

ISSN 2079-0333

**ВЕСТНИК
Камчатского
государственного
технического
университета**



Научный
журнал

Основан в 2002 г.

16+

ВЫПУСК

67

2024

Издательство



КамчатГТУ

Петропавловск-Камчатский

**ВЕСТНИК
Камчатского
государственного
технического
университета**

ISSN 2079-0333



**Научный
журнал**

Основан в 2002 г.

Bulletin of Kamchatka State Technical University

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

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

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

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

ВЫПУСК

67

2024

Петропавловск-Камчатский

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Клочкова Т.А.** (главный редактор) доктор биологических наук, доктор философии биологии (Ph.D.), профессор кафедры экологии и природопользования Камчатского государственного технического университета
- Царенко С.Н.** (научный редактор, технический раздел) доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры технологических машин и оборудования Камчатского государственного технического университета
- Ольхина О.В.** (ответственный секретарь) заведующий издательством Камчатского государственного технического университета
- Белавина О.А.** (технический секретарь) кандидат химических наук, заведующий сектором патентования и научно-квалификационной деятельности отдела науки и инноваций Камчатского государственного технического университета
- Артемова Е.Н.** доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии продуктов питания и организации ресторанного дела Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева
- Васильев М.В.** кандидат технических наук, капитан 1 ранга, начальник военного учебного центра при Камчатском государственном техническом университете
- Водинчар Г.М.** кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Голохваст К.С.** доктор биологических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАО, директор Сибирского федерального научного центра агrobiотехнологий Российской академии наук
- Йотсукура Н.** доктор философии биологии (Ph.D.), профессор, директор Морской станции Ошоро, научно-исследовательский центр по изучению северной биосферы Университета Хоккайдо (Япония)
- Кадникова И.А.** доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории безопасности и качества морского растительного сырья Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра
- Ким Г.Х.** доктор философии биологии (Ph.D.), профессор, заведующий лабораторией альгологии Национального университета Конджу (Республика Корея)

- Климова А.В.** кандидат биологических наук, заведующий сектором коллективного использования научного оборудования научно-образовательного центра «Экология и природопользование» Камчатского государственного технического университета
- Клочкова Н.Г.** доктор биологических наук, главный научный сотрудник Камчатского филиала Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Лобков Е.Г.** доктор биологических наук, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
- Максимова С. Н.** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии продуктов питания Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета
- Манаков Ю.А.** доктор биологических наук, заместитель директора по научной деятельности Сибирского федерального научного центра агроботехнологий Российской академии наук
- Потапов В.В.** доктор технических наук, главный научный сотрудник Научно-исследовательского геотехнологического центра Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Приходько Ю.В.** доктор технических наук, профессор, профессор Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» Дальневосточного федерального университета
- Седова Н.А.** доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
- Сенкевич Ю.И.** доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Токранов А.М.** доктор биологических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник Камчатского филиала Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Усов А.И.** доктор химических наук, главный научный сотрудник Института органической химии имени Н.Д. Зелинского Российской академии наук
- Швецов В.А.** доктор химических наук, доцент, профессор кафедры энергетических установок и электрооборудования судов Камчатского государственного технического университета

EDITORIAL BOARD

- Klochkova T.A.** (Editor-in-Chief) Doctor of Biological Sciences, Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Professor of Ecology and Nature Management Chair, Kamchatka State Technical University
- Tzarenko S.N.** (Scientific Editor, technical sciences) Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of Technical Machines and Equipment Chair, Kamchatka State Technical University
- Olkhina O.V.** (Executive Secretary) Head of Publishing House, Kamchatka State Technical University
- Belavina O.A.** (Technical Secretary) Candidate of Chemical Sciences, Head of the Patenting and Scientific Qualification Activity Sector of Science and Innovation Department, Kamchatka State Technical University
- Artemova E.N.** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Food Technology and Organization of Restaurant Business Chair, Orel State University named after I.S. Turgenev
- Vasilev M.V.** Candidate of Technical Sciences, Captain 1st rank, Head of Military Training Center of Kamchatka State Technical University
- Vodinchar G.M.** Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Leading Scientific Researcher of Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Golokhvast K.S.** Doctor of Biological Sciences, Professor of Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of Russian Academy of Education, Director of Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of Russian Academy of Sciences
- Yotsukura N.** Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Professor, Director of Oshoro Marine Station, Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University (Japan)
- Kadnikova I.A.** Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Chief Researcher, Laboratory of Safety and Quality of Marine Plant Materials, Pacific Research Fisheries Center
- Kim G.H.** Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Professor, Head of Phycology Laboratory, Kongju National University (South Korea)

- Klimova A.V.** Candidate of Biological Sciences, Head of Sector of Collective Use of Scientific Equipment of the Scientific and Educational Center “Ecology and Nature Management”, Kamchatka State Technical University
- Klochkova N.G.** Doctor of Biological Sciences, Chief Scientific Researcher of Kamchatka Branch of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Lobkov E.G.** Doctor of Biological Sciences, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair, Kamchatka State Technical University
- Maksimova S.N.** Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Food Technology Chair of Far Eastern State Technical Fisheries University
- Manakov Yu.A.** Doctor of Biological Sciences, Director Deputy for Scientific work of Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of Russian Academy of Sciences
- Potapov V.V.** Doctor of Technical Sciences, Chief Scientific Researcher of Research Geotechnological Center of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Prikhodko Yu.V.** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University
- Sedova N.A.** Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair, Kamchatka State Technical University
- Senkevich Y.I.** Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Scientific Researcher of Institute of Cosmophysical Research and Radio Waves Propagation of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Tokranov A.M.** Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Chief Scientific Researcher of Kamchatka Branch of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Usov A.I.** Doctor of Chemical Sciences, Chief Scientific Researcher of N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry of Russian Academy of Sciences
- Shvetsov V.A.** Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Professor of Power Plants and Electrical Equipment of Ships Chair, Kamchatka State Technical University

Содержание

РАЗДЕЛ I. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Царенко С.Н., Роменский Д.И., Корж А.С.

Исследование резонансных явлений крутильных колебаний
валопроводов гребных винтов8

Ефимов А.А., Мустафаева В.М., Ефимова М.В.

Применение творожной сыворотки в технологии колбасно-сосисочных изделий
с рыбной составляющей как направление рационального использования
вторичного пищевого сырья.....21

Фролова Н.А.

Использование консорциума микроорганизмов гранул водного кефира
для получения напитка36

РАЗДЕЛ II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Григорьев С.С.

Размерно-весовой состав и морфологическая характеристика
девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* (Gasterosteidae)
из озера Приливного (Юго-Восточная Камчатка) зимой 2022–2023 гг.43

Сафонова М.А., Ширинина М.К., Котовщиков А.В., Яныгина Л.В.

Оценка экологического состояния пойменных озер бассейна Верхней Оби59

Стариков В.П., Володина О.Ю., Кравченко В.Н.,

Тарикулиева С.Э., Ялымова Д.М.

Сообщества мелких млекопитающих
северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья80

Правила направления, рецензирования и опубликования рукописей статей.....95

Правила оформления рукописей статей.....99

Contents

SECTION I. TECHNICAL SCIENCES

Tsarenko S.N., Romensky D.I., Korzh A.S. Investigation of resonant phenomena of propeller shaft lines torsional vibrations.....	8
Efimov A.A., Mustafaeva V.M., Efimova M.V. Application of curd whey in technology of sausage products with fish component as a direction for the rational use of secondary food raw materials	21
Frolova N.A. Use of a consortium of microorganisms of water kefir granules to produce a drink	36

SECTION II. BIOLOGICAL SCIENCES

Grigorev S.S. Size and weight composition and morphological characteristics of the nine-spined stickleback <i>Pungitius pungitius</i> (Gasterosteidae) from lake Prilivnoe (Southeastern Kamchatka) during winter 2022–2023.....	43
Safonova M.A., Shirinina M.K., Kotovshchikov A.V., Yanygina L.V. Assessment of the ecological status of floodplain lakes in the Upper Ob basin	59
Starikov V.P., Volodina O.Y., Kravchenko V.N., Tarikulieva S.E., Yalymova D.M. Communities of small mammals in the northern forest-steppe of the Tobol-Ishim interfluvial area	80
Regulations for manuscript preparation, review and publication.....	95
Manuscripts guidelines.....	99

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОПРОВОДОВ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ

Царенко С.Н.¹, Роменский Д.И.², Корж А.С.³

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

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

³ Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное шоссе, 30.

В работе рассматривается задача крутильных колебаний валопроводов гребных винтов. В отличие от традиционного метода на основе дискретных масс, для исследования динамических процессов принята модель двухступенчатого стержня с распределенными параметрами. Активная нагрузка со стороны двигателя, так же как и в классическом подходе, аппроксимируется частичной суммой ряда Фурье. Выполнено сравнение результатов расчета по предлагаемой модели с результатами, известными в литературе. Установлено, что обе расчетные методики дают чрезмерные значения усилий и деформаций при резонансе с гармоникой, для которой фазовая составляющая кратна циклу работы двигателя.

Ключевые слова: валопровод, динамические нагрузки, крутильные колебания, метод Фурье, резонанс, ступенчатый стержень.

INVESTIGATION OF RESONANT PHENOMENA OF PROPELLER SHAFT LINES TORSIONAL VIBRATIONS

Tsarenko S.N.¹, Romensky D.I.², Korzh A.S.³

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

² Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Yaroslavskoye Shosse 26.

³ Scientific Research Geotechnological Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Severo-Vostochnoe Shosse 30.

The problem of torsional vibrations of propeller shaft lines is considered in the work. A two-stage rod model with distributed parameters has been adopted for the study of dynamic processes in contrast to the traditional method based on discrete masses. The active load on the engine side, as in the classical approach, is approximated by the partial sum of the Fourier series. The comparison of the calculation results according to the proposed model with the results known in the literature has been performed. It is established that both calculation methods give excessive values of forces and deformations in resonance with harmonics, for which the phase component is a multiple of the engine cycle.

Key words: shaft line, torsional vibrations, dynamic loads, Fourier method, resonance, stepped rod.

ВВЕДЕНИЕ

Валопровод судовой энергетической установки является одним из наиболее нагруженных узлов на современных судах. В процессе работы он подвергается воздействиям статического и динамического характера [Batrak, 2011]. Большинство нагрузок статического плана учитывается на стадии проектирования оборудования, при этом, как правило, учет динамических сил закладывается в коэффициенты запаса [Ефремов, 2007; Batrak, 2011]. Что связано с многообразием условий возникновения динамических эффектов: это могут быть инерционные силы, возникающие при переходных процессах работы оборудования (разгон, торможение), силы, связанные с физико-геометрическим несовершенством тел (дисбалансы масс) и пр. Отдельное место занимают нагрузки периодического действия, так как могут приводить к резонансным явлениям [Ефремов, 2007; Batrak, 2011], что оказывает негативное воздействие не только на подвижные узлы судовой энергетической установки, но на сопряженные элементы и корпус судна в целом [Bashkatov et al, 2021].

В теории расчета судовых валопроводов наибольшее распространение получила дискретная модель [Терских, 1953; Ефремов, 2007; Batrak, 2011], когда механическая система разбивается на определенное количество масс, а взаимодействие между ними осуществляется с использованием упругих и вязких связей. Такой подход считается классическим. Алгоритм данного метода, включая его реализацию в программируемой среде, подробно изложен в монографии [Ефремов, 2007]. Для исследования таких моделей, как правило, используют методы численного расчета [Ефремов, 2007; Batrak, 2011]. Данная методика достаточно хорошо апробирована

и применяется на практике для определения собственных частот крутильных колебаний валопровода, что позволяет установить зоны запретных частот вращения вала. Однако такой подход имеет свои недостатки: во-первых, при численных расчетах становится неявной взаимосвязь между различными параметрами модели, во-вторых, промежуточные и гребной валы могут иметь значительную протяженность, а замена их упруго-вязкой связью фактически нивелирует динамические процессы, связанные с наложением упругих волн деформаций, которые происходят, в частности, при ударных нагрузках [Царенко и др., 2022]. Кроме того, систему зачастую упрощают, ограничиваясь одной или двумя узловыми формами [Grządziela, Batur, 2017; Jee et al., 2020; Edgar G. Villamarin, 2021]. Для вычисления амплитудных деформаций используется энергетический подход, что позволяет получить представление о максимальных нагрузках, но не о характере их поведения. Более полное понимание взаимосвязи между параметрами модели, а также о динамических процессах в валопроводе дает модель с распределенными параметрами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования резонанса крутильных колебаний валопровод представим в виде стержня с двумя участками с разной жесткостью (GJ_{p1} , GJ_{p2}) и распределенными моментами инерции (γJ_{p1} , γJ_{p2}) [Царенко и др., 2022]. Параметры левого участка вала определяются по приведенным характеристикам дизельного двигателя. Для правого участка используются приведенные жесткость и линейная плотность промежуточных и гребного валов. На коленчатый вал действуют активные моменты T_k периодического характера, x_k – осевая

координата сечения, к которому момент приложен, а также m_c – моменты сопротивления в подшипниках и цилиндропоршневой группе, которые принимаем равномерно распределенными по первому участку вала. На правом торце стержня расположен винт с моментом инерции, с учетом присоединенной воды – I_b , T_b – крутящий момент на винте.

Для каждого из участков вала уравнения углов закручивания $\varphi(x,t)$ имеют вид:

$$GJ_{pi} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \gamma J_{pi} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = m_i(t,x); \quad i = 1,2, \quad (1)$$

Решение уравнения (1) для случая свободных колебаний подробно рассмотрено в статье [Царенко и др., 2022]. Таким образом, в соответствии с методом Фурье зависимости для нахождения углов закручивания и крутящих моментов в относительных координатах можно представить в виде [Царенко и др., 2022]

$$\varphi(z, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n(z) w_n(\tau); \quad (2)$$

$$M(z, \tau) = \frac{GJ_{p1}}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi'_n(z) w_n(\tau), \quad (3)$$

где $z = x/l$ – относительная продольная координата;

$\tau = tc/l$ – безразмерное время,

$c = \sqrt{GJ_{p1} / \gamma J_{p1}}$ – скорость распространения крутильных волн на первом участке вала,

$\Phi_n(z)$, $\Phi'_n(z)$ – собственные функции и их производные определяются граничными условиями и условиями состыковки участков для рассматриваемой задачи [Царенко и др., 2022]:

$$\begin{aligned} \Phi_n(z) = & \cos \lambda_n z e(\zeta - z) + \\ & + \left(\cos \lambda_n \zeta \cos(\lambda_n \eta(z - \zeta)) - \right. \\ & \left. - \frac{\alpha}{\eta} \sin \lambda_n \zeta \sin(\lambda_n \eta(z - \zeta)) \right) \times \\ & \times (e(1 - z) - e(\zeta - z)); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Phi'_n(z) = & -\lambda_n (\sin \lambda_n z e(\zeta - z) + \\ & + \frac{\eta}{\alpha} \left(\cos \lambda_n \zeta \sin(\lambda_n \eta(z - \zeta)) + \right. \\ & \left. + \frac{\alpha}{\eta} \sin \lambda_n \zeta \cos(\lambda_n \eta(z - \zeta)) \right) \times \\ & \times (e(1 - z) - e(\zeta - z)), \end{aligned} \quad (5)$$

$w_n(\tau)$ – функция, зависящая от времени, определяется начальными условиями задачи, а также видом возмущающей нагрузки, для случая вынужденных колебаний от действия гармонической нагрузки имеет вид:

$$\begin{aligned} w_n(\tau) = & -\frac{1}{2\Delta_n^2 \lambda_n^2} \left(\sum_{k=1}^{n_c} \tilde{T}_0 \Phi_n(z_k) - 2\tilde{T}_e \Phi_n(1) \right) - \\ & - \sum_{k=1}^{n_c} \sum_{j=1}^m \frac{\tilde{T}_j \Phi_n(z_k)}{\Delta_n^2 \left((\lambda_n^2 - (j\tilde{\theta})^2)^2 + 4\tilde{\nu}_n^2 (j\tilde{\theta})^2 \right)} \times \\ & \times \left((\lambda_n^2 - (j\tilde{\theta})^2) \cos(j\tilde{\theta}\tau + \mu_{jk}) + \right. \\ & \left. + 2\tilde{\nu}_n j\tilde{\theta} \sin(j\tilde{\theta}\tau + \mu_{jk}) \right). \end{aligned} \quad (6)$$

В формулах (4)–(6) приняты следующие обозначения для величин:

$e(z)$ – единичная функция;

$\zeta = l_1/l$ – относительная длина первого участка вала;

$\eta = \sqrt{(GJ_{p2} \gamma J_{p1}) / (GJ_{p1} \gamma J_{p2})}$;

$\alpha = GJ_{p1} / GJ_{p2}$;

$\tilde{\theta} = \theta l / c$ – безразмерная угловая скорость,

θ – угловая скорость вращения вала;

n_c – количество возмущающих моментов на коленчатом валу (число цилиндров);

m – количество гармоник возмущающей нагрузки;

$\tilde{T}_j = T_j l / (GJ_{p1})$ – безразмерное амплитудное значение момента для j -й гармоники;

μ_{jk} – фаза;

$\tilde{T}_B = T_B l / (GJ_{p1})$ – безразмерная величина среднего момента на винте.

Собственные числа λ_n определяются из решения частотного уравнения [Царенко и др., 2022]

$$\begin{aligned} & \cos \lambda_n \zeta \left(\sin(\lambda_n \eta(1-\zeta)) + \right. \\ & \left. + \xi \lambda_n \frac{\alpha}{\eta} \cos(\lambda_n \eta(1-\zeta)) \right) + \\ & + \frac{\alpha}{\eta} \sin \lambda_n \zeta \left(\cos(\lambda_n \eta(1-\zeta)) - \right. \\ & \left. - \xi \lambda_n \frac{\alpha}{\eta} \sin(\lambda_n \eta(1-\zeta)) \right) = 0, \end{aligned} \quad (7)$$

где $\xi = I_B / (\gamma J_{p1} l)$ – относительная инерционная нагрузка на правом торце вала.

