Кислород (мг/л, %) и перманганатная окисляемость в воде (мгО/л)
 Fig. 2. Oxygen (mg/l, %) and permanganate value (mgO/l)

Относительно биогенных элементов (рис. 3) прослеживался тренд на их увеличение к осени, в отдельные месяцы концентрации веществ были близки к рыбохозяйственным нормативам. Содержание железа на протяжении всего периода мониторинга сохранялось стабильно выше норм ПДК_{вр} и санитарно-гигиенических (далее – ПДК_{с-г}) (0,1 и 0,3 мгFe/л соответственно) [11, 12]. Следует отметить, что выявленный рост содержания железа к осени в целом нетипичен для водоемов Калининграда, так как обычно увеличение количества железа в воде отмечается в летнюю межень за счет подземного питания.

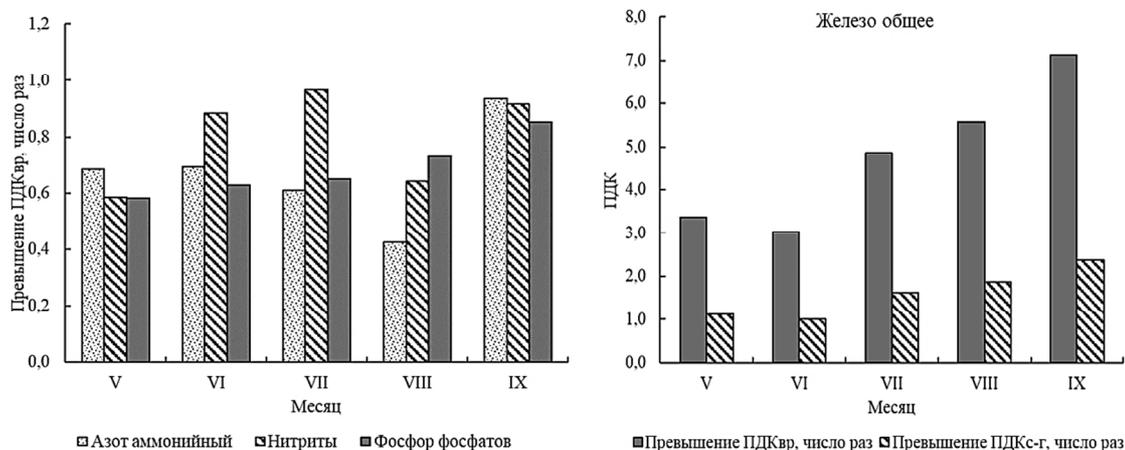


Рис. 3. Содержание фосфора фосфатов, азота аммонийного, нитритов и железа общего в долях ПДК

Fig. 3. Phosphorus phosphate, ammonia nitrogen, nitrite and total iron, in MPC

Сходная динамика наблюдалась для фосфора фосфатов. Пик содержания фосфора фосфатов приходился на сентябрь, в остальные месяцы его концентрация была низкой (около 0,003 мгP/л), однако в целом колебания фосфора фосфатов составляли тысячные доли и не превышали значений ПДК_{вр} даже для водоемов олигосапробного класса.

Большинство форм азота в водах оз. Карповского содержалось в небольших количествах, не превышающих ПДКвр. Отмечали незначительное колебание содержания азота аммонийного с мая по июль (0,27–0,25 мгN/л), снижение в августе (0,17 мгN/л) и возрастание к осени (0,37 мгN/л). В пространственном распределении азота аммонийного были заметны некоторые различия между станциями, наибольшие значения выявляли на ст. 2. В сентябре различия особенно усиливались и достигли 0,15 мгN/л. Схожие различия между станциями также прослеживались в концентрациях растворенного кислорода. Аммиака в воде было не более 0,011 мг/л. Максимальных значений его содержание достигало в мае, затем отмечали снижение количества аммиака до нескольких тысячных к осени. Незначительное содержание аммиака, вероятнее всего, связано с тем, что даже при высокой температуре воды величина рН не выходила за пределы санитарно-гигиенических норм и колебалась от 6,8 до 7,5, что соответствовало классам нейтральные и слабощелочные воды. Водородный показатель не достигал значений, при которых он мог бы способствовать раздражению кожи и глаз купающихся [12].

Содержание нитритов в воде, как и азота аммонийного, было незначительным (0,05–0,08 мг/л). До августа ход нитритов был противоположен ходу аммонийного азота. В августе содержание нитритов резко понижалось, к сентябрю восстанавливалось до июльского значения.

По химическим параметрам воды оз. Карповского по большинству показателей оцениваются как β -мезосапробные, т. е. загрязненные. Согласно ГОСТ 17.1.2.04-77 [13] β -мезосапробные воды соответствуют эвтрофному уровню. По количественному содержанию фосфора фосфатов и растворенному кислороду в весенне-летний период воды озера можно охарактеризовать как чистые.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Санитарно-микробиологические показатели воды оз. Карповского за период исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1. Санитарно-микробиологические показатели воды

Table 1. Sanitary and microbiological indicators of the water

Сезон исследования	Сапрофиты, тыс. кл/мл	БГКП (коли-формы)	Споры сульфитредуцирующих клостридий
Весна (май)	5,0	-	+
Лето (июнь)	6,1	+	+
Осень (сентябрь)	6,8	+	+

Примечание: «-» не обнаружены; «+» обнаружены.

Данные по количественному содержанию в воде сапрофитных бактерий показали постепенное увеличение показателя к летне-осеннему сезону. В июне максимальное количество сапрофитов отмечали в пробах, отобранных на ст. 2, в сентябре – на ст. 1. Согласно ГОСТ 17.1.2.01-77 [13] оз. Карповское по общему содержанию сапрофитов в июне и сентябре соответствовало β -мезосапробной зоне, в весенний сезон – олигосапробной- β -мезосапробной.

Видовая структура сапрофитной микрофлоры воды оз. Карповского формировалась за счет различных физиологических групп бактерий и в единичных

количествах микроскопических грибов (табл. 2). В микрофлоре воды озера во все сезоны преобладали аммонифицирующие виды бактерий, разлагающие белковые вещества, и бактерии, ферментирующие органические соединения типа углеводов. Наибольшее число видов-аммонификаторов было представлено аэробными споровыми бактериями рода *Bacillus*, из активных видов бактерий, окисляющих углеводы, в микрофлоре воды выделяли факультативно-анаэробные бактерии рода *Aeromonas*. Из группы денитрифицирующих бактерий в единичных количествах регистрировали факультативно-анаэробных *Micrococcus luteus*.

Таблица 2. Видовой состав бактериопланктона воды озера Карповское
Table 2. Species composition of bacterioplankton in the water of the Karpovskoye lake

№ п/п	Физиологическая группа микроорганизмов	Виды микроорганизмов
1	Аммонификаторы	<i>Bacillus mycoides</i> <i>Bacillus megaterium</i> <i>Bacillus mesentericus</i> <i>Pseudomonas pseudoalcaligenes</i> Плесневые грибы <i>Mucor racemosus</i> (единично)
2	Денитрификаторы	<i>Micrococcus luteus</i> (единично)
3	Микроорганизмы, минерализующие органические вещества типа углеводов	<i>Aeromonas allosaccharophila</i> <i>Aeromonas shubertii</i> <i>Citrobacter freundii</i> Дрожжевые грибы (единично)

Преобладание в бактериопланктоне озера аэробных аммонификаторов и бактерий, ферментирующих углеводы, свидетельствует о наличии в воде легкодоступного органического вещества, достаточного количества кислорода, благоприятной pH среды, что подтверждается данными гидрохимического анализа воды.

В количественном соотношении в микрофлоре воды озера доминировали бесспорные формы палочковидных бактерий, что определяется степенью трофии водоема. Известно, что наибольшее число бесспорных форм бактерий встречается в эвтрофных водоемах с незначительными глубинами, с более равномерным распределением микроорганизмов и наличием богатого фитопланктона [14, 15]. Таким образом, согласно полученным данным по составу бактериопланктона оз. Карповское можно отнести к эвтрофному типу водоема.

Кишечные группы бактерий, показателей фекального загрязнения воды, обнаруживали во все месяцы наблюдений, часто в пробах воды, отобранных на ст. 2. В мае из микрофлоры воды выделяли только споры клостридий, что свидетельствует о давнем по времени фекальном загрязнении озера. В июне и сентябре из кишечных групп бактерий в воде присутствовали как БГКП, так и споры фекальных сульфитредуцирующих клостридий. В видовом составе кишечных бактерий, относящихся к аллохтонной группе, преобладали кишечная палочка *Escherichia coli* и бактерии рода *Citrobacter*.

В водоемах, относящихся к рыбохозяйственной категории, кроме основных санитарных групп микроорганизмов, учитывают наличие возбудителей инфекционных болезней гидробионтов [13], что позволяет своевременно предотвра-

тить эпизоотию и не допустить попадание опасных микроорганизмов в организм человека при употреблении зараженной рыбы. К показателям возможного неблагополучия водоемов по бактериальным заболеваниям рыб относятся бактерии родов *Aeromonas* и *Pseudomonas* – наиболее часто встречаемая группа потенциально опасных микроорганизмов в отношении аэромоназов и псевдомоназов рыб пресноводных экосистем. В структуре данных таксономических групп бактерий имеются условно-патогенные виды, вызывающие заболевания только у пресноводных видов рыб, и виды, имеющие эпидемиологическое значение в инфекционной патологии человека [16].

Показатели бактериальной обсемененности воды оз. Карповского по условно-патогенным бактериям представлены в табл. 3.

Таблица 3. Бактериальная обсемененность воды озера Карповского по условно-патогенной группе бактерий

Table 3. Bacterial contamination of the water of the Karpovskoe lake by the conditionally pathogenic group of bacteria

Сезон исследования	Бактерии рода <i>Aeromonas</i>	Бактерии рода <i>Pseudomonas</i>
Весна (май)	$7,1 \times 10^2$ КОЕ/мл	$2,0 \times 10^2$ КОЕ/мл
Лето (июнь)	$8,8 \times 10^2$ КОЕ/мл	$2,8 \times 10^2$ КОЕ/мл
Осень (сентябрь)	$4,1 \times 10^2$ КОЕ/мл	$1,2 \times 10^2$ КОЕ/мл

В количественном отношении в микрофлоре воды оз. Карповского преобладали виды бактерий рода *Aeromonas*. В среднем за весь период наблюдения аэромонады составляли $1,0 \times 10^3$ КОЕ/мл, псевдомонады – $3,0 \times 10^2$ КОЕ/мл. Анализ изменения численности условно-патогенных бактерий показал снижение обсеменённости воды озера в сентябре. Максимальное количество аэромонад в микрофлоре воды регистрировали в летний сезон на двух станциях наблюдения. В этот же сезон выявляли и наибольшее количество условно-патогенных псевдомонад. Интенсивному развитию данных групп сапрофитных бактерий способствовало повышение температуры и достаточное количество кислорода в воде озера.

Качественный состав бактерий аэромонадно-псевдомонадного комплекса не отличался разнообразием видов. В видовой структуре данных таксономических групп не вывели опасных для здоровья человека видов. Среди аэромонад в водной микрофлоре во все сезоны отмечали бактерии *A. allosaccharophila* (62,9 % штаммов) и *A. shubertii* (37,1 % штаммов), которые часто выявляются в составе микрофлоры как здоровых видов рыб, так и с признаками аэромонадоза [17]. Бактерии данных видов ферментировали моно- и дисахариды, многоатомные спирты, декарбоксилировали лизин, обладали активными протеолитическими ферментами, что указывает на значение бактерий в минерализации органических веществ наряду с другими видами бактериопланктона озера.

Псевдомонады были представлены только неферментирующим углеводы видом *Ps. pseudoalcaligenes*. Штаммы *Ps. pseudoalcaligenes* обладали выраженной декарбоксилазной активностью к диаминокислотам, использовали ацетат натрия в качестве единственного источника углерода, росли при температуре 42 °С. Данный вид псевдомонад обычно обсеменяет кожные покровы рыб, однако бактерии могут входить в состав микрофлоры больных рыб при таких бактериальных инфекциях, как фурункулез, йерсиниоз [18].

АЛЬГОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Видовой состав фитопланктона озера Карповского включал 88 таксонов из 8 отделов, 9 классов, 16 порядков, 25 семейств и 44 родов. В таксономическом плане преобладали водоросли отдела зеленые (Chlorophyta), эвгленовые (Euglenophyta), диатомовые (Bacillariophyta) и цианопрокариоты (Cyanoprokaryota). Остальные отделы водорослей были представлены беднее и в сумме занимали 16 % видового разнообразия (рис. 4).

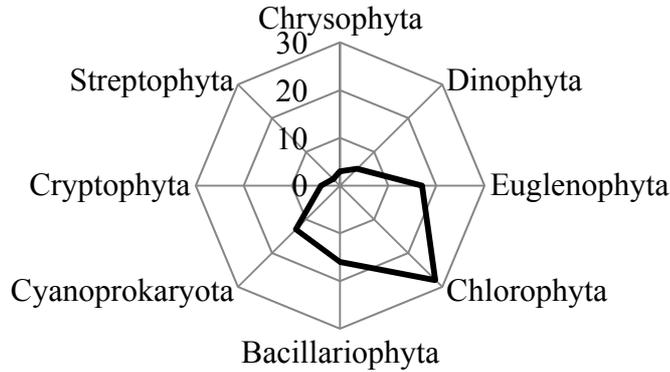


Рис. 4. Звездчатая диаграмма альгофлоры озера Карповского
Fig. 4. Diagram of the algoflora of the Karpovskoye lake

Средняя численность фитопланктона за время наблюдения достигала более 542 млн. кл./л, биомасса – 20 мг/л. За все время наблюдения по численности и биомассе отдел цианопрокариот был преобладающим (в среднем 98,5 % от общей численности и около 55 % от общей биомассы).

Пик развития водорослей наблюдали в мае, численность фитопланктона составляла более 800 млн. кл./л (99,6 %), биомасса около 15 мг/л (62 %) (рис. 5).

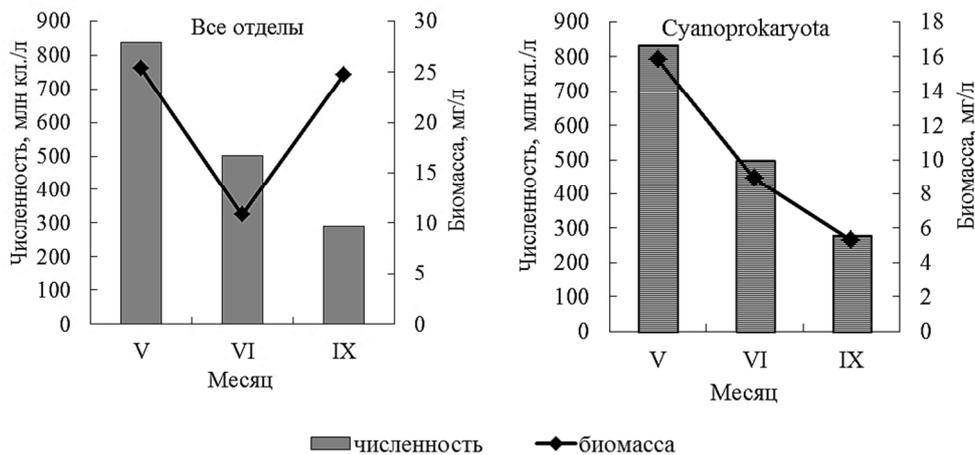


Рис. 5. Общая численность и биомасса всех водорослей и отдела Cyanoprokaryota
Fig. 5. Total abundance and biomass of all algae and the Cyanoprokaryota

Основу численности фитопланктона озера составляли водоросли отдела цианопрокариоты (99,6 %), основу биомассы – цианопрокариоты (62 %), динофитовые (14 %) и диатомовые водоросли (10 %) (рис. 6). Доминирующим видом по

численности и биомассе был *Limnothrix redekei* (Goor) Meffert – широко распространенный пресноводный вид цианопрокариот в водоемах Европы, который относится к индикаторам гипертрофного состояния, может вызывать «цветение» воды [19].

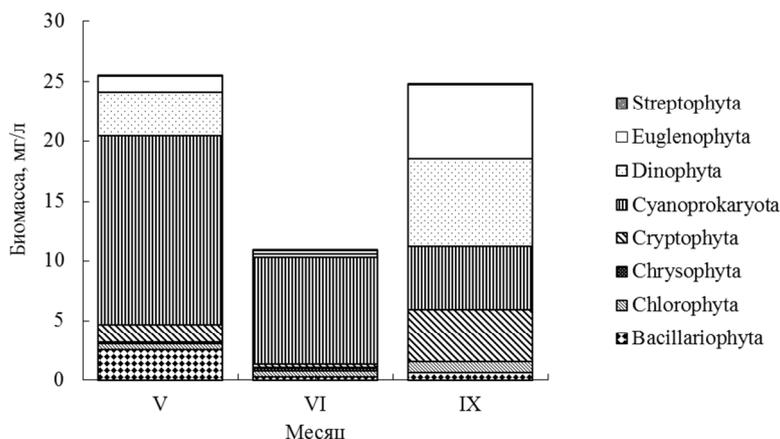


Рис. 6. Динамика общей биомассы основных групп фитопланктона

Fig. 6. Dynamics of algae biomass in the phytoplankton

Далее в июне наблюдался спад развития фитопланктона. Однако развитие водорослей оставалось на высоком уровне: их общая численность достигала значений 500 млн. кл./л, общая биомасса – 11 мг/л. Доминирующим видом и по численности, и по биомассе был *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek (цианопрокариоты) – широко распространенный пресноводно-солонатоводный вид, также являющийся индикатором гипертрофного состояния водоемов.

В сентябре значения общей численности водорослей заметно снизились (до 290 млн. кл./л), однако значения биомассы увеличились практически до уровня значений в мае (около 24 мг/л) за счет развития холодолюбивых крупноклеточных видов водорослей. Доля цианопрокариот снизилась по численности, но оставалась также высокой, составляя 96,3 %, и по биомассе – до 21 %, что является следствием понижения температуры, которая способствует сукцессии тепловодных видов на более холодолюбивые. В биомассе фитопланктона были активно представлены крупноклеточные виды следующих отделов: динофитовые (30 %), эвгленовые (25 %) и криптофитовые (17 %). Доминирующими видами в этот сезон были: по численности – представитель цианопрокариот *Limnothrix redekei*; по биомассе – крупноклеточные динофитовые водоросли *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Dujardin.

Из обнаруженных видов фитопланктона в оз. Карповском 38 видов относятся к видам-индикаторам степени сапробности [9]. По этому показателю состав водорослей в основном был сформирован β-мезосапробами (55 %). Доля водорослей, характеризующих воды с высокой степенью органического загрязнения (β-α, β-р, α, α-р), составила 21 %, с низкой – (о-χ, оβ, о, βо) – 24 %. Индекс сапробности по Пантле-Буку в модификации Сладечека в разные периоды в среднем по станциям менялся от 1,89±0,13 до 2,35±0,13 (табл. 4).

Таблица 4. Оценка трофности водоема по показателям фитопланктона
Table 4. Assessment of trophicity of the water body by phytoplankton indicators

Параметры	Сезон		
	весна (май)	лето (июнь)	осень (сентябрь)
Биомасса фитопланктона, мг/л	25,4	10,8	24,7
Численность фитопланктона, млн. кл./л	837,6	500,3	290,8
Диатомовые водоросли, % от общей численности	Менее 1	Менее 1	Менее 1
Зеленые водоросли, % от общей численности	Менее 1	Менее 1	1,3
Синезеленые водоросли, % от общей численности	99,6	99,7	96,3
Индекс сапробности	1,9	2,1	2,3

В целом за время наблюдения согласно критериям трофности воды озера оцениваются как эвтрофные; по индексам сапробности оз. Карповское соответствует водоемам β -мезосапробного типа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Озеро Карповское в исследованный период 2019 г. характеризовалось благоприятными гидрохимическими условиями. Превышение ПДК_{вр} и ПДК_{с-г} выявлено только по содержанию общего железа, что характерно для поверхностных вод Калининградской области преимущественно в период межени из-за питания подземными водами, но в оз. Карповском ход концентрации железа не соответствовал нормальному и увеличивался к осени. Это также может быть связано с подпиткой водоема от верхних водоносных горизонтов не только в период межени, но и в половодье. Выявленные различия в содержании кислорода и азота аммонийного между станциями, вероятно, связаны с отмиранием высшей водной растительности, развитой на восточном берегу слабее, чем в остальных частях водоема.

По общему содержанию сапрофитов оз. Карповское в июне и сентябре соответствовало β -мезосапробной зоне, в весенний сезон – олигосапробной- β -мезосапробной. Бактериопланктон озера формировали аммонифицирующие виды бактерий и бактерии, ферментирующие органические соединения типа углеводов. Бактерий группы кишечных палочек и сульфитредуцирующих клостридий – показателей фекального загрязнения воды – обнаруживали во все месяцы наблюдений, что является следствием антропогенной нагрузки на водоем. В видовой структуре условно-патогенных групп бактерий опасных для здоровья человека видов не выявили. В микрофлоре воды в незначительных количествах встречали бактерии родов *Aeromonas*, *Pseudomonas*, которые при определенных стрессовых условиях могут стать причиной бактериальных инфекций рыб.

Альгофлора озера по таксономическим показателям характеризовалась как «зелено-эвгленово-диатомово-синезеленая», что свойственно для многих урбанизированных водоемов. Развитие фитопланктона в целом интенсивное и типично для бессточных мелководных водоемов. Такая вегетация водорослей способствовала поддержанию стабильно высокого содержания кислорода и, возможно, ока-

зывала влияние на снижение содержания биогенных элементов в воде. За период наблюдения в количественном отношении преобладали водоросли из отдела Cyanoprokaryota. Определены доминирующие виды этого отдела: *Limnothrix redekei* и *Planktothrix agardhii*, которые относятся к индикаторам гипертрофного состояния и могут вызывать «цветение» воды.

Таким образом, результаты комплексного анализа показали, что оз. Карповское относится к водоемам β -мезосапробной зоны, что соответствует эвтрофному уровню.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сайт администрации городского округа «Город Калининград» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.klgd.ru/press/news/detail.php?ID=2698530&sphrase_id=42310655 (дата обращения 10.02.2020).
2. Озеро Карповское [Электронный ресурс]. – URL: <https://ozera.info/russia/szfo/kaliningrad/karповское-5> (дата обращения 10.11.2019).
3. Р 52.24.353-2012. Рекомендации. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод (утв. заместителем руководителя Росгидромета 10.05.2012) // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения 05.01.2020).
4. Гидрология. Лабораторный практикум и учебная практика / Т. А. Берникова [и др.]. – Москва: Колос, 2008. – 304 с.
5. Методические указания МУК 4.2.1884-04 «Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов», 2004. – 108 с.
6. Методические указания по санитарно-бактериологической оценке рыбохозяйственных водоемов // Сборник инструкций по борьбе с болезнями рыб. – Москва: АМБ-агро, 1999. – С. 161–177.
7. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / под ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовского. – Москва: Наука, 1975. – 240 с.
8. Унифицированные методы исследования качества вод // СЭВ. Совещание руководителей водохозяйственных органов стран-членов СЭВ. – Ч. 3. Методы биологического анализа. – Москва, 1975. – 176 с.
9. Лозицкая, Е. А. Результаты гидрохимического мониторинга пруда Карповского летом 2018 г. (г. Калининград) / Е. А. Лозицкая, Н. А. Цупикова // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем: Междунар. науч.-практ. конф.: материалы. – Ростов-на-Дону: Изд-во ФГБНУ «АзНИИРХ», 2018. – С. 326–329.
10. Ресурсы поверхностных вод СССР / под ред. В. Е. Водогрецкого. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. – Т. 4, вып. 3. – 506 с.
11. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03, утвержденные Главным государственным санитарным врачом РФ, 27.04.2003 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901862249> (дата обращения: 05.12.2019).

12. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 (с изм. от 12 октября 2018 года) [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 05.12.2019).

13. ГОСТ 17.1.2.04-77 Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов // Сб. ГОСТов. – Москва: ИПК «Изд-во стандартов», 2000. – 62 с.

14. Марголина, Г. Л. Микробиологические процессы продукции и деструкции в пресных водоемах / Г. Л. Марголина. – Москва: Наука, 1989. – 120 с.

15. Никитина, З. И. Микробиологический мониторинг наземных экосистем / З. И. Никитина. – Новосибирск: Наука, 1991. – 222 с.

16. Бухарин, О. В. Патогенные бактерии в природных экосистемах / О. В. Бухарин, В. Ю. Литвин. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 277 с.

17. Kozimska A. Dominant pathogenic species of mesophilic aeromonads isolated from diseased and healthy fish in Poland // *Journal of Fish Diseases*, 2007. – № 30 (5). – Pp. 293–301.

18. Cipriano R., Dove A. Far from superficial: microbial diversity associated with the skin and mucus of fish // *Health and Diseases of Aquatic Organisms: Bilateral Perspectives*. East Lansing: MSU Press, 2011. – Pp. 156–167.

19. Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов Северо-Запада России. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – 367 с.

REFERENCES

1. Sayt administratsii gorodskogo okruga "Gorod Kaliningrad" [Website administration of the city district "City of Kaliningrad"], available at: https://www.klgd.ru/press/news/detail.php?ID=2698530&sphrase_id=42310655 (Accessed 10 February 2020).

2. *Ozero Karpovskoe* [The Karpovskoe lake]. Available at: <https://ozera.info/russia/szfo/kaliningrad/karpovskoe-5> (Accessed 10 November 2019).

3. R 52.24.353-2012. Rekomendatsii. Otkor prob poverkhnostnykh vod sushi i ochishchennykh stochnykh vod (utv. zamestitelem rukovoditelya Rosgidrometa 10.05.2012). Konsul'tantPlyus, available at: <http://www.consultant.ru/> (Accessed 05 January 2020).

4. Bernikova T. A. [i dr.] *Gidrologiya. Laboratornyy praktikum i uchebnaya praktika* [Hydrology. Laboratory and educational practice]. Moscow, Kolos, 2008, 304 p.

5. Metodicheskie ukazaniya MUK 4.2.1884-04 "Sanitarno-mikrobiologicheskii i sanitarno-parazitologicheskii analiz vody poverkhsnotnykh vodnykh ob'ektov", 2004, 108 p.

6. Metodicheskie ukazaniya po sanitarno-bakteriologicheskoy otsenke rybokhozyaystvennykh vodoemov [Guidelines for the sanitary-bacteriological assessment of fisheries]. *Sbornik instruktsiy po bor'be s boleznyami ryb*, Moscow, AMB-agro, 1999, pp. 161–177.

7. *Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov* [Methodology for the study of biogeocenoses of inland waters], pod. red. F. D. Morduhay-Boltovskogo. Moscow, Nauka, 1975, 240 p.

8. *Unifitsirovannye metody issledovaniya kachestva vod: metody biologicheskogo analiza* [Unified methods for research of water quality: methods of biological analysis of water]. Moscow, 1975, 176 p.

9. Lozitskaya E. A., Tsupikova N. A.. Rezul'taty gidrokhimicheskogo monitoringa pruda Karpovskogo letom 2018 g. (g. Kaliningrad) [Results of hydrochemical monitoring of the Karpovsky Pond in the summer of 2018 (Kaliningrad)]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Aktual'nye voprosy rybolovstva, rybovodstva (akvakul'tury) i ekologicheskogo monitoringa"* [Proceedings of the international scientific and practical conference "Current issues of fisheries, fish breeding (aquaculture), and ecological monitoring of aquatic ecosystems"]. Rostov-na-Donu, izd-vo FGBNU "AzNIIRKH", 2018, pp. 326–329.

10. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR* [Surface Water Resources of the USSR], pod red. V. E. Vodogretskogo, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1969, vol. 4, no. 3, 505 p.

11. Vodootvedenie naselennykh mest, sanitarnaya okhrana. Predel'no-dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'ektov khozyaystvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniy [Sanitation of populated areas. Maximum allowable concentration (MPC) of chemicals in the water of water bodies of drinking, cultural and domestic water use]. *Gigienicheskie normativy GN 2.1.5.1315-03, utverzhdennye Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom RF, 27.04.2003 g.* Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901862249> (Accessed 5 December 2019).

12. Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya [On the approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards of maximum permissible concentrations of harmful substances in fishery water bodies]. *Prikaz Ministerstva sel'skogo khozyaystva RF ot 13 dekabrya 2016 g. № 552.* Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (Accessed 5 December 2019).

13. GOST 17.1.2.04-77 Okhrana prirody. Gidrosfera. Pokazateli sostoyaniya i pravila taksatsii rybokhozyaystvennykh vodnykh ob'ektov. Sb. GOSTov, Moscow, IPK Izd-vo standartov, 2000, 62 p.

14. Margolina G. L. *Mikrobiologicheskie protsessy produktsii i destrukttsii v presnykh vodoemakh* [Microbiological processes of production and destruction in fresh water]. Moscow, Nauka, 1989, 120 p.

15. Nikitina Z. I. *Mikrobiologicheskiiy monitoring nazemnykh ekosistem* [Microbiological monitoring of terrestrial ecosystems]. Novosibirsk, Nauka, 1991, 222 p.

16. Bukharin O. V., Litvin V. Yu. *Patogennyye bakterii v prirodnykh ekosistemakh* [Pathogenic bacteria in natural ecosystems]. Ekaterinburg, UrO RAN, 1997, 277 p.

17. Kozimska A. Dominant pathogenic species of mesophilic aeromonads isolated from diseased and healthy fish in Poland, *Journal of Fish Diseases*, 2007, no. 30 (5), pp. 293–301.

18. Cipriano R., Dove A. *Far from superficial: microbial diversity associated with the skin and mucus of fish. Health and Diseases of Aquatic Organisms: Bilateral Perspectives*: East Lansing, MSU Press, 2011, pp. 156–167.

19. *Vodorosli, vyzyvayushchie "tsvetenie" vodoemov Severo-Zapada Rossii* [Algae causing “bloom” of water bodies in the North-West of Russia]. Moscow, Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2006, 367 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лозицкая Екатерина Александровна – Калининградский государственный технический университет; аспирант; E-mail: Lozitskaya.EA@yandex.ru

Lozitskaya Ekaterina Aleksandrovna – Kaliningrad State Technical University; PhD student; E-mail: Lozitskaya.EA@yandex.ru

Бугранова Олеся Сергеевна – Калининградский государственный технический университет; ведущий инженер кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: olesya.bugranova@klgtu.ru

Bugranova Olesya Sergeevna – Kaliningrad State Technical University; Lead engineer of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: olesya.bugranova@klgtu.ru

Казимирченко Оксана Владимировна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры аквакультуры, биологии и болезней гидробионтов; E-mail: oksana.kazimirchenko@klgtu.ru

Kazimirchenko Oksana Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biology, Associate Professor at the Department of Aquaculture, Biology and Diseases of Hydrobionts; E-mail: oksana.kazimirchenko@klgtu.ru

Цупикова Надежда Александровна – Калининградский государственный технический университет; кандидат геолого-минералогических наук; доцент кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: tsoupikova@klgtu.ru

Tsupikova Nadezhda Aleksandrovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: tsoupikova@klgtu.ru

УДК 533.5:621.526

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-88-96

РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПРИТОКА ВОДОРЫБНОЙ СМЕСИ
В РАБОЧУЮ ЕМКОСТЬ ВАКУУМНОЙ РЫБОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

В. А. Наумов, А. А. Землянов

CALCULATION OF WATER-FISH MIXTURE UNSTEADY INFLOW
INTO THE WORKING TANK OF THE VACUUM FISH PUMP UNIT

V. A. Naumov, A. A. Zemlyanov

Вакуумные рыбонасосные установки обеспечивают наименьшую повреждаемость объектов лова по сравнению с другими средствами механизации перегрузки и в настоящее время широко применяются в рыбном хозяйстве. Однако они имеют серьезный недостаток: значительно более низкий коэффициент полезного действия, чем, например, центробежные рыбонасосы. Исследования вакуумных рыбонасосных установок последних лет направлены на повышение энергетической эффективности последних. Ранее в опубликованных работах авторов была исследована первая фаза этапа всасывания – откачка воздуха из рабочей камеры с помощью вакуумного насоса. В данной статье предложена математическая модель второй фазы первого этапа работы вакуумной рыбонасосной установки – всасывание воды с рыбой в рабочую емкость. Задача Коши нестационарного притока водорыбной смеси решена численным методом. Установлено, что критериями подобия задачи являются: отношение начального давления в рабочей емкости к атмосферному, безразмерная высота подъема жидкости, обобщенный коэффициент гидравлического сопротивления трубопровода, отношение объемов трубопровода и рабочей емкости. Неустановившийся характер течения обусловлен уменьшением перепада давления в процессе всасывания. Если его не учитывать, то при уменьшении объема рабочей емкости и увеличении длины всасывающего трубопровода ошибка расчета может достигать 20 %. Предложенный нами метод расчета позволяет при заданных значениях критериев подобия определить, какой объем водорыбной смеси будет закачан в рабочую емкость за один цикл и какая при этом будет совершена полезная работа. Это необходимо для оценки энергетической эффективности вакуумной рыбонасосной установки.

вакуумные рыбонасосные установки, этап всасывания, математическая модель, метод расчета, расход жидкости, давление, полезная работа

Vacuum fish pumping units provide the least damage to fishing objects in comparison with other means of mechanization of overload. Therefore, at present they are widely used in fisheries. However, vacuum fish pumps have a serious drawback. The efficiency is much lower than, for example, in case of centrifugal fish pumps. Researches of vacuum fish-pumping units of the last years are directed on increase of their power efficiency. Earlier in the published works of the author, the first phase of the suction

stage – pumping air from the working chamber using a vacuum pump-has been investigated. The present article offers a mathematical model of the second phase of the first stage of operation of a vacuum fish pump unit – suction of water with fish in the working capacity. The Cauchy problem of unsteady inflow of water-sample mixture is solved by numerical method. It is established that the similarity criteria of the problem are: the ratio of initial pressure in working tank to atmospheric pressure, dimensionless height of liquid rise, the generalized coefficient of hydraulic resistance of the pipeline, the ratio of the volume of the piping and working tank. The unsteady nature of the flow is due to a decrease in the pressure drop in the suction process. If it is not taken into account, then with a decrease in the volume of the working capacity and an increase in the length of the suction pipeline, the calculation error can reach 20 %. The proposed method of calculation allows us to determine at the given values of similarity criteria, what volume of water-sample mixture will be pumped into the working tank in one cycle, what useful work will be done at the same time. This is necessary to assess the energy efficiency of the vacuum fish-pumping unit.

vacuum fish pumps, suction stage, mathematical model, calculation method, liquid flow, pressure, useful work

ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение вакуумных рыбонасосных установок (ВРУ) обусловлено тем, что из всех средств перегрузки они обеспечивают наименьшую повреждаемость объектов лова. По крайней мере, в этом нас убеждают производители ВРУ [1–5]. Однако они умалчивают о серьезном недостатке ВРУ: коэффициент полезного действия у них значительно ниже, чем, например, у центробежных рыбонасосов. Исследования ВРУ последних лет направлены на повышение их энергетической эффективности. Так, в [6] рассмотрены некоторые аспекты использования ВРУ дальневосточными рыбодобывающими компаниями. Алгоритм и примеры определения характеристик водокольцевых компрессорных машин (ВКК), применяемых в современных ВРУ, представлены в [7]; по результатам обработки экспериментальных данных получены эмпирические зависимости производительности и затраченной мощности ВКК от давления всасывания, построена безразмерная нагрузочная характеристика. В [8] показано, что предельный вакуум P_0 , которого можно достичь в рабочей емкости ВРУ, определяется не только характеристиками ВКК, но и степенью герметичности пневмосистемы; рассчитаны значения давления P_0 в зависимости от коэффициента утечки.

На рис. 1 представлена схема ВРУ компании «АгроБалтПроект». Этап всасывания состоит из двух фаз. Первая – это откачка воздуха из рабочей камеры, вторая – всасывание воды с рыбой в рабочую емкость. После того как давление в рабочей емкости 3 с помощью ВКК, работающей в режиме вакуумного насоса, будет понижено, открывается транспортная магистраль водорыбной смеси 2, и начинается вторая фаза (рис. 1). Под действием перепада давления вода вместе с рыбой поступает в рабочую емкость, а на этапе нагнетания она с помощью ВКК вытесняется через нагнетательный трубопровод 4. В данной статье предложены математическая модель и метод гидравлического расчета процесса всасывания водорыбной смеси в рабочую емкость ВРУ.

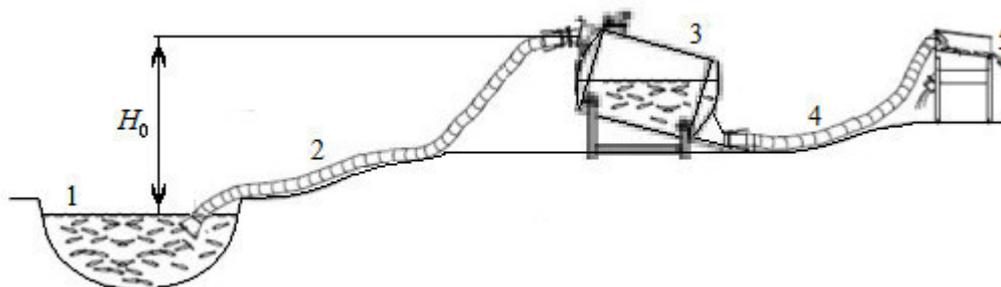


Рис. 1. Схема ВРУ [1]: 1 – вода с рыбой, подлежащей транспортировке; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – рабочая емкость; 4 – нагнетательный трубопровод; 5 – приемная емкость с водоотделителем

Fig. 1. VFU scheme [1]: 1 – water with fish to be transported; 2 – suction pipeline; 3 – working tank; 4 – discharge pipeline; 5 – receiving tank with water separator

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

По мере наполнения рабочей емкости водой с рыбой объем воздуха в ней уменьшается, а давление возрастает. Так как воздух постоянно соприкасается с водой, можно считать процесс сжатия изотермическим:

$$P_0 \cdot V_0 = P(t) \cdot V(t), \quad (1)$$

где V_0 – объем рабочей емкости, м^3 ; P_0 – абсолютное давление в рабочей емкости после завершения работы ВКК в режиме вакуумного насоса перед началом этапа всасывания воды с рыбой, Па; $V(t)$, $P(t)$ – соответственно объем воздуха и давление в момент времени t , с.

Перепад давления, вызывающий движение водорыбной смеси, будет со временем уменьшаться по формуле (2). Следовательно, течение жидкости нестационарное.

$$\Delta P(t) = P_A - P(t) = P_A - P_0 \cdot V_0 / V(t), \quad (2)$$

где P_A – атмосферной давление, Па.

Воспользуемся уравнением Бернулли для нестационарного турбулентного течения жидкости (см., например, [9–11]), в нашем случае оно имеет следующий вид:

$$\frac{\Delta P(t)}{\rho g} - H_0 = \alpha_1 \frac{W^2}{2g} (1 + \zeta) + \frac{\alpha_2}{g} \int_0^L \frac{\partial W}{\partial t} dX, \quad (3)$$

где последнее слагаемое обусловлено нестационарным характером течения; W – средняя по поперечному сечению скорость жидкости, м/с; H_0 – высота подъема жидкости в ВРУ, м; ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; α_1 , α_2 – коэффициенты неравномерности профиля продольной скорости жидкости; ζ – обобщенный коэффициент гидравлического сопротивления:

$$\zeta = \lambda L / d + \Sigma \zeta_M, \quad (4)$$

где λ – коэффициент потерь на трение; L – длина трубопровода, м; d – диаметр трубы, м; ζ_M – коэффициенты местных гидравлических потерь (повороты трубопровода, вентили и др.).

Далее будем рассматривать квадратичную (автомодельную) область гидравлического сопротивления жидкости, в которой можно принять, что ζ не зави-

сит от скорости, $\alpha_1 \approx 1$, $\alpha_2 \approx 1$. Заметим, что на ζ влияет концентрация рыбы в воде. Форма такой зависимости приведена, например, в [12].

Так как перепад давлений изменяется плавно и не превышает атмосферного давления, сжимаемостью жидкости можно пренебречь и считать производную от скорости по времени в формуле (3) неизменной по длине трубопровода. Тогда после интегрирования из (3) получим дифференциальное уравнение

$$L \frac{\partial W}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \cdot \left(P_A - P_0 \frac{V_0}{V(t)} \right) - gH_0 - \frac{W^2}{2} \cdot (1 + \zeta). \quad (5)$$

Объем воздуха в рабочей камере V уменьшается на объем поступившей жидкости, из чего следует дифференциальное уравнение для V :

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -Q(t) \quad \text{или} \quad \frac{\partial V}{\partial t} = -W(t) \cdot S, \quad (6)$$

где $Q(t)$ – объемный расход жидкости в трубопроводе, $\text{м}^3/\text{с}$; $S = \pi d^2/4$ – площадь поперечного сечения трубопровода, м^2 .