Декремент затухания $\tilde{\nu}_n$ учитывает демпфирующие моменты в двигателе и на винте:

$$\tilde{\nu}_n = \frac{R_c \theta c \Phi_n(1)}{GJ_{p1} \Delta_n^2} + \frac{b_l c \Delta_{n1}^2}{2\zeta GJ_{p1} \Delta_n^2}, \quad (8)$$

здесь R_c – коэффициент, учитывающий физические свойства среды и геометрию винта, ориентировочно определяется через номинальные значения угловой скорости и мощности на винте [Царенко и др., 2021];

b_l – коэффициент демпфирования, распределенный по первому участку стержня.

Квадраты нормы собственных функций для всего вала Δ_n^2 и для первого участка Δ_{n1}^2 определяются из зависимостей:

$$\begin{aligned} \Delta_{n1}^2 = & \frac{1}{2\lambda_n^2} (\lambda_n^2 \zeta \Phi_n^2(\zeta) + \zeta (\Phi'_n(\zeta))^2 - \\ & - \Phi_n(\zeta) \Phi'_n(\zeta)), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_n^2 = & \frac{1}{2\lambda_n^2} (\lambda_n^2 \zeta \Phi_n^2(\zeta) + \zeta (\Phi'_n(\zeta))^2 + \\ & + \lambda_n^2 (1-\zeta) \frac{\eta^2}{\alpha} \Phi_n^2(1) + \alpha (1-\zeta) (\Phi'_n(1))^2 - \\ & - \Phi_n(1) \Phi'_n(1)) + \xi \Phi_n^2(1). \end{aligned} \quad (9)$$

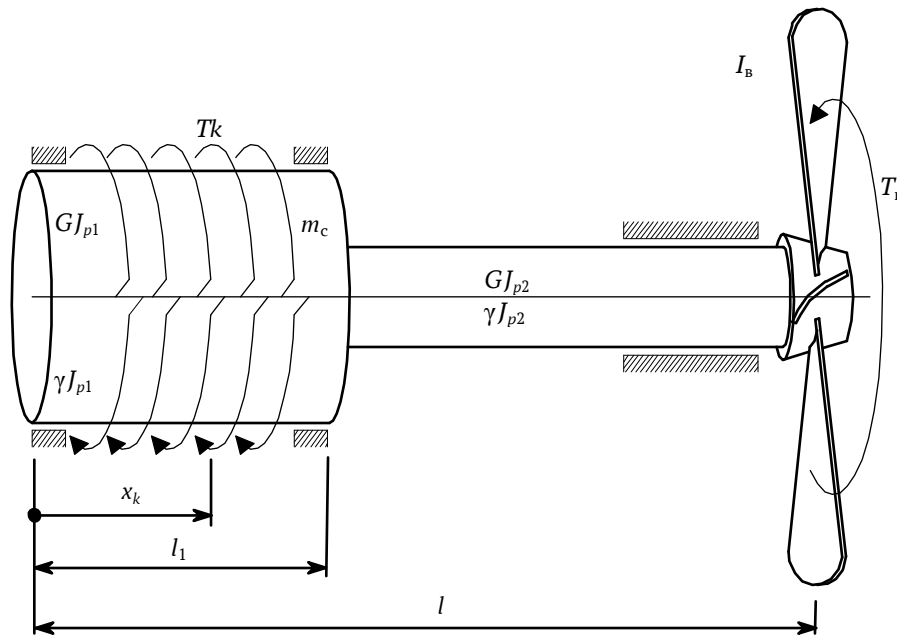


Рис. 1. Расчетная схема валопровода гребного винта

Fig. 1. Diagram of the propeller shaft line

Моменты со стороны двигателя определяют из развернутой индикаторной диаграммы, которая составляется на основе теплового расчета [Ефремов, 2007]. Следует иметь в виду, что тепловой расчет, как правило, выполняют для номинальной нагрузки, у судовых двигателей нагрузка же зависит от частоты вращения, что делает расчет для режима, отличного от номинального, весьма трудоемким. Кроме того производители импортных двигателей такие диаграммы в основном не предоставляют. Однако в литературе имеется ряд расчетных зависимостей, которые позволяют приблизительно установить основные параметры индикаторной диаграммы с использованием номенклатурных параметров двигателя, не прибегая к тепловому расчету.

За основу возьмем теоретический цикл работы дизельного двигателя [Колчин, Демидов 1980] (рис. 2). Функцию давления в зависимости от угла поворота кривошипа ψ представим с использованием известных выражений [Колчин, Демидов, 1980], для четырехтактного дизельного двигателя:

$$p(\psi) = \begin{cases} p_a, & 0 \leq \psi \leq \psi_a; \\ p_a \left(\frac{V_a}{V_c + F_{\pi} s(\psi)} \right)^{n_1}, & \psi_a \leq \psi \leq \psi_c; \\ p_z, & \psi_z \leq \psi \leq \psi_{z'}; \\ p_z \left(\frac{V_{z'}}{V_c + F_{\pi} s(\psi)} \right)^{n_2}, & \psi_{z'} \leq \psi \leq \psi_b; \\ p'_a, & \psi_b \leq \psi \leq 4\pi, \end{cases} \quad (10)$$

здесь ψ_a – угол закрытия впускного клапана;
 ψ_b – угол открытия выпускного клапана;
 $\psi_c = \psi_z$ – угол окончания фазы сжатия (2 π);
 $\psi_{z'}$ – угол предварительного расширения;

V_a, V_c – максимальный и минимальный объемы цилиндра соответственно, связаны следующими зависимостями:

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} \text{ – степень сжатия,}$$

$$V_h = V_a - V_c \text{ – рабочий объем цилиндра;}$$

$V_{z'}$ – объем в конце фазы предварительного расширения,

$$\rho = \frac{V_{z'}}{V_c} \text{ – степень предварительного}$$

расширения;

n_1, n_2 – показатели политроп сжатия и расширения;

$$F_{\pi} \text{ – площадь поршня;}$$

p_a, p'_a – давление при фазах впуска и выпуска, приблизительно можно принять равным атмосферному ($p_a = 0,1$ МПа);

$p_z = \lambda_p p_b, p_b$ – давление в конце фазы сжатия, λ_p – степень повышения давления;

$s(\psi)$ – ход поршня, определяется выражением [Колчин, Демидов, 1980]

$$s(\psi) = R \left(1 - \cos \psi + \frac{1}{4} \lambda_{ш} (1 - \cos 2\psi) \right),$$

где R – радиус кривошипа;

$$\lambda_{ш} = l_{ш} / R, l_{ш} \text{ – длина шатуна.}$$

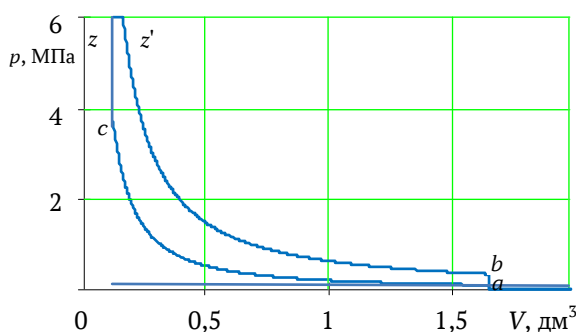


Рис. 2. Индикаторная диаграмма двигателя ЯМЗ-238М2

Fig. 2. Indicator diagram of the YaMZ-238M2 engine

С учетом зависимости (10), выражение для моментов можно представить в виде

$$T_k(\psi) = R((p(\psi) - p_a)F_n - m_{\text{пд}}R\theta^2 (\cos \psi + \lambda_{\text{ш}} \cos 2\psi)) \cdot \left(\sin \psi + \frac{\cos \psi}{1 - \frac{\lambda_{\text{ш}}}{4} \sin^2 \psi} \right), \quad (11)$$

$$N = N_{\text{ном}} \left(\frac{n}{n_{\text{ном}}} \right)^m, \quad (13)$$

где $m_{\text{пд}}$ – массы поступательно движущихся тел,

$$m_{\text{пд}} = m_{\text{п}} + 0,275m_{\text{ш}},$$

$m_{\text{п}}$ – масса поршня,

$m_{\text{ш}}$ – масса шатуна.

Большинство величин, входящих в выражения (10), (11), можно получить из технической документации двигателя, однако некоторые параметры напрямую зависят от тепловых процессов, происходящих в цилиндре. Сюда относятся: показатели политроп сжатия и расширения – n_1 , n_2 , степень повышения давления – λ_p и степень предварительного расширения – ρ . Показателями политроп можно задаться, исходя из рекомендаций справочной литературы [Ваншейдт, 1977], или приблизительно установить по описанию тепловых процессов, протекающих в цилиндре данного или аналогичного двигателя. Соотношение между степенью повышения давления и степенью предварительного расширения можно установить методом последовательных приближений с использованием зависимости [Сысоев и др., 2012]

$$p_z = 120N_{\text{дв}}(\varepsilon - 1) / \left(n_{\text{ц}} V_h n_{\text{об}} \left((\rho - 1) + \frac{\rho}{n_2 - 1} \left(1 - \left(\frac{\rho}{\varepsilon} \right)^{n_2 - 1} \right) - \frac{1}{\lambda_p (n_1 - 1)} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right) \right), \quad (12)$$

где $N_{\text{дв}}$ – мощность двигателя,

$n_{\text{об}}$ – частота вращения.

Для определения параметров цикла для режимов, отличных от номинальных, расчетная мощность определяется формулой [Мартьянов В. В., 2020]

где $N_{\text{ном}}$, $n_{\text{ном}}$ – номинальная мощность и частота вращения,

m – показатель степени устанавливается эмпирически на основании теплотехнических испытаний двигателя [Мартьянов, 2020].

Степень повышения давления линейно зависит от подвода теплоты и на холостом ходу приближается к единице [Колчин, Демидов, 1980]. Таким образом, для рабочих режимов λ_p можно использовать аппроксимацию

$$\lambda_p = \lambda_{p_{\text{ном}}} - \frac{n - n_{\text{мин}}}{n_{\text{ном}} - n_{\text{мин}}} (\lambda_{\text{ном}} - 1), \quad (14)$$

где $\lambda_{\text{ном}}$ – степень повышения давления для номинального режима работы.

Для подстановки в решение (6) функция моментов (11) аппроксимируется в виде частичной суммы ряда Фурье

$$T_k(\psi) = \frac{T_0}{2} + \sum_{j=1}^m T_j \cos \left(\frac{j\psi}{2} - \mu_j \right). \quad (15)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты моделирования. В качестве примера возьмем параметры валолинии, представленные в работе [Мартьянов, 2020], где проведен анализ возникновения резонанса крутильных колебаний судового валопровода пассажирского теплохода пр. Р118 с использованием традиционной методики разбивки системы на дискретные массы. Характеристики эквивалентной системы с распределенными параметрами определим с использованием зависимостей:

$$GJ_{p1} = \frac{l\zeta}{\sum_{i=1}^4 e_i} = 2,52 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}^2;$$

$$c = \frac{l\zeta}{\sqrt{\sum_{i=1}^4 e_i \sum_{i=1}^5 \theta_i}} = 1120 \text{ м/с};$$

$$\eta = \frac{1-\zeta}{\zeta} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 e_i \sum_{i=1}^5 \theta_i}{e_5 \theta_5}} = 0,576;$$

$$\alpha = \frac{\zeta e_5}{(1-\zeta) \sum_{i=1}^4 e_i} = 17,5;$$

$$\xi = \frac{\theta_6 \zeta}{\sum_{i=1}^5 \theta_i} = 0,09, \zeta = l_1 / l = 0,349, \quad (16)$$

здесь $\theta_1-\theta_6$ – моменты инерции коленчатого вала, маховика и промежуточного вала;

$e_{1-2}-e_{5-6}$ – податливости упругих связей между элементами системы;

$l_1 = 1,16 \text{ м}; l = 3,33 \text{ м}$ – длина первого участка и валопровода в целом [Коптев, Мартянов, 2012].

Подставив коэффициенты (16) в уравнение (7) и решив численно, находим собственные значения частотного уравнения:

$$\lambda_1 = 1,087; \lambda_2 = 8,087; \lambda_3 = 9,297; \dots$$

Первому собственному числу соответствует круговая частота $\omega_1 = \lambda_1 c / l = 366 \text{ с}^{-1}$. Круговая частота, полученная в работе [Мартянов, 2020], $\omega_e = 370 \text{ с}^{-1}$. Таким образом, расхождение составляет порядка 1%.

Для определения параметров моментов на коленчатом валу использованы следующие технические характеристики главного двигателя (ЯМЗ-238М2) [Мартянов, 2020]:

- мощность – $N_{\text{ном}} = 177 \text{ кВт}$ (240 л. с.);
- частота вращения коленчатого вала – $n_{\text{ном}} = 2100 \text{ мин}^{-1}$;
- частота вращения холостого хода – $n_{\text{мин}} = 600 \text{ мин}^{-1}$;
- число цилиндров – $n_{\text{ц}} = 8$;
- тип двигателя – четырехтактный с воспламенением от сжатия;

- расположение цилиндров – V-образное;
- расположение кривошипов под углом 90° ;
- диаметр цилиндра – 130 мм;
- ход поршня – 140 мм;
- степень сжатия – $\varepsilon = 16,5$;
- рабочий объем цилиндра – $V_h = 14,86 \text{ л}$;
- масса поршня – $m_{\text{п}} = 2,85 \text{ кг}$;
- масса шатуна – $m_{\text{ш}} = 4,2 \text{ кг}$;
- длина шатуна – $l_{\text{ш}} = 280 \text{ мм}$;
- порядок работы цилиндров – 1-5-4-2-6-3-7-8.

Показателями политроп принимаем в соответствии со справочными данными [Ваншейдт, 1977]: $n_1 = 1,38; n_2 = 1,28$, степень повышения давления для номинального режима принимаем – $\lambda_{\text{рном}} = 1,6$, степень предварительного расширения определена методом последовательных приближений с использованием формулы (12) – $\rho = 1,38$. На графике рисунка 2 показана индикаторная диаграмма, построенная в соответствии с зависимостью (10).

С учетом значения первой собственной частоты $\omega_1 = 366 \text{ с}^{-1}$, из формулы (6) следует, что в рабочем диапазоне частот двигателя возможно 8 резонансных режимов ($j = 4-11$): $n_{j=4} = 1748 \text{ мин}^{-1}, n_{j=5} = 1398 \text{ мин}^{-1}, n_{j=6} = 1165 \text{ мин}^{-1}, n_{j=7} = 999 \text{ мин}^{-1}, n_{j=8} = 874 \text{ мин}^{-1}, n_{j=9} = 777 \text{ мин}^{-1}, n_{j=10} = 699 \text{ мин}^{-1}, n_{j=11} = 635 \text{ мин}^{-1}$. Коэффициенты разложения функции моментов в ряд Фурье (15) по 12 первым формам представлены в таблице 1. Для разложения функции использовались 144 точки, что соответствует шагу на развернутой индикаторной диаграмме – 5° , такой подход рекомендован в работе [Ефремов, 2007]. На графике рисунка 3 представлена диаграмма моментов на коленчатом валу со стороны одного цилиндра при номинальном режиме работы ($n_{\text{дв}} = 2100 \text{ мин}^{-1}$), сплошная линия соответствует выражению (11), штриховой кривой показана аппроксимация по формуле (15).

Значения расчетных параметров и основные результаты моделирования представлены в таблице 2. В скобках показаны значения, вычисленные только для соответствующей резонансной гармоники по первой форме колебания, что соответствует упрощенному подходу, принятому для классической дискретной модели [Марты-

янов, 2020]. Из анализа результатов моделирования можно сделать вывод, что, несмотря на проявление динамического эффекта на всех резонансных режимах, опасность представляет только резонанс на 8-й гармонике ($n_{j=8} = 874 \text{ мин}^{-1}$) в окрестности, которой должна быть установлена зона запретных частот.

Таблица 1. Коэффициенты разложения функции моментов в ряд Фурье

Table 1. Coefficients of decomposition of the function of moments into a Fourier series

$N_{дв} / n_{об}$ (кВт / мин ⁻¹)	Коэффициент и фаза для j-й гармоники T_j / μ_j (Нм / -)												Дисперсия $s^2 \cdot 10^{-3}$ ((Нм) ²)	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12
<u>177</u> 2100	<u>190</u> -	<u>212</u> 3,79	<u>300</u> 1,17	<u>260</u> 4,5	<u>232</u> -1,53	<u>208</u> -1,5	<u>21,2</u> 3,51	<u>145</u> -1,43	<u>112</u> 1,78	<u>110</u> -1,3	<u>92,3</u> 1,96	<u>73,2</u> -1,09	<u>57,3</u> 2,09	5,13
<u>105</u> 1748	<u>135</u> -	<u>160</u> 3,86	<u>238</u> 1,21	<u>218</u> 4,53	<u>121</u> -1,51	<u>181</u> -1,52	<u>29,8</u> 2,01	<u>128</u> -1,47	<u>100</u> 1,72	<u>95,7</u> -1,37	<u>80</u> 1,86	<u>63,8</u> -1,21	<u>50,5</u> 1,95	
<u>55,7</u> 1398	<u>88,7</u> -	<u>118</u> 3,98	<u>187</u> 1,28	<u>184</u> 4,58	<u>31,2</u> -1,45	<u>158</u> -1,53	<u>54,6</u> 1,72	<u>113</u> -1,5	<u>90,3</u> 1,67	<u>83,2</u> -1,43	<u>69,4</u> 1,77	<u>55,8</u> -1,33	<u>44,6</u> 1,82	2,85
<u>33,2</u> 1165	<u>63,8</u> -	<u>97</u> 4,09	<u>160</u> 1,33	<u>166</u> 4,61	<u>18,2</u> 1,49	<u>146</u> -1,53	<u>69,1</u> 1,66	<u>104</u> -1,52	<u>84,9</u> 1,64	<u>76,5</u> -1,46	<u>63,8</u> 1,72	<u>51,5</u> -1,39	<u>41,3</u> 1,75	
<u>21,5</u> 999	<u>47,1</u> -	<u>83,7</u> 4,2	<u>143</u> 1,38	<u>154</u> 4,64	<u>46,7</u> 1,58	<u>138</u> -1,53	<u>77,2</u> 1,64	<u>99</u> -1,53	<u>81,1</u> 1,63	<u>71,9</u> -1,49	<u>60</u> 1,69	<u>48,6</u> -1,43	<u>39,2</u> 1,7	2,04
<u>14,7</u> 874	<u>36,7</u> -	<u>76,1</u> 4,28	<u>133</u> 1,41	<u>147</u> 4,66	<u>65,7</u> 1,59	<u>133</u> -1,53	<u>82,7</u> 1,63	<u>95,7</u> -1,53	<u>78,8</u> 1,62	<u>69,2</u> -1,5	<u>57,7</u> 1,67	<u>46,9</u> -1,46	<u>37,9</u> 1,67	
<u>10,5</u> 777	<u>28,3</u> -	<u>70,3</u> 4,36	<u>125</u> 1,45	<u>141</u> 4,68	<u>77,9</u> 1,6	<u>129</u> -1,53	<u>86</u> 1,62	<u>92,9</u> -1,54	<u>76,8</u> 1,61	<u>66,9</u> -1,52	<u>55,9</u> 1,65	<u>45,5</u> -1,49	<u>36,8</u> 1,64	1,76
<u>7,78</u> 699	<u>25,3</u> -	<u>68,4</u> 4,39	<u>121</u> 1,46	<u>139</u> 4,69	<u>88,4</u> 1,6	<u>128</u> -1,53	<u>89,5</u> 1,62	<u>91,9</u> -1,54	<u>76,3</u> 1,61	<u>66,1</u> -1,52	<u>55,2</u> 1,64	<u>45</u> -1,5	<u>36,5</u> 1,64	
<u>5,93</u> 635	<u>27,7</u> -	<u>69,9</u> 4,36	<u>122</u> 1,45	<u>141</u> 4,68	<u>99</u> 1,6	<u>129</u> -1,53	<u>93,8</u> 1,62	<u>92,7</u> -1,54	<u>77,3</u> 1,61	<u>66,7</u> -1,52	<u>55,7</u> 1,65	<u>45,4</u> -1,49	<u>36,8</u> 1,64	1,75

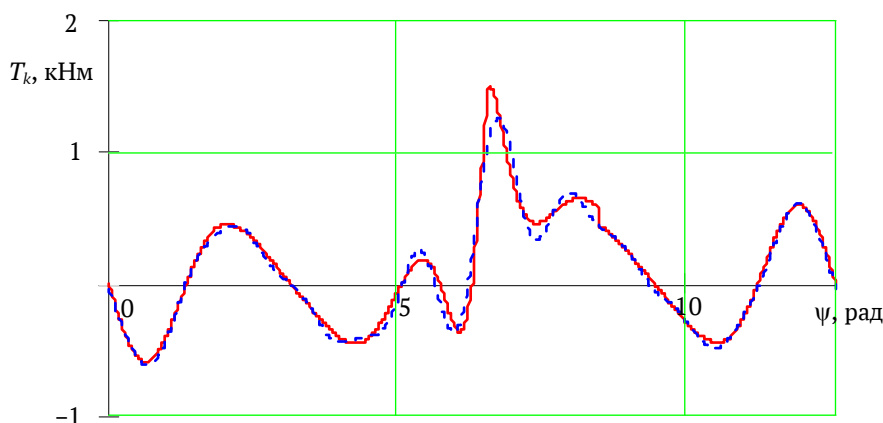


Рис. 3. Диаграмма моментов на коленчатом валу со стороны одного цилиндра

Fig. 3. Diagram of moments on the crankshaft on one cylinder

Таблица 2. Результаты моделирования динамики валопровода при резонансных режимах

Table 2. The results of modeling the dynamics of the shaft line in resonant modes

$N_{дв} / n_{об}$ (кВт / мин ⁻¹)	λ_p / ρ	Номиналь- ный мо- мент $T_b = N / \theta$ (Нм)	Максималь- ный крутя- щий момент на выходе двигателя M_{max} , (Нм)	Динамиче- ский коэф- фициент по крутящему моменту $K_M = M_{max} / T_b$	Коэффици- ент пере- грузки $K_n =$ $= M_{max} / T_{max}$ $T_{max} = 883 \text{ Нм}$	Максималь- ный угол закручива- ния левого торца вала $\varphi_{z=0} \cdot 10^3$, (рад)	Максималь- ный угол закручива- ния правого торца вала (винта) $\varphi_{z=1} \cdot 10^3$, (рад)
$\frac{177}{2100}$	1,6/1,38	805	814	1,01	0,922	-2,85	9,92
$\frac{105}{1748}$	1,46/1,26	574	606 (545)	1,06	0,686	-2,09 (-1,79)	7,29 (6,46)
$\frac{55,7}{1398}$	1,32/1,16	380	619 (530)	1,63	0,701	-2,15 (-1,74)	7,51 (6,28)
$\frac{33,2}{1165}$	1,23/1,1	272	621 (304)	2,28	0,703	-2,08 (-0,997)	7,46 (3,59)
$\frac{21,5}{999}$	1,16/1,07	206	741 (305)	3,6	0,839	-2,54 (-1)	8,93 (3,62)
$\frac{14,7}{874}$	1,11/1,05	161	12100 (12100)	75,2	13,7	-40 (-40)	143 (143)
$\frac{10,5}{777}$	1,07/1,04	129	840 (212)	6,51	0,951	-2,74 (-0,697)	9,82 (2,51)
$\frac{7,78}{699}$	1,04/1,03	106	533 (160)	5,03	0,604	-1,73 (-0,524)	6,23 (1,89)
$\frac{5,93}{635}$	1,02/1,02	89,2	499 (215)	5,59	0,565	-1,71 (-0,706)	5,91 (2,54)

Обсуждение. В целом полученные результаты согласуются с данными, представленными в работе [Мартьянов, 2020]. Увеличенные амплитудные значения деформаций могут объясняться разным подходом к определению коэффициента демпфирования на винте. В представленной модели для расчета использовано порядка 30 собственных форм, в классическом же варианте, как правило, ограничиваются одно- или двухузловой формой. Как видно из результатов расчета (табл. 2), при вычислении резонансных усилий для 8-го порядка такое упрощение является вполне оправданным, а для других случаев погрешность становится существенной.

Сомнение вызывает 75-кратное увеличение момента при резонансе на частоте $n_{j=8} = 874 \text{ мин}^{-1}$, однако на многократное расхождение экспериментальных данных

с теоретическим расчетом указано также в монографии [Ефремов, 2007], т. е. обе модели дают завышенный результат. Если проанализировать структуру выражения (6), то становится очевидным, что ввиду теоретической уравновешенности моментов, а также высокой жесткости коленчатого вала наибольшую опасность представляет только гармоника, у которой фазовая составляющая $\mu_k = j\pi / 2$ кратна циклу работы двигателя – 4л. На графике рисунка 4 сплошной линией показан суммарный момент двигателя в соответствии с выражением (11), штриховой линией представлен суммарный момент для ряда Фурье (15). Момент для ряда Фурье полностью аппроксимируется 8-й гармоникой, так как все прочие суммарно дают ноль. При этом, как видно из графика (рис. 4), суммарный момент явно имеет негармонический характер,

это позволяет сделать предположение, что существенное расхождение расчетных значений с экспериментальными может быть связано с гармонизацией нагрузки. В качестве альтернативного подхода можно рассмотреть случай импульсного воздействия на валопровод.

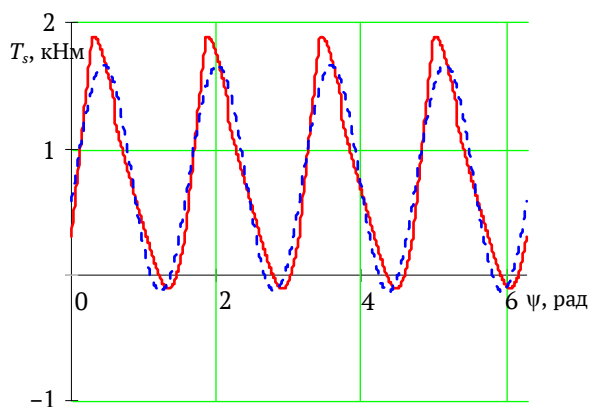


Рис. 4. Диаграмма суммарных моментов на коленчатом валу

Fig. 4. Diagram of the total moments on the crankshaft

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

- величина деформаций и усилий, найденные с использованием системы с дискретными параметрами для резонансных режимов, в целом согласуются со значениями, полученными традиционным методом дискретных масс;

- предложенная модель предоставляет более широкие возможности исследования динамических явлений на всем диапазоне рабочих частот, в отличие от классического подхода;

- обе расчетные методики дают чрезмерные значения усилий и деформаций при резонансе с гармоникой, для которой фазовая составляющая кратна циклу работы двигателя;

- в продолжение развития теории расчета валопроводов гребных винтов планируется провести исследования динамики валолинии за счет импульсного воздействия на коленчатый вал.

ЛИТЕРАТУРА

- Ваншейдт В.А. 1977. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Ленинград: Судостроение. 392 с.
- Ефремов Л.В. 2007. Теория и практика исследований крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий. Санкт-Петербург: Наука. 276 с.
- Колчин А.И., Демидов В.П. 1980. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд. Москва: Высшая школа. 400 с.
- Коптев А.В., Мартьянов В.В. 2012. Расчет характеристик колебаний судового валопровода прогулочного пассажирского теплохода типа «Фонтанка» (проект № P118). *Журнал Университета водных коммуникаций*. № 1. С. 43–46.
- Мартьянов В.В. 2020. Оценка угрозы возникновения резонансных колебаний на примере расчета крутильных колебаний судового валопровода пассажирского теплохода пр. P118. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова* Т. 12. № 2. С. 359–368. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-359-368.
- Сысоев С.Н., Гаврилов А.А., Морозов В.В., Гоц А.Н. 2012. Моделирование максимального давления цикла по внешней скоростной характеристике поршневого двигателя. *Современные проблемы науки и образования*. № 4. С. 99.

- Терских В.П. 1953. Расчеты крутильных колебаний силовых установок: в 2 т. Москва: Машгиз, Т. 1. 260 с.
- Царенко С.Н., Рак А.Н., Безлобенко Б.Н. 2021. Динамика валопровода гребного винта при разгонных режимах. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. Т. 13. № 4. С. 548–558. DOI:10.21821/2309-5180-2021-13-4-548-558.
- Царенко С.Н., Улитин Г.М., Труднев С.Ю. 2022. Динамика валопровода гребного винта при импульсном воздействии. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. Т. 14. № 5. С. 748–758. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-5-748-758.
- Bashkatov V.A., Khudyakov S.A., Ignatenko A.V., 2021. Practical confirmation of mechanical balancers effectiveness to reduce vibration of marine main diesel engines. *Jornal of Physics: Conf. Ser.* Vol. 2061. P. 012054. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012054.
- Batrak Yu.A. 2011. Torsional vibration calculation issues with propulsion systems. *Shaft Designer*. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:46726236> (дата обращения: 20.09.2022).
- Edgar G. Villamarin 2021. Torsional vibration solution using symbolic transfer matrices. DOI: 10.13140/RG.2.2.28988.16004. URL: https://www.researchgate.net/publication/355860158_Torsional_vibration_solution_using_symbolic_transfer_matrices. (дата обращения: 20.09.2022).
- Grządziela A., Batur T. 2017. Dynamics of shaft lines of the landing ships. *Journal of Marine Engineering & Technology*. 16:4. P. 238-247. DOI: 10.1080/20464177.2017.1419705.
- Jee J., Kim C., Kim Y. 2020. Design improvement of a viscous-spring damper for controlling torsional vibration in a propulsion shafting system with an engine acceleration problem. *Journal of Marine Science and Engineering*. Vol. 8(6). P. 428. DOI: 10.3390/jmse8060428.

REFERENCES

- Vanscheidt V.A. 1977. Marine internal combustion engines. Leningrad: Shipbuilding Publ. 392 p. (in Russian).
- Efremov L.V. 2007. Theory and practice of research on torsional vibrations of power plants using computer technology. St. Petersburg: Nauka Publ. 276 p. (in Russian).
- Kolchin A.I., Demidov V.P. 1980. Calculation of automobile and tractor engines: Study guide for universities. 2nd edition. Moscow: Vysshaja shkola Publ. 400 p. (in Russian).
- Koptev A.V., Martianov V.V. 2012. Calculation of the vibration characteristics of the ship's shaft line of a recreational passenger ship of the Fontanka type (project No. R118). *Zhurnal Universiteta vodnyh kommunikacij (Journal of the University of Water Communications)*. № 1. P. 43–46 (in Russian).
- Martianov V.V. 2020. Assessment of the threat of resonant vibrations by the example of calculating torsional vibrations of the ship's shaft line of the passenger ship ave. R118. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. Vol. 12. № 2. P. 359–368. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-359-368. (in Russian).
- Sysoev S.N., Gavrilov A.A., Morozov V.V., Gotz A.N. 2012. Simulation of the maximum cycle pressure based on the external

- speed characteristics of a piston engine. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya (Modern Problems of Science and Education. Surgery)*. № 4. P. 99. (in Russian).
- Terskikh V.P. 1953. Calculations of torsional vibrations of power plants: in 2 volumes. Moscow: Mashgiz Publ. Vol. 1. 260 p. (in Russian).
- Tsarenko S.N., Rak A.N., Bezlobenko B.N. 2021. Dynamics of the propeller shaft line during acceleration modes. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova (Bulletin of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping)*. Vol. 13. № 4. P. 548–558. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-548-558 (in Russian).
- Tsarenko S.N., Ulitin G.M., Trudnev S.Yu. 2022. Dynamics of the propeller shaft line under pulsed action. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova (Bulletin of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping)*. Vol. 14. № 5. P. 748–758. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-5-748-758 (in Russian).
- Bashkatov V.A., Khudyakov S.A., Ignatenko A.V. 2021. Practical confirmation of mechanical balancers effectiveness to reduce vibration of marine main diesel engines. *Journal of Physics: Conf. Ser.* Vol. 2061. P. 012054. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012054.
- Batrak Yu.A. 2011. Torsional vibration calculation issues with propulsion systems. *Shaft Designer*. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:46726236>.
- Edgar G. Villamarin. 2021. Torsional vibration solution using symbolic transfer matrices. DOI: 10.13140/RG.2.2.28988.16004. URL: https://www.researchgate.net/publication/355860158_Torsional_vibration_solution_using_symbolic_transfer_matrices.
- Grządziela A., Batur T. 2017. Dynamics of shaft lines of the landing ships. *Journal of Marine Engineering & Technology*. 16:4. P. 238–247. DOI: 10.1080/20464177.2017.1419705.
- Jee J., Kim C., Kim Y. 2020. Design improvement of a viscous-spring damper for controlling torsional vibration in a propulsion shafting system with an engine acceleration problem. *Journal of Marine Science and Engineering*. Vol. 8(6). P. 428. DOI: 10.3390/jmse8060428.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Царенко Сергей Николаевич – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», tzarenko@rambler.ru; SPIN-код: 4554-4579, Author ID: 758077.

Tsarenko Sergey Nikolaevich – Kamchatka State Technical University; 683003, Russian Federation, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Professor of Technological Machines and Equipment Chair; tzarenko@rambler.ru. SPIN-code: 4554-4579, Author ID: 758077.

Роменский Денис Игоревич – Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, Россия, Москва; кандидат технических наук, доцент кафедры строительной и теоретической механики; rdi777@bk.ru. SPIN-код: 6752-4742, Author ID: 580091; Scopus ID: 58568036900.

Romensky Denis Igorevich – Moscow State University Of Civil Engineering (National Research University); 129337, Russia, Moscow; Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Structural and Theoretical Mechanics Chair; rdi777@bk.ru. SPIN-code: 6752-4742, Author ID: 580091; Scopus ID: 58568036900.

Корж Александр Сергеевич – Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (НИГТЦ ДВО РАН), 683002, Россия, Петропавловск-Камчатский; аспирант; corzh.aleksandar@yandex.ru.

Korzh Alexandr Sergeevich – Scientific and Research Geotechnological Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (NIGTC FEB RAS), 683002, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Postgraduate; corzh.aleksandar@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 20.02.2024; одобрена после рецензирования 15.03.2024; статья принята к публикации: 29.03.2024.

The article was submitted 20.02.2024; approved after reviewing 15.03.2024; accepted for publication 29.03.2024.

**ПРИМЕНЕНИЕ ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ
В ТЕХНОЛОГИИ КОЛБАСНО-СОСИСОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ
С РЫБНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ КАК НАПРАВЛЕНИЕ
РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНОГО ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ**

Ефимов А.А., Мустафаева В.М., Ефимова М.В.

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

В статье рассмотрены направления использования молочной творожной сыворотки в пищевых технологиях. Аргументирована целесообразность производства предприятиями Камчатского края продукции с использованием сыворотки как вторичного пищевого сырья и доброкачественных рыбных пищевых отходов филейного производства. Введение указанных компонентов в пищевые композиции при производстве колбасно-сосисочных изделий обеспечит возможность реализации принципа рационального использования биологических ресурсов, позволит расширить ассортимент продукции, пользующейся спросом потребителей. Приведены данные исследования способов введения творожной сыворотки в фаршевую смесь для приготовления колбасно-сосисочных изделий. Показано, что достижение высоких потребительских (органолептических) свойств готовой продукции обеспечивается при введении сыворотки в фарш в виде суспензии. Охарактеризована зависимость вкусо-ароматических свойств и консистенции изделий от количества вводимой в рецептурный состав творожной сыворотки.