Приведем уравнения (5), (6) к безразмерной форме:

$$\frac{\partial v}{\partial \tau} = -q(\tau), \quad \theta \cdot \frac{\partial q}{\partial \tau} = \frac{1}{2\beta} \cdot \left(1 - \frac{p_0}{v(\tau)} - h_0 \right) - \frac{1}{2} q^2 (1 + \zeta); \quad (7)$$

$$q = \frac{Q}{Q_u}, \quad v = \frac{V}{V_0}, \quad \tau = t \frac{Q_u}{V_0}, \quad p_0 = \frac{P_0}{P_A}, \quad h_0 = \frac{\rho g H_0}{P_A},$$

$$Q_u = S \cdot \sqrt{2 \cdot \left(\frac{P_A - P_0}{\rho} - gH_0 \right)}, \quad \theta = \frac{S \cdot L}{V_0}, \quad \beta = \frac{\rho Q_u^2}{P_A S^2} = 1 - p_0 - h_0.$$

где v – относительный объем воздуха в баке, Q_u – идеальный (без гидравлического сопротивления) расход жидкости в начальный момент времени.

Необходимые начальные условия к дифференциальным уравнениям (7):

$$v(0) = 1, \quad q(0) = 0. \quad (8)$$

Критериями подобия задачи являются ζ , θ , p_0 , h_0 . Величина θ представляет собой отношение объемов трубопровода и рабочей емкости, характеризует инерционность гидравлической системы; β – отношение располагаемого перепада давления в начале этапа всасывания (с учетом высоты подъема жидкости) к атмосферному давлению.

Безразмерную полезную (гидравлическую) мощность в процессе всасывания можно найти по формуле

$$\bar{N}(\tau) = q(\tau) \cdot (1 - p(\tau)). \quad (9)$$

Тогда безразмерная и размерная полезная работа за один цикл всасывания (время τ_b) соответственно (χ – массовая доля рыбы в смеси):

$$\bar{A} = \int_0^{\tau_b} q(\tau) \cdot (1 - p(\tau)) \, d\tau, \quad A = \chi \cdot \bar{A} \cdot P_A \cdot Q_u. \quad (10)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Задача Коши (7), (8) была решена численным методом при различных значениях критериев подобия. На рис. 2 представлены результаты расчета безразмерного объема воздуха в рабочей емкости, расхода поступающей воды с рыбой и давления в емкости при нестационарном течении.

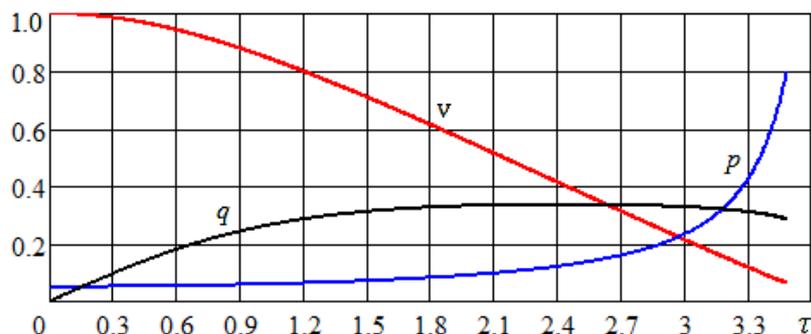


Рис. 2. Результаты гидравлического расчета нестационарного течения при $\theta=1,5$; $\zeta=7$; $p_0 = 0,05$; $h_0 = 0,2$

Fig. 2. Results of hydraulic calculation of unsteady flow at $\theta=1,5$; $\zeta=7$; $p_0 = 0,05$; $h_0 = 0,2$

Наименьший объем воздуха, при котором прекращается течение жидкости, получается при равенстве нулю перепада давления с учетом высоты подъема H_0 :

$$1 - \frac{p_0}{v(\tau)} - h_0 = 0 \Rightarrow v_{\min} = \frac{p_0}{1 - h_0}. \quad (11)$$

Для условий, принятых на рис. 2, $v_{\min} = 0,0625$; при этом безразмерное давление достигает наибольшего значения, которое рассчитывается по (1):

$$p_{\max} = \frac{p_0}{v_{\min}} = 1 - h_0 = 0,8. \quad (12)$$

Чтобы проверить необходимость учета неустановившегося характера течения жидкости, выполним расчет при тех же значениях критериев подобия за исключением $\theta=0$. На рис. 3 представлено сравнение результатов двух расчетов. Как и следовало ожидать, конечное состояние (p_{\max} , v_{\min}) получается одинаковым, а вот время его достижения отличается на 17 %. Это отличие будет возрастать при уменьшении объема рабочей емкости V_0 и увеличении длины всасывающего трубопровода L либо его диаметра d .

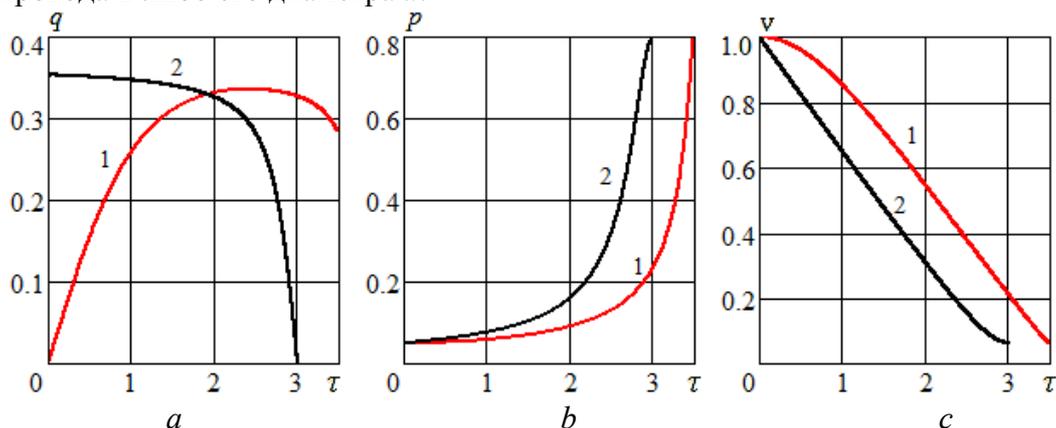


Рис. 3. Результаты гидравлического расчета при $\zeta=7$; $p_0 = 0,05$; $h_0 = 0,2$: 1 – с учетом неустановившегося режима ($\theta=1,5$); 2 – без учета ($\theta=0$); a – безразмерный расход, b – давление, c – объем воздуха в емкости

Fig. 3. Results of hydraulic calculation at $\zeta=7$; $p_0 = 0,05$; $h_0 = 0,2$:

1 – the unsteady mode ($\theta=1,5$), 2 – the steady mode ($\theta=0$);

a – dimensionless flow rate, b – pressure, c – volume of air in the tank

На рис. 4 и 5 представлены результаты расчетов при различных значениях безразмерного начального давления в рабочей емкости p_0 . Как показано в [8], p_0 зависит от степени герметичности рабочей емкости и всасывающего трубопровода. С увеличением p_0 падает расход жидкости q . Конечное давление p_{\max} не изменяется, так как оно зависит лишь от h_0 , а вот v_{\min} увеличивается. При этом объем v_g воды с рыбой, закачиваемой за одну фазу всасывания, уменьшается: $v_g = 1 - v$.

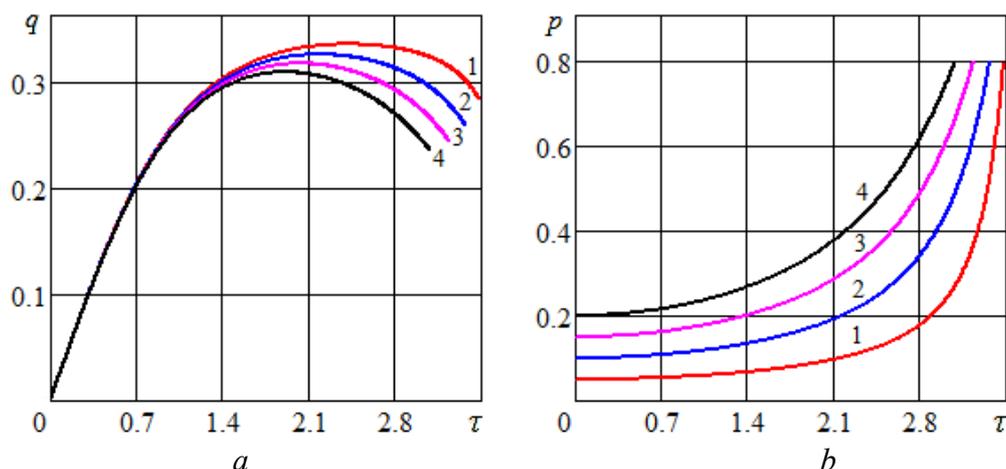


Рис. 4. Результаты гидравлического расчета при $\theta=1,5$; $h_0 = 0,2$; $\zeta=7$ и различных значениях начального давления: 1 – $p_0=0,05$; 2 – $p_0=0,1$; 3 – $p_0=0,15$; 4 – $p_0=0,2$; a – безразмерный расход, b – безразмерное давление

Fig. 4. Results of hydraulic calculation at $\theta=1,5$; $h_0 = 0,2$; $\zeta=7$ and various values of initial pressure: 1 – $p_0=0,05$; 2 – $p_0=0,1$; 3 – $p_0=0,15$; 4 – $p_0=0,2$; a – dimensionless flow rate, b – dimensionless pressure

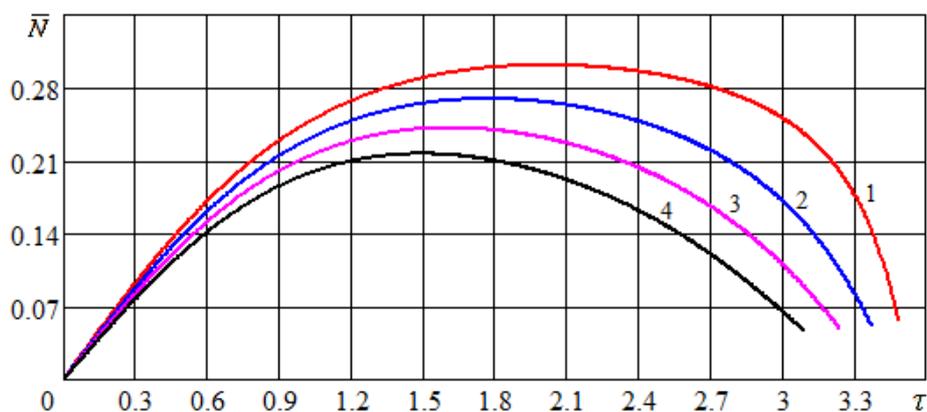


Рис. 5. Изменение по времени безразмерной гидравлической мощности. Обозначения, как на рис. 4

Fig. 5. Time variation of dimensionless hydraulic power. Notation, as in fig. 4

На рис. 6 и 7 приведены результаты расчетов при различных значениях безразмерной высоты подъема h_0 . Безразмерная высота $h_0=0,2$ соответствует размерной $H_0 \approx 2$ м, $h_0=0,5$ – $H_0 \approx 5$ м и т. д. Увеличение h_0 приводит к снижению расхода жидкости q , уменьшению наибольшего давления p_{\max} , росту v_{\min} . Заметно уменьшается объем воды с рыбой, закачиваемой за фазу всасывания: с 0,95 до 0,65 (рис. 6).

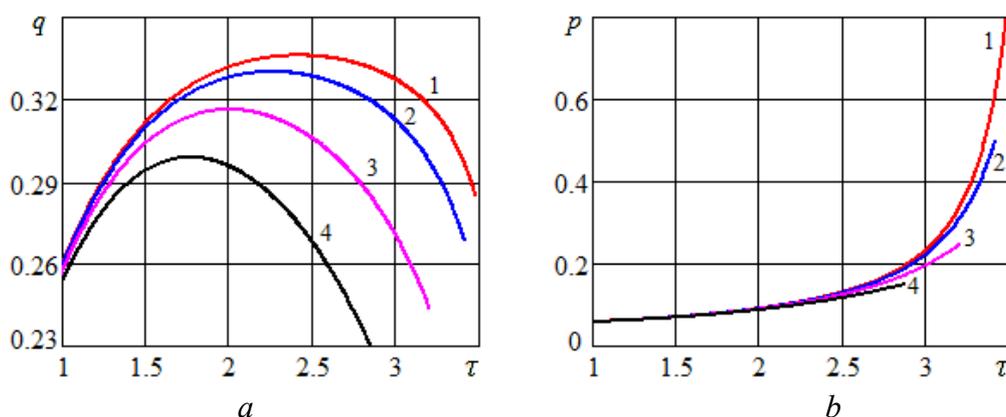


Рис. 6. Результаты гидравлического расчета при $\theta=1,5$; $p_0=0,05$; $\zeta=7$ и различных значениях высоты подъема: 1 – $h_0=0,2$; 2 – $h_0=0,5$; 3 – $h_0=0,75$; 4 – $h_0=0,85$; a – безразмерный расход; b – безразмерное давление
 Fig. 6. Results of hydraulic calculation at $\theta=1,5$; $p_0=0,05$; $\zeta=7$ and various values of lifting height: 1 – $h_0=0,2$; 2 – $h_0=0,5$; 3 – $h_0=0,75$; 4 – $h_0=0,85$; a – dimensionless flow rate; b – dimensionless pressure

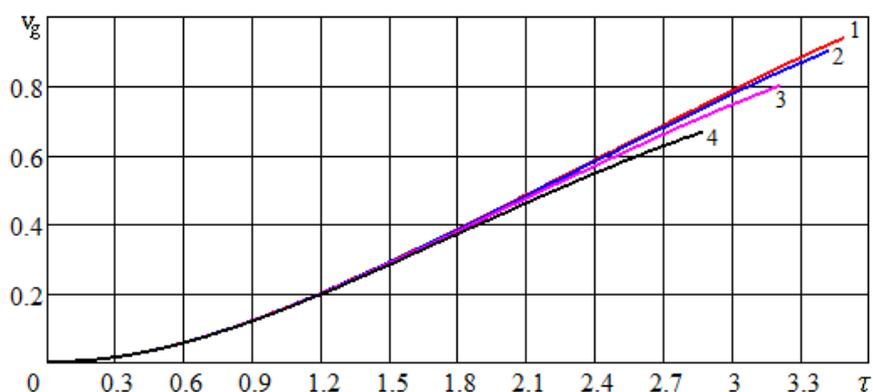


Рис. 7. Наполнение по времени рабочей емкости водорыбной смесью.
 Обозначения, как на рис. 6
 Fig. 7. Filling the working tank with a water-fish mixture according to the time.
 Notation, as in fig. 6

В таблице представлены безразмерные величины времени цикла всасывания жидкости и полезной работы, рассчитанной по формуле (10) при различных значениях высоты подъема жидкости. При увеличении h_0 и p_0 полезная механическая работа за фазу всасывания уменьшается. Заметим, что затраченная работа вакуумного насоса рассчитывается за фазу откачки воздуха (см. [8]).

Таблица. Безразмерное время фазы всасывания жидкости и полезная работа
 Table. Dimensionless liquid suction cycle time and useful work

h_0	0,2	0,5	0,75	0,85
τ_B	3,481	3,416	3,206	2,866
\bar{A}	0,799	0,786	0,720	0,612

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставлена и решена численным методом задача Коши нестационарного притока водорыбной смеси в рабочую емкость вакуумного рыбонасоса. Установлено, что критериями подобия задачи являются: p_0 – отношение начального давления в рабочей емкости к атмосферному; h_0 – безразмерная высота подъема жидкости; ζ – обобщенный коэффициент гидравлического сопротивления трубопровода; θ – отношение объемов трубопровода и рабочей емкости.

Уменьшение перепада давления в процессе всасывания становится причиной нестационарного режима течения водорыбной смеси. Применять квазистационарный метод расчета можно только при малых значениях θ . Если объем рабочего бака V_0 меньше объема всасывающего трубопровода, погрешность расчета может достигать 20 %.

Предложенный метод расчета позволяет определить влияние критериев подобия на объем водорыбной смеси, закачиваемой в рабочий резервуар за один цикл, и на величину полезной работы, которая при этом выполняется.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ООО «АгроБалтПроект» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.agrobalt.ru/> (дата обращения: 31.10.2019).
2. Environmental Technologies, Inc (ETI) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.transvac.com/> (дата обращения: 31.10.2019).
3. Euskan Fish handling systems [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.euskan.com/> (дата обращения: 31.10.2019).
4. Inventive Marine Products Limited [Электронный ресурс]. – URL: <http://inventivemarine.com/> (дата обращения: 31.07.2019).
5. Rycou Equipment Inc [Электронный ресурс]. – URL: <http://rycous.com/> (дата обращения: 31.10.2019).
6. Кудакаев, В. В. Автоматизированные гидравлические системы транспортировки рыбы из орудий лова рыбонасосами / В. В. Кудакаев, Т. П. Карпелев, А. Н. Бойцов // Известия ТИНРО. – 2016. – Т. 186. – С. 207–213.
7. Великанов, Н. Л. Компрессорные машины вакуумных рыбонасосов / Н. Л. Великанов, В. А. Наумов // Рыбное хозяйство. – 2018. – № 6. – С. 78–81.
8. Великанов, Н. Л. Динамические характеристики вакуумных насосов и компрессоров рыбонасосных установок / Н. Л. Великанов, В. А. Наумов // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 1. – С. 79–83.
9. Fox, J.A. Hydraulic analysis of unsteady flow in pipe networks / J.A. Fox. – London: Macmillan Press Ltd. 1977. – 234 p.
10. Наумов, В. А. Механика движения неоднородных сред: учебник / В. А. Наумов. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2005. – 125 с.
11. Бабаев, А. М. Гидравлика: учеб. пособие / А. М. Бабаев. – Москва: Изд-во ЭКСМО, 2008. – 192 с.
12. Фонарев, А. Л. Гидравлика: учебник / А. Л. Фонарев, В. Д. Косой, В. А. Наумов. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2004. – 133 с.

REFERENCES

1. ООО «AgroBaltProekt». Available at: <http://www.agro-balt.ru/> (Accessed 31 October 2019).
2. Environmental Technologies, Inc (ETI). Available at: <http://www.transvac.com/> (Accessed 31 October 2019).
3. Euskan Fish handling systems. Available at: <http://www.euskan.com/> (Accessed 31 October 2019).
4. Inventive Marine Products Limited. Available at: <http://inventivemarine.com/> (Accessed 31 October 2019).
5. Ryco Equipment Inc. Available at: <http://rycous.com/> (Accessed 31 October 2019).
6. Kudakaev V. V., Karpelev T. P., Boytsov A. N. Avtomatizirovannye gidravlicheskie sistemy transportirovki ryby iz orudiy lova rybonasosami [Automated hydraulic systems of fish transportation from fishing gear by fish pumps]. *Izvestiya TINRO*, 2016, vol. 186, pp. 207–213.
7. Velikanov N. L., Naumov V. A. Kompessornye mashiny vakuumnykh rybonasosov [Compressor machines of vacuum fish pumps]. *Rybnoe hozyaystvo*, 2018, no. 6, pp. 78–81.
8. Velikanov N. L., Naumov V. A. Dinamicheskie kharakteristiki vakuumnykh nasosov i kompressorov rybonasosnykh ustanovok [Dynamic characteristics of vacuum pumps and compressors of fish pump units]. *Rybnoe hozyaystvo*, 2019, no. 1, pp. 79–83.
9. Fox J. A. Hydraulic analysis of unsteady flow in pipe networks. London, Macmillian Press Ltd, 1977. 234 p.
10. Naumov V. A. *Mekhanika dvizheniya neodnorodnykh sred: uchebnik* [Mechanics of inhomogeneous media motion: textbook]. Kaliningrad, KGTU Publ., 2005, 125 p.
11. Babaev A. M. *Gidravlika: uchebnik* [Hydraulics: textbook]. Moscow, EKSMO Publ., 2008, 192 p.
12. Fonarev A. L., Kosoy V. D., Naumov V. A. *Gidravlika: uchebnik* [Hydraulics: textbook]. Kaliningrad, KGTU Publ., 2004, 133 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Наумов Владимир Аркадьевич – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой водных ресурсов и водопользования; E-mail: van-old@rambler.ru

Naumov Vladimir Arkadievich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Water Resources and Water Management; E-mail: van-old@rambler.ru

Землянов Антон Алексеевич – Калининградский государственный технический университет; студент строительного факультета; E-mail: zemlyanov99@gmail.com

Zemlyanov Anton Alekseevich – Kaliningrad State Technical University; student of the Faculty of Construction; E-mail: zemlyanov99@gmail.com

УДК 597-15

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-97-108

СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕРНО-ВЕСОВЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК НЕКОТОРЫХ ПЕЛАГИЧЕСКИХ И ДОННЫХ ВИДОВ РЫБ
ЦЕНТРАЛЬНО-ВОСТОЧНОЙ АТЛАНТИКИ

А. И. Никитенко, Д. В. Артеменков, В. А. Беляев

SPECIFIC FEATURES OF LENGTH-WEIGHT CHARACTERISTICS OF SOME
PELAGIC AND DEMERSAL FISH SPECIES OF THE CENTRAL EASTERN
ATLANTIC

A. I. Nikitenko, D. V. Artemenkov, V. A. Belayev

Центрально-Восточная Атлантика (ЦВА) является одной из самых биопродуктивных областей Мирового океана, особенно в районе Канарского апвеллинга. В настоящее время основной промысел осуществляется активными орудиями лова – пелагическими травами. В исследовании представлены параметры размерно-весовой зависимости (LWR) некоторых пелагических и донных видов рыб Центрально-Восточной Атлантики. Материалами послужили данные, полученные в ходе экспедиционных исследований по изучению мелких пелагических рыб в 2004–2017 гг. Шесть видов показали изометрический рост, четыре – положительный и два – отрицательный аллометрический рост. Сравнение дало основание полагать, что типы роста по коэффициенту b у рыб существенно отличались для одного и того же вида из разных мест обитания. Эти различия могут быть связаны с различиями в физиологическом состоянии рыб в разные сезоны года или с различиями в преобладающих условиях окружающей среды, степени наполненности желудка, зрелости гонад, пола и наличия заболеваний, а также характеристиками выборки, например диапазонами размеров, количеством отобранных особей. Результаты исследования могут быть полезны для определения тенденции аллометрического роста в зависимости от состояния численности основных промысловых и видов рыб прилова в регулировании рыболовством. Кроме того, впервые представленные здесь параметры LWR для видов *M. Senegalensis*, *T. trecae* и *B. brama*, выловленных в ЦВА, могут служить исходным материалом для сравнения с будущими исследованиями, проведенными в данном районе. Мезопелагические и эпипелагические рыбы, включенные в настоящее исследование, имеют более округлую форму, а донные рыбы – более вытянутую.

Центрально-Восточная Атлантика, LWR, длина, вес, пелагические, эпипелагические, мезопелагические, донные

The Central-Eastern Atlantic (CEA) is one of the most bioproduktive areas of the world's oceans, especially in the Canary upwelling area. At present, the main commercial fishing activities are carried out with the aid of active fishing gear – pelagic trawls.

The study presents the parameters of Length-Weight Relationships (LWR) of some pelagic and bottom fish species of the Central-Eastern Atlantic. The data obtained in the course of expedition research were used for studying of small pelagic fish in 2004–2017. Six species showed isometric growth, four species showed positive allometric growth, and two species showed negative allometric growth. The comparison showed that the types of growth by b parameter in fish differed significantly for the same species from different locations. These differences may be related to differences in the physiological state of fish in different seasons of the year, or to differences in prevailing environmental conditions, the degree of fullness of the stomach, gonad maturity, gender and the presence of diseases, and the characteristics of the sample, such as size ranges, the number of selected individuals. The results of this study can be useful for determining the trend of allometric growth depending on the state of the number of main commercial and by-catch fish species in fisheries management. In addition, the LWR parameters presented here for the first time for the species *M. Senegalensis*, *T. trecae* and *B. brama* caught in CEA can serve as a starting material for comparison with future studies conducted in this area. Mesopelagic and epipelagic fish included in this study have a more rounded shape, while bottom fish have a more elongated shape.

Central-East Atlantic, LWR, length, weight, pelagic, epipelagic, mesopelagic, bottom

ВВЕДЕНИЕ

Центрально-Восточная Атлантика (ЦВА) – одна из самых биопродуктивных областей Мирового океана, особенно в районе Канарского архипелага. Основными промысловыми районами в последние годы являются исключительно экономические зоны (ИЭЗ) Марокко и Мавритании.

Размерно-весовая зависимость (LWR) относится к числу наиболее изученных биологических характеристик видов рыб в Мировом океане. Однако в Центрально-Восточной Атлантике таких исследований не проводилось. LWR, рассчитанная по данным разных сезонов, географических регионов и пола для видов рыб может различаться. Вместе с тем LWR полезна для оценки веса при наличии данных о длине, индексов состояния тела, численности биомассы и может позволить проводить межрегиональные сравнения популяций рыб одного вида [1–3]. Для некоторых изученных видов, таких как *D. dentex* и *C. rhonchus*, параметры LWR по всему Мировому океану в научной литературе ограничены. Кроме того, насколько нам известно, в настоящее время нет никакой информации о параметрах LWR для *M. Senegalensis*, *T. trecae* и *B. brama*.

Цель исследования – представить новую информацию о LWR и закономерностях роста 12 промысловых видов рыб, выловленных в ИЭЗ Марокко и Мавритании: ставрида западноафриканская *Trachurus trecae* (Cadenat, 1950), ставрида обыкновенная *Trachurus trachurus* (Linnaeus, 1758), скумбрия *Scomber colias* (Gmelin, 1789), сардинелла круглая *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847), берикс *Beryx splendens* (Lowe, 1834), морской лещ *Brama brama* (Bonnaterre, 1788), африканский каранкс *Caranx rhonchus* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1817), мерлуза сенегальская *Merluccius senegalensis* (Cadenat, 1950), зубан обыкновенный *Dentex dentex* (Linnaeus, 1758), пагелл длиннорылый *Pagellus acarne* (Risso, 1827), рыба-

сабля *Trichiurus lepturus* (Linnaeus, 1758) и солнечник обыкновенный *Zeus faber* (Linnaeus, 1758).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор материалов производился научными наблюдателями Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО) в рамках программы мониторинга комплексных исследований мелких пелагических рыб на рыболовных судах в исключительных экономических зонах Марокко и Мавритании в периоды: январь-февраль 2004 г. (20°54'–26°03' с.ш., 14°55'–17°38' з.д.), май-июнь 2005 г. (17°10'–20°52' с.ш., 16°28'–17°52' з.д.), июль-сентябрь 2014 г. (21°11'–23°36' с.ш., 16°01'–17°25' з.д.), июнь-сентябрь 2015 г. (20°56'–23°19' с.ш., 16°42'–17°45' з.д.), февраль-апрель 2016 г. (16°06'–20°37' с.ш., 16°23'–18°38' з.д.), сентябрь-ноябрь 2017 г. (20°57'–23°41' с.ш., 16°31'–17°33' з.д.). В настоящее время основной промысел осуществляется активными орудиями лова – пелагическими тралами с размером ячеи 55–60 мм с вертикальным раскрытием – 55-70 м и горизонтальным – 140–150 м.

Соотношения длины и массы были рассчитаны степенным уравнением роста рыб (1):

$$W = a * TL^b, \quad (1)$$

где W – общий вес (в г); TL – общая длина (в см); a – коэффициент перехвата; b – коэффициент наклона логарифмически преобразованной линейной регрессии [2, 4, 5]:

$$\ln(W) = \ln(a) + b * \ln(TL). \quad (2)$$

Коэффициент наклона регрессии (b) использовался для описания трехмерного роста: при $b = 3$ рост является изометрическим; при $b < 3$ – отрицательно аллометрическим или гипоаллометрическим; а при $b > 3$ – положительно аллометрическим или гипераллометрическим. Данные о рыбах были объединены для всех лет по видам, исключив очевидные выбросы [6]. Оценки реализовали с использованием статистического языка R [7] в составе программных пакетов FSA и gfishbase [8, 9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего было проанализировано 17442 экземпляра видов рыб, относящихся к девяти семействам (Berycidae, Bramidae, Carangidae, Clupeidae, Merlucciidae, Scombridae, Sparidae, Trichiuridae, Zeidae) и 12 видам рыб. Параметры LWR с их описательной статистикой приведены в таблице.

Коэффициент наклона регрессии (b) варьировался от 2,73 для *C. rhonchus* до 3,42 для *S. colias*. Учитывая соматический тип роста, шесть видов показали изометрический рост ($2.72 < b < 3.19$), четыре вида – положительный аллометрический рост ($3,04 < b < 3,42$) и два вида продемонстрировали отрицательный аллометрический рост ($2,81 < b < 2,82$). Коэффициент детерминации (r^2) видоизменялся от 0,78 для *S. aurita* до 0,97 для *T. trachurus*.

Проведено сравнение параметров LWR, полученных в данном исследовании, с аналогичными результатами работ в Северо-Западной Атлантике [10], Кадисском заливе [11], Адриатическом море [12] и северной части Ионического моря [13]. Анализ показал, что типы роста по коэффициенту b у рыб существенно отличались для одного и того же вида из разных мест обитания. Основные различия были обнаруже-

ны для следующих видов: *Dentex dentex*, *Pagellus acarne*, *Sardinella aurita* и *Trachurus trachurus*. По нашим данным, *Dentex dentex* и *Pagellus acarne* показали изометрический рост, что отличается от результатов о положительном аллометрическом, полученном для данных объектов [11, 13]. Противоположные данные об аллометрическом типе роста были получены для *Trachurus trachurus* и *Sardinella aurita* [11, 12]. Эти различия могут быть связаны с физиологическим состоянием рыб в разные сезоны года, с изменениями в преобладающих условиях окружающей среды, степени наполненности желудка, зрелости гонад, пола, наличия заболеваний и характеристиками выборки, например диапазонами размеров, количеством отобранных особей [14–16]. Кроме того, значение b для *Scomber colias* показало расхождения с оцененными типами роста для Кадисского залива [11]. Остальные виды, представленные в данном исследовании, продемонстрировали схожие или идентичные значения параметров LWR с данными из литературных источников.

На графиках показаны рассеянные диаграммы коэффициента перехвата a над коэффициентом наклона регрессии b (рисунок), из которых видно, что оценки для рыб из Центрально-Восточной Атлантики в мезопелагиале (*T. trecae*, *T. trachurus*, *S. aurita*), эпипелагиале (*B. brama*, *S. colias*) и демерсальной зоне (*B. splendens*, *M. senegalensis*, *D. dentex*, *P. acarne*, *T. lepturus*, *Z. faber*, *C. rhonchus*) находятся в пределах значений для морских рыб, изученных в литературе для разных экологических зон Мирового океана [17]. Также необходимо отметить, что значения b обычно находятся в пределах (2,5–3,5) нормального диапазона для рыб [18]. Усредненная прерывистая линия значений b и a согласно исследованным данным выше у рыб в мезопелагической и эпипелагической зонах относительно представленной информации по рыбам из базы данных FishBase [19]. В этот же момент усредненная прерывистая линия ниже у исследованных рыб в демерсальной зоне. Дисперсия коэффициента a для данного коэффициента b в значительной степени зависит от формы тела [2, 20]. Так, у рыб, которые стремятся к сферической форме, она выше среднего значения, а к угревидной – ниже. Таким образом, мезопелагические и эпипелагические рыбы, включенные в настоящее исследование, имеют более округлую форму, а донные – более вытянутую. Вероятно, это связано с удлинённой боковой линией, улавливающей низкочастотные звуки, с помощью которых некоторые рыбы привлекают половых партнёров [21, 22], и поддержанием оптимальной крейсерской скорости плавания [23].

Таблица. Соотношение длины и веса видов рыб, выловленных в Центрально-Восточной Атлантики у берегов Африки (Марокко, Мавритания) в 2004-2017 гг.

Table. Length-Weight Relations of fish species caught in the Central East Atlantic off the coast of Africa (Morocco, Mauritania) in 2004-2017

Семейство	Вид	Год	n	TL	W	LWR параметры					
						a	b	Рост	R ²	a CL 95 %	b CL 95 %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Berycidae	<i>Beryx splendens</i>	2004*- 2005*, 2015*, 2017	313	15 - 29	70 - 544	0,013	3,182	A+	0,890	0,009 - 0,019	3,058 - 3,307
Bramidae	<i>Brama brama</i>	2015- 2016*	333	24 - 45	202 - 1604	0,005	3,316	A+	0,945	0,004 - 0,007	3,230 - 3,402
	<i>Trachurus trecae</i>	2004*- 2005*, 2016*	2845	12 - 49	17 - 1465	0,013	2,987	I	0,943	0,012 - 0,014	2,959 - 3,014
Carangidae	<i>Trachurus trachurus</i>	2005, 2014*- 2017*	4735	11 - 46	20 - 1070	0,009	3,102	A+	0,970	0,008 - 0,009	3,087 - 3,118
	<i>Caranx rhonchus</i>	2014	34	24 - 33	190 - 480	0,038	2,728	I	0,902	0,013 - 0,113	2,405 - 3,051
Clupeidae	<i>Sardinella aurita</i>	2014- 2015, 2017	1099	21 - 31	120 - 538	0,028	2,817	A-	0,778	0,021 - 0,038	2,727 - 2,906
Merlucciidae	<i>Merluccius senegalensis</i>	2004, 2014- 2016*	394	24 - 75	90 - 2845	0,013	2,826	A-	0,963	0,007 - 0,024	2,666 - 2,985

Окончание таблицы											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Scombridae	<i>Scomber colias</i>	2004*-, 2005*, 2014*-, 2017*	7165	12 - 46	12,3 - 1490	0,0031	3,422	A+	0,955	0,0029 - 0,0033	3,405 - 3,439
Sparidae	<i>Dentex dentex</i>	2004*	266	12 - 31	30 - 570	0,0191	3,036	I	0,951	0,0149 - 0,0246	2,953 - 3,120
	<i>Pagellus acarne</i>	2004, 2014	75	19 - 29	113 - 508	0,011	3,194	I	0,872	0,004 - 0,027	2,908 - 3,479
Trichiuridae	<i>Trichiurus lepturus</i>	2005*	107	31 - 149	20 - 4140	0,001	3,124	I	0,894	0,000 - 0,001	2,916 - 3,333
Zeidae	<i>Zeus faber</i>	2004	76	16 - 46	63 - 1208	0,020	2,884	I-	0,847	0,007 - 0,053	2,600 - 3,169

*Ювенальные особи были включены

Примечание. n – объем выборки, экз.; TL – общая длина (минимум – максимум), см; W – масса тела (минимум – максимум), г; a – коэффициент перехвата; b – коэффициент наклона регрессии; R^2 – коэффициент детерминации; а CL 95 % и b CL 95 % – 95%-ные доверительные интервалы для параметров a и b .

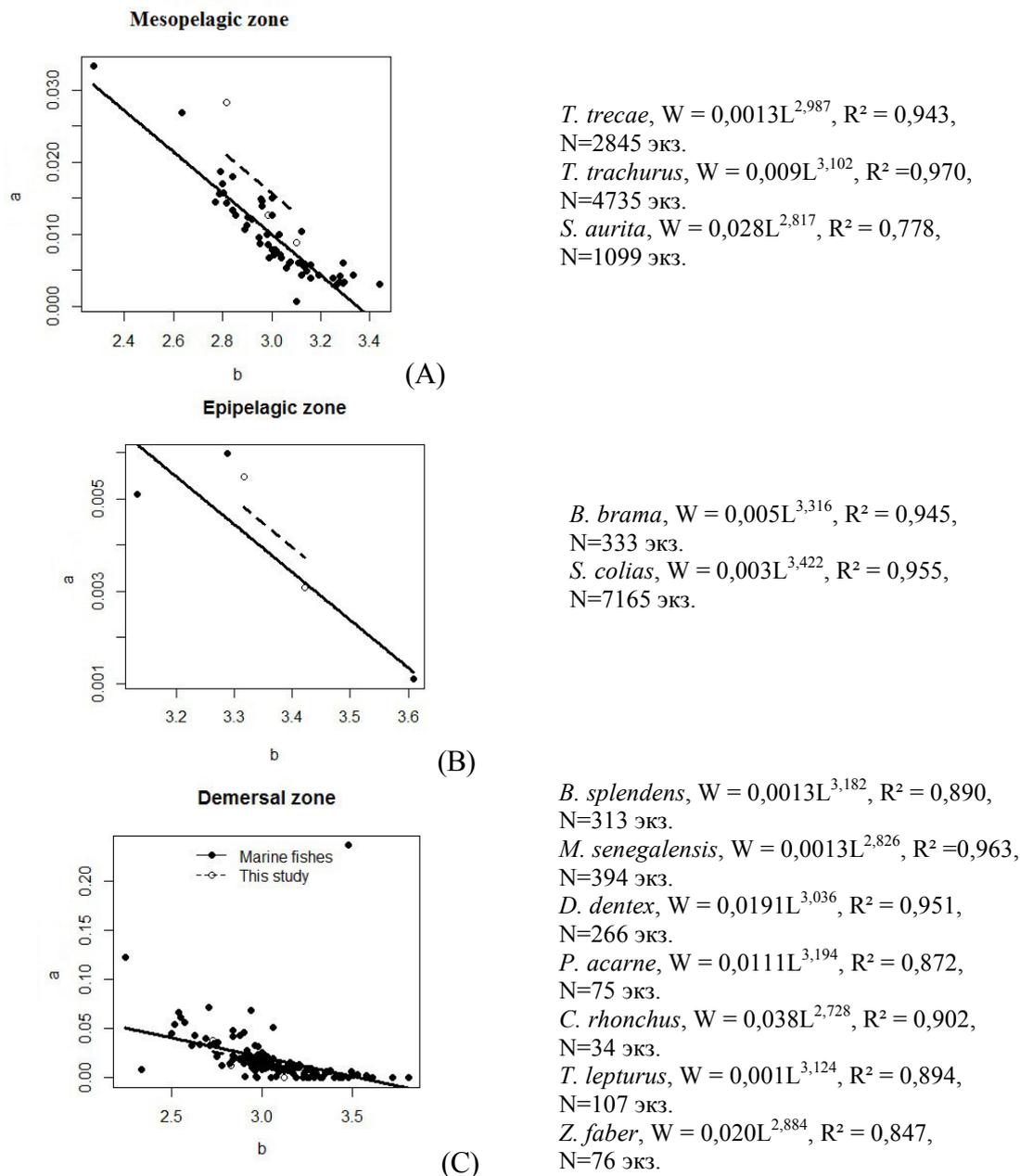


Рис. Графики коэффициентов зависимости длина-масса у трех мезопелагических (А), двух эпипелагических (В) и семи донных видов рыб (С) в Центрально-Восточной Атлантике наложены на аналогичные виды 188 морских рыб, представленных в литературных данных [13]; диагональная линия – усредненная линия коэффициентов для морских рыб; прерывистая линия – усредненная линия коэффициентов для исследованных рыб

Fig. Plots of LWR parameters for 3 mesopelagic (A), 2 epipelagic (B) and 7 demersal fish species (C) in the Central East Atlantic are superimposed on similar species of 188 marine fish presented in the literature [13]; diagonal line – averaged line of coefficients for marine fish; dashed line – averaged line of coefficients for the studied fish

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аллометрические аномалии и тенденции могут рассматриваться как следствие адаптации, например, онтогенетических, репродуктивных или экологических изменений [2]. Результаты настоящего исследования могут быть полезны для определения тенденции аллометрического роста в зависимости от состояния численности основных промысловых и видов рыб прилова в регулировании рыболовством. Кроме того, впервые представленные здесь параметры LWR для видов *M. Senegalensis*, *T. trecae* и *B. brama*, выловленных в ЦВА, могут служить исходным материалом для сравнения с будущими исследованиями, проведенными в данном районе.

По результатам исследования мезопелагические и эпипелагические рыбы имеют более округлую форму, а донные – более вытянутую.