Ключевые слова: вторичное пищевое сырье, колбасно-сосисочные изделия, рыбные пищевые отходы, творожная сыворотка.

**APPLICATION OF CURD WHEY IN TECHNOLOGY OF SAUSAGE PRODUCTS
WITH FISH COMPONENT AS A DIRECTION FOR THE RATIONAL USE
OF SECONDARY FOOD RAW MATERIALS**

Efimov A.A., Mustafaeva V.M., Efimova M.V.

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

In this paper, we discuss the use of whey in food technologies. We discuss the feasibility of production by enterprises from Kamchatka Territory of products using whey as a secondary raw material and benign fish food waste from fillet. Introduction of these components into food compositions in the production of sausage products will provide the opportunity to implement the principle of rational use of biological resources and will expand the range of products that are in demand by consumers. Data from a study of methods for introducing curd whey into the minced meat mixture for the preparation of sausage products are presented. It has been shown that achieving high consumer (organoleptic) properties of the finished product is ensured by introducing whey into minced meat in the form of a suspension. The dependence of the taste and aroma properties and consistency of products on the amount of curd whey introduced into the recipe composition is characterized.

Key words: secondary food raw materials, sausage products, fish food waste, curd whey.

ВВЕДЕНИЕ

Технологии формованных поликомпонентных пищевых продуктов характеризуются возможностью использования весьма широкого спектра сырья растительного и животного происхождения, в том числе возможностью целевого применения вторичных материальных ресурсов, образующихся в результате переработки сырья. Многие виды отходов и побочных продуктов такой переработки, в свою очередь, являются ценным вторичным пищевым сырьем [ГОСТ Р 54098–2010, 2019], и их освоение отвечает политике рационального, комплексного использования биологических ресурсов [Лищенко, 2006].

Перспективными вторичными сырьевыми ресурсами являются молочная сыворотка и пищевые отходы рыбной отрасли, образующиеся при разделке рыбы и морепродуктов.

В соответствии с ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции», молочная сыворотка является нормальным побочным продуктом переработки молока, полученным при производстве сыра, творога либо казеина [О безопасности молока..., 2013]. Проблема комплексного и рационального использования сыворотки существует во всех странах, где достаточно развита молочная отрасль [Tunick, 2009].

Еще до недавнего времени сыворотку рассматривали как загрязняющую жидкость молочной промышленности, однако в последние десятилетия ситуация существенно изменилась благодаря принятию новых подзаконных актов, исследованиям потенциала сывороточных белков и эволюции технологий [Bonnaillie, Tomasula, 2009]. В настоящее время молочную сыворотку и изолированные компоненты из нее достаточно широко применяют в производстве

пищевой продукции как рецептурный ингредиент, сочетающий в себе питательные и функциональные свойства [Острецова, Буйлова, 2008; Affertsholt, Fenger, 2014].

Так, известно, что благодаря хорошей сочетаемости творожной сыворотки с мясными фаршевыми системами ее можно использовать для улучшения функционально-технологических свойств мясных фаршей [Жаринов и др., 1999; Черников, Базарнова, 2014]. Широко применяют молочные белково-углеводные ингредиенты при изготовлении комбинированных продуктов на основе красного мяса, птицы и рыбы – вареных сосисок и колбас, колбасок для жарки, котлет, фрикаделек. Введение в мясные фаршевые системы деминерализованной молочной сыворотки в количестве 15–20% способствует уплотнению фаршевых систем, положительно влияет на процессы структурообразования фаршей и улучшает их функционально-технологические свойства [Шипулин и др., 2007, 2012]. Белки сыворотки связывают влагу во время образования мясной эмульсии при куттеровании колбасной фаршевой смеси и удерживают влагу при последующей термообработке [Царегородцева и др., 2015].

Большинство специалистов подчеркивают необходимость рационального использования молочной сыворотки [Храмцов, 2017]. Производство творога и сыров предприятиями Камчатского края (АО «Молокозавод Петропавловский», АО «Заречное», ООО «Заозёрный», ООО «Сырман», ООО «Мильковское» и др.) сопровождается образованием сыворотки в значительных объемах, что, несомненно, определяет актуальность разработки рациональных технологий ее использования.

Рыбная отрасль характеризуется еще большими недоиспользованными возможностями, которые являются дополнительным резервом получения качественных

продуктов. Так, ценными пищевыми отходами, образующимися при разделке рыбы, являются головы, срезки мяса, хрящи, кожа, печень, икра, молоки и др. Использование этого резерва позволит наиболее полно перерабатывать гидробионты на пищевые, кормовые, лечебно-профилактические цели, способствовать расширению ассортимента выпускаемой продукции [Харенко, 2007].

Важнейшим объектом сырьевой базы рыбной отрасли Камчатского края является тихоокеанский минтай – *Theragra chalcogramma* – самый массовый представитель семейства Gadidae в Тихом океане и одна из наиболее многочисленных промысловых рыб [Богданов и др., 2005].

Основную долю в ассортименте выпускаемой предприятиями Камчатки пищевой продукции из минтая составляет филе. На филейных производственных линиях при разделке минтая всегда в качестве вторичного ресурса образуются пищевые отходы – филе с механическими повреждениями (неровными краями, нарушениями целостности), отходы, получаемые при распиловке блоков филе. Такие отходы, как правило, используют для выработки фарша, который, в свою очередь, направляют на приготовление формованной продукции, в том числе кулинарной (котлет, биточков, тефтелей, пельменей, колбасно-сосисочных изделий и др.).

Колбасно-сосисочные изделия неизменно пользуются массовым и стабильным спросом. При этом подавляющее большинство потребителей отдает предпочтение продукции на основе мясного фарша – рыбные колбасные изделия традиционно менее востребованы. В частности, одной из основных причин недооценки потребителями рыбных продуктов является присутствие в рыбе некоторых экстрактивных веществ, придающих характерные специфические вкус и запах.

На данном этапе развития рынка колбасных изделий лидирует тенденция роста объема производства продукции и расширения ее ассортимента за счет включения в рецептурный состав ингредиентов растительного и животного происхождения, способствующих улучшению функционально-технологических характеристик фаршевых композиций, обуславливающих повышение потребительских свойств, пищевой и биологической ценности готовых колбас.

Многочисленные исследования посвящены вопросам разработки технологий, предусматривающих сочетание мясного сырья и молочной сыворотки в рецептурном составе фаршевой смеси для приготовления колбас (В.И. Шипулин, Ю.Г. Базарнова, И.А. Глотова, В.В. Прянишников, Е.В. Царегородцева, Т.В. Кабанова и др.). В то же время работы по изучению технологии колбасно-сосисочных изделий на основе фаршевых композиций, включающих рыбное сырье и сыворотку, представлены, на наш взгляд, недостаточно.

На основании вышеизложенного можно судить об актуальности использования в технологии комбинированных пищевых продуктов (колбасно-сосисочных изделий) молочной сыворотки как нормального побочного продукта переработки молока и фарша из минтая как вторичного сырьевого ресурса филейного производства. Данное направление исследования отвечает задачам, поставленным Стратегией повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года, определяющим, в числе прочих, «приоритетное развитие научных исследований в области питания населения» [Стратегия..., 2016].

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния способа введения молочной сыворотки и соотношения ингредиентов фаршевой композиции с включением рыбной составляющей

на показатели качества комбинированных пищевых продуктов – колбасно-сосисочных изделий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Целью работы являлось обоснование целесообразности использования творожной сыворотки в технологии колбасно-сосисочных изделий с рыбной составляющей, способа введения сыворотки в состав фаршевой композиции, а также обоснование соотношения рецептурных ингредиентов по органолептическим показателям качества колбасно-сосисочных изделий как комбинированных пищевых продуктов.

В качестве объекта исследования рассматривали технологию колбасно-сосисочных изделий на основе фаршевой композиции с включением измельченной мышечной ткани минтая и добавлением творожной сыворотки [Патент 2800612 РФ].

Мышечная ткань минтая содержит значительное количество аминокислот (300–470 мг%). Белки, массовая доля которых составляет в среднем 15,0%, являются полноценными по аминокислотному составу [Кизеветтер, 1971]. Минтай относится к маложирным рыбам, в то же время его липиды отличаются высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот, в том числе биологически активных ω -3 [Мезенова и др., 2013]. Химический состав минтая включает также богатый набор витаминов, микро- и макроэлементов.

Сыворотка также ценный источник нутриентов. Основными органическими соединениями молочной сыворотки являются лактоза (66,0–74,0% от сухой массы), глюкоза, образующаяся в результате ферментативного гидролиза лактозы при производстве творога (около 1,5%), сывороточные белки (10,0–14,0%), липиды (0,7–1,5%). Общее содержание аминокислот близко

в творожной и в подсырной сыворотке, но в творожной сыворотке свободных аминокислот в 3,5 раза больше, а незаменимых аминокислот в семь раз больше, чем в подсырной, что обуславливает более высокую пищевую ценность именно творожной сыворотки. Однако, притом что из молока в сыворотку практически полностью переходят водорастворимые витамины, подсырная сыворотка ими значительно богаче, чем творожная. Сыворотка содержит все макро- и микроэлементы молока (6,0–9,0% золь) [Рогожин, 2012; Храмцов, 2017]. Биологически активные пептиды и иммуноглобулины сыворотки обладают антимикробными и противовоспалительными свойствами, а лактоза и ее производные – пребиотическими [Гаврилов, 2006].

Основным сырьем для изготовления образцов колбасно-сосисочных изделий являлся фарш, выработанный из доброкачественных пищевых отходов, образующихся при разделке на филе тихоокеанского минтая (обрезки мышечной ткани). Рыбный фарш получали грубым измельчением мышечной ткани на волчке с диаметром отверстий решетки не более 4 мм. В качестве сопутствующих основных рецептурных компонентов использовали яйцо куриное и предварительно размороженные и промытые говядину и несоленый свиной шпик, которые также измельчали.

В качестве дополнительного сырья применяли пищевую соль и творожную сыворотку, которую вносили непосредственно в рыбный фарш на стадии его тонкого измельчения двумя способами:

– сухую творожную сыворотку в виде тонкодисперсного порошка обратноосмотического вакуум-сублимированного концентрата [Мангазеев, 2019] влажностью 3,20% с массовой долей белка 11,17%, лактозы – 84,31%, жира – 1,32%;

– творожную сыворотку в виде суспензии, полученной путем смешивания сухой творожной сыворотки и горячей питьевой воды в соотношении 1 : 1 при нагревании до температуры 90–95°C и непрерывном перемешивании с последующим охлаждением до температуры 15–20°C [Патент 2800612 РФ].

В фаршевую композицию для приготовления контрольного образца колбасно-сосисочных изделий творожную сыворотку не добавляли.

Экспериментальные исследования проводили в научной лаборатории кафедры «Технологии пищевых производств» ФГБОУ ВО «КамчатГТУ».

При проведении органолептической оценки образцов продукции применяли описательный метод в соответствии с ГОСТ 7631–2008 «Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей» [ГОСТ 7631–2008], а также профильный метод, основанный на применении рациональных балльных шкал.

Полученные данные обрабатывали статистически на основе подсчета средних значений величин и стандартной средней ошибки и графоаналитически. Систематизировали и обобщали полученные данные с помощью программы операционной системы Astra Linux. Численные значения, указанные в таблицах, представляют собой арифметическое среднее с доверительным интервалом ($\Delta \pm 10$)% и надёжностью $P 0,95$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках реализации направлений рационального использования вторичных пищевых ресурсов были разработаны рецептуры колбасно-сосисочных изделий с рыбной составляющей и с добавлением творожной сыворотки.

Рецептуры образцов колбасно-сосисочных изделий как поликомпонентных продуктов разрабатывали с применением компьютерного моделирования на основе принципов теории сбалансированного питания с учетом усредненных данных химического состава рецептурных компонентов [Лисин, 2021]. Параллельно применяли профильно-дескрипторный метод создания новых продуктов с заранее заданными потребительскими свойствами [Чугунова, Заворохина, 2010]. Созданные в ходе разработки индивидуальные признаки продукта (дескрипторы) позволили менять вкусо-ароматические характеристики изделий в зависимости от их количественного значения. В ходе моделирования рецептур была сформирована панель дескрипторов, приведенная в таблице 1. Всего было создано 86 образцов колбасно-сосисочных изделий с рыбной составляющей и с добавлением творожной сыворотки.

Рецептуры образцов колбасно-сосисочных изделий приведены в таблице 2.

Таблица 1. Панель дескрипторов колбасно-сосисочных изделий с рыбной составляющей и добавлением творожной сыворотки

Table 1. The descriptor panel of sausage products with a fish component and the addition of curd whey

Вкус	Консистенция
Общее впечатление	Общее впечатление
Соленый	Нежность
Молочный	Плотность
Рыбный	Упругость
Гармоничность	Сочность
–	Сухость

Таблица 2. Рецептуры колбасно-сосисочных изделий с рыбной составляющей и добавлением творожной сыворотки (кг на 100 кг фаршевой смеси)

Table 2. Formulations of sausage products with a fish component and the addition of curd whey (kg per 100 kg of minced meat mixture)

Наименование ингредиента	Рецептура										
	Контрольный образец К	Образцы с сухой творожной сывороткой					Образцы с творожной сывороткой в виде суспензии				
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
<i>Основное сырье</i>											
Фарш из минтая	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	44,0	43,0	43,0	42,0	42,0
Шпик свиной несоленый	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	14,0	13,0	13,0	13,0	13,0
Говядина	30,0	24,0	21,0	18,0	15,0	12,0	25,0	23,0	19,0	16,0	12,0
Яйцо куриное	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
<i>Дополнительное сырье</i>											
Соль пищевая	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Сухая творожная сыворотка	0,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Творожная сыворотка в виде суспензии	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	12,0	16,0	20,0	24,0
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Образцы колбасно-сосисочных изделий изготавливали по разработанной технологии [Патент 2800612 РФ].

Для получения фаршевой смеси в куттер загружали предварительно грубо измельченные говядину и шпик и перемешивали. Затем по первому способу вводили однородную смесь рыбного фарша с сухой творожной сывороткой, по второму способу добавляли выдержанную в течение 20 минут однородную смесь рыбного фарша и творожной сыворотки в виде суспензии и куттеровали в течение 5 минут при температуре 15–20°C.

При добавлении в рыбный фарш сухой творожной сыворотки наблюдали недостаточно равномерное ее распределение в массе – порошок сыворотки образовывал заметные комочки слипшихся частиц. Большой равномерности добивались при внесении сухой сыворотки путем просеивания через сито с размером ячеек 1×1 мм с одновременным перемешиванием.

В полученную массу вносили пищевую соль, перемешивали в течение 2–5 минут и выдерживали в течение 5 минут, затем вводили яйцо куриное комнатной температуры и снова куттеровали в течение 2–5 минут. Окончание процесса определяли по достижению однородности консистенции смеси с равномерным распределением рецептурных компонентов.

Для формования колбасно-сосисочных изделий – сосисок и сарделек – использовали натуральные оболочки – предварительно подготовленные тонкие кишечные черева бараньи, говяжьи и свиные, диаметром соответственно 18 и 44 мм. Наполнение оболочек фаршевой смесью проводили с помощью колбасного шприца и по мере наполнения оболочки перекручивали ее через каждые 6–10 см. Для предупреждения разрыва оболочки в нескольких местах прокалывали шпилькой, выпуская из них воздух. По окончании формования изделия перевязывали в несколько петель шпагатом

и подвергали осадке в течение 20–120 минут в зависимости от массы изделия при температуре не выше 15°C для уплотнения консистенции, получения соответствующих структурных свойств готовых образцов.

Варку колбасно-сосисочных изделий осуществляли в воде при температуре 80–95°C в течение 30–50 минут до достижения температуры в центре батончика не ниже 75°C. По окончании варки образцы немедленно охлаждали душем при температуре не выше 15°C в течение 20–30 минут до достижения температуры в центре батончика 20–25°C. Затем образцы дополнительно охлаждали в холодильной камере при температуре 2–6°C и хранили в этой же камере.

Внешний вид образцов фаршевой смеси и готовых изделий представлен на рисунке 1.

Основным критерием оценки приемлемости рецептуры образцов колбасно-сосисочных изделий являлась их органолептическая оценка, которую проводили в процессе дегустационного совещания. Приемлемость способов внесения творожной сыворотки в фаршевую смесь также определяли по органолептическим показателям.

Результаты органолептической оценки образцов колбасно-сосисочных изделий приведены в таблице 3. Профилограммы вкуса и профилограммы консистенции образцов, приготовленных по разработанным рецептурам (табл. 2), составленные на основе панели дескрипторов (табл. 1), представлены на рисунках 2 и 3.

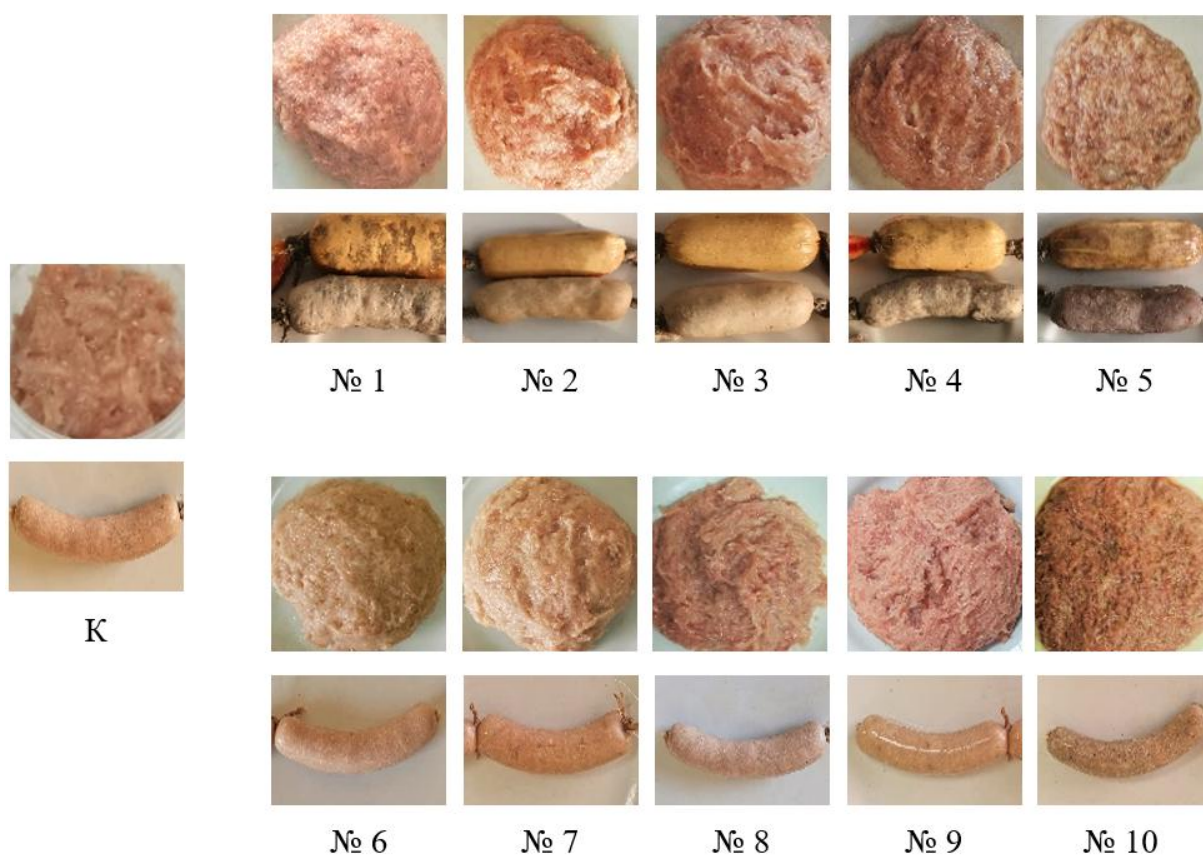


Рис. 1. Внешний вид образцов фаршевой смеси и готовых колбасно-сосисочных изделий с рыбной составляющей и добавлением творожной сыворотки

Fig. 1. The appearance of samples of minced meat mixture and finished sausage products with a fish component and the addition of curd whey

Таблица 3. Сравнительная характеристика органолептических показателей образцов колбасно-сосисочных изделий с рыбной составляющей и добавлением творожной сыворотки

Table 3. Comparative characteristics of organoleptic parameters of sausage products samples with a fish component and the addition of curd whey

Наименование образца	Характеристика органолептических показателей исследуемых образцов			
	Внешний вид	Вкус и запах	Консистенция	Вид на разрезе
Контрольный образец К	Поверхность ровная, розово-бежевого цвета	Свойственный данному продукту, выраженный рыбный	Однородная, рыхлая	Фарш бледно-розового цвета, равномерно перемешан
Образец № 1	Поверхность неровная, бежево-коричневого цвета	Свойственный данному продукту, умеренно выраженный рыбный	Однородная, рыхлая	Фарш розово-бежевого цвета, равномерно перемешан
Образец № 2	Поверхность ровная, слегка бугристая, бежево-коричневого цвета	Свойственный данному продукту, едва уловимый рыбный	Однородная, слегка рыхлая	
Образец № 3	Поверхность ровная, гладкая, розово-бежевого цвета	Свойственный данному продукту с легким молочным вкусом и ароматом, рыбный запах не ощущается	Однородная, слегка уплотненная	Фарш розово-бежевого цвета, равномерно перемешан
Образец № 4	Поверхность ровная, слегка бугристая, бежево-коричневого цвета	Свойственный данному продукту с выраженным молочным вкусом и ароматом, рыбный запах не ощущается	Однородная, слегка уплотненная	Фарш розово-бежевого цвета, равномерно перемешан. Включения слипшихся частиц порошка сыворотки
Образец № 5	Поверхность ровная, слегка бугристая, коричневого цвета	Свойственный данному продукту с выраженным молочным вкусом и ароматом, рыбный запах не ощущается	Однородная, слегка уплотненная	
Образец № 6	Поверхность ровная, гладкая, розово-бежевого цвета	Свойственный данному продукту, слабо выраженный рыбный	Однородная, слегка уплотненная	
Образец № 7		Свойственный данному продукту, едва уловимый рыбный	Однородная, уплотненная	
Образец № 8		Свойственный данному продукту с легким молочным вкусом и ароматом, рыбный запах не ощущается	Однородная, уплотненная	Фарш бледно-розового цвета, равномерно перемешан
Образец № 9		Свойственный данному продукту с приятным молочным вкусом и ароматом, рыбный запах не ощущается	Однородная, плотная, упругая	
Образец № 10		Свойственный данному продукту с выраженным молочным вкусом и ароматом, рыбный запах не ощущается	Однородная, плотная, упругая	

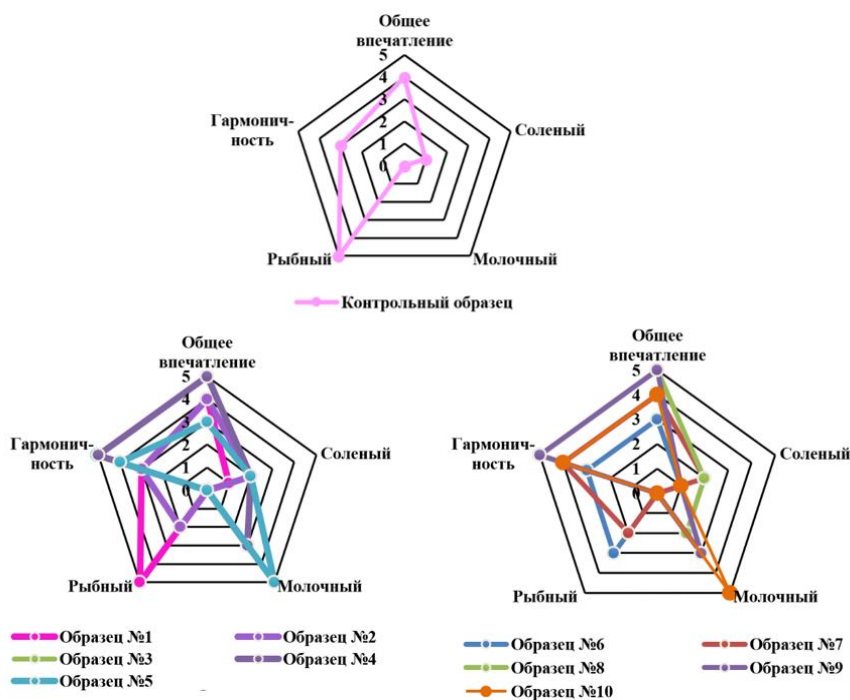


Рис. 2. Профилограммы вкуса образцов колбасно-сосисочных изделий с рыбной составляющей и добавлением творожной сыворотки. Шкала оценки качества: 1 – свойство не ощущается; 2 – свойство едва ощущается; 3 – свойство слабо ощущается; 4 – свойство умеренно ощущается; 5 – свойство сильно выражено

Fig. 2. Taste profilograms of sausage products samples with a fish component and the addition of curd whey. Quality assessment scale: 1 – the property is not felt; 2 – the property is barely felt; 3 – the property is poorly felt; 4 – the property is moderately felt; 5 – the property is strongly expressed

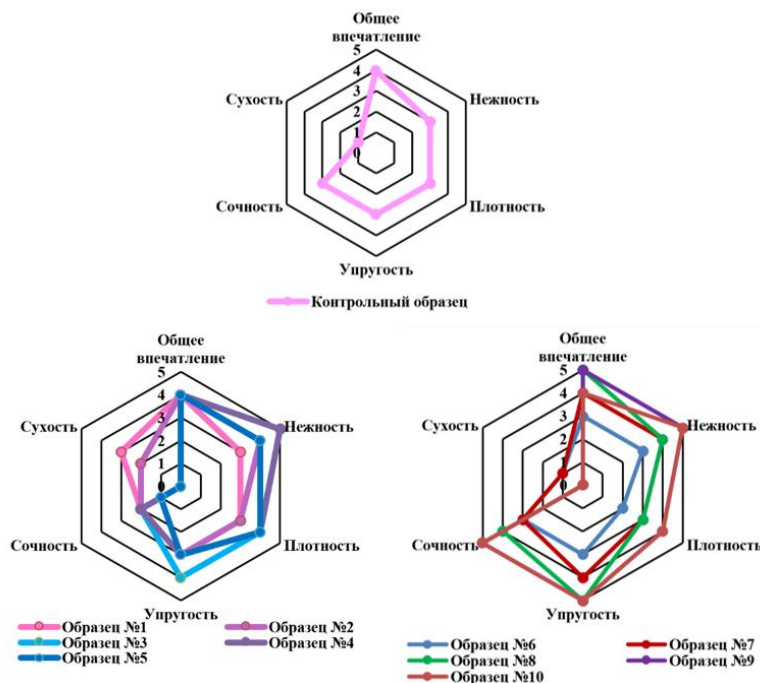


Рис. 3. Профилограммы консистенции образцов колбасно-сосисочных изделий с рыбной составляющей и добавлением творожной сыворотки. Шкала оценки качества: 1 – свойство не ощущается; 2 – свойство едва ощущается; 3 – свойство слабо ощущается; 4 – свойство умеренно ощущается; 5 – свойство сильно выражено

Fig. 3. Profilograms of the consistency of samples of sausage products with a fish component and the addition of curd whey. Quality assessment scale: 1 – the property is not felt; 2 – the property is barely felt; 3 – the property is poorly felt; 4 – the property is moderately felt; 5 – the property is strongly expressed

Как видно из таблицы 3, образцы колбасно-сосисочных изделий, приготовленные с внесением в рыбный фарш сухой творожной сыворотки, отличались неравномерностью распределения компонента – на разрезе изделий изредка встречались заметные включения слипшихся частиц порошка сыворотки. Консистенция этих образцов не характеризовалась приемлемой либо достаточной плотностью. В то же время у образцов изделий, приготовленных с применением сухой творожной сыворотки, в качестве рациональной по всем показателям определялась рецептура № 3.

Консистенция образцов, приготовленных с внесением в рыбный фарш сыворотки в виде суспензии, была отмечена как однородная, уплотненная или плотная и упругая. Выраженный молочный вкус изделий был обусловлен равномерным распределением сыворотки в фаршевой смеси. Наиболее высокую органолептическую оценку на дегустационном совещании получил образец колбасно-сосисочных изделий № 9. Данный образец характеризовался сбалансированностью аромата и вкуса, приятным внешним видом, плотной, упругой консистенцией. Во вкусе и аромате продукта гармонично сочета-

лись молочные оттенки. По результатам органолептической оценки рецептура колбасно-сосисочных изделий № 9 определена как рациональная. Было отмечено, что добавление молочной сыворотки «маскирует» рыбный вкус и запах [Мустафаева и др., 2021; 2022], что соответствовало предпочтениям большинства дегустаторов.

На профилограммах вкуса (рис. 2) прослеживается корреляция с количеством добавленной по рецептурам творожной сыворотки – чем больше доза сыворотки, тем менее ощущался специфический рыбный вкус (и запах) вплоть до полного отсутствия такового. Образцы с большим содержанием сыворотки характеризовались более плотной консистенцией, что соответствует данным других авторов [Шипулин и др., 2007, 2012; Черников, Базарнова, 2013, 2014; Царегородцева и др., 2015].

Внешний вид готовых колбасно-сосисочных изделий с рыбной составляющей и добавлением творожной сыворотки в виде суспензии, изготовленных по принятой за рациональную рецептуре № 9, представлен на рисунке 4. Из рисунка хорошо видно, что образцы имели хороший внешний вид, правильную форму, ровную, гладкую поверхность розовато-бежевого цвета.



Рис. 4. Внешний вид образцов колбасно-сосисочных изделий с рыбной составляющей и добавлением творожной сыворотки в виде суспензии (по рецептуре № 9)

Fig. 4. The appearance of samples of sausage products with a fish component and the addition of curd whey in the form of a suspension (according to № 9 formulation)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аналитические исследования существующих направлений использования молочной сыворотки как вторичного сырьевого ресурса в пищевых технологиях показали многообразие возможностей применения ее функционально-технологических свойств, влияющих на органолептические и структурно-механические, обуславливающие высокий стабильный спрос потребителей, характеристики поликомпонентных формованных продуктов. Особенности химического состава молочной сыворотки, в первую очередь творожной, определяют также рациональность введения ее в рецептурный состав таких продуктов в качестве обогащающей добавки.

Выбор в качестве рыбной составляющей поликомпонентных формованных продуктов доброкачественных пищевых отходов филейного производства – мышечной ткани минтая как самого массового промыслового объекта рыбодобывающей отрасли Камчатки – представляет собой одно из направлений реализации политики рационального использования биологических ресурсов.

Проведенные экспериментальные исследования технологических режимов изготовления колбасно-сосисочных изделий с рыбной составляющей и с добавлением творожной сыворотки позволили определить рациональный способ внесения творожной сыворотки в фаршевую смесь для приготовления сосисок и сарделек. Было установлено, что равномерное распределение сыворотки в смеси достигается при введении ее в рыбный фарш в виде суспензии.

Подбор рациональной рецептуры колбасно-сосисочных изделий обеспечивает достижение высоких органолептических показателей готовой продукции как гарантии хорошего потребительского спроса.

Результаты проведенных нами исследований позволяют сделать вывод о перспективности расширения ассортимента колбасно-сосисочных изделий с использованием пищевых отходов мышечной ткани минтая в качестве рыбной составляющей и с добавлением творожной сыворотки как рецептурного компонента, оказывающего существенное положительное влияние на потребительские свойства готовой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

- Богданов В.Д., Карпенко В.И., Норинов Е.Г. 2005. Водные биологические ресурсы Камчатки: Биология, способы добычи, переработка. Петропавловск-Камчатский: Новая книга. 264 с.
- Гаврилов Г.Б. 2006. Исследование и разработка технологий функциональных компонентов и пищевых продуктов на основе переработки молочной сыворотки мембранными методами. *Автореферат диссертации ... д-ра техн. наук*. Кемерово: КемТИПП. 41 с.
- ГОСТ Р 54098–2010. 2019. Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения. Москва: Стандартинформ. 17 с.
- ГОСТ 7631–2008. 2008. Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей. Москва: Стандартинформ. 15 с.
- Жаринов А.И., Нелепов Ю.Н., Клиженко Т.И. 1999. Композиция для корректировки функционально-технологических свойств эмульгированных мясопродуктов. *Материалы III МНТК «Пища. Экология. Человек»*. Москва: Изд. Минобр. РФ, Миннауки, Минсельхоз, РАСХН, МГУПБ. С. 41.
- Кизеветтер И.В. 1971. Технологическая и химическая характеристика промы-

- словых рыб тихоокеанского бассейна. Владивосток: Дальиздат. 298 с.
- Лисин П.А. 2021. Практическое руководство по проектированию продуктов питания с применением Excel, MathCAD, Maple. Санкт-Петербург: Лань. 240 с.
- Лищенко В.Ф. 2006. Мировая продовольственная проблема: белковые ресурсы (1960–2005 гг.). Москва: ДеЛи принт. 272 с.
- Мангазеев А.В. 2019. Технологические процессы мембранного концентрирования молочной творожной сыворотки. *Научно-квалификационная работа*. Петропавловск-Камчатский. 104 с.
- Мезенова О.Я., Сафронова Т.М., Сергеева Н.Т. и др. 2013. Биотехнология рационального использования гидробионтов. Санкт-Петербург: Лань. 416 с.
- Мустафаева В.М., Ефимов А.А., Ефимова М.В. и др. 2021. Обоснование рецептуры колбасных изделий на основе рыбного фарша с добавлением сухой творожной сыворотки как полифункциональной добавки. *Материалы XII Национальной (всероссийской) научно-практической конференции «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование»*. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 81–85.
- Мустафаева В.М., Ефимов А.А., Ефимова М.В. 2022. Качество комбинированных пищевых продуктов на основе рыбного фарша с добавлением творожной сыворотки. *Материалы XIII Национальной (всероссийской) научно-практической конференции «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование»*. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 233–237.
- О безопасности молока и молочной продукции: Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 033/2013 (принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 9 октября 2013 г. № 67). URL: <http://docs.cntd.ru/document/499050562> (дата обращения: 08.05.2023).
- Острецова Н.Г., Буйлова Л.А. 2008. Производство сухой сыворотки. *Переработка молока*. № 9. С. 40–41.
- Патент 2800612 РФ. Способ производства рыбных сосисок и сарделек с полифункциональной добавкой. *ФГБОУ ВО Камчатский государственный технический университет* (Мустафаева В.М., Ефимов А.А.).
- Рогожин В.В. 2012. Биохимия молока и мяса. Санкт-Петербург: ГИОРД. 456 с.
- Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года: Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 29 июня 2016 г. № 1364-р. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view> (дата обращения: 12.05.2023).
- Харенко Е.Н. 2007. Научное обоснование технологического нормирования в рыбной отрасли. *Автореферат диссертации ... д-ра техн. наук*. Москва: ВНИРО. 53 с.
- Храмцов А.Г. 2017. Реализация феномена молочной сыворотки в технологической платформе индустрии питания. *Индустрия питания*. № 3. С. 23–29.
- Царегородцева Е.В., Кабанова Т.В., Тухфатуллина А.К. 2015. Использование молочной сыворотки в технологии вареных колбас. *Вестник Марийского государственного университета*. № 1. С. 30–32.
- Черников Е.М., Базарнова Ю.Г. 2013. Разработка смесей функциональных ингредиентов на основе творожной сыворотки для мясопродуктов со знаком Халяль. *Всероссийский конгресс молодых ученых ИТМО 2013 г. Сборник*