Работа проводилась при поддержке Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»). Мы хотели бы выразить нашу благодарность всем, кто принимал участие в сборе образцов и измерениях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Okgerman, H. Seasonal variations in the length-weight relationship and condition factor of rudd (*Scardinius erythrophthalmus* L.) in Sapanca Lake / H. Okgerman // International Journal of Zoological Research – 2005. – Vol. 1. – Pp. 6–10.
2. Froese, R. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations / R. Froese // Journal of Applied Ichthyology. – 2006. – Vol. 22. – P. 241–253.
3. Siegle, M.R. The effect of region, body size, and sample size on the weight-length relationships of small-bodied fishes found in eelgrass meadows / M.R. Siegle, C.L.K. Robinson, J. Yakimishyn // Northwest Science. – 2014. – Vol. 88. – Pp. 140–154.
4. Le Cren, E.D. The Length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*) / E.D. Le Cren // Journal of Animal Ecology. – 1951. – Vol. 20. – P. 201–219.
5. Ricker, W.E. Linear regressions in fishery research / W.E. Ricker // Journal of the Fisheries Research Board of Canada. – 1973. – Vol. 30. – P. 409–434.
6. Froese, R. Editorial note on weight-length relations of fishes / R. Froese, A.C. Tsikliras, K.I. Stergiou // Acta Ichthyologica et Piscatoria. – 2011. – Vol. 41. – Pp. 261–263.
7. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved from: <http://www.R-project.org/> Accessed on 05 June 2018.
8. Ogle, D.H. FSA: Fisheries Stock Analysis. R package version 0.8.22.9000. / D.H. Ogle, P. Wheeler, A. Dinno // Retrieved from: <https://github.com/droglenc/FSA> Accessed on 7 August 2018.

9. Boettiger, C. rfishbase: exploring, manipulating and visualizing FishBase data from R. R package version 17.07. <https://github.com/ropensci/rfishbase> / C. Boettiger, D. Temple Lang, P.C. Wainwright // Journal of Fish Biology. – 2012. – Vol. 81. – P. 2030–2039.
10. Meiners-Mandujano, C. Length–weight relations of 15 deep-sea fish species (Actinopterygii) from the north-western African continental slope/ C. Meiners-Mandujano, L. Fernández-Peralta, A. Faraj, R. García-Cancela // Acta Ichthyol. Piscat. – 2018. – Vol. 48. – P. 195–198.
11. Torres, M. A. Length–weight relationships of 76 fish species from the Gulf of Cadiz (SW Spain) / M. A. Torres, F. Ramos, I. Sobrino // Fisheries Research. – 2012. – P. 171–175. doi:10.1016/j.fishres.2012.02.001
12. Mustać, B. Age and growth pattern of the round sardinella *Sardinella aurita Valenciennes, 1847 (Clupeidae)* in the eastern central Adriatic Sea / B. Mustać, G. Sironovic // Cahiers de Biologie Marine. – 2011. – Vol. 52. – P. 177–186.
13. Evagelopoulos, A. Length - Weight Relationships of 12 Commercial Fish Species Caught with Static Fishing Gear in the N. Ionian Sea (Greece) / A. Evagelopoulos, I.E. Batjaka, E. Spinos, V. Bakopoulo // Thalassas: An International Journal of Marine Sciences. – 2020. – Vol. 36. – P. 37–40.
14. Li, Q. Length-weight relations for 20 fish species from the Pearl River, China. / Q. Li, R. Xu, J. Huang // Acta Ichthyologica et Piscatoria. – 2013. – Vol. 43. – Pp. 65–69.
15. Hossain, M.Y. Length-weight relationships of nine fish species from the Tetulia River, southern Bangladesh. / M.Y. Hossain, S.R.M. Sayed, R.M. Mosaddequr, M.M. Ali, M.A. Hossen, A.M. Elgorban, Z.F. Ahmed, J. Ohtomi // Journal of Applied Ichthyology. – 2015. – Vol. 31. – P. 967–969.
16. Tobes, I. Length-weight relationships of freshwater fishes of the AltoMadre de Dios River (Manu Biosphere Reserve, Peru). / I. Tobes, R. Miranda, A. Pino-del-Carpio, J. M. Araujo-Flores, H. Ortega // Journal of Applied Ichthyology. – 2016. – Vol. 32. – P. 1256–1258.
17. Binohlan, C. The length–weight table. In: FishBase 2000: concepts, design and data sources. / C. Binohlan, D. Pauly // ICLARM. – 2000. P. 131–134.
18. Carlander, K. D. Handbook of freshwater fishery biology. The Iowa State University Press, Iowa. 1969. – 752 p.
19. Froese, R. FishBase. World Wide Web electronic publication. / R. Froese, D. Pauly // Retrieved from: <http://www.fishbase.org/> Accessed on 15 October 2018.
20. Kulbicki, M. A general approach to length–weight relationships for New Caledonian lagoon fishes. / M. Kulbicki, N. Guillemot, N. Amand // Cybium. – 2005. – Vol. 29. – P. 235–252.
21. Moyle, P.B. Fishes: An Introduction to Ichthyology (5th Edition) / P.B. Moyle, J.J. Cech // Prentice-Hall. – New Jersey. – 2004. – 745 p.
22. Haedrich, R.L. Deep-water fishes: evolution and adaptation in the earth's largest living spaces / R. L. Haedrich // Journal of Fish Biology. – 1996. – Vol. 49. P. 40–53. doi:10.1111/j.1095-8649.1996.tb06066.x

23. Weiks, D. Optimal fish cruising speed / D. Weiks // Nature. – 1973. – Pp. 48–50.

REFERENCES

1. Okgerman H. Seasonal variations in the length-weight relationship and condition factor of rudd (*Scardinius erythrophthalmus* L.) in Sapanca Lake. *International Journal of Zoological Research*, 2005, vol. 1, pp. 6–10.
2. Froese R. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 2006. vol. 22, pp. 241–253.
3. Siegle M.R., Robinson C.L.K., Yakimishyn J. The effect of region, body size, and sample size on the weight-length relationships of small-bodied fishes found in eelgrass meadows. *Northwest Science*, 2014, vol. 88, pp. 140–154.
4. Le Cren E.D. The Length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology*, 1951, vol. 20, pp. 201–219.
5. Ricker W.E. Linear regressions in fishery research. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1973, vol. 30, pp. 409–434.
6. Froese R., Tsikliras A.C., Stergiou K.I. Editorial note on weight-length relations of fishes. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 2011, vol. 41, pp. 261–263.
7. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <http://www.R-project.org> (Accessed 05 June 2018).
8. Ogle D.H., Wheeler P., Dinno A. FSA: Fisheries Stock Analysis. R package version 0.8.22.9000. Available at: <https://github.com/droglenc/FSA> (Accessed 7 August 2018).
9. Boettiger C., Temple Lang D., Wainwright P.C. rfishbase: exploring, manipulating and visualizing FishBase data from R. R package version 17.07. <https://github.com/ropensci/rfishbase>. *Journal of Fish Biology*, 2012, vol. 81, pp. 2030–2039.
10. Meiners-Mandujano C., Fernández-Peralta L., Faraj A., García-Cancela R. Lengthweight relations of 15 deep-sea fish species (Actinopterygii) from the north-western African continental slope. *Acta Ichthyol. Piscat*, 2018, vol. 48, pp. 195–198.
11. Torres M. A., Ramos F., Sobrino I. Lengthweight relationships of 76 fish species from the Gulf of Cadiz (SW Spain). *Fisheries Research*, 2012, pp. 171–175. doi:10.1016/j.fishres.2012.02.001.
12. Mustać B., Sinovcic G. Age and growth pattern of the round sardinella *Sardinella aurita Valenciennes, 1847 (Clupeidae)* in the eastern central Adriatic Sea. *Cahiers de Biologie Marine*, 2011, vol. 52, pp. 177–186.
13. Evagelopoulos A., Batjaka IE., Spinou E., Bakopoulou V. Length-Weight Relationships of 12 Commercial Fish Species Caught with Static Fishing Gear in the N.

Ionian Sea (Greece). *Thalassas: an International Journal of Marine Sciences*, 2020, vol. 36, pp. 37–40.

14. Li Q., Xu R., Huang J. Length-weight relations for 20 fish species from the Pearl River, China. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 2013, vol. 43, pp. 65–69.

15. Hossain M. Y., Sayed S. R. M., Mosaddequr R. M., Ali M. M., Hossen M. A., Elgorban A. M., Ahmed Z. F., Ohtomi J. Length-weight relationships of nine fish species from the Tetulia River, southern Bangladesh. *Journal of Applied Ichthyology*, 2015, vol. 31, pp. 967–969.

16. Tobes I., Miranda R., Pino-del-Carpio A., Araujo-Flores J. M., Ortega H. Length-weight relationships of freshwater fishes of the AltoMadre de Dios River (Manu Biosphere Reserve, Peru). *Journal of Applied Ichthyology*, 2016, vol. 32, pp. 1256–1258.

17. Binohlan C., Pauly D. The lengthweight table. In: FishBase 2000: concepts, design and data sources. *ICLARM*, 2000, pp. 131–134.

18. Carlander K. D. Handbook of freshwater fishery biology. *The Iowa State University Press*, 1969, 752 p.

19. Froese R., Pauly D. FishBase. World Wide Web electronic publication. Available at: <http://www.fishbase.org/> (Accessed 15 October 2018).

20. Kulbicki M., Guillemot N., Amand N. A general approach to length-weight relationships for New Caledonian lagoon fishes. *Cybium*, 2005, vol. 29, pp. 235–252.

21. Moyle P. B., Cech J. J. Fishes: An Introduction to Ichthyology (5th Edition). *Prentice-Hall*, 2004, 745 p.

22. Haedrich R. L. Deep-water fishes: evolution and adaptation in the earth's largest living spaces. *Journal of Fish Biology*, 1996, vol. 49, pp. 40–53. doi:10.1111/j.1095-8649.1996.tb06066.x

23. Weiks D. Optimal fish cruising speed. *Nature*, 1973, pp. 48–50.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Никитенко Алексей Иванович – Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»), Московская обл.; специалист лаборатории водных биоресурсов; E-mail: alexey_nikitenko90@mail.ru

Nikitenko Alexey Ivanovich – Branch for the freshwater fisheries of “VNIRO” (“VNIIPRKH”), Moscow region; specialist of the laboratory of biological resources; E-mail: alexey_nikitenko90@mail.ru

Артеменков Дмитрий Владимирович – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии («ВНИРО»); кандидат сельскохозяйственных наук; старший научный сотрудник департамента гидробионтов; E-mail: artemenkov@vniro.ru

Artemenkov Dmitriy Vladimirovich – Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (“VNIRO”); PhD in Agriculture; Senior Researcher of the Department of Hydrobionts; E-mail: artemenkov@vniro.ru

Беляев Владимир Алексеевич – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии («ВНИРО»); доктор биологических наук, профессор; руководитель департамента международного сотрудничества; E-mail: belsea@inbox.ru

Belyaev Vladimir Alekseevich – Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (“VNIRO”); Doctor of Bioscience, Professor; Head of the Department of International Cooperation; E-mail: belsea@inbox.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 664:542.69

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-111-118

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ НАСЫПИ
КРАХМАЛ- ИЛИ ПЕКТИНСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ
ПРИ ВНУТРЕННЕМ САМОСОГРЕВАНИИ

Г. В. Алексеев, О. А. Егорова, А. Г. Лей, И. П. Юхник

MODELING OF THE TEMPERATURE PATTERN
OF A STARCH- OR PECTIN-CONTAINING RAW MATERIALS BULK
IN THE PRESENCE OF INTERNAL SELF-HEATING

G. V. Alekseev, O. A. Egorova, A. G. Leu, I. P. Yukhnik

Настоящая статья посвящена изучению распределения температур по объему насыпи пищевого, крахмал- или пектинсодержащего сырья при его хранении в специализированных силосах. Объектом исследований явились краевые условия для хранения сырья в среде, максимально соответствующей реальным условиям при активном вентилировании. Несмотря на важность решения вопросов, связанных с прогнозированием формирования тепло-влажностных полей при хранении изучаемых насыпей и зависящих от них изменений технологических свойств сырья, в настоящее время имеющихся математических описаний этих сопряженных явлений недостаточно. Это объясняется сложностью и малоизученностью процессов хранения пищевых насыпей как на микро-, так и на макроуровне. Такие массы представляют собой систему с распределенными параметрами. Существенной особенностью, значительно влияющей на изучаемые распределения температур, является возможность возникновения в пищевых насыпях такого рода новых внутренних источников теплоты и влаги. Образование подобных источников обусловлено в некоторых случаях эффектом «самосогревания», появляющимся благодаря происходящим в насыпи биологическим процессам типа «дыхания» отдельных ее элементов, как, например, внутри хранящейся зерновой массы. В связи с этим возможность прогнозирования полей тепло- и влагосодержания зависит, с одной стороны, от полноты необходимой информации о влажности и температуре компонентов массы в исходный момент, с другой – от надежности математической модели, способной на основе этой информации, используемой для задания краевых условий и теплофизических констант, описать реальные процессы теплопереноса в насыпи. Актуальность статьи состоит в том, что анализ характера особенностей тепломассобмена в дискретной насыпи пищевого продукта может быть осуществлен только на основании сформированных аналитических моделей.

тепло-влажностные поля, технологические свойства сырья, сопряженные явления, система с распределенными параметрами, прогнозирование температурных полей, математическая модель, краевые условия, теплофизические константы, процессы теплопереноса

This article is devoted to determining temperature distribution by volume of the embankment of food, starch or pectin-containing raw materials during storage in specialized silos. The object of research was the boundary conditions for storage under conditions that are most appropriate for real conditions with active ventilation. Despite the importance of solving issues related to the prediction of the formation of heat-moisture fields during storage of the studied embankments and the changes in the technological properties of the raw materials that depend on them, currently available mathematical descriptions of these conjugate phenomena are not enough. This is due to the complexity and poorly studied processes of storing food embankments at both the micro and macro levels. Such masses are a system with distributed parameters. A significant feature that largely affects the studied temperature distributions is the possibility of new internal sources of heat and moisture appearing in food bulks of this type. Formation of such sources in some cases is based on the effect of "self-heating", which appears due to biological processes occurring in mounds, such as "breathing" of individual elements of the bulk, such as inside stored grain mass. In this regard, possibility of predicting the fields of heat and moisture content depends, on the one hand, on the completeness of the necessary information about the humidity and temperature of the components of the mass at the initial moment, and on the other hand, on the reliability of the mathematical model, which is capable of setting boundary conditions based on this information and thermophysical constants, describe the real processes of heat transfer in the embankment. The relevance of the article lies in the fact that the analysis of the nature of the features of heat and mass transfer in the discrete embankment of a food product can be carried out only on the basis of the formed analytical models.

heat-moisture fields, technological properties of raw materials, conjugate phenomena, distributed-parameter system, temperature pattern forecasting, mathematical model, boundary conditions, thermophysical constants, heat transfer processes

ВВЕДЕНИЕ

Известные математические модели температурных режимов хранения дискретных пищевых насыпей разрабатывались для целей построения систем автоматического регулирования режима хранения сельскохозяйственных продуктов. При этом в качестве моделей температурного поля очага самосогревания, которое инициируется биологическими процессами, протекающими в таких насыпях, например дыханием отдельных частиц сохраняемого продукта, используют, как правило, системы с распределенными параметрами при весьма существенных ограничениях, накладываемых на изучаемый процесс. В большинстве работ насыпная масса рассматривается как сплошная теплофизическая среда, в которой передача тепла осуществляется механизмом кондуктивной теплопроводности. Развитие полей тепло- и влагосодержания в насыпях пектино- и крахмалсодержащего сырья моделируется законами феноменологической теории тепломассообмена в сплошных средах. В работах [1–3] получены уравнения распространения тепла в такого рода насыпи благодаря возникновению очага самосогревания в виде пластин, цилиндра и шара.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Примем, что изменение температуры в произвольный момент времени в любой точке греющего пласта насыпи сырья толщиной $2R$ зависит от температуры окружающего его массива, имеющего свой тепловой фон. Найдем эту зависимость с помощью дифференциальных уравнений теплопроводности:

для пласта

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial t_1}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial z} \right) + q_u, \quad (1)$$

для окружающего насыпного массива

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial t_2}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial z} \right) + q_0, \quad (2)$$

где τ – продолжительность процесса; z – расстояние от средней плоскости греющего пласта; ρ – плотность насыпного массива; c – удельная теплоемкость насыпного массива; λ – коэффициент теплопроводности насыпного массива; t – температура в рассматриваемой точке насыпного массива; q_0 – интенсивность тепловыделения (тепловой фон) насыпного массива, окружающего греющий пласт; q_u – интенсивность тепловыделения греющего пласта повышенной физиологической активности.

Индекс 1 относится к греющему пласту, индекс 2 – к окружающей среде.

Систему уравнений (1)–(2) будем решать на основе принципа суперпозиции при следующих упрощающих предпосылках. Температура греющего пласта в начальный момент времени одинакова по всему объему и равна $\int_1(x, 0) = t_o$, а в окружающем пласт массиве насыпи пищевого сырья равна $\int_2(x, 0) = t_c$; рассматривается насыпь достаточно больших размеров (неограниченная пластина); тепловое взаимодействие между очагом самосогревания и окружающим массивом происходит по закону теплопроводности; интенсивность тепловыделения пласта q_u и окружающего массива q_0 постоянны во времени; теплофизические характеристики пищевого сырья в пласте и массиве приняты постоянными, но в общем случае отличными друг от друга [4].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Получим решение задачи с соответствующими краевыми условиями в предположении $t_o = t_c$

для греющего пласта

$$t_1(z_1, \tau) - t_o = \frac{\left(q_u - q_0 \frac{\rho_1 c_1}{\rho_1 c_1} \right) \tau}{\rho_1 c_1} \left(1 - \frac{4}{1 + k_c} F_1 \right) + \frac{q_0 \tau}{\rho_2 c_2}, \quad (3)$$

где через F_1 обозначена сумма

$$F_1 = \sum_{n=1}^{\infty} (-h)^{n-1} \left[\operatorname{erf} \int c \frac{(2n-1) - \frac{z}{R}}{2\sqrt{Fo_1}} + \operatorname{erf} \int c \frac{(2n-1) + \frac{z}{R}}{2\sqrt{Fo_1}} \right]; \quad (4)$$

для насыпного массива

$$t_2(z_1\tau) - t_0 = \frac{\left(q_u - q_0 \frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 c_2} \right) \tau}{\rho_1 c_1} \frac{4k_c}{1+k_c} \times \\ \times \left(-\operatorname{erf} \int c \frac{\frac{z}{R} - 1}{2\sqrt{Fo_2}} - \frac{2}{1+k_c} F_2 \right) + \frac{q_0 \tau}{\rho_2 c_2}, \quad (5)$$

где

$$F_2 = \sum_{n=1}^{\infty} (-h)^{n-1} (-1) \operatorname{erf} \int c \frac{2nk_0^{\frac{1}{2}} + \frac{z}{R} - 1}{2\sqrt{Fo_2}}.$$

В записанных уравнениях a – коэффициент температуропроводности насыпи пищевого сырья; $k_c = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \sqrt{\frac{\rho_1 c_1 \lambda_1}{\rho_2 c_2 \lambda_2}}$ – критерий теплоусвоения; $h = \frac{1-k_c}{1+k_c}$; $k_a = \frac{a_1}{a_2}$ – критерий, характеризующий теплоинерционные свойства среды относительно пластины; $Fo_1 = \frac{a_1 \tau}{R^2}$ и $Fo_2 = \frac{a_2 \tau}{R^2}$ – числа Фурье соответственно для пластины и среды;

$$\operatorname{erfc}x = 1 - \operatorname{erf}x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-x^2) dx, \quad (6)$$

где $\operatorname{erfc}x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-x^2) dx$ – функция ошибок Гаусса.

Из решения (3)–(6) получены частные упрощенные случаи. Экспериментальная проверка зерна влажностью 20–22 % для пласта самосогревания и 13–14 % для насыпного массива подтвердила справедливость полученных зависимостей.

В работе [5] проведен теоретический анализ тепло- и массопереноса в слое насыпи пищевых брикетов при наличии греющего пласта с постоянной интенсивностью тепловыделения.

Для проведения такого анализа принималось, что в насыпи имеется слой пищевого сырья толщиной $2R$ с повышенной температурой и влагосодержанием (рисунок).

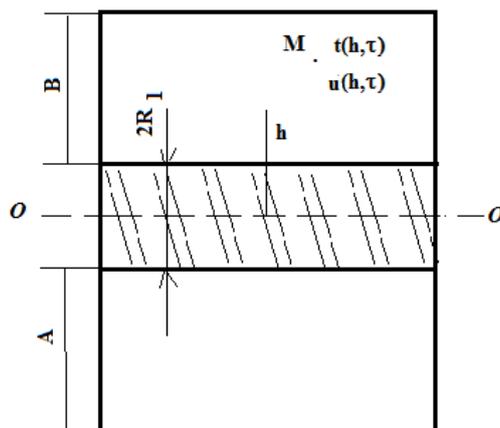


Рис. Графическая интерпретация начальных условий: A, B – расстояние от основания емкости для хранения; $2R_1$ – толщина греющего пласта (источника самосогрева); h – расстояние от центра греющего пласта

Fig. Graphical interpretation of initial conditions: A, B – distance from the base of the storage container; $2R_1$ – thickness of the heating layer (self-heating source); h – distance from the center of the heating layer

Согласно [6-8] тепло- и влагоперенос в слое пищевого сырья с повышенной температурой при $h < R$ описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial t_1(h, \tau)}{\partial \tau} = \left(a + a_m \delta \varepsilon v \frac{c_m}{c_q} \right) \frac{\partial^2 t_1(h, \tau)}{\partial h^2} + \varepsilon v \frac{c_m}{c_q} a_m \frac{\partial^2 u_1(h, \tau)}{\partial h^2} + \frac{q_1}{c_q \rho} \\ \frac{\partial u_1(h, \tau)}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 u_1(h, \tau)}{\partial h^2} + a_m \delta \frac{\partial^2 t_1(h, \tau)}{\partial h^2} \end{cases},$$

где t_1 – температура греющего источника; u_1 – влагосодержание греющего источника; a – температуропроводность пищевого сырья; a_m – коэффициент диффузии влаги брикетов; δ – термоградиентный коэффициент пищевого сырья; ε – критерий фазового превращения; v – теплота фазового превращения; c_m – удельная изотермическая влагоемкость пищевого сырья; ρ – плотность пищевого сырья; q_1 – количество тепла, выделяемого единицей объема греющего пласта в единицу времени; τ – время.

Тепло- и влагоперенос в пищевом сырье на расстоянии $h > R$ от центра греющего пласта на основании приведенных выше рассуждений и некоторых упрощений может быть описан следующей системой уравнений [9, 10]:

$$\begin{cases} \frac{\partial t_2(h, \tau)}{\partial \tau} = \left(a + a_m \delta \varepsilon v \frac{c_m}{c_q} \right) \frac{\partial^2 t_2(h, \tau)}{\partial h^2} + \varepsilon v \frac{c_m}{c_q} a_m \frac{\partial^2 u_2(h, \tau)}{\partial h^2} + \frac{q_2}{c_q \rho} \\ \frac{\partial u_2(h, \tau)}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 u_2(h, \tau)}{\partial h^2} + a_m \delta \frac{\partial^2 t_2(h, \tau)}{\partial h^2} \end{cases},$$

где t_2 – температура пищевого сырья, окружающего греющий пласт; u_2 – влагосодержание пищевого сырья, окружающего греющий пласт; q_2 – количество тепла, выделяемого пищевым сырьем, в окружающую насыпь, в единицу времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для соответствующих начальных и граничных условий записанных выше систем дифференциальных уравнений получено решение, описывающее температурное поле насыпи:

$$t_2(h, \tau) = t_2 + \frac{q_2 \tau}{c_2 \rho} + \frac{2\tau(q_2 - q_1)}{c_2 \rho} \left(t_1 \operatorname{erfc} \frac{R + |h|}{2\sqrt{a\tau}} - t_1 \operatorname{erfc} \frac{|h| - R}{2\sqrt{a\tau}} \right) + \frac{t_2 - t_1}{2} \left(\operatorname{erfc} \frac{R + |h|}{2\sqrt{a\tau}} - \operatorname{erfc} \frac{|h| - R}{2\sqrt{a\tau}} \right).$$

Полученное решение опирается на теплоизолированность боковых стенок хранилища и пренебрежение теплообменом через его основание, а также условие тепло- и влагопередачи между отдельными элементами только путем теплопроводности. Для некоторых режимов хранения оно может иметь существенные погрешности по сравнению с реальным распределением поля температур и поэтому для практического использования требует дополнительной экспериментальной проверки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аттетков, А. В. Влияние подвижности границы на температурное поле полупространства в нестационарных условиях теплообмена с внешней средой / А. В. Аттетков, П. А. Власов, И. К. Волков // Инженерно-физический журнал. – 2002. – Т. 75, № 6. – С. 172–178.
2. Беляков, Н. С. Неидеальный тепловой контакт тел при трении / Н. С. Беляков, А. П. Носко. – Москва: Книжный дом Либроком, 2010. – 104 с.
3. Видин, Ю. В. Расчёт теплопроводности твёрдых тел при переменных коэффициентах теплоотдачи / Ю. В. Видин // Теплообмен ММФ-2000: IV Минский междунар. форум: труды: в 10 т. – Минск, 2000. – Т. 3. – С. 386–388.
4. Карташов, Э. М. Об одном классе интегральных преобразований для обобщённого уравнения нестационарной теплопроводности / Э. М. Карташов // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81, № 1. – С. 123–130.
5. Alekseev G.V., Voronenko B.A., Egorova O., Leu A.G., Goncharov M.V. Analytical research of heat and mass transfer in bulks of food raw materials in the presence of self-heating hearths // Journal of Physics: Conference Series, 2020, Vol. 1515, No. 5, pp. 52038 [Электронный ресурс]. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1515/5/052038/pdf> (дата обращения 22.07.2020)
6. Меснянкин, С. Ю. Контактная теплопроводность и пути её увеличения / С. Ю. Меснянкин // Теплообмен ММФ-2000: IV Минский междунар. форум: труды: в 10 т. – Минск, 2000. – Т. 3. – С. 363–366.
7. Пинскер, В. А. Нестационарное температурное поле в полуограниченном теле, нагреваемом круговым поверхностным источником тепла / В. А. Пинскер // Теплофизика высоких температур. – 2006. – Т. 44, № 1. – С. 127–135.
8. Алексеев, Г. В. Ресурсосберегающие направления развития абразивной обработки пищевых материалов / Г. В. Алексеев, М. И. Дмитриченко, М. В. Гончаров // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2013. – № 4 (26). – С. 57–61.

9. Литвяк, В. В. Морфология крахмала и крахмалопродуктов / В. В. Литвяк, Н. К. Юркштович, С. М. Бутрим, В. В. Москва. – Минск: Белорусская наука, 2013. – 217 с.

10. Алексеев, Г. В. Абразивная обработка картофеля и овощей с дискретным энергоподводом / Г. В. Алексеев, Н. А. Мосина. – Саратов: Вузовское образование, 2013. – 115 с.

REFERENCES

1. Attetkov A. V., Vlasov P. A., Volkov I. K. Vliyanie podvizhnosti granitsy na temperaturnoe pole poluprostranstva v nestatsionarnykh usloviyakh teploobmena s vneshney sredoy [Influence of boundary mobility on the temperature field of half-space in non-stationary conditions of heat exchange with the external environment]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*, 2002, vol. 75, no. 6, pp. 172–178.

2. Belyakov N. S., Nosko A. P. *Neideal'nyy teplovoy kontakt tel pri trenii* [Imperfect thermal contact of bodies during friction]. Moscow, Knizhnyy dom Librokom, 2010, 104 p.

3. Vidin Yu. V. Raschyot teploprovodnosti tvyordykh tel pri peremennykh koefitsientakh teplootdachi [Calculation of thermal conductivity of solids with variable heat transfer coefficients]. *Trudy IV Minskogo mezhdunarodnogo foruma "Teplomassoobmen MMF-2000"*, Minsk, 2000, vol. 3, pp. 386–388.

4. Kartashov E. M. Ob odnom klasse integral'nykh preobrazovaniy dlya obobshchyonnogo uravneniya nestatsionarnoy teploprovodnosti [On one class of integral transformations for the generalized equation of nonstationary thermal conductivity]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*, 2008, vol. 81, no. 1, pp. 123–130.

5. Alekseev G. V., Voronenko B. A., Egorova O. A., Leu A. G., Goncharov M. V. Analytical research of heat and mass transfer in bulks of food raw materials in the presence of self-heating hearths. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1515, no. 5, pp. 52038. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1515/5/052038/pdf> (Accessed 22 July 2020).

6. Mesnyankin S. Yu. Kontaktnaya teploprovodnost' i puti eyo uvelicheniya [Contact thermal conductivity and ways to increase it]. *Trudy IV Minskogo mezhdunarodnogo foruma "Teplomassoobmen MMF-2000"*, 2000, vol. 3, pp. 363–366.

7. Pinsker V. A. Nestatsionarnoe temperaturnoe pole v poluogranichennom tele, nagrevaemom krugovym poverkhnostnym istochnikom tepla [Non-stationary temperature field in a semi-bounded body heated by a circular surface heat source]. *Teplofizika vysokikh temperatur*, 2006, vol. 44, no. 1, pp. 127–135.

8. Alekseev G. V., Dmitrichenko M. I., Goncharov M. V. Resursosberegayushchie napravleniya razvitiya abrazivnoy obrabotki pishchevykh materialov [Resource-saving directions of development of abrasive processing of food materials]. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*, 2013, no. 4 (26), pp. 57–61.

9. Litvyak V. V., Yurkshtovich N. K., Butrim S. M., Moskva V. V. *Morfologiya krakhmala i krakhmaloproduktov* [Morphology of starch and starch products]. Minsk, Belorusskaya nauka, 2013, 217 p.

10. Alekseev G. V., Mosina N. A. *Abrazivnaya obrabotka kartofelya i ovoshchey s diskretnym energopodvodom* [Abrasive processing of potatoes and vegetables with discrete power supply]. Saratov, 2013, 115 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексеев Геннадий Валентинович – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО); доктор технических наук, профессор факультета пищевых биотехнологий и инженерии; E-mail: gva2003@mail.ru

Alekseev Gennadiy Valentinovich – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University); Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Faculty of Food Biotechnology and Engineering; E-mail: gva2003@mail.ru

Егорова Ольга Алексеевна – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО); аспирант факультета пищевых биотехнологий и инженерии; E-mail: jeerol@list.ru

Egorova Ol'ga Alekseevna – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University); Post-graduate student of the Faculty of Food Biotechnology and Engineering; E-mail: jeerol@list.ru

Леу Анна Геннадьевна – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО); аспирант факультета пищевых биотехнологий и инженерии; E-mail: leu1986@mail.ru

Leu Anna Gennadievna – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University); Post-graduate student of the Faculty of Food Biotechnology and Engineering; E-mail: leu1986@mail.ru

Юхник Иван Петрович – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО); аспирант факультета пищевых биотехнологий и инженерии; E-mail: uhnik@mail.ru

Yukhnik Ivan Petrovich – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University); Post-graduate student of the Faculty of Food Biotechnology and Engineering; E-mail: uhnik@mail.ru

УДК 637.5.037

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-119-131

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ПОЛУФАБРИКАТА ИЗ МЯСА ПТИЦЫ,
ОБОГАЩЕННОГО РАСТИТЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

М. Н. Альшевская, О. В. Анистратова, И. И. Свириденко

FORMULATION OF A SEMI-FINISHED PRODUCT FROM POULTRY MEAT
ENRICHED WITH VEGETABLE COMPONENTS

M. N. Alshevskaya, O. V. Anistratova, I. I. Sviridenko

Целью работы являлась разработка рецептуры полуфабриката из мяса птицы, а также обоснование параметров технологического процесса его производства. Обоснована необходимость расширения ассортимента полуфабрикатов из мяса птицы. Проведен маркетинговый анализ предпочтений потребителей Калининграда и области. Обоснован выбор овощных компонентов соуса для инъектирования полуфабриката из мяса птицы. Исходя из процента потерь массы готового продукта определены ингредиенты масляно-овощного соуса. Выявлена необходимость добавления в его рецептуру структурообразователя. Разработана рецептура, которая улучшит органолептические и физико-химические свойства полуфабриката из мяса птицы. Исследовано влияние соли и температуры на реологические свойства масляно-овощного соуса, установлена оптимальная температура для инъектирования филе цыпленка-бройлера при производстве полуфабрикатов из мяса птицы, обоснована температура, которая сохранит все функционально-технологические свойства масляно-овощного соуса с добавлением ксантановой камеди, но не повлияет на его микробиологические показатели. На основании проведенных исследований разработана технологическая схема производства. Установлен срок хранения куриного полуфабриката, обогащенного растительными компонентами, который составит 60 сут. Новая рецептура полуфабриката не только удовлетворяет вкусовым предпочтениям потребителей, но и является блюдом с высокой пищевой ценностью.

полуфабрикат из мяса птицы, инъектирование, структурообразователь, вязкость, продукт, рецептура, масляно-овощной соус

The aim of the work was to develop a recipe for semi-finished poultry meat, as well as to refine the parameters of the production process. The necessity of expanding the assortment of semi-finished products from poultry meat has been substantiated. A marketing analysis has been carried out of consumer preferences in Kaliningrad and the region. The choice of vegetable components of the sauce for the injection of semi-finished poultry meat products has been justified. The ingredients of the oil-vegetable sauce have determined based on the percentage of weight loss of the finished product. The necessity of adding a structurant to the formulation of the oil-vegetable sauce has been presented. A formulation of the oil-vegetable sauce has been developed, which

will improve the organoleptic and physico-chemical properties of semi-finished poultry meat. The effect of salt and temperature on the rheological properties of oil-vegetable sauce has been studied, the optimum temperature of the sauce for injection of broiler chicken fillet in the production of semi-finished products from poultry meat has been established, the optimum temperature has been justified, which retains all the functional and technological properties of the oil-vegetable sauce with the addition of xanthan gum, and also will not affect the microbiological parameters of the sauce. Based on the studies, a production flow chart has been developed. The shelf life of chicken semi-finished product enriched with plant components is set to be 60 days. The new semi-finished recipe satisfies consumers' taste preferences, and is also a dish of high nutritional value.

semi-finished product from poultry meat, injection, structure-forming agent, viscosity, product, formulation, oil-vegetable sauce

ВВЕДЕНИЕ

Полуфабрикаты из сырья животного происхождения являются одними из наиболее востребованных в мире. В России культура питания предусматривает, как правило, наличие мяса практически во всех блюдах: супах, многих салатах, горячих (вторых) блюдах, холодных закусках.

Куриное мясо по набору, соотношению аминокислот, полноценных мышечных и малоценных соединительнотканых белков безоговорочно считается диетическим [1]. Ежегодно отмечается рост и потребление полуфабрикатов из мяса птицы, что обуславливается их доступностью независимо от уровня дохода и отсутствием религиозных ограничений. Основным направлением птицепереработки становится производство охлажденных и замороженных полуфабрикатов. В 2019 г. доля российской птицы на рынке выросла и составила 99,8 %. Поэтому разработка рецептуры для расширения ассортимента полуфабрикатов из мяса птицы – актуальное направление исследований.

При производстве полуфабрикатов для внесения посолочной смеси в мышечную ткань используется операция инъектирования, позволяющая значительно увеличить выход готового продукта и улучшить его органолептические показатели. Российскими и зарубежными учеными ведутся исследования в области разработок соусов для инъектирования на основе майонеза и его производных, льняного жмыха, а также обогащенных биологически активными веществами микродорослей *Chlorella sorokiniana* [2–5]. Соусы придают продуктам сочность, дополняют вкус, повышают питательную ценность. Поэтому расширение ассортимента соусов для инъектирования полуфабрикатов из мяса птицы с целью улучшения органолептических свойств готового продукта и повышения его пищевой ценности является перспективным направлением исследований.

Для увеличения сроков хранения полуфабрикаты выпускают в замороженном виде. Однако даже при низких температурах во время хранения происходят биохимические процессы, снижающие качество готового продукта и ухудшающие его органолептические показатели. Чтобы избежать негативных воздействий среды на готовый продукт, чаще всего используют герметичную упаковку, позволяющую сохранить сочность и вкус полуфабриката из мяса птицы. Упаковывать продукт под вакуумом можно как после его тепловой обработки, так и перед ней.

В этом случае он обрабатывается непосредственно в пакете под вакуумом. Такой способ позволяет получить полуфабрикат высокой степени готовности с оптимальными органолептическими показателями и без уменьшения массы в процессе тепловой обработки.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Целью работы является разработка рецептуры полуфабриката из мяса птицы, обогащенного растительными компонентами, и совершенствование технологических параметров его производства.

На первом этапе исследования был проведен маркетинговый опрос для оценки целесообразности разработки рецептуры полуфабриката из мяса птицы, обогащенного растительными компонентами. Из результатов опроса следует:

- 91 % опрошенных чаще всего покупает курицу в магазине;
- 80 % респондентов чаще всего вместе с мясом употребляют соус;
- 85 % интервьюированных покупали бы полуфабрикат из мяса с добавлением соуса;
- большинство респондентов предпочитали бы в составе соуса видеть морковь или тыкву.

На основании проведенных маркетинговых исследований на кафедре технологии продуктов питания ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» были разработаны рецептуры масляно-овощных соусов для инъектирования полуфабрикатов из мяса птицы.

В производстве образцов использовалось охлажденное филе цыпленка бройлера (ООО «ТПК «Балтптицепром»), по качеству отвечающее требованиям ТУ 9214-001-78647151-2014, а также материалы, соответствующие по показателям качества и безопасности требованиям действующих стандартов и технических регламентов.

Технология производства образцов полуфабрикатов из мяса птицы состояла из следующих этапов: подготовка филе (мойка, удаление жира), приготовление соуса, инъектирование филе, упаковка его под вакуумом, тепловая обработка (варка при $t_{\text{воды}}=90\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до достижения температуры внутри продукта $72\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (по технологии *sous vide*)), охлаждение, замораживание.

Для соусов, которыми будет инъектироваться филе, очищенные овощи варились, охлаждались, пюрировались и смешивались с другими ингредиентами согласно рецептурам, представленным в табл. 1; для приготовления образца соуса № 2 яйца взбивались миксером с постепенным добавлением ингредиентов до получения густой консистенции.

Таблица 1. Рецепт соусов на 100 кг (без учета потерь по операциям)

Table 1. Recipe for sauces per 100 kg (excluding losses on operations)

Ингредиенты	Номера вариантов рецептур					
	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
Майонез оливковый	100	-	-	-	-	-
Яйца куриные	-	50	-	-	-	-
Лимонный сок		11				
Горчица		10				

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Сахар		4				
Специи		5				
Тыквенное пюре	-	-	70	60	-	-
Морковное пюре	-	-	-	-	-	70
Горчичное масло	-	-	30	-	-	-
Растительное масло	-	20	-	-	50	30
Сливочное масло	-	-	-	40	50	-
Выход:	100	100	100	100	100	100

Приготовленными образцами масляно-овощных соусов ($t=8\pm 2$ °С) инъецировали филе цыплят бройлера по всей площади его поверхности 7–10 раз. Соус вводился до момента его вытекания из мышечной ткани мяса. Для распределения его по всему объему филе выдерживалось при $t= 5\pm 2$ °С в течение 10–15 мин и подвергалось операции массажирувания 5–7 мин, затем взвешивалось с целью фиксации изменения массы образцов до инъецирования и после. Далее полуфабрикаты упаковывались в термостойкие вакуумные пакеты в вакууматоре марки Ellgona и подвергались тепловой обработке в пароконвектомате Luxstahl (режим-пар, $t_{\text{воды}}=90\pm 2$ °С) в течение 90 мин до достижения $t=72\pm 2$ °С в центре продукта. Для сравнения в качестве контроля брали образец, который готовился аналогично, за исключением операции инъецирования масляно-овощным соусом. Масса исследуемых образцов фиксировалась после операции инъецирования и тепловой обработки (по окончании варки филе охлаждалось, вынималось из пакета, после отделения жидкой части взвешивалось). Потери по технологическим операциям инъецирования, тепловой обработки, а также выход полуфабриката приведены в табл. 2.

Таблица 2. Потери по технологическим операциям и выход полуфабриката
Table 2. Losses on technological operations and output of the semi-finished product

Потери по операциям в % к массе сырья, поступившего на данную операцию	Номера вариантов рецептов						
	Контроль	1	2	3	4	5	6
Инъецирование	0	+ 5	+ 3	+ 7	+ 15	+ 10	+ 15
Термическая обработка	- 30	- 20	- 20	- 20	- 20	- 20	- 20
Выход, %	70±3,2	84±3,9	82±4,1	86±4,1	92±4,2	88±3,8	92±4,4

Из табл. 2 видно, что наибольший выход готового продукта наблюдается у образцов, инъецированных соусами № 4 и 6.

Органолептическая оценка исследуемых образцов проводилась в соответствии со стандартом по 5-балльной шкале на кафедре технологии продуктов пи-

тания ФГБОУ ВО «КГТУ» с участием сотрудников кафедры и студентов. Результаты оценки показаны на рис. 1.