- тезисов докладов конгресса молодых ученых. Санкт-Петербург. Вып. 4. С. 105–106.
- Черников Е.М., Базарнова Ю.Г. 2014. Состав и функциональные свойства творожной сыворотки в технологии фаршевых изделий. *Научный журнал НИУ ИТМО*. № 1. С. 260–264.
- Чугунова О.В., Заворохина Н.В. 2010. Использование методов дегустационного анализа при моделировании рецептур пищевых продуктов с заданными потребительскими свойствами. Екатеринбург: Издательство Уральского государственного экономического университета. 148 с.
- Шипулин В.И., Евдокимов И.А., Некрасова Н.Н. 2007. Инновационная технология мясных продуктов с деминерализованной сывороткой. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. № 3. С. 75–77.
- Шипулин В.И., Стрельченко А.Д., Фисенко Д.Г. 2012. Использование сухой деминерализованной и изомеризованной молочной сыворотки в технологии колбасных изделий. *Пищевая индустрия*. № 3. С. 65–67.
- Affertsholt T., Fenger M. 2014. The Global Market for Whey and Lactose Ingredients 2014–2017/3A Business Consulting. *Whey Book*. August. 146 p.
- Bonnaillie L.M., Tomasula P.M. 2009. Whey protein fractionation. *Whey processing, functionality and health benefits*. P. 15–38.
- Tunick M.H. 2009. Whey protein production and utilization: a brief history. *Whey processing, functionality and health benefits*. P. 1–13.
- tion, processing. Petropavlovsk-Kamchatsky: New Book Holding Company. 264 p. (in Russian).
- Gavrilov G.B. 2006. Research and development of technologies for functional components and food products based on the processing of whey by membrane methods. *Abstract of the doctor dissertation for technical sciences*. Kemerovo. 41 p. (in Russian).
- GOST R 54098–2010. 2019. Resource conservation. Secondary material resources. Terms and definitions. Moscow: Standartinform Publ. 17 p. (in Russian).
- GOST 7631–2008. 2008. Fish, non-volatile objects and products from them. Methods for determining organoleptic and physical parameters. Moscow: Standartinform Publ. 15 p. (in Russian).
- Zharinov A.I., Nelepov Yu.N., Klizhenko T.I. 1999. A composition for correcting the functional and technological properties of emulsified meat products. *Materials of the III ISTC "Food. Ecology. A man"*. Moscow: Publishing House of the Ministry of Education of the Russian Federation, Ministry of Science, Ministry of Agriculture, RASKHN, MGUPB. P. 41 (in Russian).
- Kiesewetter I.V. 1971. Technological and chemical characteristics of commercial fish of the Pacific basin. Vladivostok: Dalizdat Publ. 298 p. (in Russian).
- Lisin P.A. 2021. A practical guide to designing food products using Excel, MathCAD, Maple. St. Petersburg: Lan Publ. 240 p. (in Russian).
- Lisichenko V.F. 2006. The World Food Problem: Protein resources (1960–2005). Moscow: Delhi print Publ. 272 p. (in Russian).
- Mangazeev A.V. 2019. Technological processes of membrane concentration of milk curd whey. *Scientific qualification work*. Petropavlovsk-Kamchatsky. 104 p. (in Russian).

REFERENCES

Bogdanov V.D., Karpenko V.I., Norinov E.G. 2005. Aquatic biological resources of Kamchatka: Biology, methods of extrac-

- Mezenova O.Ya., Safronova T.M., Sergeeva N.T. et al. 2013. Biotechnology of rational use of hydrobionts. Saint-Petersburg: Lan Publ. 416 p. (in Russian).
- Mustafaeva V.M., Efimov A.A., Efimova M.V. et al. 2021. Justification of sausage product formulation based on minced fish with dry curd whey addition as a polyfunctional additive. *Materials of 12th National (All-Russian) scientific-practical conference* "Natural resources, their current state, protection, commercial and technical use". Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatGTU. P. 81–85 (in Russian).
- Mustafaeva V.M., Efimov A.A., Efimova M.V. 2022. Quality of combined food based on minced fish with the addition of curd whey. *Materials of 13th National (All-Russian) scientific-practical conference* "Natural resources, their current state, protection, commercial and technical use". Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatGTU. P. 233–237 (in Russian).
- On the safety of milk and dairy products: Technical Regulation of the Customs Union TR CU 033/2013 (adopted by Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission № 67 dated October 9, 2013). URL: <http://docs.cntd.ru/document/499050562> (accessed on 08.05.2023) (in Russian).
- Ostretsova N.G., Buylova L.A., 2008. Production of dry whey. *Pererabotka moloka (Milk processing)*. № 9. P. 40–41 (in Russian).
- Patent 2800612 of the Russian Federation. Method of production of fish sausages and sausages with a multifunctional additive. *Kamchatka State Technical University* (Mustafaeva V.M., Efimov A.A.) (in Russian).
- Rogozhin V.V. 2012. Biochemistry of milk and meat. St. Petersburg: GIORP Publ. 456 p. (in Russian).
- Strategy for improving the quality of food products in the Russian Federation until 2030: Approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated June 29, 2016 № 1364-r. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view> (accessed on 12.05.2023) (in Russian).
- Harenko E.N. 2007. Scientific justification of technological rationing in the fishing industry. *Abstract of the doctor dissertation for technical sciences*. Moscow. 41 p. (in Russian).
- Khramtsov A.G. 2017. The Whey Phenomenon Implementation in the Technological Platform of the Food Industry. *Industriya pitaniya (Food Industry)*. № 3. P. 23–29 (in Russian).
- Tsaregorodtseva E.V., Kabanova T.V., Tukhfatullina A.K. 2015. The use of whey in the technology of boiled sausages. *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta (Vestnik of the Mari State University)*. № 1. P. 30–32 (in Russian).
- Chernikov E.M., Bazarnova J.G. 2013. Development of mixtures of functional ingredients based on curd whey for meat products with the Halal sign. *All-Russian Congress of Young Scientists of ITMO 2013. Collection of abstracts of reports of the Congress of Young Scientists*. St. Petersburg. Issue 4. P. 105–106 (in Russian).
- Chernikov E.M., Bazarnova J.G. 2014. Composition and functional properties of cottage cheese serum in technology of force-meat products. (*Scientific Journal NRU ITMO*). № 1. P. 260–264 (in Russian).
- Chugunova O.V., Zavorokhina N.V. 2010. The use of tasting analysis methods in modeling food formulations with specified consumer properties. Yekaterinburg: Publishing House of the Ural State University of Economics. 148 p. (in Russian).
- Shipulin V.I., Evdokimov I.A., Nekrasova N.N. 2007. Innovative technology of meat products with demineralized whey. *Izvestiya Vuzov. Pishchevaya tekhnologiya (News of*

- Institution of higher education “Food Technology”*). № 3. P. 75–77 (in Russian).
- Shipulin V.I., Strelchenko A.D., Fisenko D.G. 2012. The use of dry demineralized and isomerized whey in sausage technology. *Pishchevaya industriya (Food Industry)*. № 3. P. 65–67 (in Russian).
- Affertsholt T., Fenger M. 2014. The Global Market for Whey and Lactose Ingredients 2014–2017/3A Business Consulting. *Whey Book*. August. 146 p.
- Bonnaillie L.M., Tomasula P.M. 2009. Whey protein fractionation. *Whey processing, functionality and health benefits*. P. 15–38.
- Tunick M.H. 2009. Whey protein production and utilization: a brief history. *Whey processing, functionality and health benefits*. P. 1–13.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ефимов Андрей Анатольевич – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии пищевых производств»; efimoff-a@mail.ru. SPIN-код: 2535-4051, Author ID: 645444.

Efimov Andrey Anatolyevich – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Technical Sciences, Associate Professor the Food Production Technologies Department; efimoff-a@mail.ru. SPIN-code: 2535-4051; Author ID: 645444.

Мустафаева Вероника Михайловна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; аспирант кафедры «Технологии пищевых производств»; veroni4ka_kam@mail.ru. SPIN-код: 3167-1975; Author ID: 1116222.

Mustafaeva Veronika Mikhailovna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Postgraduate of the Food Production Technologies Chair; veroni4ka_kam@mail.ru. SPIN-code: 3167-1975; Author ID: 1116222.

Ефимова Марина Васильевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук, доцент кафедры «Технологии пищевых производств»; efimova-ff@mail.ru. SPIN-код: 2046-5520, Author ID: 664258.

Efimova Marina Vasilyevna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences, Docent, Associate Professor the Food Production Technologies Department; efimova-ff@mail.ru. SPIN-code: 2046-5520; Author ID: 664258.

Статья поступила в редакцию 19.02.2024; одобрена после рецензирования 15.03.2024; статья принята к публикации: 29.03.2024.

The article was submitted 19.02.2024; approved after reviewing 15.03.2024; accepted for publication 29.03.2024.

УДК 663.1

DOI: 10.17217/2079-0333-2024-67-36-42

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНСОРЦИУМА МИКРООРГАНИЗМОВ ГРАНУЛ ВОДНОГО КЕФИРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАПИТКА

Фролова Н.А.

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Советский проспект, 1.

В пищевой промышленности ферментация определяется как процесс преобразования органических веществ в кислоты, этанол или углекислый газ. Данные вещества способны подавлять рост патогенных микроорганизмов в продуктах. Основными субстратами, используемыми при производстве ферментированных продуктов, являются молоко, мясо, рыба, крупы, фрукты, овощи и напитки. В настоящее время ферментированные продукты и напитки считаются частью ежедневного рациона. Результаты проведенных исследований показали, что температура ферментации, концентрация сахара и концентрация морковного сока влияют на содержание сухих веществ и сенсорные свойства готового напитка. Максимальное количество сухих веществ отмечено в образцах напитка, полученных при температуре 25°C с содержанием 10% сахарозы, время ферментации которых составило 24 часа. После 48- и 72-часовой ферментации происходит снижение содержания сухих веществ на 0,5 и 1% соответственно. Наиболее оптимальными образцами с точки зрения вкуса и содержания сухих веществ явились образцы напитка, содержащего 10% сахара и 10% морковного сока, ферментированные при температуре 25°C в течение 48 часов, при этом срок годности напитка с учетом выживаемости микроорганизмов составил 5 суток.

Ключевые слова: водный кефир, гранулы, микроорганизмы, пробиотики, ферментация, функциональное назначение.

USE OF A CONSORTIUM OF MICROORGANISMS OF WATER KEFIR GRANULES TO PRODUCE A DRINK

Frolova N.A.

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Sovetsky Prospekt, 1.

In food industry, fermentation is defined as the process of converting organic substances into acids, ethanol or carbon dioxide. These substances are capable of suppressing the growth of pathogenic microorganisms in the products. The main substrates used in the production of fermented foods are milk, meat, fish, cereals, fruits, vegetables and beverages. Currently, fermented foods and beverages are considered as a part of daily diet. Our current research results showed that the fermentation temperature, sugar concentration and carrot juice concentration affected the dry matter content and sensory properties of the finished drink. The maximum amount of dry substances was noted in the beverage samples obtained at a temperature of 25°C with a content of 10% sucrose, fermentation time of which was 24 hours. After 48 and 72 hours of fermentation, the dry matter content decreases by 0.5 and 1%, respectively. The most optimal samples in terms of taste and dry matter content were samples of a drink containing 10% sugar and 10% carrot juice, fermented at a temperature of 25°C for 48 hours, while the shelf life of the drink, taking into account the survival of microorganisms, was 5 days.

Key words: aqueous kefir, granules, microorganisms, probiotics, fermentation, functional purpose.

ВВЕДЕНИЕ

Пищевая ферментация – один из самых древних и экономичных способов обработки консервирования пищевых продуктов, который использовался людьми на протяжении веков [Васильева и др., 2019]. В ферментации пищевых продуктов и напитков участвуют бактерии, дрожжи, плесневые грибы, которые, работая по отдельности или вместе, превращают различные сырые пищевые ингредиенты в ферментированные продукты. Микробиологические превращения, происходящие во время ферментации, изменяют сенсорные характеристики (внешний вид, аромат, вкус, текстуру) и питательные свойства готового продукта [Руськина и др., 2017].

В настоящее время интерес потребителей к ферментированным продуктам на растительной немолочной основе вырос в связи с гиполактазией [Gun'ko et al., 2016].

Пробиотики, содержащиеся в зернах водного кефира, характеризуются способностью к подавлению роста патогенных бактерий, связыванию токсинов, выработке ферментов для нейтрализации бактериальных токсинов, косвенно «модулируя» иммунную систему организма [Zelenkova et al., 2019; Зипаев, 2015].

Целью работы явилось получение напитка функционального назначения на основе растительных компонентов и гранул водного кефира с последующим анализом растворимых сухих веществ во время ферментации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Технология напитка предусматривала смешивание следующих компонентов: черного чая, закваски водного кефира и морковного сока (в дозировке 5; 10; 15% от общего расхода сырьевых компонентов).

Закваска водного кефира была приготовлена посредством смешивания 50 г сахарозы с водой, нагревания, охлаждения до температуры 25–30°C, добавления 100 г/л гранул водного кефира (производства России) и ферментации полученной смеси при 25°C в течение 72 часов. После 24-часовой ферментации надосадочную жидкость удаляют, а гомогенную смесь процеживают и добавляют раствор черного чая, приготовленный при помощи растворения 0,5% сухого черного чая (производства КНР) в одном литре воды с температурой 90°C, с последующим настаиванием в течение 15 минут и фильтрованием.

После трехдневной ферментации напиток в рецептуру добавляют пастеризованный морковный сок (5; 10; 15%), чтобы инициировать вторичную ферментацию, в результате которой происходит выделение углекислоты.

Продукты ферментации напитка были идентифицированы при помощи современных методов: ВЭЖХ, микроскопии, анализа антиоксидантной активности (DHPP), дифференциального культивирования напитка на питательных средах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Водный кефир – это газированный ферментированный напиток с кисло-сладким вкусом и дрожжевым привкусом. Напиток был получен при помощи смешивания закваски водного кефира, раствора черного чая и пастеризованного морковного сока [Хомич и др., 2020]. Ферментация водного кефира достигается путем внесения зерен водного кефира в качестве закваски в сахарный раствор.

Кефирные гранулы состоят из симбиотической закваски молочнокислых бактерий (LAB) и дрожжей, содержащихся в полисахаридной матрице [Щекалева

и др., 2020]. Органолептически микроорганизмы заключены в прозрачные, эластичные и кристаллоподобные оболочки с диаметром 5–20 мм, состоящие из нерастворимого декстрана (рис. 1).



Рис.1. Гранулы водного кефира

Fig. 1. Granules of water kefir

В напитке после 24-часовой ферментации за счет содержания гранул водного кефира были идентифицированы следующие виды микроорганизмов: бактерии (*Acetobacter fabarum*, *Acetobacter orientalis*, *Bifidobacterium psychraerophilum*, *Enterobacter hormachei*, *Gluconobacter frateurii*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus casei* subsp. *casei*, *Lactobacillus casei* subsp. *pseudoplantarum*, *Lactobacillus casei* subsp. *rhamnosus*, *Lactobacillus collinoides*, *Lactobacillus fructivorans*, *Lactobacillus hilgardii*, *Lactobacillus binensis* и т. д.), дрожжи (*Candida lambica*, *Candida valida*, *Dekkera bruxellensis*, *Hanseniaspora valbynesis*, *Hanseniaspora vinarum*, *Hanseniaspora uvarum*, *Kloeckera apiculata*, *Saccharomyces bayanus*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces florentinus*, *Saccharomyces pretoriensis*, *Zygosaccharomyces florentinus*, *Zygorhynchus florentinus*). Снижение времени ферментации напитка приводит к недозреванию и снижению числа колоний микроорганизмов.

В процессе ферментации напитка масса зерен водного кефира увеличивалась во время 72-часового брожения от 16,4 до 38,6 г. Главным метаболитом водного кефира, образующимся при брожении, явилась молочная кислота. Этанол, уксусная кислота, глицерин и манит выделяются в небольших концентрациях. В водно-кефирном напитке общее содержание сахарозы через 24 часа составило 1,2 г/л. Количество этанола и молочной кислоты после 48 часов ферментации составило 20,3 и 4,9 г/л соответственно. Помимо органических кислот и этанола, которые образуются во время ферментации, наиболее распространенными летучими ароматическими соединениями являются изоамилацетат, этилгексаноат, этиловый эфир, октаноат и этилдеcanoат, содержание которых составило 13,40; 0,11; 0,37; 3,44 и 1,40 мг/л соответственно.

Концентрация маннита в напитке увеличилась в пределах 1,0–8,0 г/л после 48 часов ферментации, при этом количество жизнеспособных клеток молочнокислых бактерий и дрожжей в напитке составило 8,2 и 7,4 КОЕ/г соответственно, что подтверждает эффективность использования растительных субстратов в технологии напитка [Иванова и др., 2022]. Образцы напитков на основе черного чая, закваски гранул водного кефира и пастеризованного морковного сока изображены на рисунке 2.

Следующим этапом работы явилось исследование антиоксидантной активности напитка путем определения 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила. Результаты позволили установить активность по удалению радикалов за счет ингибирования автоокисления аскорбата. Так, антиоксидантный комплекс, содержащийся в напитке, продемонстрировал отличную способность к удалению DPPH-9,88–63,17% и ингибированию окисления аскорбата на уровне 6,08–25,57%.

По органолептическим показателям, в частности вкусовым характеристикам, наиболее предпочтительными образцами являются образцы напитка с добавлением морковного сока в количестве 10% от исходных сырьевых компонентов. Образцы имеют слабовыраженный гармоничный морковный привкус [Лупинская и др., 2013].

Для исследования влияния концентрации сахарозы и температуры ферментации при приготовлении напитка использовали различную дозировку сахарозы (5 и 10%), и температуру ферментации (25 и 30°C). Среднее общее количество растворимых сухих веществ в напитках во время ферментации в течение 72 часов представлено на рисунке 3.

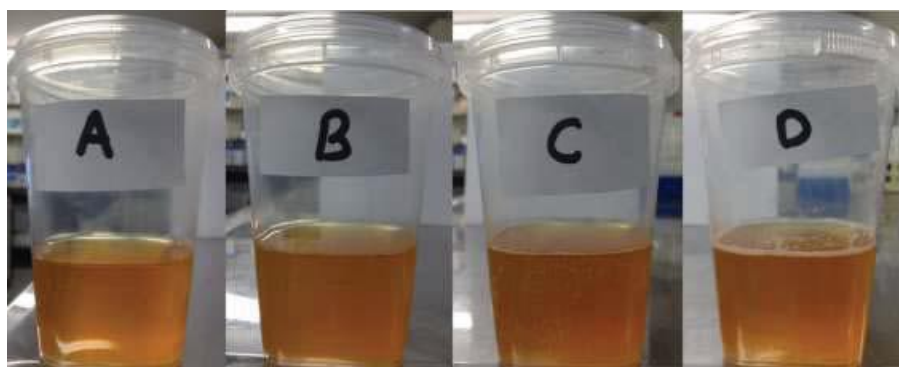


Рис. 2. Образцы напитков на основе черного чая, закваски гранул водного кефира и пастеризованного морковного сока (Образцы: А – полученные при температуре 25°C с содержанием 5% сахарозы; В – полученные при температуре 30°C с содержанием 5% сахарозы; С – полученные при температуре 25°C с содержанием 10% сахарозы; D – полученные при температуре 30°C с содержанием 10% сахарозы)

Fig. 2. Samples of drinks based on black tea, sourdough granules of aqueous kefir and pasteurized carrot juice (Samples: A – obtained at a temperature of 25°C and containing 5% sucrose; B – obtained at a temperature of 30°C and containing 5% sucrose; C – obtained at a temperature of 25°C and containing 10% sucrose; D – obtained at a temperature of 30°C and containing 10% sucrose)

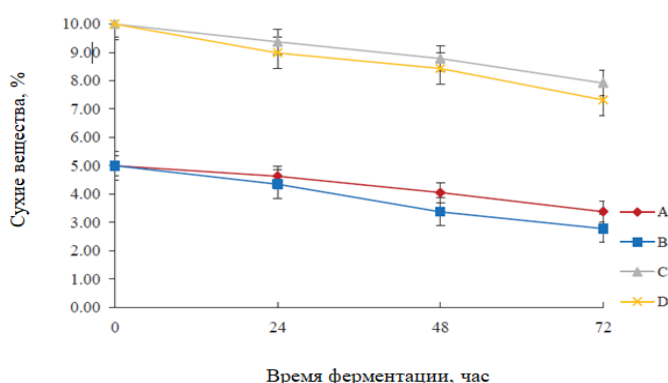


Рис. 3. Изменение общего содержания сухих веществ в напитках в процессе ферментации в течение 72 ч (Образцы: А – полученные при температуре 25°C с содержанием 5% сахарозы; В – полученные при температуре 30°C с содержанием 5% сахарозы; С – полученные при температуре 25°C с содержанием 10% сахарозы; D – полученные при температуре 30°C с содержанием 10% сахарозы)

Fig. 3. The total dry matter content change in beverages during fermentation for 72 hours (Samples: A – obtained at a temperature of 25°C and containing 5% sucrose; B – obtained at a temperature of 30°C and containing 5% sucrose; C – obtained at a temperature of 25°C and containing 10% sucrose; D – obtained at a temperature of 30°C and containing 10% sucrose)

Максимальное количество сухих веществ отмечено в образцах напитка, полученных при температуре 25°C с содержанием 10% сахарозы, время ферментации которых составило 24 часа. После 48- и 72-часовой ферментации происходит снижение содержания сухих веществ на 0,5 и 1% соответственно.

Хранение образцов напитка при температуре 2–4°C в течение пяти суток позволило установить относительную выживаемость *Lactococcus* spp. и *Lactobacillus* spp. К шестым суткам хранения большая часть микроорганизмов таких, как *Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora valbynesis*, *Hanseniaspora vineae*, *Hanseniaspora ualbensis*, *Kloeckera apiculata*, *Saccharomyces bayanus*, сохраняли невысокую стабильность (количество клеток к концу шестого дня хранения снизилось в два раза).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали, что температура ферментации, концентрация сахара и концентрация морковного сока влияют на содержание сухих веществ и сенсорные свойства готового напитка. Максимальное количество сухих веществ отмечено в образцах напитка, полученных при температуре 25°C с содержанием 10% сахарозы, время ферментации которых составило 24 часа. После 48- и 72-часовой ферментации происходит снижение содержания сухих веществ на 0,5 и 1% соответственно. Наиболее оптимальными образцами с точки зрения вкуса и содержания сухих веществ и вкусовых характеристик явились образцы напитка, содержащего 10% сахара и 10% морковного сока, ферментированные при температуре 25°C в течение 48 часов, при этом срок годности напитка с учетом выживаемости микроорганизмов составил пять су-

ток. Таким образом, раствор черного чая, закваски гранул водного кефира и пастеризованного морковного сока являются оптимальными ингредиентами для создания пробиотического безмолочного напитка, который может входить в состав ежедневного рациона.

ЛИТЕРАТУРА

- Васильева А.А., Захарчук Е.Ю., Панова Т.М. 2019. Использование растительных экстрактов для улучшения вкусоароматических свойств кефира. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология.* № 4. С. 5-16.
- Иванова В.И., Блинникова О.М., Родионов Ю.В., Гливенкова О.А. 2022. Производство чайного напитка с добавлением высушенного листа жимолости. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов.* № 2(73). С. 19–23.
- Зипаев Д.В. 2015. Сывороточный напиток с сокосодержащим наполнителем. *Молочная промышленность.* 2015. № 2. С. 52–53.
- Лупинская С.М., Орехова С.В., Чечко С.Г., Дементьева О.О. 2013. Органолептическая оценка молочных продуктов с использованием сухого сырья калины. *Техника и технология пищевых производств.* № 4(31). С. 22–26.
- Руськина А.А., Попова Н.В., Науменко Н.В. и др. 2017. Анализ современных способов модификации крахмала как инструмента повышения его технологических свойств. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии.* 2017. Т. 5. № 3. С. 12–20.

- Хомич Л.М., Перова И.Б., Эллер К.И. 2020. Нутриентный профиль морковного сока. *Вопросы питания*. Т. 89. № 1. С. 86-95.
- Щекалева Р.К., Черевач Е.И., Палагина М.В., Тарашкевич Е.Ю. 2020. Оптимизация технологических режимов экстрагирования чайного сырья, используемого в технологии эмульсионных напитков. *Индустрия питания*. Т. 5. № 2. С. 79-87.
- Gun'ko V.M., Turov V.V., Krupskaya T.V. et al. 2016. States of water vs. temperature in differently hydrated kefir grains. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*. 2016. Vol. 7. № 1. P. 86-96.
- Zelenkova E.N., Yegorova Z.E. 2019. Optimization of the enzymatic process parameters for increase of carrot juice yield. *Journal of International Academy of Refrigeration*. № 3. P. 45-50.
- Zipaev D.V. 2015. Whey drink with juice-containing filler. *Molochnaja promyshlennost' (Dairy industry)*. 2015. № 2. P. 52-53 (in Russian).
- Lupinskaya S.M., Orekhova S.V., Chechko S.G., Dementieva O.O. 2013. Organoleptic evaluation of dairy products using dry viburnum raw materials. *Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv (Food Processing: Techniques and Technology)*. № 4(31). P. 22-26 (in Russian).
- Ruskina A.A., Popova N.V., Naumenko N.V., Ruskin D.V. 2017. Analysis of modern methods of modifying starch as a tool for increasing its technological properties. *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Pishhevye i biotehnologii (Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology)*. 2017. Т. 5. № 3. P. 12-20 (in Russian).
- Khomich L.M., Perova I.B., Eller K.I. 2020. Nutrient profile of carrot juice. *Voprosy pitaniya (Problems of Nutrition)*. Т. 89. № 1. P. 86-95(in Russian).
- Shchekaleva R.K., Cherevach E.I., Palagina M.V., Tarashkevich E.Yu. 2020. Optimization of technological regimes for extracting tea raw materials used in the technology of emulsion drinks. *Industriya pitaniya (Food industry)*. Т. 5. № 2. P. 79-87 (in Russian).
- Gun'ko V.M., Turov V.V., Krupskaya T.V. et al. 2016. States of water vs. temperature in differently hydrated kefir grains. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*. 2016. Vol. 7. № 1. P. 86-96.
- Zelenkova E.N., Yegorova Z.E. 2019. Optimization of the enzymatic process parameters for increasing carrot juice yield. *Journal of International Academy of Refrigeration*. № 3. P. 45-50.

REFERENCES

- Vasilyeva A.A., Zakharchuk E.Yu., Panova T.M. 2019. The use of plant extracts to improve the flavor and aroma properties of kefir. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Himicheskaja tehnologija i biotehnologija (Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology)*. № 4. P. 5-16 (in Russian).
- Ivanova V.I., Blinnikova O.M., Rodionov Yu.V., Glivenkova O.A. 2022. Production of tea drink with the addition of dried honeysuckle leaf. *Tehnologija i tovarovedenie innovacionnyh pishhevyh produktov (Technology and the study of merchandise of innovative foodstuffs)*. № 2(73). P. 19-23 (in Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ
INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Фролова Нина Анатольевна – Калининградский государственный технический университет; 236022, Калининград; доктор технических наук, профессор кафедры инжиниринга технологического оборудования; nina.frolova@klgtu.ru. SPIN-код: 7092-6913, Author ID: 967939; Scopus ID: 57208213064.

Frolova Nina Anatolyevna – Kaliningrad State Technical University; 236022, Kaliningrad; Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering of Technological Equipment; nina.frolova@klgtu.ru. SPIN-code: 7092-6913, Author ID: 967939; Scopus ID: 57208213064.

Статья поступила в редакцию 21.02.2024; одобрена после рецензирования 15.03.2024; статья принята к публикации: 29.03.2024.

The article was submitted 21.02.2024; approved after reviewing 15.03.2024; accepted for publication 29.03.2024.

УДК 597.556.253(265.5)"2022-2023"

DOI: 10.17217/2079-0333-2024-67-43-58

**РАЗМЕРНО-ВЕСОВОЙ СОСТАВ И МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ДЕВЯТИИГЛОЙ КОЛЮШКИ *PUNGITIUS PUNGITIUS* (GASTEROSTEIDAE)
ИЗ ОЗЕРА ПРИЛИВНОГО (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА) ЗИМОЙ 2022–2023 ГГ.**

Григорьев С.С.

Камчатский филиал Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, 6.

Изучены размерно-весовой состав и морфология девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* из оз. Приливного (юго-восток Камчатки) за период с декабря 2022 по март 2023 гг. Средняя длина рыб за 4 месяца увеличилась с 30,5 до 55,3 мм, а средняя индивидуальная масса рыб увеличилась соответственно с 0,5 до 2,1 г. Самый большой разброс данных наблюдался для антеанального, антепекторального, антедорсального и антевентрального расстояний, длины хвостового стебля и длины головы. С увеличением стандартной длины тела возрастали относительные величины длины головы, антеанального и антепекторального расстояний. Антедорсальное расстояние, антевентральное расстояние и длина хвостового стебля по мере роста уменьшаются по отношению к стандартной длине тела. В результате исследований показана изменчивость морфологических признаков девятииглой колюшки, обитающей в данном водоеме и облавливаемой в одном месте.

Ключевые слова: девятииглая колюшка, длина тела, масса тела, меристические признаки, морфология, пластические признаки, оз. Приливное.

**SIZE AND WEIGHT COMPOSITION AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF THE NINE-SPINED STICKLEBACK *PUNGITIUS PUNGITIUS* (GASTEROSTEIDAE)
FROM LAKE PRILIVNOE (SOUTHEASTERN KAMCHATKA)
DURING WINTER 2022–2023**

Grigorev S.S.

Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Partizanskaya Str. 35.

Size-weight composition and morphology of the nine-spined stickleback *Pungitius pungitius* from Lake Prilivnoe (southeast of Kamchatka) from December 2022 to March 2023 were studied. The average length of fish in 4 months increased from 30.5 to 55.3 mm, and the average individual weight of fish increased from 0.5 to 2.1 g, respectively. The largest scatter of data was observed for the anteanal, antepectoral, antedorsal and anteventral distances, the length of the caudal peduncle and the length of the head. As body length increases relative to body length, head length, anteanal distance, and antepectoral distance increase. The antedorsal distance, anteventral distance and the length of the caudal peduncle decrease with growth relative to the standard body length. As a result of the research, the variability of the morphological characteristics of the nine-spined stickleback that lives in this reservoir and is caught in one place.

Key words: nine-spined stickleback, body length, body weight, meristic characters, morphology, plastic characters, Lake Prilivnoe.

ВВЕДЕНИЕ

Девятииглая колюшка *Pungitius pungitius* (Linnaeus, 1758) встречается на территории Камчатского края повсеместно. Она обитает как в пресных водоемах, так и в солоноватых водах приустьевых участков рек, лагун и бухт [Роров, 1933; Виноградов, 1949; Куренков, 1965; Токранов, 1994; Василец и др., 1999; Шейко, Федоров, 2000; Токранов, Бугаев, 2001; Мешкова, Смирнов, 2003; Маркевич, Панфилова, 2014; Коваль и др., 2015; Токранов, Шейко, 2015]. Несмотря на широкое распространение в водоемах Камчатки, сведений о ее биологии немного, прежде всего потому, что большинство популяций обитает в удаленных и труднодоступных водоемах [Токранов, Паскочина, 2023].

Известно, что колюшки населяют разнообразные биотопы, характеризуются большим морфологическим разнообразием, даже в пределах одного водоема или бассейна [Зюганов, 1991]. У колюшек рода *Pungitius* полнее всего фенотипический полиморфизм проявляется по таким признакам, как количество спинных и брюшных колючек, боковых костных пластин на теле и хвостовом стебле, выраженность тазового пояса и др. Исследования проводили в оз. Приливном. Несмотря на близость озера к г. Петропавловску-Камчатскому и его значению в качестве рекреационного объекта, сведения об ихтиофауне этого озера отсутствуют. В связи с массовой гибелью обитателей Авачинского залива и ухудшением состояния здоровья посетителей Халактырского пляжа, в 2020 г. к оз. Приливному было привлечено особое внимание городской администрации, так как одной из версий, объясняющих гибель животных, было возможное влияние на качество воды стоков с полигона бытовых отходов на берегу озера [ТАСС, 2020]. Хо-

тя есть предположения, что гибель морских животных могла быть связана с результатом действия «красных приливов» [Bondur et al., 2021; Sakamoto et al., 2021; Orlova et al., 2022], другие версии пока нельзя исключать.

Важнейшим показателем качества воды в водоеме является состав ихтиофауны и характер ее изменения. Рыбы в качестве завершающего звена в трофической цепи водоемов могут быть индикаторами уровня загрязнения водной среды в целом. Изменения экологических факторов водной среды в условиях антропогенного загрязнения водоема различными по природе химическими веществами могут оказать существенное влияние на жизнедеятельность и выживание рыб: ослабить устойчивость организма к раздражителям и привести к гибели [Лукьяненко, 1987].

Выявление наиболее и наименее изменчивых морфологических признаков у девятииглой колюшки может способствовать объяснению причин полиморфизма этого вида. Первые сведения по ихтиофауне оз. Култучного важны для оценки состояния этого озера как рекреационного водоема.

Цель работы – представить морфологическую характеристику девятииглой колюшки, обитающей в оз. Приливном, и охарактеризовать ее размерно-весовой состав за период наблюдений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены на озере лагунного типа, отделенном от моря песчано-гравийной косой, соединяющимся протокой с Авачинским заливом только в период паводков и больших приливов. Озеро извилистое, вытянуто в южном направлении на 4–5 км. В среднем глубина водоема составляет 0,3–0,4 м, в паводки достигает до 0,8 м. Вода во всем озере пресная.

Небольшое количество морской воды поступает лишь во время больших приливов. В северо-западной части озера под воздействием приливно-отливных явлений сохранился извилистый узкий фарватер с максимальными глубинами в ложбине до 3–4 м. В озеро впадает не менее десятка ручьев и ключей, в основном с левого, восточного, берега. На дне озера имеются выходы подземных вод. На берегах озера, на северной стороне, расположены база отдыха, конный клуб и собачий питомник. По берегам озера и по его ложу проходят туристические конные, снегоходные и лыжные маршруты. В конце зимы на льду озера накапливается некоторое количество конских и собачьих экскрементов, которые при таянии льда попадают в воду и способствуют эвтрофикации водоема.

Материал был собран в оз. Приливном, (Юго-Восточная Камчатка) во время ледостава, с 21 декабря 2022 г. по 22 марта 2023 г. Обловы проводили периодически в одном и том же месте, в приустьевой части протоки, вытекающей из озера (рис. 1). Лов всегда производили в первой половине дня, между 10 и 12 ч местного времени. Глубина озера вблизи устья про-

токи составляла 0,8–1,5 м, глубина русла ручья в месте лова – 0,8–2,0 м. Температура воды за период исследований колебалась от 0,0 до 1,2°C у поверхности и от 0,2 до 3,0°C у дна. Температура воздуха в период исследования изменялась от –18 до –4°C. В декабре и в марте лов осуществляли в полынье. В январе и феврале полынья замерзала. Толщина льда в месте лова составляла обычно 10–15 см и с конца декабря до начала марта менялась незначительно.