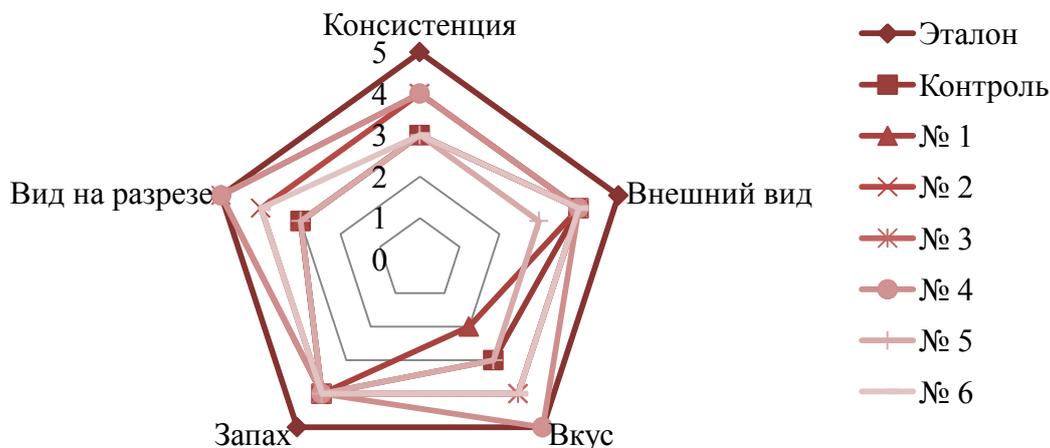


Рис. 1. Органолептическая оценка полуфабрикатов из мяса птицы
Fig. 1. Organoleptic assessment of semi-finished poultry meat

Из представленных на рисунке данных видно, что наилучшими органолептическими характеристиками обладал образец, инъецированный соусом № 4, в состав которого входили тыква и сливочное масло. У остальных изделий был слабо выражен запах либо они имели несбалансированный вкус. Образец № 4 характеризовался ярко выраженным вкусом, имел нежную и сочную консистенцию, привлекательный вид на разрезе, поэтому соус № 4 был взят за основу для дальнейшего совершенствования.

Основным недостатком всех исследованных масляно-овощных соусов являлась их вязкость. Разработанные соусы были жидкими и при инъецировании вытекали из филе. Однако данный недостаток возможно устранить путем введения в их рецептуру структурообразователя. Его добавление также позволит увеличить влагосвязывающую способность филе и выход готового продукта.

Для дальнейшего совершенствования рецептуры масляно-овощного соуса были выбраны структурообразователи, широко используемые в мясной отрасли: ксантановая камедь, крахмал горячего и холодного набухания, фосфат. В табл. 3 представлены рецептуры соусов с исследуемыми структурообразователями в их составе. В качестве контрольного образца рассматривался соус без структурообразователя (образец № 4).

Таблица 3. Рецепт соуса (без учета потерь по операциям)

Table 3. Sauce recipe (excluding losses on operations)

Ингредиенты	Номера вариантов рецептов				
	Контроль 4	4.1	4.2	4.3	4.4
1	2	3	4	5	6
Тыквенное пюре	60	59	59	59	59
Сливочное масло	40	39	39	39	39
Ксантановая камедь	-	2	-	-	-
Крахмал горячего набухания	-	-	2	-	-

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
Крахмал холодного набухания	-	-	-	2	-
Фосфат	-	-	-	-	2
Итого	100	100	100	100	100

Было приготовлено пять образцов полуфабрикатов по вышеописанной технологии. Образцы филе инъецировались масляно-овощными соусами (табл. 3), упаковывались под вакуумом и подвергались термообработке в пароконвектомате на протяжении 90 мин до достижения $t=72\pm 2$ °С в центре. Привес при инъецировании и потери массы полуфабриката после тепловой обработки представлены на рис. 2.

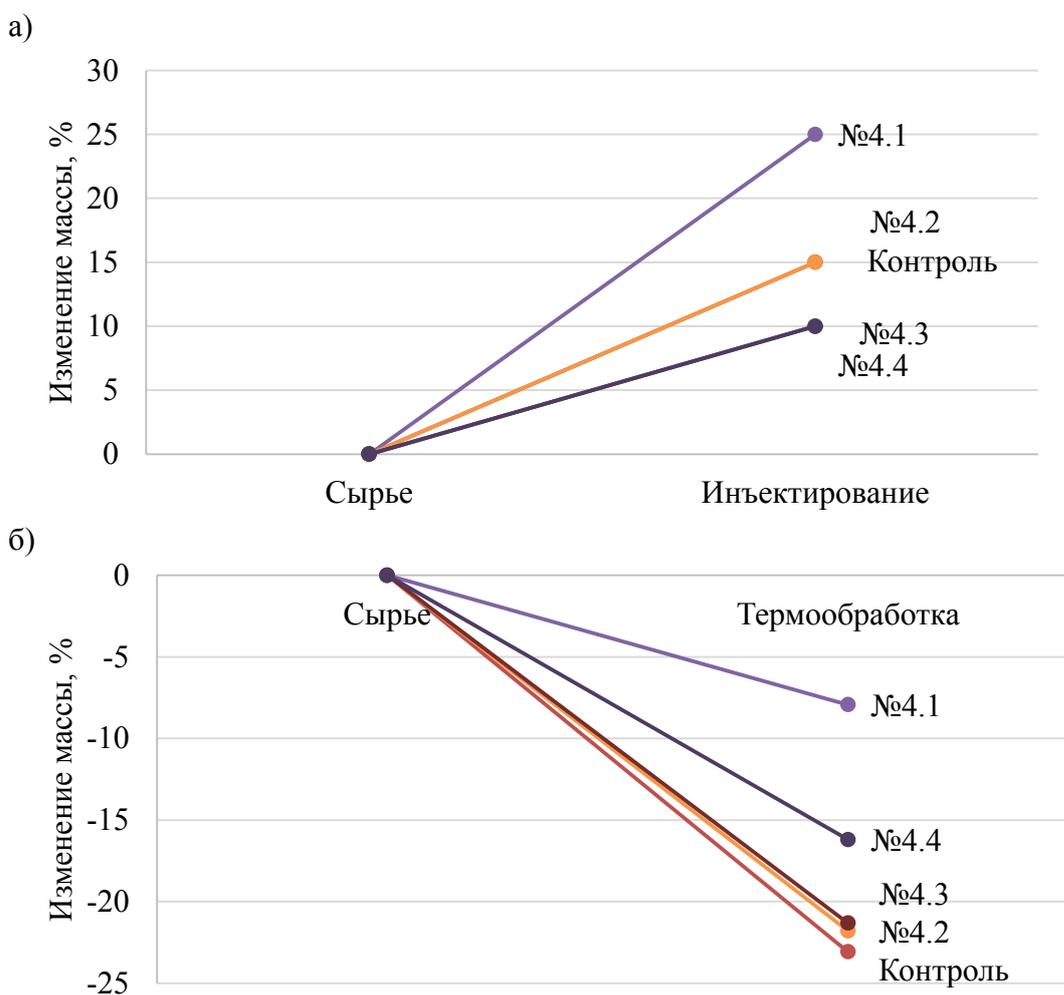


Рис. 2. Привес при инъецировании и потери массы полуфабриката после тепловой обработки: а) привес при инъецировании; б) потери после тепловой обработки

Fig. 2. The gain during injection and weight loss of the semi-finished product after heat treatment: а) weight gain during injection; б) losses after heat treatment

Выход полуфабриката после операции инъектирования и тепловой обработки указан в табл. 4.

Таблица 4. Выход полуфабриката после операции инъектирования и тепловой обработки

Table 4. Semi-finished product yield after injection and heat treatment

Выход, %	Номера вариантов рецептов				
	Контроль 4	4.1	4.2	4.3	4.4
	89±3,4	115±4,7	91±4,1	87±3,9	92±4,1

Из данных, приведенных на рис. 2, а, б и в табл. 4, видно, что наибольший выход наблюдается у образца, инъектированного соусом № 4.1 с добавлением в качестве структурообразователя ксантановой камеди.

На рис. 3 показаны результаты органолептической оценки образцов, инъектированных масляно-овощным тыквенным соусом с различными структурообразователями (табл. 3).

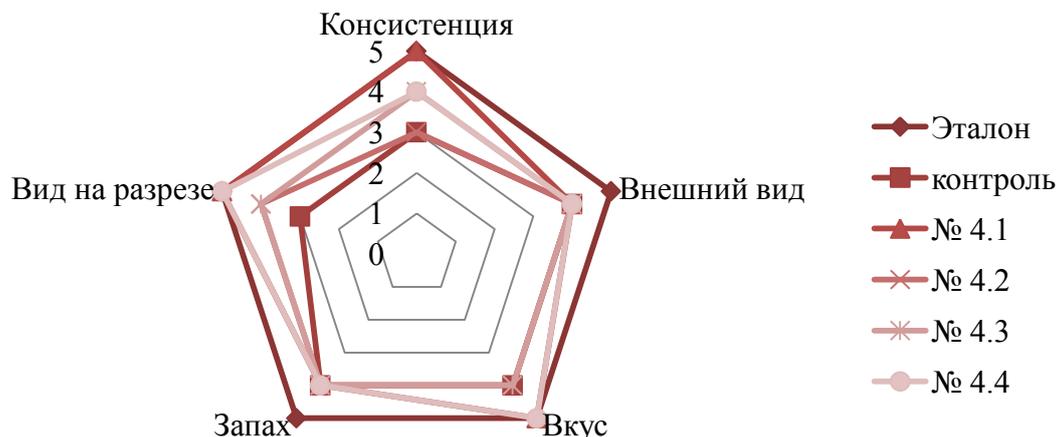


Рис. 3. Органолептическая оценка полуфабрикатов из мяса птицы
Fig. 3. Organoleptic assessment of semi-finished poultry meat

Из представленных на рис. 3 данных видно, что образец, инъектированный масляно-овощным соусом, в состав которого входит ксантановая камедь, получил наивысший бал. Консистенция образцов № 4.2–4.4 была сухая, соус вытекал из куриного филе, данный дефект отсутствовал у образца № 4.1. Дегустаторы отметили, что образец, инъектированный соусом № 4.1, был наиболее сочным, мягким, имел приятный вкус и рисунок на разрезе. На основании полученных данных в качестве структурообразователя была выбрана ксантановая камедь.

Вязкость раствора при инъектировании – важный технологический показатель, который зависит от различных факторов, в том числе температуры соуса и его состава. Внесение поваренной соли в состав соуса – наиболее оптимальное технологическое решение для посола продукта, однако есть данные о воздействии

различных солей на изменение вязкости 1%-ного водного раствора ксантановой камеди [6].

Для изучения влияния поваренной соли на структурно-реологические свойства тыквенного соуса с добавлением ксантановой камеди был приготовлен образец соуса № 4.1 (табл. 3) без добавления и с внесением в его состав поваренной соли в концентрациях 0,5; 1,0; 1,5 и 2 %. Измерение реологических показателей исследуемых образцов проводилось при помощи ротационного вискозиметра Brookfield DV-II + Pro с использованием шпинделя RV/HA/HB-5.

Данные изменения вязкости масляно-овощных соусов (опытных и контрольного) с различной концентрацией соли представлены на рис. 4.

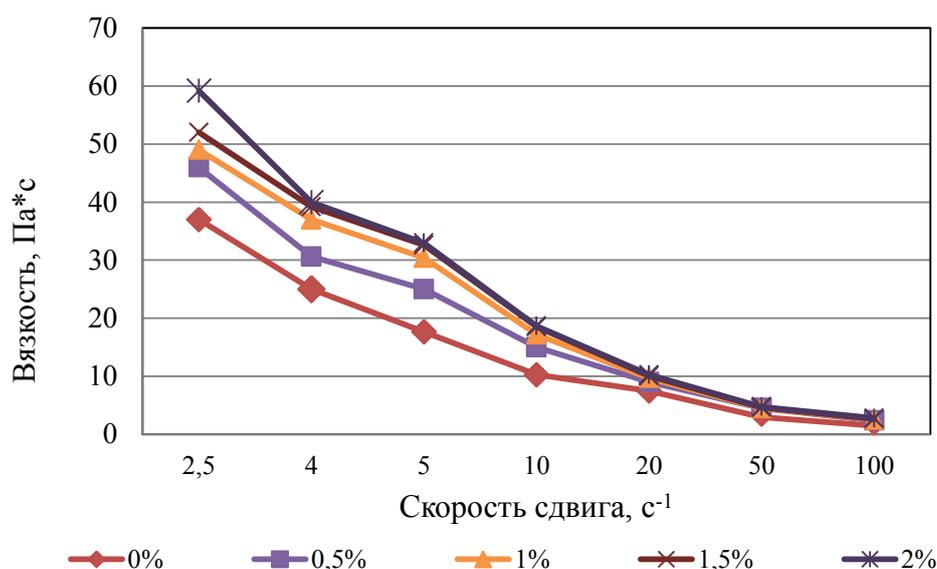


Рис. 4. Динамика изменения вязкости соуса в зависимости от концентрации соли

Fig. 4. Dynamics of sauce viscosity depending on salt concentration

Из рис. 4 видно, что при скорости сдвига 5 с⁻¹ вязкость соуса без соли составляет 17,66 Па*с, после добавления 1 % соли – 30,4 Па*с, а при внесении 2 % соли она увеличивается до 32,96 Па*с.

По совокупности полученных экспериментальных данных установлено, что оптимальные потребительские и функционально-технологические показатели достигаются при отсутствии соли в рецептуре масляно-овощного соуса, поскольку при ее добавлении вязкость соуса увеличивается, он становится менее подвижным и более плотным, что усложняет инъектирование при производстве полуфабрикатов из мяса цыплят-бройлеров. Таким образом, внесение соли в рецептуры соусов на масляно-овощной основе с добавлением ксантановой камеди нецелесообразно.

Для изучения влияния температуры тыквенного соуса на его структурно-реологические свойства было проведено измерение вязкости исследуемого образца, приготовленного по рецептуре № 4.1 (см. табл. 3) без добавления соли при температуре 5±1 °С, 10±1 °С, 15±1 °С, 20±1 °С, 25±1 °С.

На рис. 5 показана динамика изменения вязкости соуса в зависимости от температуры.

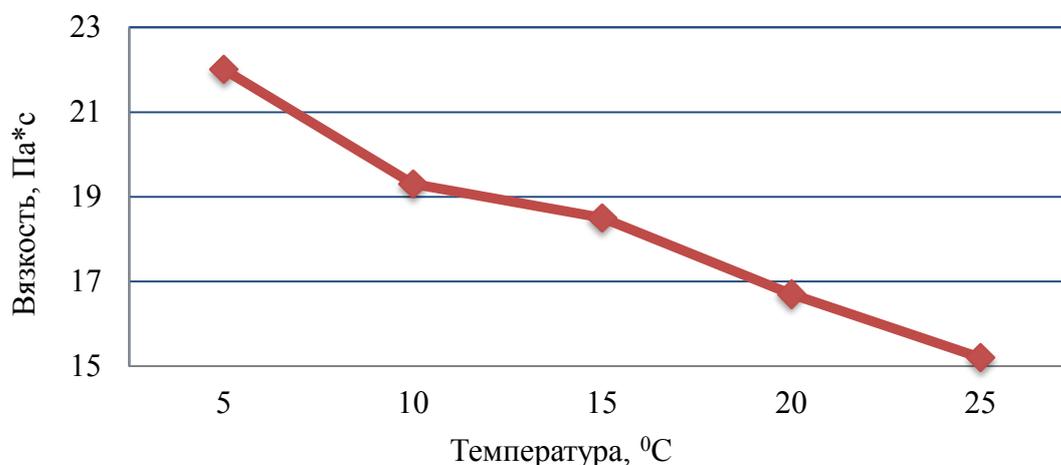


Рис. 5. Динамика изменения вязкости соуса в зависимости от температуры
Fig. 5. Dynamics of change in viscosity of the sauce depending on the temperature

Из рис. 5 видно, что в исследуемом диапазоне температур вязкость соуса с уменьшением температуры увеличивается от 15,2 до 22 Па*с. Наименьшая вязкость наблюдается при $t=25\pm 1$ °C, однако вносить соус при этой температуре небезопасно. Поэтому оптимальной для внесения будем считать температуру 8 ± 1 °C, поскольку в этом интервале реологические свойства изучаемого масляно-овощного соуса отвечают параметрам оборудования и микробиологической безопасности.

На основании проведенных исследований были разработаны рецептура полуфабриката с использованием мясно-овощного соуса (табл. 5) и общая технологическая схема производства полуфабриката из мяса птицы.

Таблица 5. Рецептура полуфабриката из мяса птицы (без учета потерь по операциям)

Table 5. Recipe for semi-finished poultry meat (excluding losses on operations)

Наименование ингредиента	Масса, кг на 100 кг готового продукта
Основное сырье	
Охлажденное филе	85,00
Вспомогательные материалы	
Варёная тыква	8,85
Сливочное масло	5,85
Ксантановая камедь	0,30

Технологическая схема производства полуфабрикатов из мяса птицы, обогащенных растительными компонентами, приведена на рис. 6.

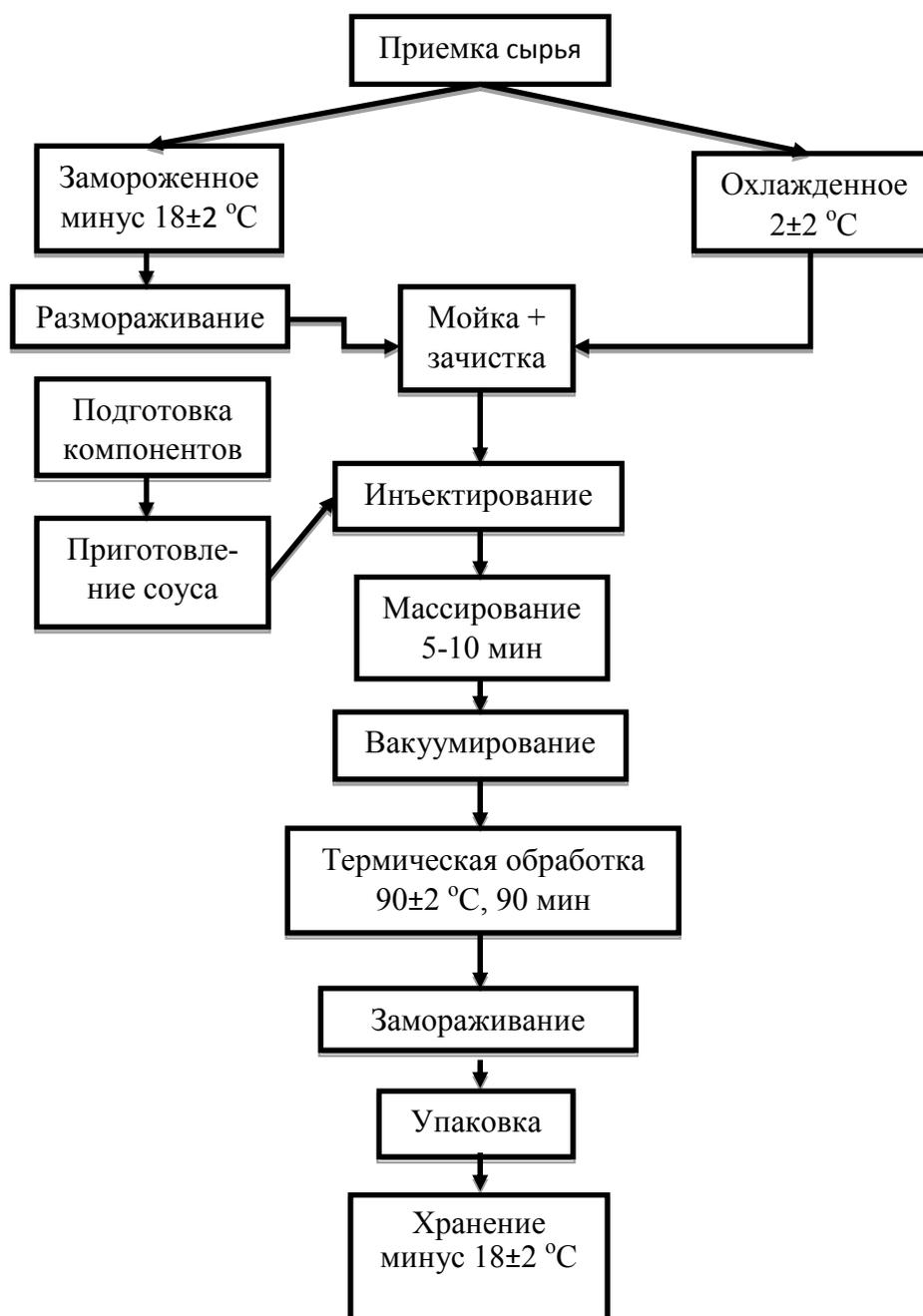


Рис. 6. Технологическая схема производства
Fig. 6. Technological scheme of production

По результатам указанной рецептуры и отработки технологических параметров были обоснованы сроки хранения полуфабриката из мяса птицы. Изготовленные образцы полуфабриката, герметично упакованные в вакуумные пакеты, замораживались в морозильной камере на кафедре технологии продуктов питания ФГБОУ ВО «КГТУ» при температуре минус 18±2 °С и хранились для дальнейших исследований.

Предварительный срок хранения куриного полуфабриката составляет 60 сут с коэффициентом резерва 1,15 [7]. В табл. 6 указаны санитарно-микробиологические показатели качества полуфабриката.

Таблица 6. Санитарно-микробиологические показатели

Table 6. Sanitary and microbiological indicators

Показатель	Допустимый уровень по НД	Результаты испытаний, сут					
		1	15	30	45	60	72
Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г, не более	1×10^3	6×10^1	6×10^1	6×10^1	6×10^1	1×10^1	1×10^1
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы), не допускаются в массе продукта (г)	1,0	Не обнаружено					
Сульфитредуцирующие клостридии, не допускаются в массе продукта (г)	0,1	Не обнаружено					
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, не допускаются в массе продукта (г)	25	Не обнаружено					
Listeria monocytogenes, не допускаются в массе продукта (г)	25	Не обнаружено					

По результатам исследования (табл. 6) было доказано, что на 60-е сутки хранения полуфабрикат из мяса птицы отвечает требованиям безопасности, указанным в Техническом регламенте Таможенного союза 021/2011.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены маркетинговые исследования с целью обоснования актуальности разработки полуфабриката из мяса птицы, обогащенного растительными ингредиентами, выбраны компоненты соуса и структурообразователь. Изучено влияние массовой доли соли на изменение вязкости масляно-овощного соуса с добавлением ксантановой камеди, на основании полученных данных показана нецелесообразность внесения соли в рецептуру соуса. Разработана рецептура масляно-

овощного соуса для инъектирования куриного полуфабриката, обогащенного растительными компонентами, определен срок хранения готового продукта. Изучено влияние температуры масляно-овощного соуса с добавлением ксантановой камеди на его функционально-технологические свойства. Отработаны технологические параметры производства. Подготовлен проект технической документации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Свириденко, И. И. Совершенствование рецептуры мороженных полуфабрикатов из филе куриного / И. И. Свириденко, М. Н. Альшевская // Инновационные и ресурсосберегающие технологии продуктов питания: материалы I Национальной научно-технической конференции с международным участием (27 апр. 2018 г.). – Астрахань: АГТУ, 2018.
2. Базарнова, Ю. Г. Технологии соусов и маринадов с экстрактами микроводорослей для мяса птицы / Ю. Г. Базарнова, М. С. Сеськин, Н. С. Лыскова // Мясная индустрия. – 2018. – № 8. – С. 25–29.
3. Типсина, Н. Н. Использование пюре из тыквы в пищевой промышленности / Н. Н. Типсина, Г. К. Селезнева // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – Красноярск, 2013. – №12 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kgau.ru/vestnik/content/2013/12.13.pdf>
4. Cando, D. Different additives to enhance the gelation of surimi gel with reduced sodium content / D. Cando, B. Herranz, A. J. Borderias, H. M. Moreno // Food Chemistry. – 2017. – Vol. 196. – 791-799 p
5. Feiner, G. Meat products handbook. Practical science and technology. Cambridge, England, 2006, 624 p.
6. Аймесон, А. Пищевые загустители, стабилизаторы, гелеобразователи / А. Аймесон / пер. с англ. под ред. С. В. Макарова. – Санкт-Петербург: Профессия, 2012. – 408 с.
7. МУК 4.2.1847-04 Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. – Введ. 20.06.2004. – Москва: Минздрав России, 2005.

REFERENCES

1. Sviridenko I. I., Al'shevskaya M. N. Sovershenstvovanie retseptury morozhenykh polufabrikatov iz file kurinogo [Improving the recipe for frozen semi-finished products of chicken fillet]. *Innovatsionnye i resursosberegayushchie tekhnologii produktov pitaniya: materialy I Natsionalnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Innovative and resource-saving food technology: materials of the I National scientific and technical conference with international participation]. Astrakhan', 2018.
2. Bazarnova Yu. G., Seskin M. S., Lyskova N. S. Tekhnologii sousov i marinadov s ekstraktami mikrovodorosley dlya myasa ptitsy [Technologies of sauces and marinades with microalgae extracts for poultry meat]. *Myasnaya industriya*, 2018, no. 8, pp. 25–29.

3. Tipsina N. N., Selezneva G. K. Ispol'zovanie pyure iz tykvy v pishchevoy promyshlennosti [Application of mashed pumpkin in the food industry]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, no. 12, available at: <http://www.kgau.ru/vestnik/content/2013/12.13.pdf> (Accessed 24 May 2019).

4. Cando D. Different additives to enhance the gelation of surimi gel with reduced sodium content, *Food Chemistry*, 2017, vol. 196, pp. 791–799

5. Gerhard Feiner Meat products handbook. Practical science and technology. Cambridge, England, 2006, 624 p.

6. Aymeson A. Food stabilizers, thickeners and gelling agents. By Blackwell Publishing Ltd, 2010. 352 p. (Russ. Ed.: Makarov S. V. Pishchevye zagustiteli, stabilizatory, geleobrazovateli. Saint-Petersburg, Professiya, 2012, 352p.).

7. MUK 4.2.1847-04 Sanitarno-epidemiologicheskaya otsenka obosnovaniya srokov godnosti i usloviy khraneniya pishchevykh produktov [Sanitary and epidemiological assessment of the justification of shelf life and storage conditions of food products]. Moscow, Minzdrav Rossii, 2005.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Альшевская Марина Николаевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук;
доцент кафедры технологии продуктов питания;
E-mail: marina.alshevskaya@klgtu.ru

Alshevskaya Marina Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Engineering; Associate Professor, Department of Food Technology;
E-mail: marina.alshevskaya@klgtu.ru

Анистратова Оксана Вячеславовна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук;
доцент кафедры технологии продуктов питания; E-mail: anistratova1981@mail.ru

Anistratova Oksana Vyacheslavovna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Engineering; Associate Professor, Department of Food
Technology; E-mail: anistratova1981@mail.ru

Свириденко Ирина Игоревна – Калининградский государственный технический университет; магистр кафедры технологии продуктов питания;
E-mail: sviridenko.96@inbox.ru

Sviridenko Irina Igorevna – Kaliningrad State Technical University; Master degree student at the Department of Food Technology; E-mail: sviridenko.96@inbox.ru

УДК 639.386.1(06)

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-132-140

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЫБЬЕЙ ЧЕШУИ В КОСМЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

В. И. Воробьев, Е. В. Нижникова

THE USE OF FISH SCALES FOR COSMETIC PURPOSES

V. I. Vorobyov, E. V. Nizhnikova

Предложены два способа переработки покровных тканей гидробионтов (рыбья чешуя, кожа с чешуей), позволяющие получить продукцию различного назначения, в том числе косметический скраб из чешуи рыб, имеющий привлекательный внешний вид, естественную гамму оттенков цвета и запах природного происхождения (без рыбного запаха). Сущность обоих способов заключается в предварительной очистке чешуи от различных примесей органического происхождения с последующей ее термической обработкой в жидкости при 85–100 °С. В качестве последней используются овощные, фруктовые, ягодные соки, молочная сыворотка, содержащие различные органические кислоты (яблочную, молочную и т. д.). Термически обработанную чешую отделяют от жидкости, при необходимости смешивают с компонентами растительного происхождения (злаковых, травяных сборов), высушивают, измельчают и фракционируют с получением частиц косметического скраба различной степени дисперсности. Представлены органолептические показатели и химический состав (общий, аминокислотный, тяжелых металлов) образцов сырья (рыбья чешуя) и готовой продукции (косметический скраб). Определено, что в процессе термогидролиза чешуи судака (*Sander luciperca*) в жидкости (яблочном соке) происходит снижение массовой доли белка с 40,99 до 30,87 %, кальция – с 21,28 до 17,20 %, фосфора – с 8,60 до 5,40 % при увеличении содержания углеводов до 13,4 % (за счет компонентов сока, перешедших на рыбью чешую в процессе ее термогидролиза). Показано, что с ростом продолжительности термогидролиза рыбьей чешуи уменьшается ее жесткость (стирается пальцами рук) и увеличивается количество более мелких фракций (абразива).

кожа человека, рыбья чешуя, коллагенсодержащие продукты, косметический скраб, абразив

The paper proposes two methods for processing epidermis of aquatic organisms (fish scales, skin with scales), which make it possible to obtain products for various purposes, including a cosmetic scrub made from fish scales having an attractive appearance, with a natural hue range and a smell of natural origin (without fish smell).

The essence of the methods consists in the preliminary cleaning of the scales from various impurities of organic origin, followed by its thermal treatment in liquid (85–100 degrees C). The liquid used is vegetable, fruit, berry juices and whey containing various organic acids (malic, lactic, etc.). The heat-treated scales are separated from

the liquid; if necessary, they are mixed with components of plant origin (cereals, herbal preparations), dried, crushed and fractionated to obtain cosmetic scrub fractions of varying degrees of dispersion. The paper presents organoleptic characteristics and chemical composition (total, amino acid, heavy metals) of raw materials (fish scales) and finished products (cosmetic scrub). It has been found that, during the process of thermal hydrolysis of pike perch scales (*Sander lucioperca*) in a liquid (apple juice), its mass fraction of protein decreases from 40.99 to 30.87 %, calcium – from 21.28 to 17.20 %, phosphorus – from 8.60 to 5.40 %, with an increase in carbohydrates to 13.4 % (due to the components of the juice transferred to fish scales in the process of its thermal hydrolysis). It has been shown that with an increase in the duration of thermal hydrolysis of fish scales, its stiffness decreases (it is rubbed by the fingers) and the content of smaller fractions (abrasive) increases during its grinding and separation.

human skin, fish scales, collagen-containing products, cosmetic scrub, abrasive

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что масса кожи взрослого человека 4 кг, а ее поверхность составляет 1,5–2,0 м² [1]. Кожа состоит из трех основных слоев: эпидермиса, дермы и гиподермы (подкожной клетчатки). Верхний (эпидермис) постоянно обновляется (жизненный цикл его клеток – 26–28 дней), включает пять слоев (основной, или базальный, шиповидный, зернистый, блестящий, роговой) и имеет различную толщину – от 0,5 до 4 мм. Ежедневная норма потерь в виде малозаметных для глаза тонких чешуек (омертвевших клеток без ядра) рогового слоя составляет 10–14 г. Продукты, выработанные в результате деятельности сальных и потовых желез, образуют в роговом слое пленку (водно-липидную мантию) со слабощелочной средой (рН 4,0–6,5), являющуюся первым защитным барьером кожи от вредных микроорганизмов и препятствующую избыточному испарению влаги [1, 2].

Для поддержания кожи человека в хорошем состоянии (функциональном и эстетическом) в косметических процедурах применяются: механическое удаление (отшелушивание) отживших клеток эпидермиса при помощи скрабов, состоящих из мелких твердых частиц (абразива), и химическое (пилинг), заключающееся в растворении омертвевших клеток эпидермиса при помощи химических веществ.

В качестве абразива в скрабах используются различные вещества и их смеси природного и синтетического происхождения, например: растения, плоды деревьев (персик, грецкий орех, груша, миндаль, кофе и т. д.), их семена и оболочки; порошки (из водорослей, ракообразных моллюсков, янтаря, яичной скорлупы), а также диоксид кремния, титан, бетаин, нейлон, тальк, различные глины, вулканическая пемза, полиэтилен, сшитый (нерастворимый) желатин и т. д. [3–7].

Некоторые из абразивов имеют высокую твердость, что при применении в качестве средств очистки приводит к избыточному раздражению и травматизму поверхностных тканей кожи, а другие являются слишком мягкими и обладают недостаточным очищающим эффектом.

Очистка кожи должна быть безопасной, нетоксичной, умеренной и без побочных эффектов.

Возвращение к природе является мировым трендом, поэтому в настоящее время перспективными в косметологии считаются вещества, получаемые из при-

родного сырья и обладающие выраженным положительным физиологическим и косметическим действием.

Известно, что биологически активные вещества чешуи рыб способны проникать через кожу человека, способствуя ее регенерации [8]. Поэтому представляет интерес использование покровных тканей гидробионтов для получения косметической продукции, воздействующей непосредственно на кожу человека.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований являлась чешуя судака (*Sander lucioperca*), полученная в процессе разделки сырья на рыбоперерабатывающих предприятиях Калининградской области. Эксперименты проводили в лаборатории органической химии КГТУ и лабораторном сертифицированном центре Атлантического филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»). Для определения качественных показателей сырья и готовой продукции исследовали общий химический состав в соответствии с ГОСТ 7636-85 (влага, жир, белок), ГОСТ 31727-2012 (зола), ГОСТ 31466-2012 (кальций), МУК 4.1.3217-14 (фосфор), а массовую долю углеводов в процентах вычисляли расчетным способом по разности (100 % минус содержание воды, жира, белка, золы).

Аминокислотный состав образцов определяли согласно методическим указаниям М-04-38-2009 с применением системы капиллярного электрофореза Капель. Содержание токсичных элементов исследовали в соответствии с ГОСТ 30178-96 (свинец, кадмий, медь, цинк), ГОСТ 31707-2012 (мышьяк), МУК 4.1.1472-03 (ртуть).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Чешую рыб после предварительной обработки используют в косметологии в качестве источника рыбного коллагена и его составляющих (биопептидов, аминокислот), гидроксиапатита, лецитина, гуанина в различных косметических средствах (масках, бальзамах, кремах, жемчужном лаке, эликсирах, кондиционерах, шампунях), а также в питьевых эстетических напитках.

Одно из направлений переработки недостаточно применяемой в настоящее время рыбьей чешуи – производство косметических средств, предназначенных для очистки поверхностных тканей человека (кожи, зубов).

Авторами предложен способ разработки косметического агента (абразива), который состоит из сшитого желатина (чешуи тилапии, акулы) и имеет степень нерастворимости от 40 до 100 % и объемный средний размер частиц от 60 до 5000 мкм [9]. Недостатками этого способа являются необходимость предварительного получения желатина и, соответственно, высокая стоимость конечного продукта.

Известен способ получения нерастворимого в воде коллагенсодержащего порошка: рыбью чешую обрабатывают в горячей воде (90–95 °С) в течение 10–60 мин при соотношении смеси 1:5–50 по массе либо при температуре 140–160 °С под давлением (в автоклаве) в течение 3–10 мин, затем отделяют от жидкости и высушивают до содержания влаги не более 5 %. Далее ее измельчают до 0,4–200 мкм [10]. Недостатками способа являются значительный расход воды и потери сырья (до 45 %) при термообработке, а также необходимость длительного процесса обесцвечивания перекисью водорода и последующей нейтрализации (5–15 ч) чешуи перед высушиванием.

С целью устранения указанных недостатков кафедрой химии КГТУ (г. Калининград) были предложены способы обработки покровных тканей гидробионтов для получения коллагенсодержащих продуктов: функционального напитка, функциональной пищевой добавки, косметического скраба (находятся в стадии патентования). Они также позволят получить косметический порошок (скраб) природного происхождения для очистки кожи лица и тела, обладающий мягким воздействием, которое не вызывает раздражения, и создающий чувство комфортности. При этом процесс его получения достаточно прост, технологичен (непродолжителен), малозатратен, а конечный продукт имеет низкую себестоимость. Новизна разработок заключается в том, что рыба чешуя, очищенная от органических примесей, проходит термическую обработку в течение нескольких минут в жидкостях (85–100 °С), содержащих по меньшей мере один вид органической кислоты при соотношении 1:(2,5–4) по массе. Далее смесь фракционируют с получением термически обработанной чешуи, которую высушивают, измельчают и сепарируют. В результате имеем фракции с объемными размерами от 0,4 до 1500 мкм. При необходимости перед высушиванием к чешуе добавляют муку зерновых (овса, пшеницы), бобовых (чечевицы, гороха) или сырье растительного происхождения (мяту, ромашку, шалфей) в определенном соотношении, после чего смесь перемешивают.

Используемыми для термообработки чешуи жидкостями являются фруктовые, овощные, ягодные соки и их смеси, а также жидкие продукты переработки молока.

Особенности предлагаемых нами способов переработки рыбьей чешуи – значительное сокращение длительности технологического процесса, потерь сырья и применяемых жидкостей, отсутствие рыбного запаха в готовой продукции, а также необходимости ее обесцвечивания перед высушиванием по сравнению с известными способами.

Органолептические характеристики сухого косметического скраба из рыбьей чешуи (судак) представлены в табл. 1.

Таблица 1. Органолептические характеристики сухого косметического скраба из рыбьей чешуи (судак)

Table 1. Organoleptic characteristics of a dry cosmetic scrub made of fish (zander)

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид	Однородный мелкодисперсный порошок, рассыпающийся при незначительном механическом воздействии
Запах	Специфический, характерный для данного вида продукции, со слабыми оттенками запаха жидкости (сока, жидких молочных продуктов) или добавленного растительного сырья (зерновые, бобовые, травяные сборы), применяемых в процессе ее производства, без запаха рыбы или порочащих запахов
Цвет	Аналогичный оттенкам гаммы цветов жидкости (сока, жидких молочных продуктов) или добавленного растительного сырья (зерновых, бобовых, травяных сборов), используемых в процессе получения готовой продукции

Как видно из табл. 1, косметический скраб из чешуи рыб имеет привлекательный внешний вид однородного порошка с естественной гаммой оттенков цвета и запахом природного происхождения.

Общий химический состав исходной очищенной чешуи судака (сырье) и косметического скраба из чешуи (готовая продукция) представлен на рис 1.

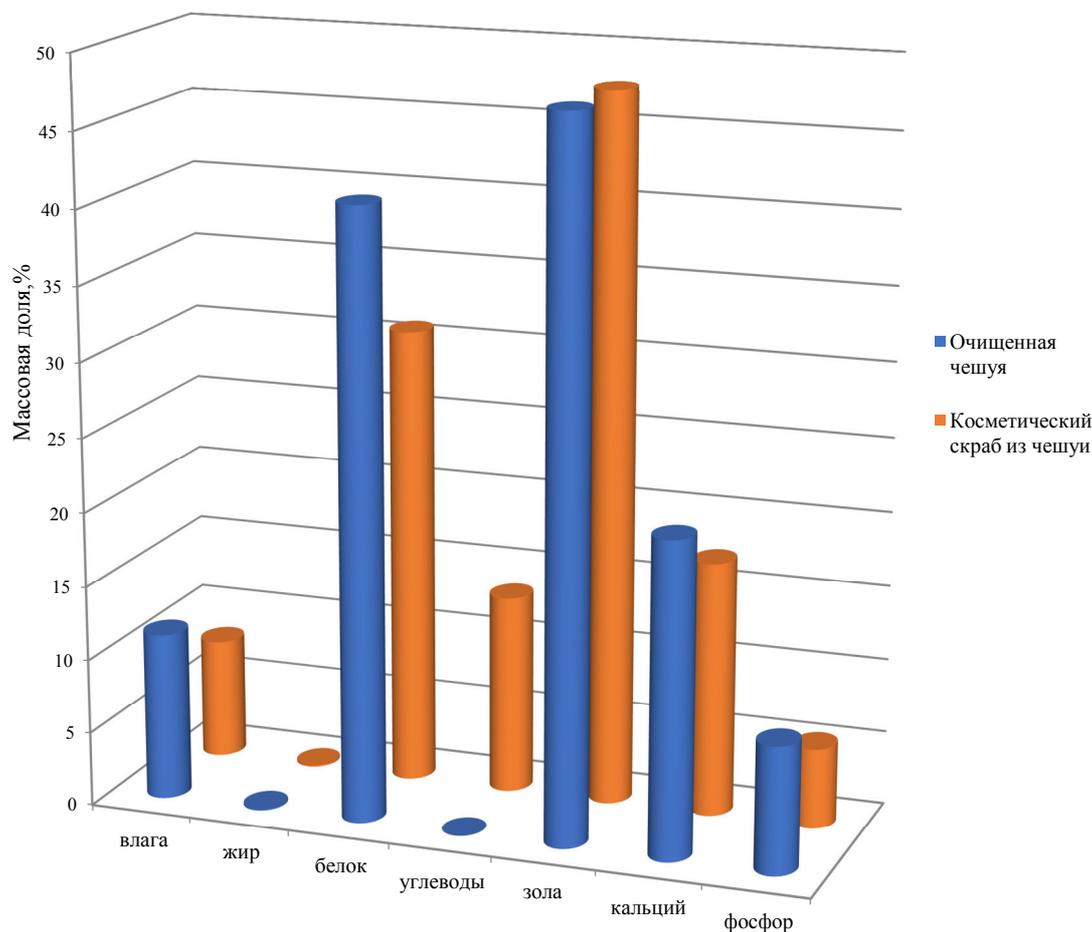


Рис. 1. Общий химический состав исходной очищенной чешуи судака (сырье) и косметического скраба из чешуи (готовая продукция)

Fig. 1. General chemical composition of the initial cleaned pike perch scales (raw material) and cosmetic scrub made of scales (finished product)

Как видно из рис. 1, в результате термообработки чешуи судака в жидкости (яблочном соке) произошло значительное увеличение углеводов и снижение массовой доли белка, кальция и фосфора в получаемом косметическом скрабе по отношению к исходной очищенной чешуе (сырье). При этом значительно снизилась жесткость чешуи (достаточно легко истирается пальцами рук).

Анализ аминокислотного состава очищенной чешуи судака (сырье) и термически обработанной чешуи в яблочном соке (готовая продукция) показан на рис. 2.

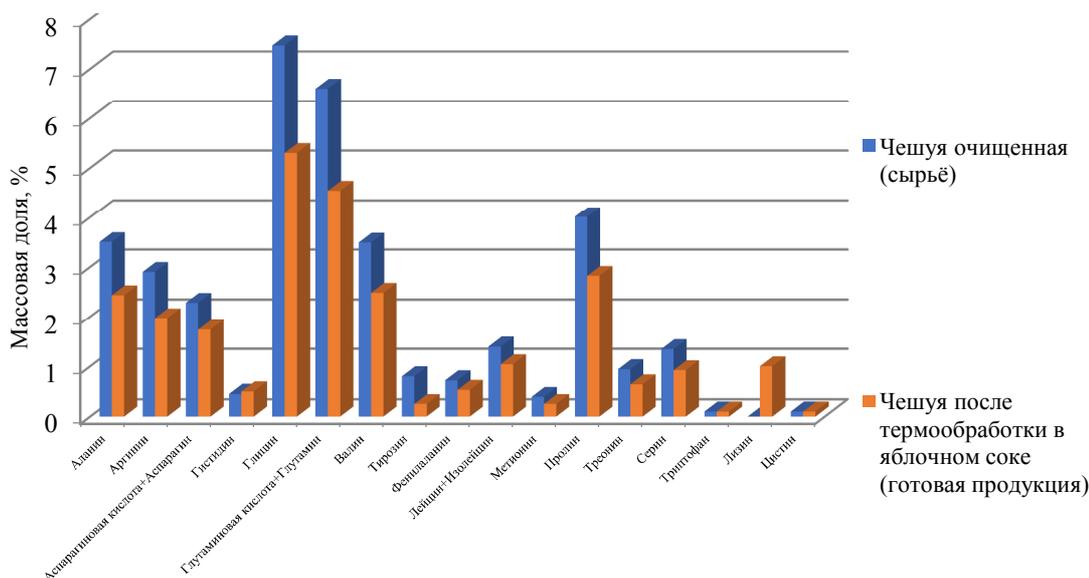


Рис. 2. Аминокислотный состав очищенной чешуи судака (сырьё) и термически обработанной чешуи в яблочном соке (готовая продукция), %
 Fig. 2. Amino acid composition of peeled zander scales (raw material) and heat-treated scales in apple juice (finished product), %

Из рис. 2 видно, что термически обработанная чешуя имеет пониженную массовую долю глицина, глутаминовой кислоты, пролина, аланина, аргинина, валина, аспарагиновой кислоты по сравнению с исходной.

Парфюмерно-косметическое изделие, в состав которого входит более 1% сырья природного растительного или минерального происхождения, должно содержать (не более): ртути – 1,0; свинца – 5,0; мышьяка – 5,0 мг/кг [11].

Анализ содержания токсичных элементов термически обработанной чешуи судака в яблочном соке (готовая продукция) представлен в табл. 2.

Таблица 2. Содержание токсичных элементов очищенной чешуи судака после термообработки в яблочном соке, мг/кг

Table 2. Content of toxic elements of peeled pike perch after heat treatment in apple juice, mg / kg

Определяемый показатель	Результаты определения, мг/кг	Допустимые значения, не более	Определяемый показатель	Результаты определения, мг/кг	Допустимые значения, не более
Свинец	0,33±0,03	5	Цинк	58,4±11,7	Отсутствует
Мышьяк	Менее 0,01	5	Медь	015±0,54	—«—
Ртуть	Менее 0,01	1	Кадмий	0,020±0,002	—«—

Из табл. 2 следует, что содержание токсичных элементов в чешуе (конечный продукт) не превышает предельно допустимых концентраций на данный вид продукции.

Одними из важных характеристик очищающих средств в косметике являются степень дисперсности и жесткость используемого абразива.

С этой целью три партии чешуи судака, предварительно очищенной от органических примесей и помещенной в марлевые мешочки, одновременно погружали в яблочный сок и термически обрабатывали при температуре 100 °С в течение различных промежутков времени (2; 5; 15 мин). После термообработки образцы высушивали до влажности не более 5 % и измельчали в кофемолке Bosh (800 Вт) в течение 30 с. Полученные порошки фракционировали при помощи лабораторных сит.

Влияние продолжительности термообработки рыбьей чешуи судака в жидкости (яблочном соке) при постоянной температуре (100 °С) на дисперсность абразива представлено в табл. 3.

Таблица 3. Изменение дисперсности абразива рыбьей чешуи судака в зависимости от продолжительности ее термообработки в жидкости (яблочном соке), %

Table 3. Change in the dispersive capacity of the abrasive of pike perch scales depending on the duration of its heat treatment in a liquid (apple juice), %

Размер ячеи лабораторного сита, мм	Продолжительность термической обработки чешуи в яблочном соке, мин		
	2	5	15
Менее 0,063	2,58	3,00	4,04
0,063–0,100	12,42	14,85	17,35
0,100–0,160	17,88	20,95	25,01
0,160–0,200	27,28	31,34	36,22
0,200–0,400	39,84	29,86	17,38

Из данных табл. 3 видно, что с увеличением продолжительности термообработки рыбьей чешуи растет содержание в ней более мелких фракций. При этом получаемые частицы имеют пористую структуру, что согласуется с данными других исследований [12]. При контакте с водой (косметическими жидкостями) сухие пористые частицы набухают, образуя нежную основу, обладающую мягким эффектом очищения без повреждения поверхности кожи. Кроме того, набухшие частицы чешуи становятся эластичными, что способствует созданию эффекта массажа и улучшению кровотока поверхностных тканей кожи человека.

Предварительные испытания косметического скраба из чешуи рыб в составе очищающего средства для кожи лица показали перспективность его использования.

ВЫВОДЫ

1. Предложены два способа переработки покровных тканей гидробионтов, позволяющие получить косметический скраб из чешуи рыб, имеющий привлекательный внешний вид, естественную цветовую гамму оттенков и запах природного происхождения.

2. Исследованы органолептические показатели и химический состав (общий, аминокислотный, токсичных элементов) исходного сырья и готовой продукции (рыбьей чешуи).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Клиническая дерматология. Иллюстрированное руководство для врачей / под ред. А. Н. Родионова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2019. – 712 с.
2. Дрибноход, Ю. Ю. Пособие по косметологии / Ю. Ю. Дрибноход. – Санкт-Петербург: ИД «ВЕСЬ», 2004. – 544 с.
3. Pat. № H09143046 (JP) Cosmetic material containing gel-state scrub / Noguchi T., Nakae I. – 1997-06-03 A61K8/00, A61K8/6, A61K8/025, A61K8/72, A61K8/73, A61Q1/02, A61Q1/14, A61Q19/00.
4. Pat. № 20140147966 (KR) Cosmetic composition including stone cell of pear fruit / Nam S.H., Kang J. H. YIM S.H. etc. - 2014-12-31 A61K8/97, A61Q19/00.
5. Pat. № 2017178699 (JP) Porous silica-based particle and cosmetic for cleaning / Watanabe S., Komatsu M., Enomoto N., Suemitsu K. – 2017-10-05 A61K8/25, A61Q19/10, C01B33/154, C11D3/14.
6. Pat. № 2014043420 (JP) Powder cosmetic for scrub massage / Yasuda M., Tsunakawa M., Kojima Y. - 2014-03-13 A61K8/19, A61K8/23, A61K8/25, A61K8/29, A61Q19/00, A61Q19/10.
7. Pat. № 107669609 (CN) Facial scrub / Xiao Q. – 2018-02-09 A61K8/92, A61K8/9794, A61Q17/04, A61Q19/02, A61Q19/08.
8. Chai, H. J. Effects of sizes and conformations of fish-scale collagen peptides on facial skin qualities and transdermal penetration efficiency / H. J. Chai, J. H. Li, H. N. Huang, T. L. Li, Y. L. Chan, C. Y. Shiau, C. J. Wu // Journal of BioMed Research – 2010. – 9 p.
9. Pat. № 2014172900 (JP) Cosmetic / Hizuka M., Sakima T. – 2014-09-22 A61K8/65, A61Q1/14, A61Q19/10, A61Q5/02, A61Q7/00.
10. Pat. №2011236131(JP) Insoluble collagen-containing powder originated from fish scale / Kawashima Y. – 2011-11-24, A61K8/42, A61Q1/02, A61Q19/10, C07K14/78, A61L27/00.
11. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 009/2011 «О безопасности парфюмерно-косметической продукции»: утвержден решением комиссии Таможенного союза от 23 сентября 2011г. № 799. – 2011. – 255 с
12. Мезенова, Н. Ю. Разработка технологии биопродукта для спортивного питания с использованием биомодифицированного коллагенсодержащего рыбного сырья: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04, 05.18.07 / Мезенова Наталья Юрьевна. – Калининград, 2017. – 223 с.

REFERENCES

1. Rodionov A. N., Zaslavskiy D. V., Sydikov A. A. *Klinicheskaya dermatologiya. Illyustrirovannoe rukovodstvo dlya vrachey* [Clinical dermatology. Illustrated guide for doctors]. Moscow, “GEOTAR-Media”, 2019, 712 p.
2. Dribnokhod Yu.Yu. *Posobie po kosmetologii* [Notes on cosmetology]. Saint-Petersburg, Izd-vo “VES”, 2004, 544 p.
3. Pat. № H09143046 (JP) Cosmetic material containing gel-state scrub / Noguchi T., Nakae I. 1997-06-03 A61K8/00, A61K8/6, A61K8/025, A61K8/72, A61K8/73, A61K8/73, A61Q1/02, A61Q1/14, A61Q19/00.

4. Pat. № 20140147966 (KR) Cosmetic composition including stone cell of pear fruit. Nam S.H., Kang J. H. YIM S.H. etc. 2014-12-31 A61K8/97, A61Q19/00.
5. Pat. № 2017178699 (JP) Porous silica-based particle and cosmetic for cleaning. Watanabe S., Komatsu M., Enomoto N., Suemitsu K. 2017-10-05 A61K8/25, A61Q19/10, C01B33/154, C11D3/14.
6. Pat. № 2014043420 (JP) Powder cosmetic for scrub massage. Yasuda M., Tsunakawa M., Kojima Y. 2014-03-13 A61K8/19, A61K8/23, A61K8/25, A61K8/29, A61Q19/00, A61Q19/10.
7. Pat. № 107669609 (CN) Facial scrub. Xiao Q. 2018-02-09, A61K8/92, A61K8/9794, A61Q17/04, A61Q19/02, A61Q19/08.
8. Chai H. J., Li J. H., Huang H. N., Li T. L., Chan Y. L., Shiao C. Y., Wu C. J. Effects of sizes and conformations of fish-scale collagen peptides on facial skin qualities and transdermal penetration efficiency. *Journal of BioMed Research*, 2010, 9 p.
9. Pat. № 2014172900 (JP) Cosmetic. Hizuka M., Sakima T. 2014-09-22 A61K8/65, A61Q1/14, A61Q19/10, A61Q5/02, A61Q7/00.
10. Pat. № 2011236131(JP) Insoluble collagen-containing powder originated from fish scale. Kawashima Y. 2011-11-24 A61K8/42, A61Q1/02, A61Q19/10, C07K14/78, A61L27/00.
11. Tekhnicheskiiy reglament Tamozhennogo Soyuza TR TS 009/2011«O bezopasnosti parfyumerno-kosmeticheskoy produktsii» [Technical regulations of the Customs Union TR TS 009/2011 «On the safety of perfumes and cosmetics»]. Utverzhen resheniem komissii Tamozhennogo Soyuza 23 sentyabrya 2011, no. 799, 255 p.
12. Mezenova N. Y. *Razrabotka tekhnologii bioprodukta dlya sportivnogo pitaniya s ispol'zovaniem biomodifitsirovannogo kollagensoderzhashchego rybnogo syr'ya. Dis. kand. tekhn. nauk* [Development of a bioproduct technology for sports nutrition using biomodified collagen-containing fish raw materials. Ph. D. thesis.]. Kaliningrad, 2017, 223 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Воробьев Виктор Иванович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры химии;
E-mail: mobi.dik.10@mail.ru

Vorobyov Viktor Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Chemistry;
E-mail: mobi.dik.10@mail.ru

Нижникова Елена Владимировна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры химии;
E-mail: nizhnikova6462@mail.ru

Nizhnikova Elena Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry;
E-mail: nizhnikova6462@mail.ru

УДК 664.959.5

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-141-150

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ГИДРОЛИЗ ПОКРОВНЫХ ТКАНЕЙ РЫБ КАЛИНИНГРАДСКОГО РЕГИОНА

В. С. Казакова, Е. С. Землякова

HIGH TEMPERATURE HYDROLYSIS OF FISH INTEGUMENTARY TISSUES IN THE KALININGRAD REGION

V. S. Kazakova, E. S. Zemlyakova

Судак является одним из наиболее часто встречающихся и широко распространенных видов рыб на территории Калининградского региона. После разделки рыбы на филе как вид пищевых отходов образуется кожа. Цель исследования – изучить физико-химические свойства покровных тканей судака в различные периоды вылова и показать возможность их использования в качестве сырья для проведения высокотемпературного гидролиза. Определены физико-химические показатели в соответствии с ГОСТ 7636-85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа» с установлением массовых долей воды, белка, жира и золы. Оценка показателей проводилась у сырья, отобранного из объекта сентябрьского и ноябрьского вылова 2019 г. Гидролиз выполнен с использованием автоклавирования при температуре 130 °С под давлением 0,25 МПа в течение 60 мин при скорости вращения мешалки 60 об/мин. В результате температурного воздействия на костную, хрящевую ткани с прирезами мышц получены три фракции: верхняя (водорастворимая), нижняя (осадочная) и жировая (следы). Проведена оценка их физико-химического состава с определением массовой доли воды, белка, жира, золы, а также органолептическая оценка полученных фракций до высушивания, измельчения и после них. В связи с низким содержанием липидов в исходном сырье последняя фракция (следы) в ходе термолиза не была образована, и, соответственно, оценка ее физико-химического состава не проводилась. Перспективной является возможность получения и использования композиций из покровных тканей судака в качестве обогащающих добавок в технологии функциональных продуктов питания, так как гидролизованная кожа рыб – источник легкоусвояемого белка и его структурных компонентов, а также минеральных веществ и некоторых гликозаминогликанов.

покровные ткани судака, физико-химические показатели, высокотемпературный гидролиз, водорастворимая фракция, функциональные продукты

Pike perch is one of the local fish species in the Kaliningrad region. After cutting fish on a fillet, as a type of food waste, skin forms. The purpose of the study was to study the physicochemical properties of the integumentary tissues of pike perch in various periods of fishing and to show the possibility of their use as raw materials for high-temperature hydrolysis. Determination of physical and chemical parameters has been

carried out in accordance with GOST 7636-85 “Fish, marine mammals, marine invertebrates and their processed products. Methods of analysis” with the establishment of mass fractions of water, protein, fat and ash. Evaluation of the indicators has been carried out on raw materials selected from the September and November 2019 catch. The hydrolysis has been carried out using autoclaving at a temperature of 130 ° C under a pressure of 0.25 MPa for 60 minutes, at a stirrer rotation speed of 60 rpm. As a result of temperature exposure, three fractions were obtained: upper (water-soluble) and lower (sedimentary) and fat (traces). The physicochemical composition of the obtained fractions has been estimated with the determination of the mass fraction of water, protein, fat, ash. An organoleptic evaluation of the obtained fractions has been carried out before drying and grinding, and after. It has been noted that during the hydrolysis of bone, cartilage tissue with muscle contraction, etc. three fractions are formed: sedimentary, containing insoluble particles, water-soluble and fatty. Due to the low lipid content in the feedstock, the last fraction has not been formed during the thermolysis (traces) and, accordingly, the physicochemical composition of this fraction was not evaluated. The prospect is the possibility of obtaining and using compositions from the integumentary tissue of pike perch as enriching additives in the technology of functional food products, since hydrolyzed fish skin is a source of easily digestible protein and its structural components, minerals, and some glycosaminoglycans.

Pike perch cover tissues, physical and chemical parameters, high -temperature hydrolysis, water- soluble fraction, functional products

ВВЕДЕНИЕ

Предприятия рыбопромышленного комплекса сталкиваются с проблемой утилизации ежедневно образующихся в пищевой промышленности рыбных отходов. В качестве основного способа переработки вторичного рыбного сырья (голов, костей, хрящей, плавников, чешуи, кожи, внутренностей) до сих пор остается производство кормовой рыбной муки. Очевидна необходимость решения проблемы с помощью более глубокой переработки вторичного сырья и комплексного подхода к изготовлению именно пищевой продукции. Новые технологии позволят не только снизить затраты на производство традиционных видов рыбной продукции, но и заметно расширить ассортимент обогащенных и функциональных продуктов питания.

Качество жизни человека во многом зависит от полноценного питания. Несбалансированность рациона по количественному и качественному составу (в том числе наличию необходимых для жизнедеятельности организма человека биологически активных веществ) приводит к низкой продуктивности генетически заложенного в нем потенциала. Комплексная переработка вторичного рыбного сырья и использование современных методов в ней (термолиз, ферментативный гидролиз) позволят получать биокомпозиции веществ для обогащения пищевой продукции в усвояемой организмом человека форме, что, в свою очередь, приведет к увеличению содержания БАВ в нашем рационе [1–3].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы заключалась в исследовании физическо-химических показателей покровных тканей судака в различные периоды вылова и в определении возможности их использования в качестве сырья для проведения высокотемпера-

турного гидролиза. Для достижения цели был изучен состав жидких и сублимированных гидролизатов, полученных после высокотемпературной обработки вторичного рыбного сырья, а именно кожи судака. Определены общий химический состав сырья и полученных после термолиза фракций, а также органолептические показатели последних.

Химический состав тканей рыб является непостоянным и зависит от таких факторов, как вид объекта, место его обитания, время вылова, условия жизни, поэтому определение и изучение их физико-химических показателей являются необходимыми [4]. В данном исследовании в качестве сырья используется кожа судака (сезоны вылова: сентябрь и ноябрь 2019 г.).

В Куршском заливе основной промысел составляют такие рыбы, как судак, плотва, окунь пресноводный, лещ, налим. Анализ тенденций переработки промыслового сырья Калининградского региона показывает, что для производства фарша и мороженого филе широко применяется судак [5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При приемке кожи судака для составления выборки из разных мест партии отбирается не более 3 % продукции по массе в соответствии с ГОСТ 31339-2006. Общий химический состав сырья определяется с использованием установленных стандартом методик.

У примитивных позвоночных дерма состоит главным образом из двух наборов коллагеновых волокон, расположенных в противоположных спиральях вокруг тела, создавая крестовый рисунок, который имеет способность сгибаться без сморщивания. Общая толщина дермы изменяется в зависимости от вида, положения на теле и стадии жизни. Дерма большинства рыб делится на два базовых слоя. Верхний (наружный) представляет собой рыхлую сеть коллагеновой соединительной ткани и называется *stratum spongiosum*, тогда как нижний представляет собой плотный слой, состоящий преимущественно из ортогональных коллагеновых полос, и называется *stratum compactum* [6].

Доминирующим белком покровных тканей судака является коллаген. В отличие от других вторичных тканей кожа рыб отличается низким содержанием жира и существенно более высоким содержанием белка [7].

Термолиз выбранного сырья проведен в автоклаве при температуре 130 °С под давлением 0,25 мПа в течение 60 мин при скорости вращения мешалки 60 об/мин. Предварительно оно промывается и измельчается на волчке диаметром 5 мм, затем смешивается с водой в соотношении 1:3 (до полного покрытия). Полученная суспензия помещается в автоклав для проведения термолиза. По окончании высокотемпературной обработки содержимое центрифугируется 20 мин при 4000 об/мин. После термолиза и центрифугирования суспензия представляет собой две фракции: верхнюю (водорастворимую) и нижнюю (осадочную). Третья (жировая) образовывается в микроскопическом количестве (следы) и в дальнейших исследованиях не учитывается. Внешний вид полученных фракций представлен на рис. 1. Они отделяются друг от друга. На рис. 2 показан внешний вид жидкой фракции. На вакуум-выпарном аппарате модели RE-52AA путем пленочного испарения и контролирования температуры концентрируется верхняя (водорастворимая) фракция до содержания сухих веществ около 40 %. Полученный полуфабрикат разливается слоем не более 1 см и замораживается при температуре не выше минус 18 °С. Подготовленная проба обезвоживается на сублимационной установке модели

Martin Christ ALPHA (рис. 3). После обезвоживания полуфабрикат измельчается. Вид последнего представлен на рис. 4. Использование протеиновой фракции возможно как в жидком, так и в высушенном виде в зависимости от вида конечного продукта. Поэтому исследования физико-химических и органолептических показателей водорастворимой фракции проводятся и в жидком, и в высушенном виде по стандартным методикам, регламентированным в ГОСТ 7636-85.



Рис. 1. Внешний вид двухфазной системы после центрифугирования:
а) водорастворимая фракция; б) не растворимая в воде фракция
Fig. 1. Appearance of a two-phase system after centrifugation:
a) water-soluble fraction; b) non-water-soluble fraction



Рис. 2. Жидкая протеиновая фракция
Fig. 2. Liquid protein fraction



Рис. 3. Высушенная протеиновая фракция
Fig. 3. Dried protein fraction



Рис. 4. Высушенная и измельченная протеиновая фракция
Fig. 4. Dried and crushed protein fraction

Протеиновые сублимированные композиции, полученные после термогидролиза кожи, представляют собой водорастворимые порошки светло-желтого цвета с легким запахом сушеной рыбы. В аминокислотном составе коллагенсодержащего сырья, каким является кожа судака, преобладают глицин, пролин и его производные, лизин, аргинин, глутамин и гиалуроновая кислота [8]. Последняя находится в комплексах с коллагеновыми белками, обладает высокой гигроскопичностью, за счет чего обеспечивается оптимальный уровень гидратации тканей, способствующий обеспечению оптимальной «организации» белкового каркаса дермы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Таблица 1. Общий химический состав сырья, %
Table 1. Total chemical composition of raw materials, %

Объект исследования	Массовая доля, %			
	вода	белок	жир	зола
Кожа судака (сентябрь 2019 г.)	58,6	29,4	1,2	11,4
Кожа судака (ноябрь 2019 г.)	56,4	28,4	1,6	13,5

По данным табл. 1, покровная ткань исследуемых объектов может быть отнесена к сырью, для которого характерно достаточно высокое содержание белка (от 28,4 до 29,4 %), низкое – жира (от 1,2 до 1,4 %) и высокое – воды (56,4–58,6 %). Химические показатели кожи судака осеннего вылова имеют приблизительно равные значения.

Высокое содержание белков в коже судака позволяет судить о ней, как о перспективном источнике получения гиалуроновой кислоты в комплексе с коллагеном [9]. Полученные порошки предполагается использовать в качестве обогащающих добавок в технологии новых функциональных продуктов питания для поддержания работы опорно-двигательного аппарата человека.

Таблица 2. Общий химический состав жидкого гидролизата, %
Table 2. Total chemical composition of liquid hydrolysate, %

Объект исследования	Выход жидкого гидролизата, % массы суспензии	Содержание, %			
		вода	белок	жир	минеральные вещества
Кожа судака	76	91,4	7,2	0,06	1,3

Таблица 3. Общий химический состав сублимированного гидролизата, %
Table 3. Total chemical composition of freeze-dried hydrolysate, %

Объект исследования	Выход сублимированного гидролизата, % массы сырья	Содержание, %			
		вода	белок	жир	минеральные вещества
Кожа судака	7,4	8,2	76,4	0,7	14,7

Получение сублимированного гидролизата является достаточно дорогостоящим, однако он гораздо более стоек в хранении, и использование его в таком виде распространено в большинстве технологий изготовления пищевых продуктов.

Осадочную фракцию высушивают (рис. 5) и измельчают (рис. 6) на мельнице до получения порошкообразной массы с размером частиц не более 0,4–0,5 мм. Применение осадочной фракции возможно только в высушенном и измельченном виде, поскольку изначально фракция является крупнозернистой массой, которую не представляется возможным использовать в дальнейших тех-

нологиях. Исследования органолептических и физико-химических показателей качества только высушенного и измельченного полуфабриката проводятся по стандартным методикам, регламентированным в ГОСТ 7636-85.



Рис. 5. Высушенная осадочная фракция
Fig. 5. Dried water-insoluble fraction



Рис. 6. Высушенная и измельченная осадочная фракция гидролизата
Fig. 6. Dried and crushed water-insoluble fraction

Таблица 4. Общий химический состав водонерастворимой фракции, %
Table 4. Total chemical composition of the water-insoluble fraction, %

Объект исследования	Выход водонерастворимой фракции, % массы суспензии	Содержание, %			
		вода	белок	жир	минеральные вещества
Кожа судака	22	0,9	1,8	0,3	97

Осадочные измельченные композиции, извлеченные методом термогидролиза, представляют собой порошки палевого цвета с легким запахом, свойствен-

ным сушеной рыбе. Полученные полуфабрикаты планируется использовать в дальнейших исследованиях как обогатители пищевых продуктов в качестве источника минеральных веществ. Натрий, калий, фосфор, магний, хлор в наибольшем количестве входят в состав кожи пресноводных рыб и не разрушаются под воздействием высоких температур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принимая во внимание, с одной стороны, формирующиеся отечественные тенденции к глубокой переработке и рациональному использованию рыбных отходов и, с другой – отсутствие на внутреннем рынке предложений по обогащению пищевых продуктов нутриентами с доказанным эффектом, покровные ткани рыб Балтийского моря и его заливов могут рассматриваться в качестве дополнительного источника сырья пищевого назначения для получения обогащающих добавок при создании функциональных продуктов. Изучены физико-химические показатели покровных тканей судака в различные периоды вылова, и показана возможность их использования для проведения высокотемпературного гидролиза. Произведен анализ состава жидких и сублимированных гидролизатов после высокотемпературной обработки кожи судака. Определен общий химический состав используемого сырья и полученных после термолитиза фракций. Дальнейшие исследования фракций, извлеченных при высокотемпературной обработке покровных тканей судака, будут оценены по содержанию гиалуроновой кислоты, аминокислотному и минеральному составам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ghaly D. A. *Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils* [Microbial and Biochemical Technology]. Spain, Longdom Publishing, 2013, 107–127 p.
2. Мезенова, О. Я. Биотехнология обогащенных пищевых продуктов и биологически активных композиций из недоиспользуемых гидробионтов / О. Я. Мезенова, Н. Ю. Ключко, Е. С. Землякова, К. Г. Анашкина // Олимпиада 2014: Технологические и экологические аспекты производства продуктов здорового питания: Междунар. науч.-практ. конф. (1–3 июня): материалы / КубГТУ. – Краснодар, 2009. – С. 209–211.
3. Arvanitoyannis I. S. *Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses* [Food Science and Technology] – United States, Academic Press, 2008. – 726–45 p.
4. Красакова, Т. В. Сравнительная характеристика состава и пищевой ценности субпродуктов разделки рыб Балтийского моря как объектов промышленной переработки на консервы / Т. В. Красакова, Т. Н. Рулева // Производство рыбной продукции: проблемы, новые технологии, качество: X Междунар. науч.-практ. конф.: материалы. – Калининград: АтлантНИРО, 2015. – С. 236–240.
5. Справочная информация «Правила рыболовства для Западного рыбохозяйственного бассейна» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 10.01.2020 г.)

6. Farrell A.P. *Functional morphology of the integumentary system in fishes* [The Skin Functional Morphology of the Integumentary System in Fishes]. United States, Academic Press, 2011, 482 p.

7. Землякова, Е. С. Комплексная переработка опорно-каркасных и покровных тканей судака на функциональные продукты: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04, 05.18.07 / Землякова Евгения Сергеевна; КГТУ. – Калининград, 2009. – 233 с.

8. Быков, В. П. Справочник по химическому составу и технологическим свойствам морских и океанических рыб / В. П. Быков, Г. П. Ионас, Г. Н. Головкова. – Москва: ВНИРО, 1998. – 223с.

9. Казакова, В. С. Источники получения гиалуроновой кислоты / В. С. Казакова, Е. С. Землякова // VII Международный Балтийский морской форум. VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Пищевая и морская биотехнология» (7–12 октября 2019 г.): материалы. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2019. – С. 64–68.

REFERENCES

1. Ghaly D. A. Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils [Microbial and Biochemical Technology]. Spain, Longdom Publishing, 2013, 107–127 p.

2. Mezenova O. Ya., Klyuchko N. Yu., Zemlyakova E. S., Anashkina K.G. Biotehnologiya obogashchennykh pishchevykh produktov i biologicheski aktivnykh komponentov iz nedoispol'zuyemykh gidrobiontov [Technological and ecological aspects of healthy foods production]. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii KubGTU, 1-3 iyunya* [Proceedings of the Scientific and Practical Conference KubGTU, 1–3 June]. Krasnodar, 2009, pp. 209–211.

3. Arvanitoyannis I. S. Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses [Food Science and Technology]. United States, Academic Press, 2008, pp. 726–745.

4. Krasakova T. V., Ruleva T. N. Sravnitel'naya kharakteristika sostava i pishchevoy tsennosti subproduktov razdelki ryb Baltiyskogo morya kak ob'yektov promyshlennoy pererabotki na konservy [Comparative characteristics of the composition and nutritional value of the Baltic sea fish offal as objects of industrial processing for canned food]. *Materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Proizvodstvo rybnoy produktsii: problemy, novyye tekhnologii, kachestvo"*. [Proceedings of X international scientific-practical conference "Production of fish products: problems, new technologies, quality"]. Kaliningrad, 2015, pp. 236–240.

5. Spravochnaya informatsiya "Pravila rybolovstva dlya Zapadnogo rybokhozyaystvennogo basseyna" [Background information "Fisheries Rules for the Western Fisheries Basin"]. Available at: <http://www.consultant.ru> (Accessed 10 January 2020).

6. Farrell A.P., *Functional morphology of the integumentary system in fishes*. United States, Academic Press, 2011. 482 p. (Russ. Ed.: Farrell A. P. *Funktsional'naya morfologiya pokrovnoy sistemy u ryb*. Moscow, Aquaculture Publ., 2011, 482 p.).

7. Zemlyakova E. S. *Kompleksnaya pererabotka oporno-karkasnykh i pokrovnykh tkaney sudaka na funktsional'nyye produkty*. *Diss. kand. tekhn. nauk* [Complex processing of backbone-skeleton and integumentary tissues of pike perch on functional products. Dis. cand. tech. sci.] Kaliningrad, 2009, 233 p.

8. Bykov V. P. *Spravochnik po khimicheskomu sostavu i tekhnologicheskim svoystvam morskikh i okeanicheskikh ryb* [Handbook on the chemical composition and technological properties of marine and oceanic fish]. Moscow, VNIRO Publ., 1998, 223 p.

9. Kazakova V. S., Zemlyakova E. S. Istochniki polucheniya gialuronovoy kisloty [Sources of hyaluronic acid]. *Materialy VII Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma. VIII Mezhdunarodnaya nauchno-prkticheskaya konferentsiya "Pishchevaya i morskaya biotekhnologiya" (7–12 oktyabrya 2019 g.)*. [Materials of the VII International Baltic Maritime Forum. VIII International Scientific and Practical Conference "Food and Marine Biotechnology" (7–12 October 2019)]. Kaliningrad, 2019, pp. 64–68.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Казакова Виктория Сергеевна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры пищевой биотехнологии;
E-mail: vashilo_vika@mail.ru

Kazakova Viktoriya Sergeevna – Kaliningrad State Technical University;
post-graduate student at the Department of Food Biotechnology;
E-mail: vashilo_vika@mail.ru

Землякова Евгения Сергеевна – Калининградский государственный технический университет; доцент кафедры пищевой биотехнологии;
зам. декана по научной работе;
E-mail: evgeniya.zemljakova@klgtu.ru

Zemlyakova Evgenia Sergeevna – Kaliningrad State Technical University;
Associate Professor of the Department of Food Biotechnology;
Deputy Dean for Research; E-mail: evgeniya.zemljakova@klgtu.ru

УДК 597.556.331.1

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-151-160

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ РЕЧНОГО
ОКУНЯ (PERCA FLUVIATILIS) КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

А. В. Макеева, Н. Ю. Ключко

ASSESSMENT OF THE CHEMICAL AND BIOLOGICAL VALUE OF RIVER
PERCH (PERCA FLUVIATILIS) IN THE KALININGRAD REGION

A. V. Makeeva, N. Yu. Klyuchko

Объем сырьевой базы внутренних водоемов Российской Федерации оценивается в 5 млн т водных биологических ресурсов, что позволяет увеличить темпы развития рыбной отрасли и нарастить производство пищевой рыбной продукции. Перспективным объектом внутренних водоемов Калининградской области является речной окунь вида *Perca fluviatilis*, основной объем вылова которого приходится на Куршский и Калининградский заливы. Несмотря на богатый химический состав, отсутствие мышечных костей, достойные вкусовые качества, хороший выход филе (36–51%), данный вид рыбы можно встретить на прилавках города относительно редко и главным образом в виде вяленой или копченой продукции. Проведенные исследования показали, что речной окунь (*Perca fluviatilis*) – источник полноценного белка, жира и минеральных веществ. По массовой доле белка (15–20 %) он относится к группе белковых рыб, тогда как по содержанию жира (0,1–3,0 %) – к низко- или среднежирных, что делает возможным использование мяса окуня в диетическом питании. Отмечено и высокое содержание в нем макроэлементов: калия (191,90 мг%), фосфора (190,00 мг%), натрия (67,10 мг%), а из микроэлементов – меди, цинка, марганца. По жирнокислотному составу липиды этого вида отличаются преобладанием полиненасыщенных кислот над мононенасыщенными. Зафиксировано большое содержание в нем жизненно важных незаменимых кислот – линолевой (9,5 %), γ -линоленовой (2,5 %) и частично незаменимых – эйкозапентаеновой (12,6 %), докозагексаеновой (2,1 %). Рассчитанный коэффициент биологической значимости ($K_{бзж}$) составил 0,39 %, а коэффициент эффективности метаболизма полиненасыщенных жирных кислот (КЭМ) – 0,16. По результатам исследований речной окунь (*Perca fluviatilis*) можно рекомендовать в качестве основного сырья при расширении ассортимента рыбной продукции.

речной окунь, Калининградская область, химический состав, жирнокислотный состав, минеральный состав

The volume of the raw material base of the internal reservoirs of the Russian Federation is estimated at 5 million tons of aquatic biological resources. This can increase the pace of development of the fishing industry and increase the production of fish food products. A promising object of internal reservoirs of the Kaliningrad region is the river perch *Perca fluviatilis*, the main volume of which is caught in the Curonian and

Kaliningrad bays. Despite the rich chemical composition, lack of muscle bones, decent taste, good yield of fillet (36-51%), this type of fish can be rarely found on the shelves of the city; mainly it is presented in the form of dried or smoked products. Studies have shown that river bass (*Perca fluviatilis*) is a source of complete protein, fat and minerals. According to the mass fraction of protein, river perch belongs to the group of protein fish (15-20%), and the fat content is low or medium-fat, making it possible to use it in dietary nutrition. A high content of macronutrients was also noted, namely potassium (191.90 mg%), phosphorus (190.00 mg%), sodium (67.10 mg%), from microelements - copper, zinc, and manganese. According to the fatty acid composition, the lipids of river perch differ in the predominance of polyunsaturated acids over monounsaturated ones. There is also a high content of vital essential acids – linoleic (9.5%), gamma-linolenic (2.5%) and partially essential – eicosapentaenoic (12.6%), docosahexaenoic (2.1%). The calculated coefficient of biological significance was 0.39%, and the coefficient of efficiency of polyunsaturated fatty acid metabolism was 0.16. According to the research results, river perch (*Perca fluviatilis*) can be recommended as the main raw material for expanding the range of fish products.

river perch, Kaliningrad region, chemical composition, fatty acid composition, mineral composition

ВВЕДЕНИЕ

Порядка 12,4 % территории Российской Федерации занимают пресные воды, что приравнено к одним из крупнейших их запасов в мире [1]. Для того чтобы поддержать достаточно высокий уровень рыбной промышленности РФ, необходимо активно развивать вылов водных биологических ресурсов (ВБР) из внутренних водоемов страны.

Калининградская область признана одним из самых значимых регионов страны по вылову ВБР. В ней насчитывается порядка 339 рек и 38 озер. Протяженность внутренних водоемов на ее территории более 4222 км. Самыми большими считаются заливы Куршский и Калининградский, реки Преголя, Неман и оз. Виштынецкое [2]. Основной объем вылова в пресноводных водоемах составляют плотва, лещ, толстолобик, карп, карась, щука, окунь и другие виды рыб, которые являются более распространенными, что делает их добычу экономически выгодной, а по химическому составу и биологической ценности они не уступают морским [3]. Наибольший вылов приходится на речного окуня, который часто недоиспользуется. Несмотря на богатый химический состав и достойные вкусовые качества данный вид рыбы можно встретить на прилавках города относительно редко и в основном в виде вяленой и копченой продукции [4].

Речной окунь (лат. *Perca fluviatilis*) – рыба рода окуней, семейства окуневых, отряда окунеобразных. Он является одним из многочисленных пресноводных видов рыб и имеет большое значение в рыбном хозяйстве Калининградской области [5]. В регионе речной окунь встречается повсеместно в водоемах различного типа, наиболее крупные выловы осуществляются в Куршском (порядка 150 т в год) и Калининградском (около 30 т в год) заливах [6].

Химический состав мяса окуня Куршского залива Балтийского моря весеннего вылова следующий: влага – 76–82 %, жир – 0,7–2,6, белок – 15–19, зола – 1,0–1,8 % [7–9]. Мышечные кости отсутствуют, цвет мышечной ткани – белый,

запах отварного мяса приятный, консистенция – плотная. По содержанию жира (не более 1 %) мышечная ткань окуня в сезоны вылова может быть отнесена к диетическому мясу. Выход филе у него составляет 36–51 % [6, 7].

Летом и осенью окуни наиболее упитаны, на это время приходится основное увеличение длины и массы рыбы, а осенью они начинают активно питаться, готовясь к зиме, и в данный период массовая доля жира достигает 2,6 % [7].

По данным ряда исследований, рыба внутренних водоемов содержит полноценный белок, жир и экстрактивные вещества, которые играют важную роль в проектировании здорового питания населения [10]. За счет преобладания полноценных белков мясо рыбы переваривается за 2–3 ч, в то время как мясо теплокровных животных – за 4–5 [11,12]. Помимо достойных вкусовых характеристик и высоких показателей пищевой ценности пресноводная рыба является более доступным и экономически выгодным сырьем для применения в промышленных масштабах. Отдельные виды по своему составу и биологической ценности могут конкурировать с морскими ВБР [13].

В настоящее время весьма актуален поиск альтернативы широко используемым видам морских рыб, таким, как хек, путассу, минтай, треска, чтобы расширить ассортимент выпускаемой рыбной продукции за счет использования внутренних водоемов, количество которых на территории РФ значительно превышает количество морей [13,14].

Несмотря на значительные объемы вылова, окунь как массовый вид в водоемах Калининградской области изучен относительно слабо [6]. Анализ химического состава и биологической ценности позволит определить перспективы его использования в пищевой промышленности в качестве основного сырья при производстве различного вида рыбной продукции [15].

Цель настоящего исследования – анализ химического, минерального и жирнокислотного состава мяса речного окуня (*Perca fluviatilis*) Калининградской области и оценка перспективы его использования при производстве рыбной продукции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования являлось мясо речного окуня вида *Perca fluviatilis*, выловленного в конце осени 2019 г. в Куршском заливе Калининградской области.

Содержание воды, жира, белка и золы в нем определяли стандартными методами по ГОСТ 7636 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа», а энергетическую ценность – расчетным.

Изучение минерального состава мышечной ткани окуня речного осуществляли методом атомно-абсорбционной спектроскопии, принцип действия которого основан на поглощении электромагнитного излучения специфической длины волны атомом с переходом в возбужденное состояние. Поглощенная энергия прямо пропорциональна количеству присутствующих атомов. Содержание К, Са, Mg, Na, P, Fe, Mn, Zn определяли на спектрометре VARIAN AA240 FS, а Cu, Se, Cr – на спектрометре VARIAN AAZ80Z.

Источником излучения, которое имеет спектр определенного элемента, служили лампы с полым катодом. В спектрометре VARIAN AA240 FS использован принцип пламенной атомизации, представленный смесью горючего – ацетилена и окислителя – воздуха, а в VARIAN AAZ80Z – электротермической.

Подготовка пробы осуществлялась как способом сухой минерализации, так и разложением с кислотой в высокочастотной микроволновой печи. При сухом озолении навеску мышечной ткани речного окуня массой 10 г предварительно озоляли на плитке в форфоровом тигле, затем помещали в муфельную печь на 4–6 ч при температуре 450°C.

При кислотной минерализации навеску массой 2 г определяли в герметичный сосуд, куда добавляли смесь кислот (3 см³ азотной кислоты и 2 см³ соляной кислоты), и помещали в микроволновую печь для минерализации на 1,5 ч.

Для определения селена и хрома раствор пробы вносился в графитовую кювету автосемплером (объем пробы порядка 14–20 микролитров). При установлении содержания элементов с применением пламенной атомизации проба поступает в горелку через капилляр в течение определенного времени, заданного программой. Объем при этом не фиксируется.

Количественное содержание минеральных веществ устанавливается методом калибровочного графика, построенного по известным концентрациям для каждого элемента.

Жирнокислотный состав определяли на газовом хроматографе с пламенно-ионизационным детектором марки «TRACE GC-2000/ Ultra Thermo Electron S.p.A.» по ГОСТ 31663-2012 «Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот». Подготовка пробы жира и получение метиловых эфиров жирных кислот, используемых для дальнейшего анализа методом газовой хроматографии, проводили по ГОСТ 32665-2012 «Масла растительные и животные. Получение метиловых эфиров жирных кислот».

Метод газовой хроматографии основан на разделении веществ между двумя несмешивающимися фазами: подвижной – гелий, неподвижной – капиллярная кварцевая колонка. Температура инжектора составляла 260 °С, начальная температура термостата колонки – 100, конечная – 240 °С.

На первом этапе мясо речного окуня подвергалось экстракции диэтиловым эфиром в течение 4 ч, после чего содержимое фильтровали, отбирали в колбу, присоединенную к обратному холодильнику, 1 г фильтрата и проводили гидролиз в присутствии 2,5 мл метанола и 0,125 мл концентрированной соляной кислоты кипячением в течение 10 мин. 0,1 г полученной жировой фазы растворяли в 2 мл гексана и метилировали с добавлением 0,1 мл раствора метилата натрия в метаноле. Содержимое закрытой пробкой пробирки тщательно перемешивали и отстаивали 5 мин, после чего верхний слой, содержащий метиловые эфиры, отфильтровывали, отбирали микрошприцем 1 мкл раствора и вводили в испаритель хроматографа. Применяемая капиллярная колонка SPTM -2560.

Оценку биологической ценности липидов проводили расчетно-аналитическим методом по количественному содержанию жирных кислот. Коэффициент биологической значимости липидов ($K_{бзж}$) рассчитывали по отношению суммы ω -3 полиненасыщенных жирных кислот – эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозагексаеновой (ДГК).

Количественную оценку соответствия жирнокислотного состава липидов потребностям организма определяли с помощью коэффициента эффективности метаболизма полиненасыщенных жирных кислот (КЭМ).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 представлен общий химический состав мяса речного окуня (*Perca fluviatilis*).

Таблица 1. Общий химический состав мяса речного окуня вида *Perca fluviatilis*
Table 1. Chemical composition of river perch *Perca fluviatilis*

Вид рыбы	Массовая доля, %				Энергетическая ценность, кДж/100 г
	влага	белок	жир	зола	
Речной окунь вида <i>Perca fluviatilis</i>	78,65	17,31	2,59	1,45	387,23

Из данных табл. 1 следует, что в сравнении с морскими рыбами мясо речного окуня (*Perca fluviatilis*) по массовой доле белка приближено к наиболее используемым видам – путассу, хеку, минтаю, треске. По содержанию белка речной окунь относится к группе белковых рыб (15–20 %), а жира – среднежирных (2–8 %), что свидетельствует о его высокой биологической ценности и перспективе использования при производстве рыбных продуктов различного вида.

Содержание жира в рыбе непостоянно и зависит от ряда факторов. У речного окуня, исследуемого в данной работе, может быть повышенное количество жира вследствие его вылова в период нагула. По справочным данным, он относится к тощим рыбам и содержит жира до 2 % [8].

Изученный минеральный состав мяса речного окуня (*Perca fluviatilis*) представлен в табл. 2.

Таблица 2. Содержание минеральных веществ в мясе речного окуня вида *Perca fluviatilis*

Table 2. Mineral content of river perch *Perca fluviatilis*

Содержание минеральных веществ	Окунь – <i>Perca fluviatilis</i>	Суточная потребность*
Калий, мг%	191,90	2500 мг
Кальций, мг%	12,90	1000–1200 мг
Магний, мг%	29,40	400 мг
Натрий, мг%	67,10	1300 мг
Фосфор, мг%	190,00	800 мг
Железо, мг%	1,50	10–18 мг
Марганец, мг%	0,09	2 мг
Цинк, мг%	0,55	12 мг
Медь, мг%	0,01	1 мг
Селен, мкг%	4,44	5–70 мкг
Хром, мкг%	20,00	50–200 мкг

Примечание. *МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ».

Из данных табл. 2 видно, что мясо речного окуня отличается высоким содержанием наиболее значимых в нашем питании минеральных элементов (калия,

кальция, магния, натрия, фосфора, железа), содержание которых не уступает таковому в морских видах рыб. Особое значение имеют микроэлементы, не синтезируемые организмом (медь, цинк, марганец). Наибольшее количество среди исследуемых элементов приходится на калий, играющий важную роль в функционировании нервной и сердечно-сосудистой систем. Кальций необходим для поддержания структурных функций, нормальной пропускной способности стенок кровеносных сосудов, процессов свертывания и передачи нервных импульсов. Фосфор, за высокое содержание которого ценятся рыбы большинства видов, отвечает за работу основных органов – сердца, почек, печени и мозга.

Речного окуня можно рекомендовать в качестве основного сырья при производстве функциональных продуктов питания, а также специализированного питания за счет значительного содержания минеральных веществ. Так, употребление 200 г мяса окуня удовлетворит суточную потребность в калии на 15 %, фосфоре – на 23,8, магнии – на 7,4, натрии – на 5,2, селене – на 6,8, хrome – на 16 %.

Содержание жирных кислот (в процентах) в мясе речного окуня представлено в табл. 3.

Таблица 3. Жирнокислотный состав липидов мяса речного окуня вида *Perca fluviatilis* (содержание ЖК, %)

Table 3. Fatty acid composition of lipids of perch *Perca fluviatilis* (FA content, %)

Наименование жирных кислот (индекс ЖК)	Содержание, %
1	2
Лауриновая (12:0)	0,110
Тридекановая (13:0)	0,019
Миристиновая (14:0)	3,013
Миристолеиновая (14:1)	0,539
Пентадекановая (15:0)	0,562
Пентадеценовая (15:1)	0,039
Пальмитиновая (16:0)	22,565
Гексадеценовая (16:1)	0,328
Маргариновая (17:0)	0,480
Гептадеценовая (17:1)	0,356
Стеариновая (18:0)	4,319
Вакценовая (18:1n9t)	0,269
Олеиновая (18:1n9c)	24,249
Изо-октадекадиеновая (18:2n6t)	0,988
Линолевая (18:2n6c)	9,527
γ-линоленовая (18:3n6)	0,027
α-линоленовая (18:3n3)	2,541
Арахидиновая (20:0)	0,186
Гондоиновая (20:1)	0,759
Эйкозодиеновая (20:2)	0,717
Эйкозатриеновая (20:3n6)	0,254
Арахидоновая (20:4n6)	4,742
Эйкозопентаеновая (20:5n3)	12,552
Генейкозановая (21:0)	0,195

Окончание табл. 3

1	2
Бегеновая (22:0)	0,717
Эруковая (22:1n9)	1,476
Докозагексаеновая (22:6n3)	2,144
∑ насыщенных:	32,166
∑ мононенасыщенных:	25,015
∑ полиненасыщенных:	33,968

По данным табл. 3 можно судить о богатом жирнокислотном составе мышечной ткани речного окуня (*Perca fluviatilis*). Она также отличается высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот: линолевой (9,53 %), олеиновой (24,25 %), арахидоновой (4,74 %), являющихся физиологически необходимыми веществами, которые образуют жизненно важный витамин F. Помимо этого, линолевая (9,53 %), α-линоленовая (2,541 %) и арахидоновая (4,74 %) кислоты относятся к несинтезируемым эссенциальным.

Отношение полиненасыщенных к насыщенным жирным кислотам является одним из наиболее важных показателей ценности липидов. Содержание полиненасыщенных кислот преобладает над содержанием насыщенных на 5,30 %, а полиненасыщенных над мононенасыщенными – на 26,36 %. Наибольшее количество приходится на эйкозапентаеновую кислоту (12,55 %). Далее в значительном количестве присутствуют линолевая (9,53 %) и докозагексаеновая (2,14 %). Одна из важнейших функций последней заключается в способности концентрироваться в клетках головного мозга и регулировать его деятельность.

Рассчитанный коэффициент биологической значимости липидов (0,16) свидетельствует о наличии качественных липидов в мышечной ткани речного окуня вида *Perca fluviatilis*.

Коэффициент эффективности метаболизма полиненасыщенных жирных кислот (КЭМ) составил 0,39 %, что свидетельствует о соответствии жирнокислотного состава потребностям организма. По полученным данным можно судить о высокой значимости жирных кислот мышечной ткани речного окуня (*Perca fluviatilis*) и перспективе использования ее при производстве различного рода рыбной продукции, в частности, в создании функциональных продуктов.

ВЫВОДЫ

В ходе исследований было установлено, что мясо речного окуня вида *Perca fluviatilis*, выловленного в конце осени 2019 г. в Куршском заливе Калининградской области, отличается ценным химическим, жирнокислотным и минеральным составом.

Исследования позволили идентифицировать в мясе речного окуня вида *Perca fluviatilis* большое количество жизненно важных минеральных элементов (K, Ca, Na, Mg, Se, Cr) и все незаменимые жирные кислоты: олеиновую, арахидоновую, линолевую, линоленовую в значительных количествах, что подтверждает возможность его масштабного использования в улучшении структуры и качества рационов питания.

Высокие показатели коэффициента эффективности метаболизма полиненасыщенных жирных кислот (КЭМ) и коэффициента биологической значимости

свидетельствуют о благоприятном жирнокислотном профиле для здоровья человека.

Использование в качестве основного сырья мяса речного окуня дает возможность создания поликомпонентных пищевых продуктов различной направленности, а дополнительное внесение растительного сырья позволяет сбалансировать пищевую ценность продукта по недостающим компонентам.

Также важно отметить, что употребление рыбных продуктов местного значения положительно скажется на экономических показателях страны, здоровье населения, продолжительности и качестве жизни.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». – Москва: НИА-Природа, 2019. – 290 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». – Москва: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. – 844 с.
3. Стецюк, В. В. Современное состояние и проблемы рыбной промышленности Российской Федерации / В. В. Стецюк // Таможенная политика России на Дальнем Востоке. – 2019. – № 2(87). – С. 65–76.
4. Современное состояние биоресурсов внутренних вод / II Всероссийская конференция с международным участием (6–9 ноября 2014): материалы докладов: в 2 т. / Борок, Россия. – Москва: Полиграфплюс, 2014. – Т. 1. – 326 с.
5. Яржомбек, А. А. Образ жизни и поведение промысловых рыб / А. А. Яржомбек. – Москва: Изд-во ВНИРО, 2016. – 200 с.
6. Кухоренко, К. Г. Рыбы Балтики и заливов (Калининградский регион) / К. Г. Кухоренко, К. В. Тылик. – Калининград: Терра Балтика, 2013. – 151 с.
7. Кудерский, Л. А. Избранные труды. Исследования по ихтиологии, рыбному хозяйству и смежным дисциплинам // Сборник научных трудов ФГБНУ ГосНИОРХ: в 6 т. – Москва; Санкт-Петербург: Товарищество научных изданий КМК, 2017. – Т. 5, вып. 344. – 292 с.
8. Химический состав российских пищевых продуктов: справочник / под ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. – Москва: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.
9. Fiogbe, E.D. Variation of whole body amino acid profile in Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. reared in an inorganic fertilized pond / E.D Fiogbe // Int. J. Biol. Chem. Sci. – 2009, Vol # 3. – №1. – S. 117–124.
10. Производство рыбных продуктов: проблемы, новые технологии, качество / XI Международная научно-практическая конференция: материалы (пленарные и стендовые доклады). – Калининград: Изд. АтлантНИРО, 2017. – 225 с.
11. Антипова, Л. В. Прудовые рыбы в улучшении структуры питания населения: гигиенические аспекты / Л. В. Антипова, О. П. Дворянинова, А. В. Соколов // Гигиена и санитария. – 2016. – № 95 (01). – С. 85–90.
12. Consultation FE. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. FAO Food and Nutrition Paper, 2013. – Pp. 1–6.
13. Дворянинова, О. П. Разработка высокоценных пищевых продуктов на основе объектов аквакультуры для обеспечения сбалансированного питания насе-

ления / О. П. Дворянинова, А. В. Соколов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – С. 254.

14. Шебела, К. Ю. Полезные свойства рыбы для питания / К. Ю. Шебела, Н. Ю. Сарбатова // Молодой ученый. – 2014. – № 17. – С. 112–115.

15. Демирова, А. Ф. Производство функциональных продуктов питания: учеб. пособие / А. Ф. Демирова. – Махачкала, 2015. – 180 с.

REFERENCES

1. Gosudarstvennyy doklad “O sostoyanii i ispol'zovanii vodnykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2018 godu”. Moscow, NIA-Priroda, 2019, 290 p.

2. Gosudarstvennyy doklad “O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2018 godu”. Moscow, Minprirody Rossii; NPP “Kadastr”, 2019, 844 p.

3. Stetsyuk V. V. Sovremennoe sostoyanie i problemy rybnoy promyshlennosti Rossiyskoy Federatsii [Current state and problems of the fishing industry of the Russian Federation]. *Tamozhennaya politika Rossii na Dal'nem Vostoke*. 2019, no. 2(87), pp. 65–76.

4. Sovremennoe sostoyanie bioresursov vnutrennikh vod [Current state of bioresources of inland waters]. *Materialy dokladov II Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. 6–9 noyabrya 2014 g., Borok, Rossiya. V dvukh tomakh* [Proceedings of the II all-Russian conference with international participation, November 6–9, 2014, Borok, Russia]. Moscow, Poligrafplyus, 2014, vol. 1, 326 p.

5. Yarzombek A. A. *Obraz zhizni i povedenie promyslovykh ryb* [Lifestyle and behavior of commercial fish]. Moscow, izd-vo VNIRO, 2016, 200 p.

6. Kuhorenko K. G., Tylik K. V. *Ryby Baltiki i zalivov (Kaliningradskiy region)* [Fish of the Baltic and bays (Kaliningrad region)]. Kaliningrad, Terra Baltika, 2013, 151 p.

7. Kuderskiy L. A. *Izbrannye trudy. Issledovaniya po ikhtiologii, rybnomu khozyaystvu i smezhnym distsiplinam* [Selected works. Research in ichthyology, fisheries, and related disciplines]. *Sbornik nauchnykh trudov FGBNU GosNIORH*. Moscow, Saint-Petersburg, Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2017, vol. 5, iss. 344, 292 p.

8. *Khimicheskiy sostav rossiyskikh pishchevykh produktov: spravochnik* [Chemical composition of Russian food products: reference book]. Pod. red. I. M. Skurikhina, V. A. Tutel'yana. Moscow, DeLi print, 2002, 236 p.

9. Fiogbe E. D. Variation of whole body amino acid profile in Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. reared in an inorganic fertilized pond. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 2009, vol. 3, no. 1, pp. 117–124.

10. *Proizvodstvo rybnykh produktov: problemy, novye tekhnologii, kachestvo* [Production of fish products: problems, new technologies, quality]. *Materialy (plenarnye i stendovye doklady) XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proceedings (plenary and poster presentations) of the XI International scientific and practical conference]. Kaliningrad, izd. AtlantNIRO, 2017, 225 p.

11. Antipova L. V., Dvoryaninova O. P., Sokolov A. V. *Prudovye ryby v uluchshenii struktury pitaniya naseleniya: gigienicheskie aspekty* [Pond fish in improv-

ing the nutritional structure of the population: hygienic aspects]. *Gigiena i sanitariya*, 2016, no. 95 (01), pp. 85–90.

12. Consultation FE. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. FAO Food and Nutrition Paper 2013. – Pp. 1–6.

13. Dvoryaninova O. P., Sokolov A. V. Razrabotka vysokotsennykh pishchevykh produktov na osnove ob"ektov akvakul'tury dlya obespecheniya sbalansirovannogo pitaniya naseleniya [Development of high-value food products based on aquaculture facilities to ensure balanced nutrition of the population]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 1, p. 254.

14. Shebela K. Yu., Sarbatova N. Yu. Poleznye svoystva ryby dlya pitaniya [Useful properties of fish for nutrition]. *Molodoy uchenyy*, 2014, no. 17, pp. 112–115.

15. Demirova A. F. *Proizvodstvo funktsional'nykh produktov pitaniya: uchebnoe posobie* [Production of functional food products: tutorial]. Makhachkala, 2015, 180 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Макеева Алена Владимировна – Калининградский государственный технический университет; магистрант кафедры пищевых биотехнологий;
E-mail: alena_struchkova@mail.ru

Makeeva Alyona Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University; Master student; Department of food biotechnology; E-mail: alena_struchkova@mail.ru

Ключко Наталья Юрьевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент;
E-mail: natalya.kluchko@klgtu.ru

Klyuchko Natalia Yurievna – Kaliningrad State Technical University; Associate Professor, PhD in Engineering; E-mail: natalya.kluchko@klgtu.ru

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-163-172

СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ГЛЕЕВАТЫХ
ПОЧВ НА СЕНОКОСЕ В ПРЕДЕЛАХ ЛАВА-ПРЕГОЛЬСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

О. А. Анциферова, Д. И. Юсупова

STRUCTURAL STATE OF SOD-PODZOLIC GLEYED SOILS ON HAYMAKING
WITHIN THE LAVA-PREGOL LOWLAND

O. A. Antsiferova, D. I. Yusupova

Исследования проведены в 2019 г. на ключевом участке в Черняховском районе Калининградской области. Почвы на озерно-ледниковой Лава-Прегольской низменности в пределах изученного сенокосного угодья сформировались на тяжелых карбонатных глинах, местами прикрытых маломощным средним суглинком. Почвенный покров состоит из комбинации дерново-подзолистых глееватых почв, отличающихся глубиной оглеения, степенью выраженности признаков оподзоливания, гранулометрическим составом гумусового горизонта. Изучено структурное состояние гумусового горизонта двух почв. На повышении почва имеет среднесуглинистый состав в слое 0–20 см, глубже глинистая, признаки оглеения обнаруживаются с 50 см. На типичном пониженном плоском участке расположена дерново-подзолистая глинистая поверхностно- и профильно-глееватая почва с выраженным оподзоленным горизонтом. Увеличение степени гидроморфизма в почвах связано с усилением их увлажнения. Структура обеих изученных почв глыбистая и оценивается как плохая в весенний и осенний периоды и неудовлетворительная – летом. Коэффициент структурности по трем турам мониторинга был менее 0,67. Границы сезонного варьирования в содержании суммы агрономически ценных агрегатов (10–0,25 мм) по данным сухого фракционирования составляют 17–24 %. Водопрочность агрегатов в течение вегетационного периода (апрель – октябрь) варьирует от плохой до отличной. Различия структурного состояния между глубокоглееватой и поверхностно-глееватой почвами несут существенны по данным сухого фракционирования. Достоверная разница наблюдается в начале апреля по степени водопрочности структуры. Глубокоглееватая почва на повышении в ранневесенний период содержит больше водопрочных агрегатов. Выражена тенденция сильного увеличения водопрочности структуры в поверхностно-глееватой почве в летне-осенний период за счет осаждения на границах агрегатов аморфных гидроокисей железа.

дерново-подзолистые глееватые почвы, структурное состояние, водопрочность агрегатов, сезонное варьирование агрегатного состава, многолетние травы

The research was conducted in 2019 at a key site in the Chernyakhovskiy district of the Kaliningrad region. The soils on the lake-glacial Lava-Pregol lowland within the studied haymaking area were formed on heavy carbonate clays, sometimes covered with

low-power medium loam. The soil cover consists of a combination of sod-podzolic gleyed soils. Soils are gleyed with depth, the degree of expressiveness of signs of podzolization, granulometric composition of humus horizon. On the rise, the soil is medium-loamy in a layer of 0–20 cm, deeper clay, signs of gley with 50 cm. On a typical lowered flat area, the soil is heavy loam and clay surface-and profile-gleyed with a pronounced podzol horizon. The increase in the degree of hydromorphism is associated with greater soil moisture. The structure of both studied soils is lumpy and is assessed as poor in spring and autumn, and unsatisfactory in summer. The structural coefficient for the three monitoring rounds on both soils was less than 0.67. The range of seasonal variation in the content of the amount of agronomically valuable aggregates (10–0.25 mm) according to dry fractionation data is 17–24 %. Water quality of aggregates during the growing season (April – October) varies from bad to excellent. Differences in the structural state between deep-gleyed and surface-gleyed soils are insignificant according to dry fractionation data. A significant difference is observed in the beginning of April in the degree of water resistance of the structure. Deep-gleyed soil on the rise in the early spring period contains more water-bearing aggregates. There is a strong tendency to increase the water strength of the structure in the surface-gleyed soil in the summer-autumn period due to the deposition of amorphous iron hydroxides on the faces of aggregates.

sod-podzolic gleyed soils, structural state, water stability of aggregates, seasonal variation in aggregate composition, perennial grasses

ВВЕДЕНИЕ

Формирование почвенных агрегатов зависит от совокупности экологических факторов: содержания гумуса и поступления органических веществ животного и растительного происхождения, микробиологической активности, минералогического, гранулометрического и химического состава почв и пород, климатических характеристик, вида и интенсивности использования почв. Структура почвы является одним из важных факторов плодородия [1–3]. В настоящее время актуальны исследования причин динамики агрегатного состава почв и устойчивости структуры во времени в различных агроэкосистемах [3–5]. Эта проблема практически не решена применительно к почвам Калининградской области.

Цель исследования: изучить структурное состояние почвы и ее сезонную динамику на сенокосном угодье в пределах Лава-Прегольской низменности.

Задачи: 1) охарактеризовать особенности типичных почв на сенокосном угодье; 2) провести исследование фракционного состава и водопрочности агрегатов гумусового горизонта по сезонам года (весна, лето, осень); 3) установить связь структурного состояния и степени увлажнения почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2019 г. на сенокосном угодье третьего года пользования (ключевой участок «Светаевка») в Черняховском районе Калининградской области. Травостой на сенокосе является сеянным, в составе преобладают райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.), фестулолиум (*Festulolium*), овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.). Предшественником сенокоса являлась многолетняя залежь с участием древесной и кустарниковой поросли.

Структурное состояние гумусового горизонта (0–20 см) изучали методом Н. И. Саввинова (сухое и мокрое просеивание) [6, с. 62–66]. Плотность сложения почв определяли методом режущих колец [6, с. 97–98]. Пробы почв отбирали три раза в год (в начале апреля, в июле, в октябре) в четырехкратной повторности с каждого почвенного ареала. Параллельно определяли влажность образцов термостатно-весовым методом [6, с. 152]. Количественный анализ органического углерода с последующим пересчетом на гумус выполнен по методу И. В. Тюрина в модификации Симакова [7]. Урожайность надземной фитомассы многолетних трав изучали на площадках 1 м². Сведения о количестве осадков и температурах взяты по ближайшей к ключевому участку метеостанции г. Черняховска [8]. В программе Excel проводили статистический анализ полученных данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Лава-Прегольская (или просто Прегольская) низменность занимает центральную часть Калининградской области [9, с. 30–31]. Она представляет собой слабоволнистую и местами плоскую равнину, сложенную карбонатными озерно-ледниковыми глинами, иногда прикрытыми сверху маломощным слоем суглинков и супесей [10]. В почвенном покрове равнины преимущественно оглеенные дерново-подзолистые почвы тяжелого гранулометрического состава. Они обладают рядом неблагоприятных агрофизических свойств: подвержены переувлажнению из-за поверхностного застоя влаги на глинах, имеют низкие коэффициенты фильтрации, растрескиваются летом при высыхании, обладают малым количеством гумуса, очень тяжелы при механической обработке. Большинство почв осушается открытой самотечной системой, местами комбинированной сетью [9, с. 198–199]. Наилучшим способом использования почв на озерно-ледниковых тяжелых глинах является формирование долговременных сенокосов и пастбищ.

Для изучения структурного состояния было выбрано два ареала почв: 1) на автономной позиции рельефа – повышение; почва окультуренная дерново-подзолистая среднесуглинистая глубоко глееватая на озерно-ледниковых карбонатных глинах с подстиланием легкими карбонатными суглинками и супесями с 97–135 см; 2) на типичном для поля плоском пониженном участке; почва окультуренная дерново-подзолистая поверхностно- и профильно-глееватая глинистая на карбонатных озерно-ледниковых глинах. Смена породы на тяжелый суглинок происходит на глубине 150 см, а с 220 вскрывается легкий суглинок, в котором в ранневесенний период обнаруживается грунтовая вода.

Морфологическое строение почв изучали в разрезах, заложенных в июле 2019 г. Выяснилось, что почвы отличаются морфологическими признаками гидроморфизма. Мощность гумусового горизонта в первой почве составляет 23 см, гранулометрический состав среднесуглинистый, местами тяжелосуглинистый, содержание гумуса – 3–3,5 %. Признаков оподзоливания в профиле нет. Слабое оглеение в форме тонких сизых прожилок появляется с глубины 50 см, а с 75 залегает среднеглееватый горизонт. На втором ареале мощность гумусового горизонта несколько меньше (21 см), он преимущественно тяжелосуглинистый и глинистый. Основное количество гумуса сосредоточено в слое 0–10 см (около 2,7 %), глубже (слой 10–20 см) уменьшается до 1,5 %. В профиле присутствует оподзоленный горизонт (A2Bg) на глубине 21–35 см. Признаки оглеения выражены уже с поверхности в виде сизого оттенка и ржавых пленок аморфной гидроокиси же-

леза на гранях отдельностей. Это указывает на сезонный поверхностный застой влаги. Весь профиль является среднеглееватым.

Метеорологические условия определяют увлажнение и иссушение, нагревание и охлаждение почв в конкретный год. Поэтому они сильно влияют на сезонную динамику агрегатного состава. Распределение осадков и температуры за период исследования отражено в табл. 1. За вегетационный период (апрель – октябрь 2019 г.) выпало 426 мм осадков. Это меньше среднемноголетних данных (492 мм) [9, с. 83] по причине атмосферной засухи в апреле.

Таблица 1. Погодные условия 2019 г. в период исследования (по данным метеостанции г. Черняховска)

Table 1. Weather conditions in 2019 during the study period (according to the Chernyakhovsk weather station)

Месяц	Среднемесячная температура, °С	Количество осадков, мм
Март	4,1	55
Апрель	9,5	0,1
Май	12,5	85
Июнь	20,4	91
Июль	17,1	74
Август	18,1	52
Сентябрь	13,4	59
Октябрь	10,1	65

Погодные условия в целом были благоприятными для вегетации многолетних трав на изученных почвах. Ливневые осадки в мае – августе расходовались на водопотребление. Поверхностного застоя влаги в период исследований не было. Урожайность трав к середине июля составила около 5,6 т/га надземной фитомассы. Существенных отличий между ареалами почв не было.

Рассмотрим динамику фракционного состава агрегатов гумусового горизонта (0–20 см) почв (табл. 2). Для оценки использовалась шкала С. И. Долгова и П. У. Бахтина [11, с. 21]. К началу апреля обе почвы имели плохое структурное состояние из-за высокой глыбистости. Коэффициент структурности составил в среднем для дерново-подзолистой почвы на повышении 0,15, а для поверхностно-глееватой – 0,17. Это очень низкие показатели, неудовлетворительные для гумусового горизонта почв агроэкосистем. Причина заключается в высокой влажности, в состоянии которой почва пребывает длительное время (с октября по апрель). В таких условиях происходит дезагрегация почвенной массы.

В июле пробы отбирали в период максимального развития корневой системы трав и накопления высокой надземной фитомассы. Выяснилось, что у обеих почв структурное состояние несколько улучшилось, однако оно оценивалось как неудовлетворительное. Коэффициент структурности у почвы на повышении составил 0,44, а у почвы на пониженном участке – 0,63, что меньше критического значения 0,67.

Таблица 2. Динамика агрегатного состава дерново-подзолистых глееватых почв на карбонатных глинах (по данным сухого фракционирования)

Table 2. Dynamics of aggregate composition of sod-podzolic gleyed soils on carbonate clays (according to dry fractionation data)

Срок отбора проб	Размер фракций (мм) и содержание, %									
	> 10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	< 0,25	10-0,25
Почва 1. Дерново-подзолистая среднесуглинистая глубокоглееватая на озерно-ледниковых карбонатных глинах с подстилкой легкими карбонатными суглинками и супесями с 97-135 см										
Начало апреля	86,42±5,41	2,98±0,95	2,77±0,98	2,88±1,13	1,65±0,76	1,68±0,84	0,58±0,27	0,49±0,21	0,59±0,27	13,01±5,13
Июль	79,8-93,03	1,82-4,14	1,57-3,96	1,49-4,26	0,72-2,57	0,65-2,70	0,25-0,90	0,23-0,75	0,25-0,92	6,73-19,28
Октябрь	68,17±3,18	10,80±1,16	6,19±0,82	7,06±1,42	2,76±0,34	2,29±0,27	0,86±0,1	0,74±0,09	1,12±0,2	30,70±2,99
	64,03-74,41	8,52-12,27	4,84-7,66	5,18-9,85	2,14-3,29	1,75-2,64	0,65-0,98	0,55-0,84	0,74-1,38	24,85-37,71
	85,76±1,25	3,78±0,02	3,37±0,61	3,17±0,6	1,59±0,28	1,33±0,22	0,39±0,05	0,28±0,02	0,33±0,03	13,91±1,75
	83,15-89,09	3,75-3,82	2,26-4,37	2,07-4,14	1,03-1,97	0,89-1,60	0,3-0,45	0,24-0,32	0,29-0,38	10,61-16,54
Почва 2. Дерново-подзолистая поверхностно- и профильно-глееватая глинистая на карбонатных озерно-ледниковых глинах										
Начало апреля	85,38±1,41	3,87±0,19	2,82±0,21	3,12±0,48	1,82±0,34	1,69±0,31	0,50±0,01	0,43±0,02	0,38±0,14	14,24±1,53
Июль	83,65-87,1	3,64-4,10	2,55-3,08	2,53-3,7	1,41-2,23	1,31-2,06	0,49-0,51	0,41-0,45	0,2-0,55	12,36-16,11
Октябрь	60,38±4,99	9,83±0,45	9,43±0,93	9,60±1,61	4,33±0,85	3,37±0,65	1,12±0,2	0,86±0,15	1,08±0,15	38,55±4,83
	54,48-70,28	8,94-10,28	7,63-10,72	6,38-11,36	2,65-5,37	2,07-4,14	0,7-1,34	0,56-1,02	0,78-1,28	28,95-44,23
	83,84±3,05	3,88±0,81	3,74±0,86	3,89±0,69	1,76±0,54	1,63±0,2	0,56±0,05	0,31±0,04	0,38±0,05	15,78±3,06
	79,94-89,85	2,30-5,00	2,03-4,70	2,52-4,69	0,73-2,52	1,3-1,98	0,48-0,66	0,24-0,37	0,29-0,47	9,78-19,76

Примечание. Над чертой приведено среднее арифметическое значение ± ошибка среднего; под чертой – размах варьирования в выборке (минимальное и максимальное значения).

Таблица 3. Динамика водопрочности агрегатов дерново-подзолистых глееватых почв на карбонатных глинах (по данным мокрого фракционирования)

Table 3. Dynamics of water quality of aggregates of sod-podzolic gleyed soils on carbonate clays (according to wet fractionation data)

Срок отбора проб	Размер фракций (мм) и содержание, %							
	Более 5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	< 0,25	
Почва 1. Дерново-подзолистая среднесуглинистая глубокоглееватая на озерно-ледниковых карбонатных глинах с подстилкой легкими карбонатными суглинками и супесями с 97-135 см								
Начало апреля	<u>2,66±0,88</u> 1,58-3,74	<u>6,65±1,66</u> 4,62-8,68	<u>7,56±0,59</u> 6,84-8,28	<u>16,57±1,14</u> 15,18-17,96	<u>13,36±1,36</u> 11,7-15,02	<u>7,46-1,76</u> 5,3-9,62	<u>45,74±5,62</u> 38,86-52,62	<u>54,26±5,62</u> 47,38-61,14
Июль	<u>43,41±10,5</u> 30,3-64,16	<u>7,26±0,63</u> 6,06-8,20	<u>3,78±1,38</u> 2,00-6,50	<u>7,11±2,45</u> 2,80-11,26	<u>4,17±1,56</u> 1,38-6,78	<u>1,99±0,57</u> 0,90-2,82	<u>32,27±5,9</u> 22,70-45,46	<u>67,73±6,82</u> 54,54-77,3
Октябрь	<u>22,44±5,79</u> 12,22-32,24	<u>9,57±1,44</u> 6,7-11,14	<u>6,60±0,86</u> 4,88-7,54	<u>13,43±1,52</u> 10,56-15,72	<u>8,96±1,8</u> 6,78-12,54	<u>3,17±1,12</u> 1,50-5,28	<u>33,49±1,66</u> 30,34-35,98	<u>66,51±1,66</u> 64,02-69,66
Почва 2. Дерново-подзолистая поверхностно- и профильно-глееватая глинистая на карбонатных озерно-ледниковых глинах								
Начало апреля	<u>2,01±0,14</u> 1,84-2,18	<u>1,89±0,14</u> 1,72-2,06	<u>5,14±0,33</u> 4,74-5,54	<u>8,33±3,60</u> 3,92-12,74	<u>9,54±1,90</u> 7,22-11,86	<u>5,14-0,39</u> 4,66-5,62	<u>67,95±6,50</u> 60,00-75,9	<u>32,05±6,50</u> 24,10-40,0
Июль	<u>33,23±3,72</u> 26,36-39,16	<u>11,18±1,31</u> 9,36-13,72	<u>6,73±0,82</u> 5,4-8,22	<u>11,83±2,11</u> 8-15,22	<u>7,32±1,78</u> 4,08-10,2	<u>2,74±0,76</u> 1,24-3,76	<u>26,96±2,64</u> 22,52-31,66	<u>73,04±2,64</u> 68,34-77,48
Октябрь	<u>40,14±8,82</u> 23,04-52,32	<u>9,88±0,53</u> 8,98-10,8	<u>5,91±0,73</u> 5,10-7,38	<u>9,27±1,50</u> 7,34-12,24	<u>5,11±0,89</u> 3,94-6,86	<u>1,57±0,41</u> 0,78-2,14	<u>28,11±4,84</u> 21,54-37,54	<u>71,89±4,84</u> 62,46-78,46

Примечание. Над чертой приведено среднее арифметическое значение ± ошибка среднего; под чертой – размах варьирования в выборке (минимальное и максимальное значения)

Общими факторами оструктурирования почвенной массы являлись смена периодов увлажнения и иссушения, разрыхляющая деятельность корней трав, дождевых червей и муравьев. Но этого оказалось недостаточно для формирования агрономически ценной структуры.

В дерново-подзолистой поверхностно- и профильно-глеевой почве в качестве структурообразователя выступают свежесаживаемые аморфные гидроокиси железа. Поэтому в ней в среднем содержание агрономически ценных агрегатов на 7,85 % выше по сравнению с глубокоглеевой почвой на повышении (см. табл. 2). Однако эти различия недостоверны на 5%-ном уровне значимости ($HCp_{05} = 13,8$).

Количество осадков за сентябрь и октябрь 2019 г. было на уровне средне-многолетних значений. Поверхностного застоя влаги не наблюдалось. Структурное состояние обеих изученных почв оценено как плохое и по сумме агрегатов размером 10–0,25 мм приблизилось к весенним показателям. Это связано с увеличением влажности. Коэффициент структурности составил для почвы на автономной позиции рельефа 0,16, а на подчиненной – 0,19. Различия недостоверны, так что можно говорить лишь о слабовыраженной тенденции несколько большей оструктурированности поверхностно-глеевой почвы.

Весенний тур мониторинга показал, что водопрочность агрегатов в глубокоглеевой почве удовлетворительная, а в поверхностно- и профильно-глеевой – неудовлетворительная (см. табл. 3). Различия составили 24,2 %, что является достоверным при 5%-ном уровне значимости ($HCp_{05} = 21,0$). Соответственно, больший объем влаги, поступающий на подчиненную позицию рельефа, приводит к дезагрегации почвенной массы.

В летний период (июль) водопрочность агрегатов увеличивалась и оценивалась в первой почве как хорошая, а во второй – как отличная. Но различия были недостоверны. Такая же ситуация сохранялась и к середине октября. Причиной большей водопрочности агрегатов в летне-осенний период в поверхностно-глеевой почве является цементация гидроокисями железа, пленки которых видны невооруженным глазом на поверхностях почвенных отдельностей. Более тяжелый гранулометрический состав также играет важную роль. Здесь мы сталкиваемся с методическими трудностями при анализе водопрочности по методу Саввинова. Недостатки этого метода отмечены в ряде работ [1, 6]. Водопрочность структуры тяжелых плотных почв обусловлена их тонкокапиллярным сложением. Поэтому внутри крупных агрегатов вода проникает медленно. К тому же возникает эффект набухания поверхностного слоя. При обработке почв образуются крупные отдельности (глыбы). А так как по методу Саввинова навески для мокрого просеивания берут пропорционально процентному содержанию каждой фракции, то основную массу составят агрегаты крупных размеров. В итоге получают завышенные результаты водопрочности. Для устранения этого недостатка предложен метод Бекаревича, в котором определяется водопрочность каждой фракции отдельно [6, с. 69].

ВЫВОДЫ

1. Почвы на озерно-ледниковой Лава-Прегольской низменности в пределах изученного сенокосного угодья сформировались на тяжелых карбонатных глинах, местами прикрытых маломощным средним суглинком. Почвенный покров состоит из комбинации дерново-подзолистых глееватых в разной степени почв. Ареалы отличаются глубиной оглеения, степенью выраженности признаков оподзоливания.

ния, гранулометрическим составом гумусового горизонта. На повышении почва среднесуглинистая в слое 0–20 см, глубже глинистая, признаки оглеения обнаруживаются с 50 см, на типичном пониженном плоском участке сформировалась тяжелосуглинистая и глинистая поверхностно- и профильно-глееватая почва с выраженным оподзоленным горизонтом.

2. Структура обеих изученных почв глыбистая и оценивается как плохая в весенний и осенний периоды и неудовлетворительная – в летний. Коэффициент структурности по трем турам мониторинга на обеих почвах менее 0,67. Сезонное варьирование в содержании суммы агрономически ценных агрегатов по данным сухого фракционирования составляет 17–24 %. Водопрочность агрегатов в течение вегетационного периода (апрель – октябрь) варьирует от плохой до отличной.

3. Различия структурного состояния между глубокоглееватой и поверхностно-глееватой почвами несущественны по данным сухого рассеивания. Достоверные отличия наблюдаются в начале апреля по степени водопрочности структуры. Глубокоглееватая почва на повышении в ранневесенний период содержит больше водопрочных агрегатов. Наблюдается тенденция сильного увеличения водопрочности агрегатов в поверхностно-глееватой почве в летне-осенний период за счет осаждения на поверхности агрегатов аморфных гидроокисей железа.

4. Для улучшения структурного состояния почв необходимо внесение органических удобрений, потому что трехлетнее выращивание многолетних трав слабо отражается на содержании агрономически ценных агрегатов, и структура остается глыбистой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шлеймович, П. И. Структура почвы и ее значение в повышении почвенного плодородия / П. И. Шлеймович. – Алма-Ата, 1960. – 93 с.
2. Медведев, В. В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана) / В. В. Медведев. – Харьков, 2008. – 406 с.
3. Srivastava P., Raghubanshi A. S. Understanding Soil Aggregate Dynamics and Its Relation With Land Use and Climate Change / P. Srivastava, A. S. Raghubanshi // *Climate Change and Agricultural Ecosystems*, 2019, pp. 331–354.
4. Zanella A. et al. Soil aggregates and humus systems / Proc. Conference: European Society for Soil Conservation, ESSC, Cluj-Napoca, Romania, 2016, pp. 123–134.
5. Burdukovskii, M. Impact of different fallow durations on soil aggregate structure and humus status parameters / M. Burdukovskii, I. Kiseleva, P. Perepelkina, Y. Koshcheleva // *Soil & Water Res*, 2020, vol. 15, pp. 1–8.
6. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – Москва, 1986. – 335 с.
7. Воробьева, Л. А. Химический анализ почв / Л. А. Воробьева. – Москва: Изд-во МГУ, 1998. – 272 с.
8. Погода в г. Черняховске. Калининградская область [Электронный ресурс]. – URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Черняховске (дата обращения 10.01.2020).
9. Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В. В. Орленок. – Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. – 276 с.

10. Завалишин, А. А. Почвенный покров Калининградской области / А. А. Завалишин, Б. В. Надеждин // Почвы Калининградской области. – Москва: Изд-во АН СССР, 1961. – С. 5–130.

11. Ганжара, Н. Ф. Практикум по почвоведению / Н. Ф. Ганжара, Б. А. Борисов, Р. Ф. Байбеков. – Москва: Агроконсалт, 2002. – 280 с.

REFERENCES

1. Shleymovich P. I. *Struktura pochvy i eyo znachenie v povyshenii pochvennogo plodorodiya* [Soil structure and its significance in increasing soil fertility]. Alma-Ata, 1960, 93 p.

2. Medvedev V. V. *Struktura pochvy (metody, genezis, klassifikatsiya, evolyutsiya, geografiya, monitoring, okhrana)* [Soil structure (methods, genesis, classification, evolution, geography, monitoring, conservation)]. Khar'kov, 2008, 406 p.

3. Srivastava P., Raghubanshi A.S. Understanding Soil Aggregate Dynamics and Its Relation With Land Use and Climate Change. In book “Climate Change and Agricultural Ecosystems”, 2019, pp. 331–354.

4. Zanella A. et al. Soil aggregates and humus systems. Proc. Conference: European Society for Soil Conservation, ESSC, Cluj-Napoca, Romania, 2016, pp. 123–134.

5. Burdukovskii M., Kiseleva I., Perepelkina P. et al. Impact of different fallow durations on soil aggregate structure and humus status parameters. *Soil & Water Res.*, 2020, vol. 15, pp. 1–8.

6. Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods for studying the physical properties of soils]. Moscow, Agropromizdat, 1986, 335 p.

7. Vorob'yova L. A. *Khimicheskiy analiz pochv* [Chemical analysis of soils]. Moscow, izd-vo MGU, 1998, 272 p.

8. *Pogoda v g. Chernyakhovske. Kaliningradskaya oblast'* [Weather in Chernyakhovsk. Kaliningrad region]. Available at: <https://rp5.ru/> (Accessed 10 January 2020).

9. *Geograficheskiy atlas Kaliningradskoy oblasti* [Geographical atlas of the Kaliningrad region]. Gl. red. V. V. Orlenok. Kaliningrad, izd-vo KGU. TSNIT, 2002, 276 p.

10. Zavalishin A. A., Nadezhdin B. V. *Pochvennyy pokrov Kaliningradskoy oblasti* [Soil cover of the Kaliningrad region]. *Pochvy Kaliningradskoy oblasti* [Soils of the Kaliningrad region]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 196, pp. 5–130.

11. Ganzhara N. F., Borisov B. A., Baybekov R. F. *Praktikum po pochvovedeniyu* [Soil science workshop]. Moscow, Agrokonsalt, 2002, 280 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Анциферова Ольга Алексеевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
E-mail: anciferova@inbox.ru

Antsiferova Olga Alekseevna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor; E-mail: antsiferova@inbox.ru

Юсупова Динара Ильгизовна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры агропочвоведения и агроэкологии

Yusupova Dinara Il'gizovna – Kaliningrad State Technical University; post-graduate student of the Department of Agricultural Soil Science and Agroecology

УДК 68.35.51

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-173-180

ВЛИЯНИЕ БИОФУНГИЦИДОВ НА ХОЗЯЙСТВЕННУЮ
ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОГО ЧЕСНОКА (*ALLIUM SATIVUM* L.)

Е. А. Калинина, Ю. А. Балабай

INFLUENCE OF BIOFUNGICIDES ON ECONOMIC PRODUCTIVITY
OF WINTER GARLIC (*ALLIUM SATIVUM* L.)

E. A. Kalinina, Ju. A. Balabay

Постоянная потребность населения в овощных культурах создает необходимость расширения площадей их возделывания и получения продукции в больших объемах. Одной из важных культур, часто употребляемых в пищу в свежем и переработанном виде, является чеснок. Возделывают как яровые, так и озимые сорта чеснока. В России площади посевов озимого чеснока весьма незначительны и составляют около 0,3 % всей площади, занятой овощными культурами. К тому же невысокая его урожайность обусловлена нехваткой качественного посадочного материала. Для широкого внедрения в производство и получения высоких и устойчивых урожаев озимого чеснока в различных почвенно-климатических условиях в технологии возделывания применяют регуляторы роста и биофунгициды. В статье представлены результаты обработки посевов озимого чеснока биопрепаратами фунгицидного действия Фитоспорин-М и Ризоплан. Объектом исследования послужил районированный сорт озимого чеснока Грибовский Юбилейный, включенный в Госреестр Российской Федерации. При его возделывании применяли основные технологические приемы, использовали минеральные и органические удобрения. На протяжении опыта проводили фенологические наблюдения. Оценивали состояние растений после периода перезимовки и в последующие периоды развития – от всходов до созревания, а также по соответствующим методикам урожайность, долю растений, пораженных бактериальными и грибными заболеваниями, хозяйственные и биохимические показатели (диаметр, массу луковиц, количество зубков, содержание сухого вещества и нитратов). Достоверность результатов проверяли методом математической статистики. По результатам исследований были сделаны выводы, подчеркнута значимость обработки озимого чеснока биофунгицидами.

*чеснок (*Allium sativum* L.), биофунгициды, биологическая урожайность, хозяйственная эффективность, Фитоспорин-М, Ризоплан*

The growing demand of the population for vegetable crops creates the need to expand the area of their cultivation and obtain products in large volumes. In Russia, the area of winter garlic crops is very small and accounts for about 0,3 % of the total area occupied by vegetable crops. In addition, the low yield of this crop is due to the lack of quality planting material. Growth regulators and biofungicides are used in cultivation

techniques for widespread introduction into production and obtaining high and stable yields of winter garlic. The article presents the results of the processing of crops of winter garlic biological fungicidal activity of Fitosporin-M and Rizoplane. The research object was a zoned variety of winter garlic Gribovsky. When cultivating winter garlic, the main technological methods were used, mineral and organic fertilizers were used.

The condition of plants was assessed after the overwintering period and in the subsequent periods of development – from germination to maturation. Special attention was paid to the condition and development of plants after overwintering. According to the appropriate methods, the yield, the proportion of plants affected by bacterial and fungal diseases, economic and biochemical parameters (diameter, weight of bulbs, number of teeth, dry matter and nitrate content) were evaluated. Reliability of the results was evaluated using mathematical statistics. Based on the results of the research, conclusions were made and the importance of processing winter garlic with biofungicides was emphasized.

garlic (Allium sativum L.), biofungicides, economic productivity, biological yield, Phytosporin-M, Rizoplan

ВВЕДЕНИЕ

Чеснок весьма востребованная овощная культура, которую широко используют как в свежем виде, так и в качестве приправы при консервировании овощной и мясной продукции. Химический состав чеснока имеет большое значение при использовании его в качестве дополнительного средства при лечении простудных заболеваний.

В России площади посевов озимого чеснока весьма незначительны и составляют в среднем около 0,2–0,3 % всей площади, занятой овощными культурами. Объемы продукции дополняют за счет импорта чеснока из других стран, например, Китая и Индии. Однако биохимические показатели и лежкость импортируемой в Российскую Федерацию овощной продукции существенно ниже отечественной, выращенной в условиях конкретного региона. Наряду с этим остро стоит проблема получения качественного посадочного материала, обеспечивающего получение высоких и устойчивых урожаев, а также качества продукции при хранении [1].

Поэтому актуальным становится расширение площадей возделывания озимого чеснока для получения продукции в значительных объемах, не оставляя без внимания особенности элементов технологии возделывания культуры в различных почвенно-климатических условиях.

Рост и развитие озимого чеснока имеет ряд особенностей. В осенний период после посадки чеснока начинается активное корнеобразование, от которого зависит, насколько успешно растения перезимуют. Отрастание корней озимого чеснока происходит при температуре 0 °С, интенсивный рост – при 3–5 °С. Запасенная в осенне-зимний период почвенная влага способствует ускорению роста растений весной, их быстрому развитию, созреванию и формированию урожая.

Преимущественные биологические особенности озимого чеснока состоят в первую очередь в высокой устойчивости к действию неблагоприятных факторов и условий среды. Высокая зимостойкость позволяет растениям переносить резкие

перепады температур, вымокание, выпревание и другие неблагоприятные факторы в осенне-зимний и ранне-весенний периоды.

Однако при возделывании озимого чеснока возникают некоторые проблемы, связанные со значительной трудоемкостью, обусловленной высокими требованиями культуры к агротехнике: влагообеспеченности, особенно в период роста листьев, а также плодородию почвы (предпочитает слабокислые, хорошо удобренные, супесчаные или суглинистые почвы) [2, 3].

Несмотря на высокую устойчивость и адаптивные свойства, без применения системы защиты растений чеснок быстро поражается вирусными, бактериальными и грибными фитопатогенами. Одной из важных задач при возделывании озимого чеснока является повышение уровня агротехники с помощью применения биопрепаратов фунгицидного действия.

Исследования проведены в рамках плана инициативных научно-исследовательских работ кафедры агрономии ФГБОУ ВО «КГТУ» по теме 10.14.010.2. «Молекулярно-биологические механизмы взаимодействия живых организмов с окружающей средой как фундаментальная основа прикладной биологии и сельского хозяйства».

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 2018-2019 гг. на территории личного подсобного хозяйства Гурьевского городского округа Калининградской области. Объектом исследования был выбран районированный сорт озимого чеснока Грибовский Юбилейный, включенный в Госреестр РФ. Чеснок Грибовский Юбилейный относится к среднеспелым стрелкующимся озимым сортам. Срок созревания средний – 83–122 дня. Наземная часть растения формируется из 10–12 листьев шириной 2,5 и длиной 15–20 см. Листовые пластины матового зеленого цвета со слегка выраженным восковым налетом. Стрелки достигают 1,0–1,5 м в высоту. Луковицы округло-плоской формы. В одной луковице насчитывается 5–12 ровных широких зубков. Вес головки 30–60 г. Урожайность сорта до 2,1 кг с 1 м². Лежкость хорошая. Содержание сухих веществ в мякоти – около 40 %. Плоды сорта отличаются насыщенным острым вкусом и пикантным стойким ароматом [4].

У сорта Грибовский Юбилейный отмечается устойчивость к бактериальным и грибковым заболеваниям и перепадам температур.

Полевой мелкоделяночный опыт был заложен на участке с супесчаными почвами средней окультуренности. Реакция почвенной среды нейтральная – рН_(HCL) 6,7. Содержание гумуса – 2,5 %. Содержание фосфора и калия – 110 мг/кг. Глубина залегания грунтовых вод отмечалась на уровне 2 м. Вся площадь опытного участка составляла 3 м²; учетная площадь делянки – 1 м².

Озимый чеснок высаживали 27 октября 2018 г. Исследования проводили в вегетационный период – с апреля по июль 2019 г. Уборка осуществлялась в оптимальные сроки в июле 2019 г. Предшествующей культурой являлся кабачок. Перед посадкой предшественника в почву вносили компост в дозе 30 т/га в третьей декаде апреля 2018 г. Перед посадкой озимого чеснока вносили суперфосфат, содержащий 26 % действующего вещества (д. в.) в дозе 0,50 т/га, сульфат калия – 50 % д. в. в дозе 0,10 т/га. В качестве подкормки в период вегетации (апрель) использовали азофоску в дозе 0,30 т/га, соотношение NPK 16:16:16.

Изучали влияние биофунгицидов Фитоспорин-М и Ризоплан на урожайность и хозяйственно-ценные признаки озимого чеснока.

Фитоспорин-М – микробиологический препарат, предназначенный для защиты растений от грибных и бактериальных болезней.

Относится к химическому классу бактериальные фунгициды + биологические пестициды. Действующим веществом препарата является *Bacillus Subtilis* 26 Д (титр не менее 1 млрд. живых клеток и спор/мл). По способу проникновения в растение относится к системному пестициду. Действие на организмы: пестицид, фунгицид. Класс опасности для человека – 4; класс опасности для пчел – 3. Производитель: научно-внедренческое предприятие «БашИнком» [5].

Эффективно защищает растения от мучнистой росы, гельминтоспориозных корневых гнилей, бурой ржавчины, ризоктониоза, альтернариоза, сухих и мокрых гнилей клубней, мучнистой росы и др. [5].

Фитоспорин-М используется для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, уменьшения повторных заражений. Препарат увеличивает противостояние растений к климатическим, химическим, пестицидным стрессам, поскольку обладает ростоускоряющим, иммуностимулирующим, антистрессовым свойствами.

Препарат удобно применять, он длительно хранится, экологичен и совместим в баковых смесях с химическими пестицидами [5].

Ризоплан – биологический препарат, предназначенный для защиты растений от бактериальных болезней, а также повышения иммунных свойств.

Относится к химическому классу бактериальные фунгициды + биологические пестициды. Действующим веществом является *Pseudomonas fluorescens* (штамм AP-33 1 млрд. КОЕ/мл). Препаративная форма: жидкость. По способу проникновения – контактный пестицид. Действие на организмы: пестицид, фунгицид. Класс опасности для человека – 3В, класс опасности для пчел – 3. Изготовитель: филиал ФГБУ «Россельхозцентр», г. Калининград.

Эффективность действия проявляется против гельминтоспориозной гнили, мучнистой росы, бурой ржавчины, пятнистостей, фитофтороза картофеля, серой и плодовой гнилей, черной ножки, слизистого и сосудистого бактериозов капусты, обладает биостимулирующим и фунгицидным действиями.

Ризоплан способствует повышению урожайности, сопротивляемости растений к болезням и неблагоприятным воздействиям. Он может применяться в любую фазу развития растений. Увеличивает всхожесть семян, а также качество зерна – содержание белка в зерне увеличивается на 10-20 %. Кроме этого, применение Ризоплана повышает плодородие почвы, способствует восстановлению микробиоценоза; может быть использован совместно с основными химическими препаратами, кроме ртутисодержащих [5, 6].

Перед посадкой головки и зубки чеснока обследовали согласно ГОСТ Р 55909-2013 [7] на выявление болезней и вредителей. Было обследовано по 10 головок двух проб.

Осуществлялась обработка (замачивание) зубков чеснока в растворах препаратов перед посадкой. В течение вегетации проводилась обработка (опрыскивание) листовой поверхности растений в фазе отрастания вегетативной массы.

Исследование проведено в трех вариантах четырехкратной повторности.

Схема опыта, варианты:

1. Контроль. Без обработки.

2. Обработка Фитоспорином-М (предпосадочная обработка зубков, норма расхода препарата 50 мл/10 л, расход рабочей жидкости – 1 л/кг; опрыскивание растений в фазе четвертого листа, норма расхода препарата 50 мл/10 л, расход рабочей жидкости – 100 мл/м²).

3. Обработка Ризопланом (предпосадочная обработка зубков, норма расхода препарата 50 мл/10 л, расход рабочей жидкости – 1 л/кг; опрыскивание растений в фазе четвертого листа, норма расхода препарата 100 мл/10 л, расход рабочей жидкости – 100 мл/м²).

В течение вегетации проводили фенологические наблюдения, фиксировали сроки вступления в фенологические фазы и оценивали развитие растений. Учет урожая проводили прямым методом [8], определение сухого вещества – методом ГОСТ 28561-90 [9]. Результаты опытов обработаны методом математической статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обследование посадочного материала на наличие болезней (фузариоза, бактериальных гнилей), вредителей (стеблевой нематоды, луковой мухи) и механических повреждений луковиц и зубков озимого чеснока показало наличие незначительного поражения зубков. Результаты отражены в табл. 1.

Таблица 1. Анализ посадочного материала озимого чеснока на зараженность болезнями и вредителями

Table 1. Analysis of winter garlic planting material for infection with diseases and pests

Проба 10 шт.	Фузариоз		Бактериальная гниль		Стеблевая нематода		Луковая муха		Механические повреждения	
	пораженные зубки (шт.)	%	пораженные зубки (шт.)	%	пораженные зубки (шт.)	%	пораженные зубки (шт.)	%	пораженные зубки (шт.)	%
10	2	20	0	0	0	0	0	0	2	20
10	0	0	1	10	0	0	0	0	2	20

В первой пробе на зубках чеснока была обнаружена бактериальная гниль, которая составила 10 %, во второй пробе – фузариоз (20 %). Механические повреждения отмечались в двух пробах (20 %).

Оптимальные сроки посадки озимого чеснока в Калининградской области – вторая-третья декада октября. В опытных вариантах с обработкой биопрепаратами Фитоспорин-М и Ризоплан период вегетации составил 86 сут от прорастания зубков до уборки урожая.

Фиксировали сроки наступления и прохождения следующих фенологических фаз: начало всходов, полное весеннее отрастание, появление пятого листа, выход стрелки, формирование луковицы (зубков), выпрямление стрелки, пожелтение нижних листьев, разрыв покровной чешуи стрелки, вызревание луковицы [3]. Сроки наступления фенофаз и их прохождения в исследуемых вариантах не имели существенных различий.

Большое значение для получения высоких урожаев озимого чеснока имеют условия перезимовки и состояние растений после зимнего периода. В Калининградской области часто возникают экстремальные условия для роста, развития и перезимовки озимого чеснока. Резкие перепады температур, повышенная влажность почвы могут приводить к вымерзанию, вымоканию культуры.

Важным критерием оценки состояния растений после перезимовки является показатель зимостойкости. В период весеннего отрастания листьев определяли зимостойкость по проценту взошедших растений по отношению к высаженным зубкам. Зимостойкость и компоненты продуктивности, относящиеся к важным хозяйственно-ценным признакам, отражены в табл. 2.

Таблица 2. Хозяйственно-ценные показатели озимого чеснока (2018–2019 гг.)
Table 2. Economic and valuable indicators of winter garlic (2018–2019 years)

Вариант	Зимостойкость, %	Диаметр луковицы, см	Масса луковицы, г	Количество зубков в луковице, шт.	Масса зубков, г
Контроль	85 ± 1,0	4,5 ± 0,2	40,9 ± 0,1	5,0 ± 1,0	6,4 ± 0,2
Фитоспорин-М	88 ± 1,0	6,0±0,2	49,3±0,1	7,0±1,0	9,0±0,1
Ризоплан	95 ± 1,0	6,5±0,3	54,7±0,1	6,0±1,0	10,3±0,2

Примечание. Варианты опыта: 1. Контроль – без обработки. 2. Обработка Фитоспорином-М (предпосадочная обработка зубков, норма расхода препарата 50 мл/10л, расход рабочей жидкости – 1 л/кг); опрыскивание растений в фазе четвертого листа, норма расхода препарата 50 мл/10 л, расход рабочей жидкости – 100 мл/м²). 3. Обработка Ризопланом (предпосадочная обработка зубков, норма расхода препарата 50 мл/10л, расход рабочей жидкости – 1 л/кг; опрыскивание растений в фазе четвертого листа, норма расхода препарата 100 мл/10 л, расход рабочей жидкости – 100 мл/м²).

В варианте с применением биопрепарата Ризоплан получена максимальная масса головок чеснока, которая составила около 55, а масса зубков – 10 г.

Главным хозяйственным признаком является урожайность сорта. Урожайность озимого чеснока представлена в табл. 3.

Таблица 3. Урожайность озимого чеснока
Table 3. Yield of winter garlic

Вариант	Урожайность, кг/м ²
Контроль (вода)	2,0 ± 0,1
Фитоспорин-М	2,3 ± 0,1
Ризоплан	2,5 ± 0,2

Наибольшая урожайность отмечена в варианте с обработкой Ризопланом – 2,5 и Фитоспорином-М – 2,3 кг/ м², в контрольном варианте она меньше на 25 и 15 % соответственно.

В опыте не отмечено поражение растений грибными заболеваниями, доля пораженных растений бактериальными заболеваниями не превышала 0,3 %.

Качество овощной продукции определяется, в частности, долей содержания сухого вещества. В опытных вариантах этот показатель составлял 42–43 %, что соответствует нормам (35–43 %) (табл. 4).

Таблица 4. Содержание сухого вещества и нитратов в озимом чесноке
Table 4. Content of dry matter and nitrates in winter garlic

Вариант	Сухое вещество, %	Содержание нитратов, мг/кг
Контроль	42 ±1,0	49,0 ± 4,0
Фитоспорин-М	43 ±1,0	37,0 ± 12,0
Ризоплан	43 ±1,0	32,0 ± 13,0

Предельно допустимый уровень содержания нитратов в чесноке составляет 200 мг/кг. В наших опытах количество нитратов в исследуемых вариантах не превышало это значение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение биопрепаратов фунгицидного действия в агротехнике озимого чеснока значительно влияет на показатели зимостойкости, хозяйственные признаки и урожайность в целом. Используемые препараты не влияли на сроки наступления и прохождения фенофаз. В период вегетации также не наблюдалось развитие фитопатогенных микроорганизмов.

Показатель зимостойкости был достоверно выше в варианте с обработкой Ризопланом (на 10 % больше контрольного).

Максимальная масса луковиц 54,7 и 49,3 г отмечена в вариантах с применением Ризоплана и Фитоспорина-М, что на 25 и 17 % соответственно больше контроля. Наибольшая урожайность озимого чеснока зафиксирована в варианте с обработкой Ризопланом – 2,5 и Фитоспорином-М – 2,3 кг/м². В контрольном варианте урожайность оказалась меньше на 25 и 15 % соответственно. Показатель содержания сухого вещества в озимом чесноке во всех вариантах был в пределах нормы, а нитратов – не превышало предельно допустимого уровня.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Robledo-Paz, A. Biotechnological Tools for Garlic Propagation and Improvement / Alejandrina Robledo-Paz and Нйctor Manuel Tovar-Soto // Biotechnological Tools for Garlic Propagation and Improvement, Innovations in Biotechnology. – 2012. – Рр. 31–56.
2. Pospisil, P. Growing garlic From bulbils / P. Pospisil // The Canadian Organic Grower. – 2010. – Рр. 12–15.
3. Сузан, В. Г. Агротехника озимого чеснока / В. Г. Сузан // Аграрный вестник Урала. – 2007. – № 4. – С. 46–48.
4. Чеснок Грибовский озимый: описание сорта // Фермилон: электронный научный журнал. – 2011 [Электронный ресурс]. – URL: <https://fermilon.ru/sad-i-ogorod/ovoshhi/chesnok-gribovskiy-ozimuу-posadka-i-uhod.html#i-2> (дата обращения: 18.01.2020)
5. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации: в 2 ч. – Москва, 2018. – Ч. 1: Пестициды. – 938 с.
6. Пестициды / Фунгициды: Ризоплан [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pesticide.ru/pesticide/rizoplan> (дата обращения: 19.01.2020)
7. ГОСТ Р 55909-2013 Чеснок свежий. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 8 с.

8. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 6-е изд., стереотип. – Москва: Альянс, 2011. – 352 с.

9. ГОСТ 28561-90 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 12 с.

REFERENCES

1. Robledo-Paz A. Biotechnological Tools for Garlic Propagation and Improvement. *Biotechnological Tools for Garlic Propagation and Improvement. Innovations in Biotechnolog*, 2012, pp. 31–56.

2. Pospisil P. Growing garlic From bulbils. *The Canadian Organic Grower*, 2010, pp. 12–15.

3. Suzan V. G. Agrotehnika ozimogo chesnoka [Agrotechnics of winter garlic]. *Agrarnyy vestnik Urala*, 2007, no. 4, pp. 46–48.

4. Chesnok Gribovskiy ozimyy: opisanie sorta [Gribovsky winter garlic: description of the variety]. *Fermilon: elektronnyy nauchnyy zhurnal*, 2011, available at: <https://fermilon.ru/sad-i-ogorod/ovoshhi/chesnok-gribovskiy-ozimyy-posadka-i-uhod.html#i-2> (Accessed 19 January 2020).

5. Gosudarstvennyy katalog pestitsidov i agrokhimikatov, razreshennykh k primeneniyu na territorii Rossiyskoy Federatsii [State catalogue of pesticides and agrochemicals approved for use in the Russian Federation]. Moscow, 2018, 938 p.

6. Pestitsidy [Pesticides]. Fungitsidy: Rizoplan [Fungicides: The Rhizoplane], available at: <http://www.pesticity.ru/pesticide/rizoplan> (Accessed 19 January 2020).

7. GOST R 55909-2013 Chesnok svezhiy. Tekhnicheskie usloviya [Fresh garlic. Technical specifications]. Moscow, Standartinform, 2014, 8 p.

8. Dospikhov B. A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Al'yans, 2011, 352 p.

9. GOST 28561-90 Produkty pererabotki plodov i ovoshchey. Metody opredele-niya sukhikh veshchestv ili vlagi [Fruit and vegetable processing products. Methods for determining dry matter or moisture]. Moscow, Standartinform, 2011, 12 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Калинина Екатерина Андреевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры агрономии; E-mail: amelija06@mail.ru

Kalinina Ekaterina Andreevna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy; E-mail: amelija06@mail.ru

Балабай Юлия Александровна – Калининградский государственный технический университет; студентка кафедры агрономии; E-mail: bahvalovajulia@mail.ru

Balabay Juliya Aleksandrovna – Kaliningrad State Technical University; student of the Department of Agronomy; E-mail: bahvalovajulia@mail.ru

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.822.8

DOI 10.46845/1997-3071-2020-59-183-196

ВИБРАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ
ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ГРЕБНОГО ВАЛА СУДНА

Е. В. Мазур, И. А. Шинкаренко, В. И. Сутырин, Н. Л. Великанов

VIBRATION DIAGNOSTICS
OF ANTI-FRICTION BEARINGS OF THE SHIP PROPELLER SHAFT

E. V. Mazur, I. A. Shinkarenko, V. I. Sutyurin, N. L. Velikanov

Представлены результаты измерений и обработки вибрационных сигналов с подшипников качения гребного вала. Выполнена сравнительная оценка эффективности вибрационных методов обнаружения локальных дефектов роликоподшипников. Информативность и достоверность применяемых методов анализировались по оценке получаемых величин на дефектном подшипнике в сравнении с подшипником, находящимся в исправном состоянии. Результаты вибрационных измерений судовых роликовых подшипников были проанализированы и изучены с точки зрения их пригодности для оценки технического состояния. Показано, что для получения однозначной оценки состояния подшипника вибродиагностика подшипникового узла должна выполняться несколькими методами. На примере исследованных подшипников установлено, что в случае импульсного непериодического сигнала вибрации для оценки состояния наиболее применимы статистические параметры. С достаточной очевидностью показана вероятность ошибки, если при определении дефектов базироваться только на одном из рассмотренных методов. В работе дополнительно продемонстрированы результаты применения многоканальных методов регистрации и обработки сигнала для локализации дефекта подшипника и уточнения его характера. Метод порядкового анализа с построением сонограммы сигнала позволил выявить диагностическую информацию о контактируемых узлах в подшипнике. Использование метода синхронного накопления временной реализации сигнала, а также построение огибающей сигнала с отображением на полярных графиках позволили выполнить привязку наблюдаемых дефектов к конкретному угловому сектору подшипника. Полученные результаты имеют высокую практическую ценность, поскольку определение технического состояния подшипников качения, установленных на тихоходных валах судов, является серьезной проблемой, а современные методы вибродиагностики еще недостаточно широко применяются на практике.

вибродиагностика, подшипники качения, метод эксцесса, спектр вибрации

The paper presents the results of measurements and processing of vibration signals from the anti-friction bearings of the propeller shaft. A comparative assessment has been conducted of the effectiveness of vibration methods for detecting local defects in the anti-friction bearings. The information content and reliability of the assessment of

the applied methods has been evaluated by assessing the obtained values of the defective bearing in comparison with the corrected one. The results of the vibration measurements of the ship anti-friction bearings have been analyzed and studied in terms of their suitability for assessing the technical condition. It has been shown that, in order to obtain an unambiguous assessment of the state of the bearing, the vibrodiagnostics of the bearing assembly must be performed by several methods. Using the studied bearings as an example, it has been found that, in the case of a pulsed non-periodic vibration signal, the statistical parameters of vibration are most applicable for assessing the state. The probability of error is shown with sufficient evidence if, in defining defects, only one of the considered methods is used. The work additionally demonstrates the results of the use of multichannel methods of recording and processing a signal to localize a bearing defect and clarify its nature. The method of ordinal analysis with the construction of the spectrogram of the signal has revealed diagnostic information about the contacting elements in the bearing. Using the method of synchronous accumulation of the temporal implementation of the signal, as well as constructing the envelope of the signal with the display on the polar graphs, it was possible to bind the observed defects to a specific angular sector of the bearing. The results obtained are of high practical value, since determination of the technical condition of anti-friction bearings installed on low-speed ship shafts is a serious problem, and modern methods of vibration diagnostics are not yet widely applied in practice.

vibration diagnostics, anti-friction bearings, kurtosis method, vibration spectrum

ВВЕДЕНИЕ

Опорные подшипники качения обеспечивают надежное опирание и свободное (с минимальным трением) вращение гребного вала в различных условиях эксплуатации судна. Однако нормальная работа судового валопровода изменяется при наличии производственных либо эксплуатационных дефектов конструктивных элементов подшипника в виде задиров контактирующих поверхностей, износов, нарушения геометрии и др. Результатом могут стать повышенная вибрация и шум валопровода, а также опасные состояния и разрушения его элементов. Для предотвращения указанных проблем требуется эффективная диагностика, осуществляемая как в процессе производства, так и в процессе монтажа и эксплуатации валопровода. Выбор эффективных и надежных диагностических моделей остается актуальной инженерной задачей, решение которой требует тщательного изучения процессов и явлений, связанных с возникновением и развитием дефектов подшипников, работающих в составе машин и механизмов [1]. Из известных в настоящее время методов обнаружения дефектов лишь два могут претендовать на промышленное использование. Первый основан на анализе смазочных масел и смазок [2, 3], но в настоящей работе не рассматривается, хотя значение его общепризнано. Второй метод базируется на измерении вибраций (или в некоторых случаях – шума); при этом применяются различные диагностические подходы.

Одним из первых исследователей роликового подшипника является Андерсон [4]. Для описания распределения нагрузки и номинального срока жизненного цикла подшипника он использовал метод, основанный на векторах. Впоследствии теория Андерсона была несколько улучшена Лю [5], который учел центробежную и контактную нагрузки самого роликоподшипника, момент сопротивле-

ния при комбинированных радиальных и осевых нагрузках, а также угловом смещении, чтобы установить взаимоотношения деформации и описать уравнением условия равновесия роликов и внутреннего кольца.

Для анализа роликового подшипника важно правильное представление взаимосвязи между деформациями внутренней геометрии подшипника и условиями внешней нагрузки.

Берсия с соавторами [6] предложил обобщенную формулировку, в основе которой находится векторно-матричный метод, учитывающий нелинейные статистические характеристики двухрядных роликоподшипников.

На сегодняшний момент эталонный срок работы подшипников качения, установленный заводом-изготовителем, основывается на теории Лундберга-Пальмгрена и является принятым стандартом ИСО. Методы измерения характеристик подшипников качения определены ГОСТ Р 5254.1-2006 (ИСО 15242-1:2004). Условия их наиболее эффективного применения требуют дальнейшего изучения с учетом конструктивных особенностей, а также условий эксплуатации реальных машин и механизмов.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Объектом исследования являлись опорные судовые подшипники типа 1–1–360 (рис. 1), применяющиеся для промежуточных валов рыболовных траулеров. Короткий промежуточный вал опирается на два подшипника, находящихся на расстоянии около 1 м друг от друга. При осмотре зафиксированы посторонние звуки в районе расположения подшипниковых узлов по левому борту при вращении валов. Эти звуки прослушивались как аперiodический треск, усиливающийся с ростом частоты вращения.

Температура всех четырех однотипных подшипников находилась в пределах нормы. Анализ масла также не выявил признаков неисправной работы, в связи с чем было принято решение провести вибрационные исследования состояния подшипника. Для обеспечения сравнительного качественного вибрационного анализа работы измерения производились на всех четырех подшипниках, т. е. на валу левого и правого бортов.

В составе подшипника 1–1–360 применялся роликоподшипник типа 3113776, представляющий собой двухрядный роликовый сферический подшипник качения с коническим отверстием 1:12, внутренним диаметром (d) – 380 мм; внешним диаметром (D) – 620; шириной (B) – 194 мм, весом 233 кг. Параметры тел качения приведены в табл. 1.

Таблица 1. Тела качения подшипника 3113776

Table 1. Rolling elements of bearing 3113776

Подшипник ГОСТ	Тип тела качения	Диаметр D , мм	Длина L , мм	Количество роликов, шт.	Вес 1000 шт., кг	Марка стали
3113776	Ролики сферические	56	70,071	46	1200	ШХ15

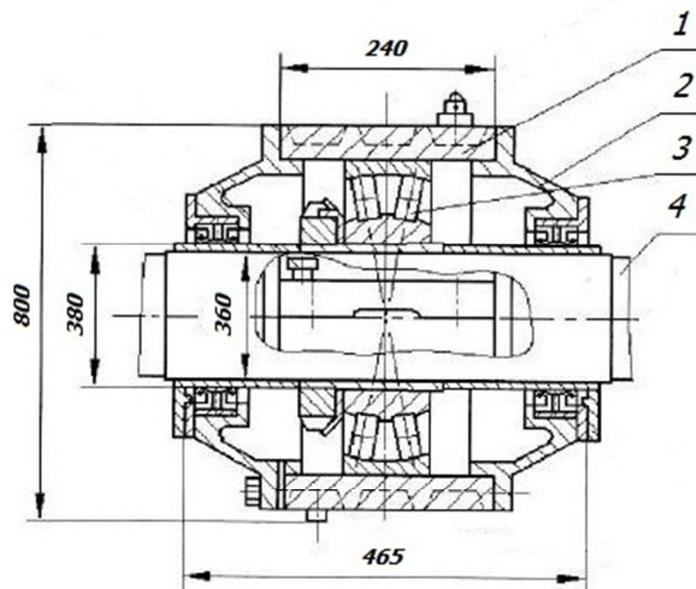


Рис. 1. Конструкция судового подшипника 1-1-360:
1 – корпус; 2 – крышка; 3 – роликоподшипник; 4 – вал
Fig. 1. Ship bearing design 1-1-366:
1 – body; 2 – cap; 3 – roller bearing; 4 – shaft

При измерениях производилась синхронная регистрация сигналов вибрации четырех подшипников (по два на каждой линии вала) и сигналов с датчика оборотов на каждой линии вала. Схема измерений представлена на рис. 2. Нумерация подшипников по тексту соответствует нумерации точек измерения.

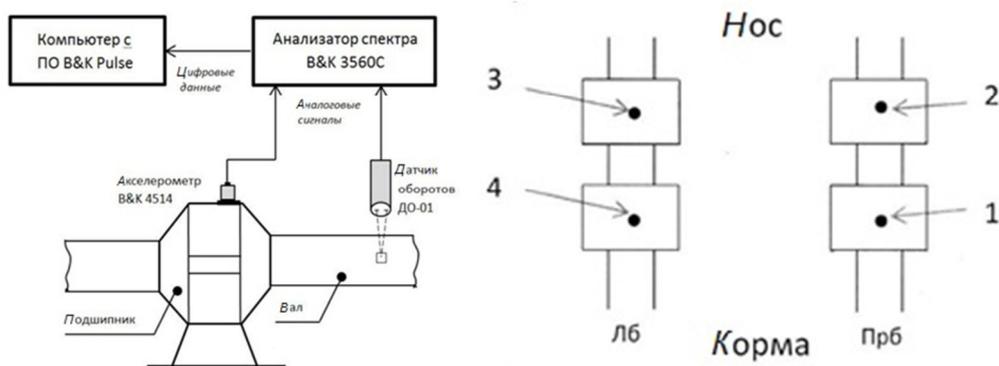


Рис. 2. Схема измерений вибрации подшипника (слева) и схема расположения точек измерения вибрации
Fig. 2. Bearing vibration measurement circuit (left) and locations of vibration measurement points

Регистрация сигналов вибрации выполнялась с помощью анализатора спектра типа 356⁰C фирмы Bruel & Kaer (Дания). Данный прибор работает под управлением компьютера и предназначен для цифровой регистрации сигналов с датчиков шума и вибрации в диапазоне частот 0–50 кГц. В качестве датчиков вибрации использовались четыре вибропреобразователя V&K 4514 В-001 номи-

нальной чувствительностью $10 \text{ мВ/м} \cdot \text{с}^2$. Одновременно с измерением вибрации регистрировались сигналы с оптических датчиков оборотов типа ДО-01 (ООО «ИНКОТЕС», Россия), установленных по одному на каждом из гребных валов вблизи подшипников. Таким образом, производились одновременная запись сигналов вибрации по четырем каналам и регистрация сигнала с датчика оборотов.

Обработка сигналов осуществлялась на компьютере с помощью специализированного программного обеспечения Briel & Kaer Reflex, которое дает широкий спектр методов цифровой обработки сигналов, включая временной, частотный, статистический анализ и др. Использование в измерительной схеме датчиков оборотов позволяет выполнить привязку сигнала вибрации к угловому положению вала, а также применить специальные методы анализа динамических режимов.

Датчики вибрации устанавливались вертикально по одному на каждом подшипнике в верхней части корпуса. На каждый вал нанесена светоотражающая метка, на которую фокусировался соответствующий датчик оборотов. Все каналы, регистрирующие сигнал вибрации, были предварительно откалиброваны на месте измерений при помощи портативного вибрационного калибратора V&K типа 4294.

Программа измерений предусматривала пошаговый набор частоты вращения вала дискретно от минимального до максимального хода судна через 10 оборотов линии вала. На каждом из режимов производилась регистрация сигналов в течение трех минут при фиксированной частоте вращения вала. Отдельным динамическим режимом был плавный набор оборотов от минимального до максимального хода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ общих уровней и пик-фактора сигналов. Как известно, общий среднеквадратический уровень вибрации практически не используется для вибродиагностики подшипников, поскольку его существенное изменение происходит, как правило, на стадии развития дефекта, близкой к разрушению подшипникового узла [7]. Тем не менее этот параметр нельзя игнорировать вовсе, так как он характеризует общую вибрационную картину и удобен для оперативной оценки при большом числе измерений. В табл. 2 приведены уровни виброускорения на подшипниках при разных режимах хода судна. Они получены в диапазоне частот 2–10000 Гц. Опорное значение для расчета уровней – 300 мкм/с^2 .

Как можно увидеть из таблицы, значения уровней вибрации по подшипникам мало отличаются между собой и не позволяют определить наличие в них дефектов. В данном случае импульсная вибрация одного из подшипников не дает существенного энергетического вклада в суммарную вибрационную энергию.

Значительно большую информацию о состоянии подшипника несет в себе отношение пикового значения виброускорения к среднеквадратическому, так называемый пик-фактор. Этот метод основан на том, что при ухудшении технического состояния подшипника его вибрациям в большей степени свойственны колебания уровня за счет появления отдельных импульсов, поэтому пиковое значение растет быстрее, чем среднеквадратическое.

Таблица 2. Измерения среднеквадратического общего уровня вибрации
Table 2. RMS total vibration measurements

Номер режима	Частота вращения вала, об/мин		Уровень виброускорения в контрольных точках, дБ (относительно 300 мкм/с ²)			
	Прб	Лб	ПрБ		Лб	
			1	2	3	4
1	100	100	64	71	68	68
2	110	110	67	72	68	68
3	120	120	66	71	68	69
4	130	130	66	71	69	70
5	140	140	67	72	70	72
6	150	150	68	74	70	73
7	160	160	68	72	71	72
8	170	170	69	74	72	73
9	180	180	70	75	73	75
10	190	190	71	76	74	75

Примечание: Лб – левый борт; Прб – правый борт.

В табл. 3 приведены полученные величины пик-фактора сигналов вибрации. Здесь по изменению значения с ростом частоты видны заметные различия. Со 150 об/мин пик-фактор вибрации подшипников валопрохода левого борта становится выше. Максимальные уровни наблюдаются на максимальной частоте вращения на валу в точке № 3.

Измерение общего уровня и пик-фактора сигнала отличается легкостью реализации и может выполняться, в том числе, многими аналоговыми виброизмерительными приборами без цифровой обработки.

Таблица 3. Измеренные значения пик-фактора сигнала виброускорения
Table 3. Measured crest factor values of the acceleration signal

Номер режима	Частота вращения вала, об/мин		Пик-фактор сигнала виброускорения (в дБ)			
	Прб	Лб	ПрБ		Лб	
			1	2	3	4
1	100	100	13	13	11	11
2	110	110	11	11	13	14
3	120	120	12	11	14	12
4	130	130	13	11	14	13
5	140	140	12	11	14	12
6	150	150	14	12	19	15
7	160	160	13	12	17	14
8	170	170	13	13	19	15
9	180	180	13	12	20	17
10	190	190	12	13	23	18

Анализ временных реализаций. Временные реализации сигнала в некоторых случаях помогают интерпретировать результаты, полученные другими методами анализа. В нашем случае «треск» и высокое значение пик-фактора на подшипнике № 3 объясняются наличием сигнала непериодических кратковременных импульсов (рис. 3), причиной которых вероятнее всего являются соударения металлических поверхностей элементов подшипника в зонах дефектов. В точке 1 во временной реализации импульсов не наблюдается.

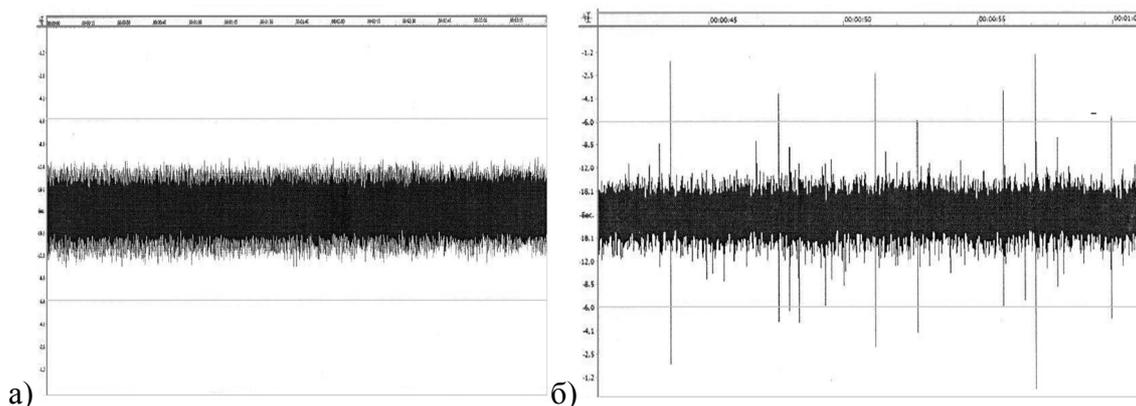


Рис. 3. Временные сигналы вибрации в точках 1 (слева) и 3 (справа) при частоте вращения 190 об/мин
 Fig. 3. Vibration time signals at point 1 (left) and at point 3 (right) at 190 rpm

Частотный анализ. Для количественной оценки и сравнительного анализа спектральных составляющих сигналов вибрации целесообразно использовать до-леоктавный спектральный анализ. На рис. 4 представлены измеренные спектры вибрации подшипников в третьоктавных полосах частот 2–10000Гц.

По спектрам можно обнаружить отличие спектрального состава вибрации подшипника № 3. В диапазоне частот 2–5 кГц уровень его вибрации выше на 12–15 дБ, чем других подшипников. С увеличением скорости разница в уровнях возрастает. Так, при 190 об/мин существенная разница наблюдается уже начиная с частоты 500 Гц. Вероятно, что данный «подъем» спектра в этом диапазоне обусловлен наличием импульсов в сигнале вибрации.

Таким образом, частотный анализ позволяет выявить дефектный подшипник по сравнительному анализу спектральных составляющих.

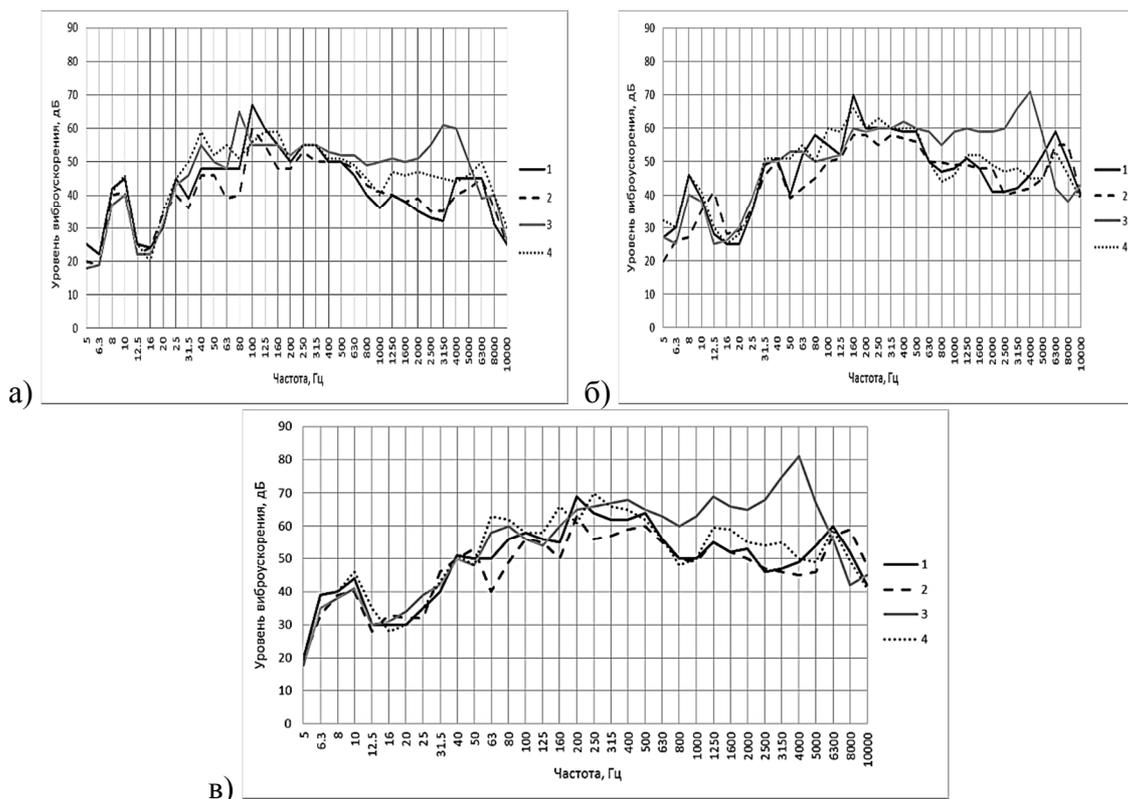


Рис. 4. Третьооктавные спектры вибрации на подшипниках при различных частотах вращения гребного вала: а) 90 об/мин; б) 150 об/мин; в) 190 об/мин
 Fig. 4. Bearings third-octave vibration spectrum at different rotational speeds of the propeller shaft a) 90 rpm; б) 150 rpm; в) 190 rpm

Статистический анализ сигналов. Как говорилось выше, из статистических параметров наиболее информативным является момент четвертого порядка. Пользуясь этой величиной, можно определить так называемый коэффициент эксцесса, применяемый в вибродиагностике:

$$E = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3, \quad (1)$$

где μ_4 – четвертый центральный момент статистического распределения значений сигнала вибрации во временной выборке; σ – стандартное отклонение значения сигнала вибрации во временной выборке.

Коэффициент эксцесса характеризует остроту кривой распределения значений сигнала на временном отрезке. При исправной работе подшипника плотность вероятности сигнала стационарной случайной вибрации, наблюдаемой в исправном подшипнике за счет сил трения качения и наведенной вибрации, можно считать соответствующей нормальному закону. Появление дефектов, сопровождающихся ударами между телами качения и обоймами подшипников, приводит к изменению распределения плотности вероятности, соответственно, изменению значения коэффициента эксцесса. Причем чем более развит дефект, тем более островершиннее становится кривая плотности вероятности.

В сравнении с пик-фактором, определяемым максимальным мгновенным значением сигнала на отрезке времени, коэффициент эксцесса зависит как от интенсивности, так и от частоты появления импульсов в сигнале, следовательно, является значительно более информативной величиной. В табл. 4 приведены значения коэффициента эксцесса для сигналов с подшипников, полученные при обработке сигналов на временных реализациях длительностью 30 с.

Таблица 4. Значения коэффициента эксцесса сигналов вибрации
Table 4. Kurtosis coefficient values of vibration signals

Номер подшипника	Коэффициент эксцесса, отн. ед.			
	100 об/мин	130 об/мин	170 об/мин	190 об/мин
1	- 0.3	- 0.036	- 0.097	2.354
2	- 0.4	0.468	0.457	4.1
3	18.2	28.2	11.9	20.7
4	- 0.261	- 0.0058	- 0.1	1.73

Как видно из полученных данных, значения коэффициента на подшипнике № 3 существенно отличаются от значений данного параметра на других. Высокие положительные значения эксцесса в сигнале вибрации здесь присутствуют в широком диапазоне частот вращения гребного вала, что может говорить о наличии признака дефекта подшипника с высокой степенью вероятности.

В сравнении с пик-фактором сигнала, который несет в себе информацию о максимальном мгновенном значении сигнала за период времени (т. е. учитывает амплитуду лишь одного импульса), коэффициент в своем значении учитывает вес каждого импульса в сигнале вибрации, благодаря чему является значительно более информативным диагностическим параметром.

Порядковый анализ и синхронное накопление сигнала вибрации. Для определения вероятных причин дефектов подшипника был использован метод порядкового анализа сигнала. На рис. 5 представлен порядковый спектр сигнала вибрации подшипника № 3 в диапазоне частот вращения 84-263 об/мин. Здесь максимумы спектра вызваны взаимодействием определенных узлов подшипника. Видно, что вокруг линии $K=23$ (число роликов в одном ряду сепаратора подшипника) наблюдается набор дискретных составляющих с шагом, равным одному порядку. Профиль частоты вращения гребного вала, соответствующий данному режиму измерений, представлен на рис. 6.

Для определения ожидаемого углового сектора подшипника, в котором появляется дефект, использован метод синхронного накопления сигнала по меткам датчика оборотов, который позволяет устранить шумы от других источников. При этом производится временная локализация дефектов в пределах одного оборота вала с представлением в полярных координатах. Результаты обработки представлены на рис. 7 и 8.

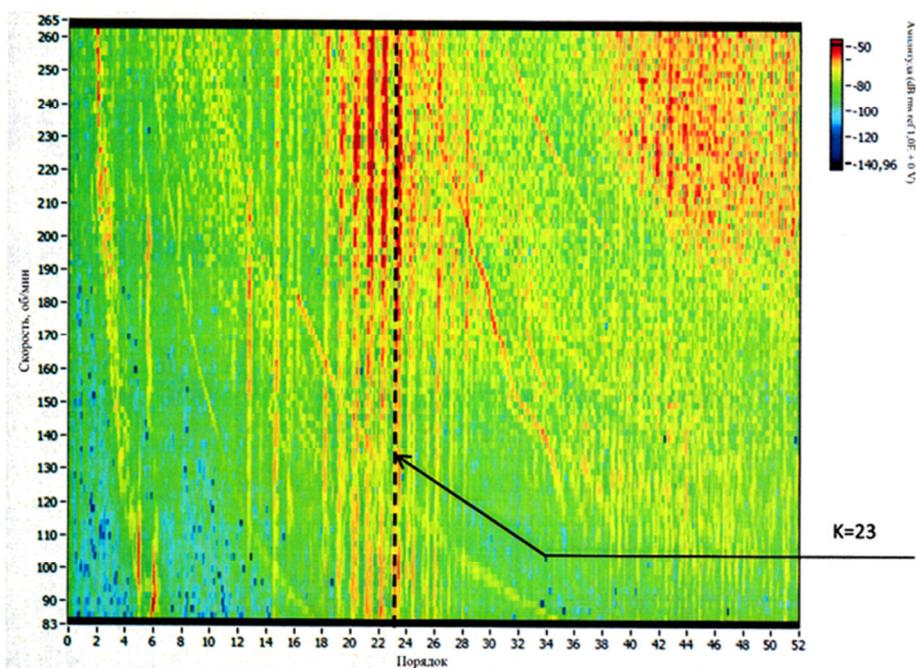


Рис. 5. Порядковый спектр сигнала вибрации подшипника № 3
Fig. 5. The ordinal spectrum of the vibration signal of bearing № 3

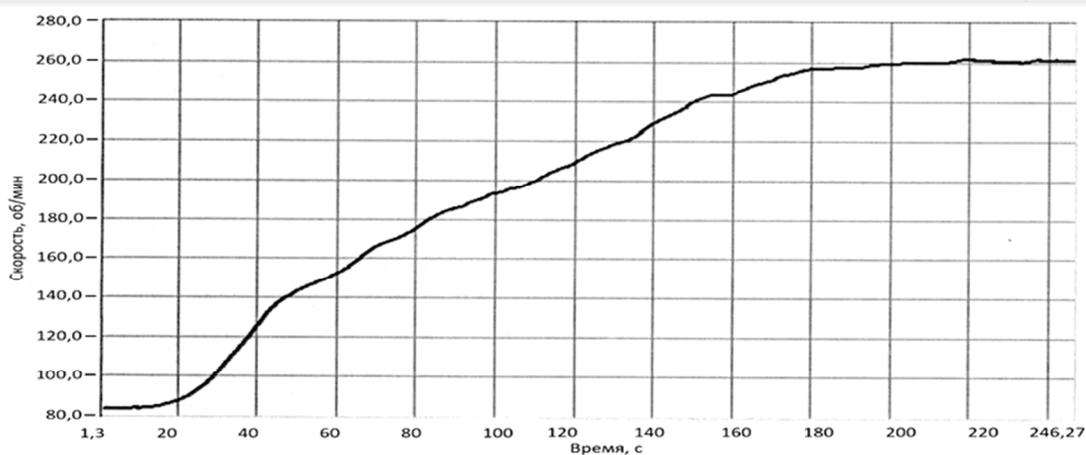


Рис. 6. Профиль частоты вращения валов линии левого борта
Fig. 6. RPM profile of the shaft rotational speed

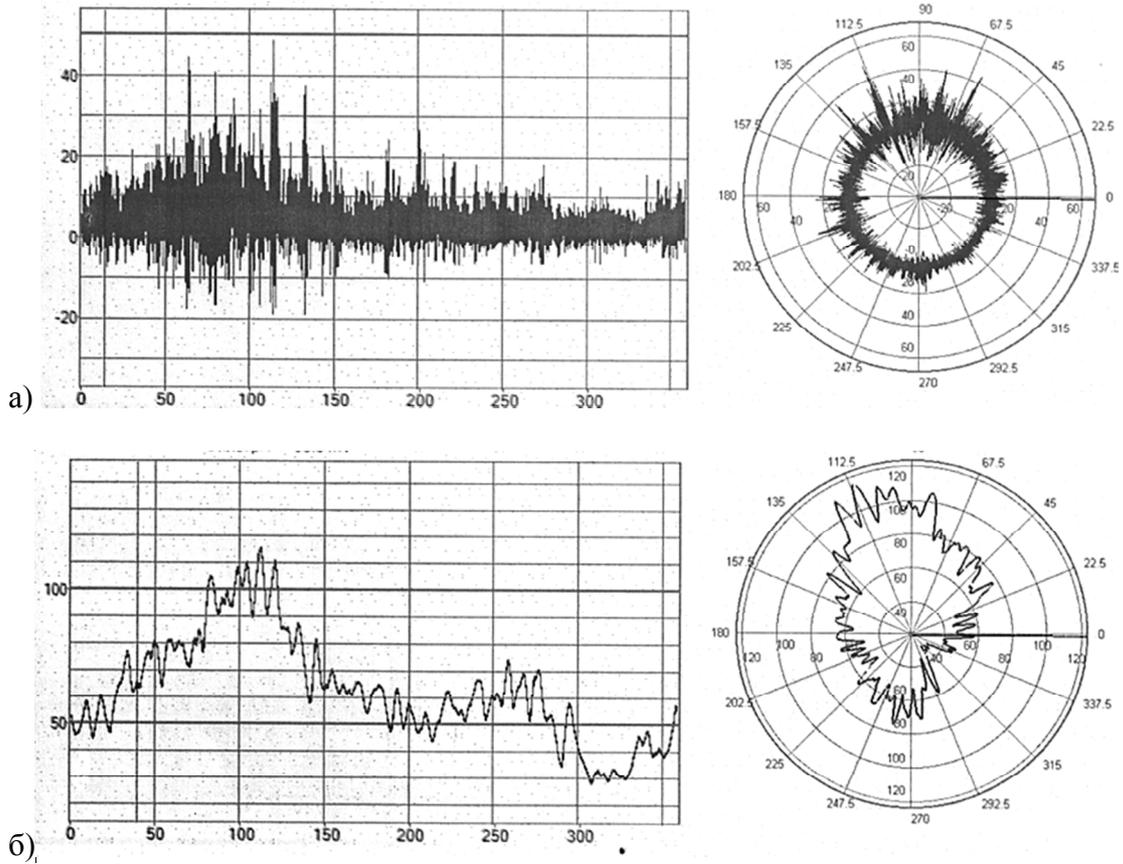


Рис. 7. Синхронное накопление сигнала с подшипника № 3 (а) и его огибающая (б) на частоте вращения 190 об/мин в диапазоне 0,1–10 кГц
 Fig. 7. Synchronous accumulation of the signal from bearing 3 (a) and its envelope (b) at a rotation frequency of 190 rpm in the range of 0.1–10 kHz

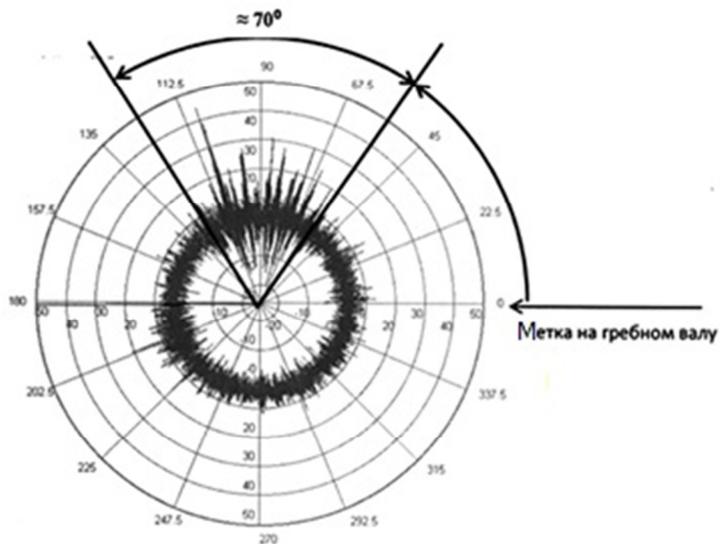


Рис. 8. Определение дефектованного углового сектора подшипника
 Fig. 8. Determination of the defective angular sector of the bearing

Полученные результаты порядкового анализа сигнала подшипника № 3 позволяют говорить о вероятном дефекте внутренней обоймы подшипника. Предполагаемый угловой сектор с дефектом может быть геометрически определен по результатам синхронного накопления с помощью сохранившейся метки от датчика оборотов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целях совершенствования методологии вибрационной диагностики в работе выполнена сравнительная оценка эффективности применяемых методов. При этом соответствующие параметры вибрации были определены на дефектном подшипнике гребного вала судна, а также на подшипнике, находящемся в исправном состоянии. Результаты вибрационных измерений судовых роликовых подшипников были проанализированы и изучены с точки зрения их пригодности для оценки технического состояния механизмов указанного типа.

В результате проведенных измерений и анализа полученных данных наиболее показательным в качестве вибродиагностического оказался метод анализа коэффициента эксцесса. Его значения наиболее выражено продемонстрировали наличие дефекта в подшипнике № 3. Демонтаж и осмотр поверхностей обойм, тел вращения, сепаратора показали, что именно этот подшипник имел явный механический дефект в виде многочисленных задиров на поверхности внутренней обоймы. Наиболее глубокие повреждения на последней попали в угловой сектор, определенный по результатам синхронного накопления.

Анализ общих уровней сигнала и пик-фактора не позволил однозначно определить наличие дефекта.

По результатам анализа параметров вибрации во временной и частотных областях удалось выявить характерные признаки дефекта. Статистические параметры оказались достаточно информативными при диагностировании дефектов подшипника. Данные, полученные в результате порядкового анализа сигнала, а также синхронного накопления с помощью метки от датчика оборотов, можно отнести к числу наиболее информативных при определении углового сектора дефекта.

В заключение следует отметить, что в результате проведенных исследований есть все основания говорить об отсутствии надежности диагностирования дефектов подшипников на базе лишь одного из рассмотренных методов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мазур, Е. В. Современные методы диагностики подшипников / Е. В. Мазур, Н. Л. Великанов // Сборник трудов конференции «Дни науки-2018»: научное электронное издание. – 2018. – С. 102–106. [Электронный ресурс]. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36918677> (дата обращения: 12.12.2019).

2. Фатеев, А. Консистентная смазка, применяемая в подшипниках. Методика определения количества консистентной смазки и сроки ее замены для корректной работы подшипникового узла / А. Фатеев // Сфера. Нефть и газ. – 4/2010 (с. 122–124) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.s-ng.ru/pdf/main_571.pdf (дата обращения 12.12.2019).

3. Великанов, Н. Л. Эксплуатация опорного подшипника ротора сушильного аппарата в химическом производстве / Н. Л. Великанов, С. И. Корягин, Е. В. Мазур // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2018. – 1(43). – С. 16–20.
4. Andréason, S. Load distribution in a tapered roller bearing arrangement considering misalignment / S. Andréason // Tribology – 1973. – 6(3). – P. 84–92.
5. Liu, J. An innovative dynamic model for vibration analysis of a flexible roller bearing / Jing Liu, Changke Tang, Yimin Shao // Mechanism and Machine Theory – 2019. – Vol. 135 – P. 27–39.
6. Bercea, I, Analysis of double-row tapered roller bearings, part I – model / I. Bercea, D. Nélias, G. Cavallaro // Tribology Transactions – 2003. – Vol. 46(2) – P. 228–239.
7. Леликов, О. П. Валы и опоры с подшипниками качения / О. П. Леликов. – Москва: Машиностроение, 2006. – С. 340–365.

REFERENCES

1. Mazur E. V. Sovremennyye metody diagnostiki podshipnikov [Modern methods of bearing diagnostics]. *Sbornik trudov konferentsii "Dni nauki-2018"*. 2018, pp. 102-106. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36918677> (Accessed 12 December 2019).
2. Fateev A. Konsistentnaya smazka, primenyaemaya v podshipnikakh. Metodika opredeleniya kolichestva konsistentnoy smazki i sroki ee zameny dlya korrektnoy raboty podshipnikovogo uzla [Grease used in bearings. Method of determining the amount of grease and the timing of its replacement for the correct operation of the bearing assemble]. *Sfera. Neft' i gaz*, 2010, no. 4, pp. 122-124. Available at: http://www.sng.ru/pdf/main_571.pdf (Accessed 12 December 2019).
3. Velikanov N. L., Koryagin S. I., Mazur E. V. Ekspluatatsiya opornogo podshipnika rotora sushil'nogo apparata v khimicheskom proizvodstve [Operation of the support bearing of the rotor of the drying apparatus in the chemical industry]. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*, 2018, vol. 1, no. 43, pp. 16–20.
4. Andréason S. Load distribution in a tapered roller bearing arrangement considering misalignment. *Tribology*, 1973, vol. 6, no. 3, pp. 84–92.
5. Liu J., Changke T., Yimin S. An innovative dynamic model for vibration analysis of a flexible roller bearing. *Mechanism and Machine Theory*. 2019, vol. 135, pp. 27–39.
6. Bercea I., Nélias D., Cavallaro G. Analysis of double-row tapered roller bearings, part I – model. *Tribology Transactions*, 2003, vol. 46, no. 2, pp. 228–239.
7. Lelikov O. P. *Valy i opory s podshipnikami kacheniya* [Shafts and supports with anti-friction bearings]. Moscow, Mashinostroenie, 2006, pp. 340–365.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мазур Екатерина Владимировна – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта; Инженерно-технический институт; аспирант кафедры машиноведения и технических систем; E-mail: ekaterina.mazur@gmail.com

Mazur Ekaterina Vladimirovna – Immanuel Kant Baltic Federal University; Institute of Engineering of Technology; Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems; E-mail: ekaterina.mazur@gmail.com

Шинкаренко Иван Александрович – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта; Инженерно-технический институт; аспирант кафедры машиноведения и технических систем; E-mail: van-125@mail.ru

Shinkarenko Ivan Aleksandrovich – Immanuel Kant Baltic Federal University; Institute of Engineering and Technology; Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems; E-mail: van-125@mail.ru

Сутырин Валерий Игоревич – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта; Инженерно-технический институт; доктор технических наук, профессор кафедры машиноведения и технических систем; E-mail: vsutyrin@mail.ru

Sutyryin Valeriy Igorevich – Immanuel Kant Baltic Federal University; Institute of Engineering and Technology; Doctor of Engineering, Professor of the Department of Engineering Science and Technical Systems; E-mail: vsutyryin@mail.ru

Великанов Николай Леонидович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор кафедры водных ресурсов и водопользования; Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта; Инженерно-технический институт; доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой машиноведения и технических систем; E-mail: NVelikanov@kantiana.ru

Velikanov Nikolay Leonidovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Water Resources and Water Management, Immanuel Kant Baltic Federal University; Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Engineering Science and Technical Systems; E-mail: NVelikanov@kantiana.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

Общие требования

Журнал публикует оригинальные неопубликованные ранее статьи, удовлетворяющие критериям высокого научного качества по научным направлениям: естественно-научные и математические, биологические и сельскохозяйственные, технические, экономические науки, промышленное рыболовство. Срок сдачи статей в редакцию – за два месяца до выхода журнала «в свет», график выхода: 1 февраля, 1 мая, 1 августа, 1 ноября. Все присланные статьи проходят проверку системой «Антиплагиат».

В редакцию журнала авторы представляют:

– **распечатку рукописи**, подписанную всеми авторами, и ее электронную версию. Текст рукописи должен полностью соответствовать тексту электронного варианта;

– **внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук** (на стандартном бланке), заверенную подписью и печатью ученого секретаря со словами: «Подпись рецензента такого-то заверяю, должность заверяющего, фамилия, роспись, число». Бланк рецензии можно скачать на сайте университета в разделе «Наука и инновации – Научный журнал». Рецензент должен являться признанным специалистом по тематике рецензируемого материала и иметь в течение последних трех лет публикации по тематике рецензируемой статьи;

– **экспертное заключение** с печатью о степени секретности сведений, содержащихся в статье (иногородние могут выслать электронной почтой).

В дальнейшем с автором заключается **Лицензионный договор** и оформляется **Акт передачи – приемки рукописи**.

Объем статьи

Объем статьи составляет от восьми до четырнадцати страниц текста, включая рисунки, таблицы и список литературы.

Структура статьи

– **Введение** (состояние проблемы, задачи исследования) по центру, прописными буквами, кегль 12, шрифт не жирный);

– **Основная часть** (постановка задачи, методы и результаты исследования, их обсуждение – прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание;

– **Заключение** (выводы – прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

Составные части статьи и порядок их следования

1. **Индекс** по универсальной десятичной классификации (УДК) размещается в левом верхнем углу без отступа (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

2. Через один интервал по центру – **название статьи** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

3. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия(и) автора(ов)** (кегель 12, шрифт обычный).

4. Через один интервал по центру – **название статьи на английском языке** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

5. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия(и) автора(ов) на английском языке** (кегель 12, шрифт обычный).

6. Через два интервала с отступом Tab. 1,27 – **аннотация** (кегель 12, шрифт обычный, слово «Аннотация» не указывается).

Рекомендуемый объем аннотации 1000–2000 знаков (200–250 слов). Запрещается использовать дословный текст из статьи во избежание повторов, название работы, а также таблицы, графики и внутритекстовые ссылки. В начале не повторяется название статьи, аннотация не разбивается на абзацы. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Следует избегать использования вводных слов и оборотов, лишних вводных фраз, например, «автор статьи рассматривает...», не нужно подчеркивать личный вклад автора. Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи, избегать сложных грамматических конструкций. Вводная часть минимальна, место исследования уточняется до области (края). Изложение результатов содержит конкретные сведения (выводы, рекомендации и т.п.). Допускается введение сокращений в пределах аннотации (понятие из 2-3 слов заменяют на аббревиатуру из соответствующего количества букв, в 1-й раз дается полностью, сокращение – в скобках, далее используется только сокращение). Числительные, если не являются первым словом, передаются цифрами. Нельзя использовать аббревиатуры (например, названий учреждений) без расшифровки и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы). Категорически не допускаются вставки через меню «Символ», знак разрыва строки, знак мягкого переноса, автоматический перенос слов. Значения t° обозначать как «град. С», в английском варианте – как «deg С».

7. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова** со строчной, через запятую (кегель 12, шрифт обычный, курсив, фраза «Ключевые слова» не указывается, точка в конце не ставится).

8. Через два интервала с отступом 1,27 – **аннотация на английском языке** (кегель 12, обычный, слово «Аннотация» не указывается).

Недопустимо использование машинного перевода, вместо десятичной запятой используется точка. Все русские аббревиатуры передаются в расшифрованном виде, если у них нет устойчивых аналогов в английском языке (допускается: ВТО – WTO, ФАО – FAO и т.п.). Безличные конструкции переводятся с использованием пассива.

9. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова на английском языке** со строчной через запятую (кегель 12, шрифт обычный, курсив, фраза «Ключевые слова» не указывается, точка в конце не ставится).

10. Через два интервала с отступом – **текст статьи** (кегель 12), включающий в себя обязательные структурные элементы (см. Структура статьи). **Нельзя использовать в текстах формулы-картинки и прочие искусственно вставленные символы.**

11. Через два интервала после текста статьи по центру **список использованных литературных источников** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Список литературы в научных публикациях обязателен (оформляется по ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Правила составления»). Список литературы должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в тексте. Источники в списке литературы нумеруются и располагаются в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования). Для размещения статьи в международной базе Agris (по рекомендации редактора рубрики) требуется не менее семи источников, среди них должны быть зарубежные авторы.

Образцы оформления списка использованных литературных источников:

Монография

1. Агеев, В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: моногр. / В. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 106 с.

2. Бухановский, А. В. Моделирование нелинейных систем в сложных динамических средах: моногр. / А. В. Бухановский, С. В. Иванов, Ю. И. Нечаев. – Санкт-Петербург: Издательский центр НИУ ИТМО, 2013. – 263 с.

Книга

Книги одного - трех авторов

1. Розенштейн, М. М. Методы оптимизации проектных характеристик орудий рыболовства: моногр. / М. М. Розенштейн. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 185 с.

2. Новикова, А. М. Универсальный экономический словарь / А. М. Новикова, Н. Е. Новиков, К. А. Погосов. – Москва: Экономика, 1995. – 135 с.

Книги более трех авторов

Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др]. – Санкт-Петербург: Питер, 1996. – 496 с.

Книги, не имеющие индивидуальных авторов (под редакцией)

Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. – 2-е изд., доп. – Москва: Высшая школа, 1995. – 347 с.

Статья в журнале

1. Толкачева, О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов / О. В. Толкачева, Б. Л. Нехамкин, В. И. Шендерюк // Рыбная промышленность. – 2006. – №2. – С. 14–16.

2. Байдалинова, Л. С. Перспективы использования растительных антиоксидантов для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препа-

ратах полиненасыщенных жирных кислот / Л. С. Байдалинова, С. В. Андропова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2013. – № 29. – С. 74–80.

Статья в электронном журнале

1. Белоус, Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе / Н. А. Белоус // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. – 2006. – № 4 [Электронный ресурс]. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

2. Орехов, С. И. Гипертекстовый способ организации виртуальной реальности / С.И. Орехов // Вестник Омского государственного педагогического университета: электронный научный журнал. – 2006 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.omsk.edu/article/vestnik-omgpru-21.pdf> (дата обращения: 10.01.2007).

Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров

1. Авдеева, Е. В. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) / Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. – Казань, 2013. – С. 52–56.

2. Александров, Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов / Ю. П. Александров // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2013: XI Междунар. научн. конф. (25-27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. / Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – Ч. 2. – С. 29–32.

Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов, Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10 / Данилов Геннадий Петрович; МАИ. – Москва, 1999. – 138 с.

2. Манилов А. В. Кто виноват?: автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 05.13.10 / Манилов Алексей Владимирович; МЮИ. – Москва, 1999. – 16 с.

Переводная книга

1. Себехей, В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / В. Себехей: пер. с англ. / под ред. Г. Н. Дубошина. – Москва: Наука, 1982. – 656 с. [Victor G. Szebehely. Theory of Orbits: the Restricted Problem of Three Bodies. New York : Academic Press, 1967].

2. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт: пер. с англ. – Москва: Вильямс, 2006. – 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. – 1024 p.].

Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7], [1, 18, 25]. Если в тексте есть прямая цитата, заключенная в кавычки, то обязательно должна быть указана страница, на которой эта цитата находится в цитируемом источнике. Например:

[7, с. 28]. Ссылки на неопубликованные работы и работы, находящиеся в печати, не допускаются.

12. Через строку по центру – список литературы на латинице (должен быть озаглавлен – **references**, прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Транслитерировать список литературы можно автоматически, зайдя на сайт <http://translit-online.ru/> и настроив перевод: ё → **yo**; й → **y**; х → всегда **kh**; ц → **ts**; щ → **shch**; э → **e** (транслитерируют только после оформления списка по образцу).

Образцы оформления ссылок:

Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniya ryb Kaspiyskogo morya* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.
2. Latyshev V. N. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting]. Ivanovo, Ivanovskiy Gos. Univ., 2009.

Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2008, no. 11, pp. 54-57.
2. Sokolov L. I. Pitaniye sibirskogo osetra *Acipenser baerii* Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

1. Ivanova A. E. Problemy smertnosti v regionakh Tsentral'nogo federal'nogo okruga [Problems of mortality in regions of the Central Federal Okrug]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2008, no. 2, available at: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/54/30/> (Accessed 19 September 2008).

Статья, опубликованная в материалах конференций

1. Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267-272.

Диссертация и автореферат

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy ochistki stochnykh vod i prirodnykh ob"ektov ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i*

nefteproduktov. Diss. dokt. biol. nauk [Biological and technical aspects of microbial purification of sewage and nature objects from surface-active substances and oil products. Dis. dr. biol. sci.]. Saint-Petersburg, 2000, 360 p.

2. Dolganova N. V. *Razrabotka ekologicheski chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

Переводная книга

1. Timoshenko S.P., Yound D.H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

13. Через два интервала по центру – **информация об авторе(ах)** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Через интервал по центру дается следующая информация: *Фамилия, имя, отчество автора (курсивом)*, далее прямой шрифт – место работы (аббревиатуру расшифровать) и город; научная степень, ученое звание; должность; E-mail (для всех данных кегль 12, точка в конце не ставится); телефон (лучше мобильный, остаётся в редакции, нужен на случай, если у редактора возникнут вопросы по тексту). Через интервал по центру информация дублируется на английском языке.

Образец:

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Иван Иванович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой пищевых и холодильных машин; E-mail: petrov@mail.ru; тел. 8(905)31-33-456

Petrov Ivan Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Food and Refrigeration Machines; E-mail: petrov@mail.ru

Кужлева Елизавета Петровна – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (г. Калининград); аспирант кафедры машиноведения и технических систем; E-mail: roza@bk.ru; тел. 8(952)31-39-654

Kuzhleva Elizaveta Petrovna – Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad); Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems; E-mail: roza@bk.ru

Правила оформления рукописей

- формат бумаги: А4;
- ориентация: книжная;
- поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см;
- гарнитура шрифта: Times New Roman;
- кегль – 12;

- абзац с отступом Tab. 1,27;
- межстрочный интервал – одинарный;
- при наборе текста:
 - не допускается: применять стили при формировании текста; вносить изменения в шаблон или создавать свой для формирования текста; ставить пробелы перед знаками препинания; применять любые разрядки слов;
 - необходимо: слова внутри абзаца разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; установить автоматическую расстановку переносов (путь: меню СЕРВИС → подменю ЯЗЫК → пункт РАССТАНОВКА ПЕРЕНОСОВ → поставить галочку в открывшемся окне «автоматическая расстановка переносов»).

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 этом нумеруют арабскими цифрами графы и строки первой части таблицы. Слово «Таблица» указывают один раз слева (без отступа) над первой частью таблицы, после номера ставят точку, следом с прописной идет название таблицы, точку в конце не ставят; над другими частями пишут: «Продолжение таблицы», с указанием номера таблицы. Таблица должна быть вставлена автоматически (через «Таблица: Добавить таблицу»). Название таблицы дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Таблица 1. Table 1.).

Рисунки. Допускаются только черно-белые четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные (сканированные необходимо распечатывать на лазерном или струйном принтере). Рисунки могут быть введены в текст статьи или выполнены в виде отдельных графических файлов. В последнем случае необходимо указать место расположения рисунка, написав на полях рукописи после абзаца, в котором он впервые упоминается: Рис. 1. и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1. и т. д.) и иметь подрисовочные подписи. Номер рисунка и подрисовочная подпись располагаются под рисунком. Название рисунка дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Рис. 1. Fig. 1.). Точка в конце подрисовочной подписи не ставится.

Все обозначения на рисунке должны соответствовать обозначениям в тексте. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны. Ширина рисунка не должна быть больше ширины полосы набора текста.

Если в статье один рисунок или одна таблица, они не нумеруются.

Не допускается заканчивать статью рисунком или таблицей.

Все рисунки и таблицы должны быть расположены по центру полосы набора.

Формулы. Все формулы набираются в формульном редакторе, нумеруются, на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой после ссылки с отступом два Таб. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо. При наборе формул рекомендуется использовать следующие кегли шрифтов: основной – 11; крупный индекс – 7; мелкий индекс – 5; крупный символ – 14; мелкий символ – 10. Гарнитура шрифта Times New Roman. Для набора математических формул используют буквы латин-

ского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом (m_i – масса i -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом (l_p – длина разбега; $V_{\text{пос}}$ посадочная скорость). Сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det, exp и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой: e не \bar{e} . Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках (=, », <, > и др.), во вторую очередь – на отточии (...), на знаках сложения и вычитания (+, –), в последнюю – на знаке умножения в виде косоугольного креста (\times). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида $\frac{a}{b}$ рекомендуется писать a/b. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

Химические символы (Ag, Cu) набирают прямым шрифтом. Для набора рекомендуется использовать редактор Chem Window.

Единицы физических величин следует приводить в международной системе СИ по ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин.

Все аббревиатуры в тексте должны быть расшифрованы. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин.

Электронный вариант материалов

Текст статьи, рефераты, ключевые слова и сведения об авторе(ах) размещаются в одном файле. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла *.doc). Для передачи информации подойдут любые электронные носители.

Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи.

Статьи, не соответствующие вышеперечисленным требованиям, могут быть возвращены автору(ам) для доработки.

Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.

Публикации статей бесплатные. Рукописи статей сотрудников ФГБОУ ВПО «КГТУ» направляются в редакционную коллегию журнала по рекомендациям научно-методических семинаров кафедр. Все статьи проходят обязательное внешнее или внутреннее рецензирование. Автор самостоятельно или в соавтор-

стве может представить в номер не более одной статьи. Статьи публикуются на русском или английском языке. Страницы не нумеровать.

Адрес редакции:

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,
Калининградский государственный технический университет
Тел. (4012) 99-59-74
E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru
<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915
от 22.12.2011 г.

Редакторы: Е. В. Билко, Г. А. Смирнова

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Лицензия № 05609 от 14.08.2001

Подписано в печать 29.10.2020. Выход в свет 01.11.2020. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 25,8. Уч.-изд. л. 16,5. Тираж 1000 экз. Заказ № 83.