Для лова колюшек использовался сачок с металлическим обручем диаметром 40 см. Кутовая часть сачка была выполнена из мельничного газа с шагом ячеи 0,5 мм. Ручка сачка имела длину 50 см.

Стаи колюшек численностью 10–50 особей подходили к месту лова с частотой 1–2 мин. За замет в сачок попадали 1–3 особи. Извлеченная из воды рыба сразу замерзала. Всего было собрано 14 проб, поймано 310 экз. девятииглой колюшки (табл. 1). Пойманные рыбы были зафиксированы 70%-ным этанолом. Все измерения выполнены в лаборатории. Для промеров пластических признаков и подсчета меристических признаков использовано 120 экз.



Рис. 1. Расположение на карте места лова девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* в оз. Приливном в декабре 2022 – марте 2023 гг.

Fig. 1. Distribution of nine-spined stickleback *Pungitius pungitius* sampling in Lake Prilivnoe during December 2022 – March 2023

Таблица 1. Характеристика собранного материала и условий лова девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* в оз. Приливном в декабре 2022 – марте 2023 гг.

Table 1. Characteristics of the collected material and fishing conditions for the nine-spined stickleback *Pungitius pungitius* in Lake Prilivnoe during December 2022 – March 2023

Дата лова	Глубина места, м	Температура, °С			Толщина льда в полынье (проруби), см	Кол-во пойманных экз.
		Воздуха	Воды			
			Поверхность	Дно		
21.12.2022	1,0	-4	0,5	2,5	0	7
28.12.2022	1,2	-7	0,2	2,2	~5	1
04.01.2023	0,8	-6	0,2	2,1	~10	78
11.01.2023	1,0	-18	0,5	2,0	~10	39
18.01.2023	0,9	-16	0,3	0,5	8-10	34
25.01.2023	1,5	-14	1,2	1,2	1-2	66
01.02.2023	1,2	-12	0,2	3,0	~10	1
08.02.2023	0,8	-12	0,0	0,2	~15	26
15.02.2023	1,0	-10	0,2	0,2	~20	1
22.02.2023	1,1	-12	0,2	0,6	~15	5
01.03.2023	0,9	-8	0,4	0,6	~10	1
08.03.2023	0,8	-6	0,4	1,6	~10	20
15.03.2023	1,0	-6	0,7	1,2	~10	21
22.03.2023	2,0	-4	1,0	1,8	0	10

Была измерена абсолютная длина рыб (*TL*) от конца рыла до конца наибольших лучей хвостового плавника, стандартная длина (*SL*) от конца рыла до начала средних лучей хвостового плавника, определена индивидуальная масса рыб. Подсчитано число спинных колючек, число колючих и мягких лучей в плавниках, жаберных тычинок на первой жаберной дуге, число костных щитков на хвостовом стебле. Из пластических признаков измерена длина (*c*) и ширина головы (*HW*); высота головы в затылочной части (*hcz*), наибольшая высота тела (*H*), антедорсальное (*aD*), антеанальное (*aA*), антевентральное (*aV*), антепекторальное (*aP*) и интерорбитальное (*io*) расстояния, горизонтальный диаметр глаза (*o*), длина рыла (*ao*), длина верхней челюсти (*lmx*), длина (*lP*) и длина основания (*PB*) грудного плавника, длина (*pl*) и высота (*h*) хвостового стебля, длина первой спинной (*f*) и брюшной (*g*) колючек. Расчеты выполнены относительно стандартной длины тела.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты. Ихтиофауну озера ранее не изучали. По наблюдениям автора, девяти-

тиглая колюшка обитает в озере постоянно. Весной и в начале лета в озеро заходит на нерест трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* Linnaeus, 1758. Кроме того, при лове девятииглой колюшки автором была замечена в озере молодь звездчатой камбалы *Platichthys stellatus* (Pallas, 1787). Из беспозвоночных при лове колюшки в полынье оз. Приливногo в качестве прилова попадало множество гаммарусов и небольшое количество мизид, что позволяет предположить хорошую кормовую базу этого озера даже в зимний период.

У только что выловленных экземпляров верх головы и спина темно-голубоватого цвета, иногда с нечеткими более темными поперечными полосами, бока серебристо-белые. На хвостовом стебле имелся слабо выраженный киль, состоящий из сросшихся костных пластинок.

Полная длина пойманных экземпляров девятииглой колюшки изменялась от 23 до 83 мм, стандартная длина – от 20 до 76 мм. Преобладали рыбы стандартной длиной 41–50 мм, количество которых составляло 28,9% (рис. 2). Средняя стандартная длина составила 49,9 мм, средневзвешенная стандартная длина – 43,3 мм.

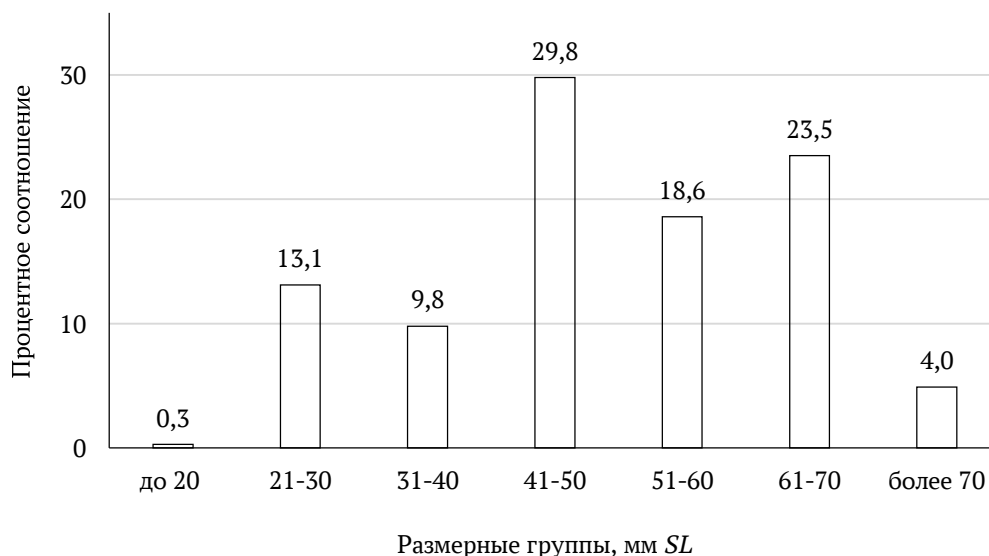


Рис. 2. Соотношение размерных групп (%) девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* из оз. Приливного за весь период лова зимой 2002–2003 гг. ($n = 310$ экз.)

Fig. 2. The ratio of size groups (%) of the nine-spined stickleback *Pungitius pungitius* from Lake Prilivnoe during for the entire fishing period in winter 2002–2003 ($n = 310$ specimen)

В начале зимы попадались в среднем более мелкие экземпляры, чем в конце зимы. Индивидуальная масса девятииглой колюшки изменялась от 0,5 до 2,1 г. Средняя индивидуальная масса составила 1,6 г, средневзвешенная масса – 1,4 мг. Между изменениями длины и массы рыб в течение периода лова наблюдалась сходная зависимость. В течение периода наблюдений происходило увеличение линейных размеров и индивидуальной массы девятииглой колюшки. На рисунке 3 показано, что длина рыб, средняя для выборки по датам, увеличивается немного быстрее прироста массы тела, также средней выборки по датам.

Описательная статистика морфологических признаков девятииглой колюшки из оз. Приливного в сравнении с морфологическими признаками этого вида из рек бассейна р. Волги приведена в таблице 2. Девятииглая колюшка из оз. Приливного имеет существенные различия некоторых пластических признаков. Самый большой

разброс данных для показателей антеанального расстояния, антепекторального расстояния, антедорсального расстояния, антевентрального расстояния, длины хвостового стебля, длины головы, что вызвано изменениями по мере роста (рис. 4).

Изменения основных пластических признаков показали, что по мере роста длина головы, антеанальное расстояние и антепекторальное расстояние увеличиваются относительно стандартной длины тела. Антедорсальное расстояние, антевентральное расстояние и длина хвостового стебля по мере роста уменьшаются по отношению к стандартной длине тела (рис. 5). Изменения основных пластических признаков показывают лучшее развитие передней части тела по мере роста по сравнению с задней частью.

Меристические признаки девятииглой колюшки демонстрировали широкую вариабельность. В целом количественные показатели меристических признаков были сходны с литературными данными (табл. 3).

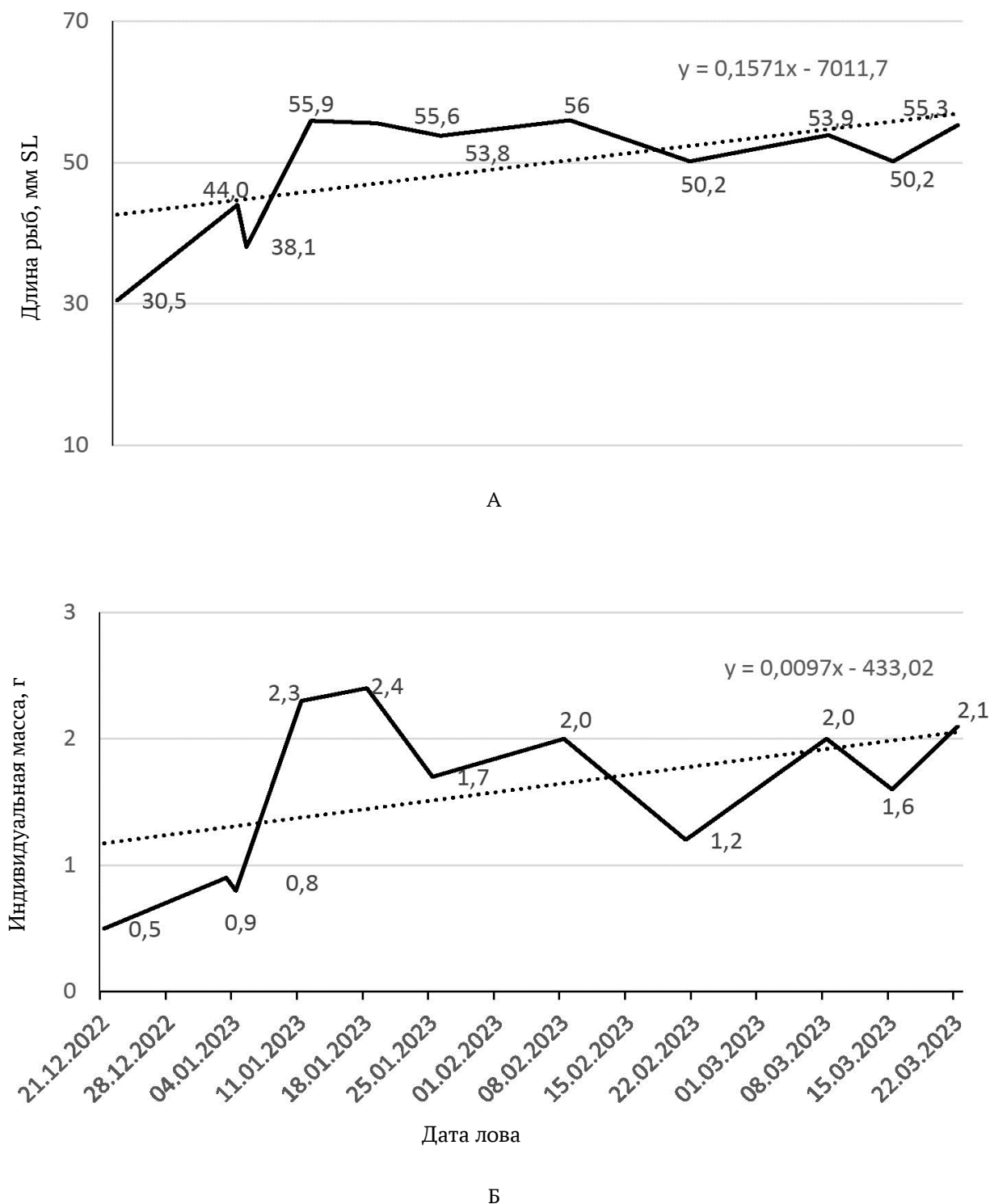


Рис. 3. Размерно-весовой состав девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* из оз. Приливного зимой 2002–2003 гг. А – размерный состав (мм SL), Б – весовой состав (г) по датам лова (n = 310 экз.)

Fig. 3. Size and weight composition of the nine-spined stickleback *Pungitius pungitius* from Lake Prilivnoe during winter 2002–2003: A – size composition (mm SL), Б – weight composition (g) by sampling date (n =310 specimen)

Таблица 2. Описательная статистика морфологических признаков девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* из оз. Приливного в декабре 2022 – марте 2023 гг. ($n = 120$ экз.) в сравнении с литературными данными

Table 2. Descriptive statistics of the morphological characters of the nine-spined stickleback *Pungitius pungitius* from Lake Prilivnoe during December 2022 – March 2023 ($n = 120$ specimen) in comparison with literature data

Признаки	оз. Приливное				[Ziuganov, Gomeluk, 1985]		
	Среднее	Минимум	Максимум	Станд. откл	Среднее	Минимум	Максимум
HL	26,58	21,20	31,80	2,28	22,4	19,5	25,8
HD	16,87	12,86	20,69	1,73	13,2	11	14,8
HW	12,063	9,70	14,80	1,36	-	-	-
BD	20,02	15,30	23,73	1,92	14,9	13	17
aD	29,02	19,40	35,71	2,89	-	-	-
aA	61,012	48,21	69,23	3,60	-	-	-
aP	31,32	23,60	47,00	3,54	-	-	-
aV	36,77	30,19	44,23	2,85	-	-	-
io	5,78	3,93	7,54	0,73	-	-	-
o	6,09	4,90	8,00	0,74	6,5	5	7,5
ao	6,14	3,90	9,10	1,04	5,7	4,5	7,5
ML	5,61	3,80	7,40	0,83	-	-	-
PL	14,67	11,00	19,40	1,58	-	-	-
PB	6,44	4,29	10,20	0,92	-	-	-
b	2,84	1,90	7,81	0,68	2,3	1,8	3
e	11,20	5,60	21,15	2,81	12,7	12	14
f	4,55	1,30	6,60	0,89	4,7	3	6
g	8,00	5,40	11,52	1,18	-	-	-

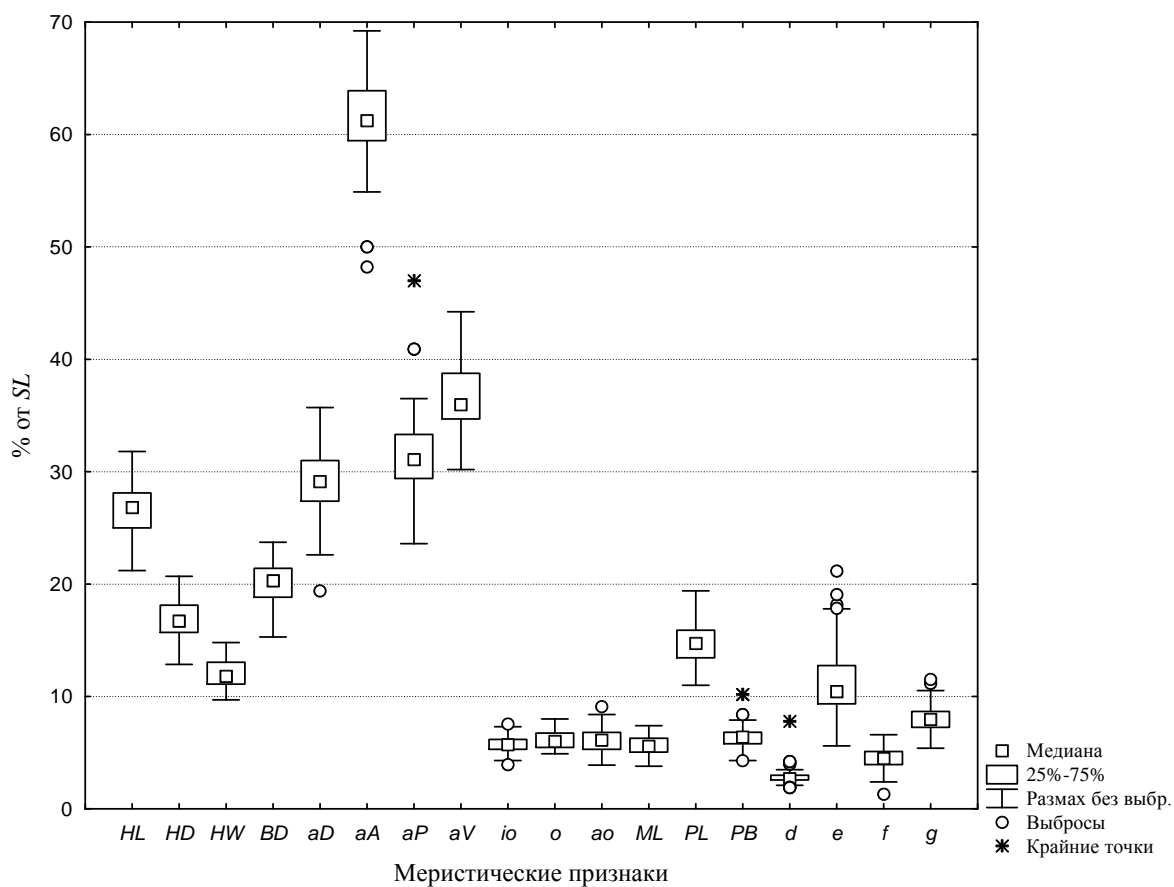


Рис. 4. Диаграммы размаха значений пластических признаков (мм SL) девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* в оз. Приливном зимой 2002–2003 гг.

Fig. 4. Diagrams of plastic characteristics values range (mm SL) of the nine-spined stickleback *Pungitius pungitius* in Lake Prilivnoe during winter 2002–2003

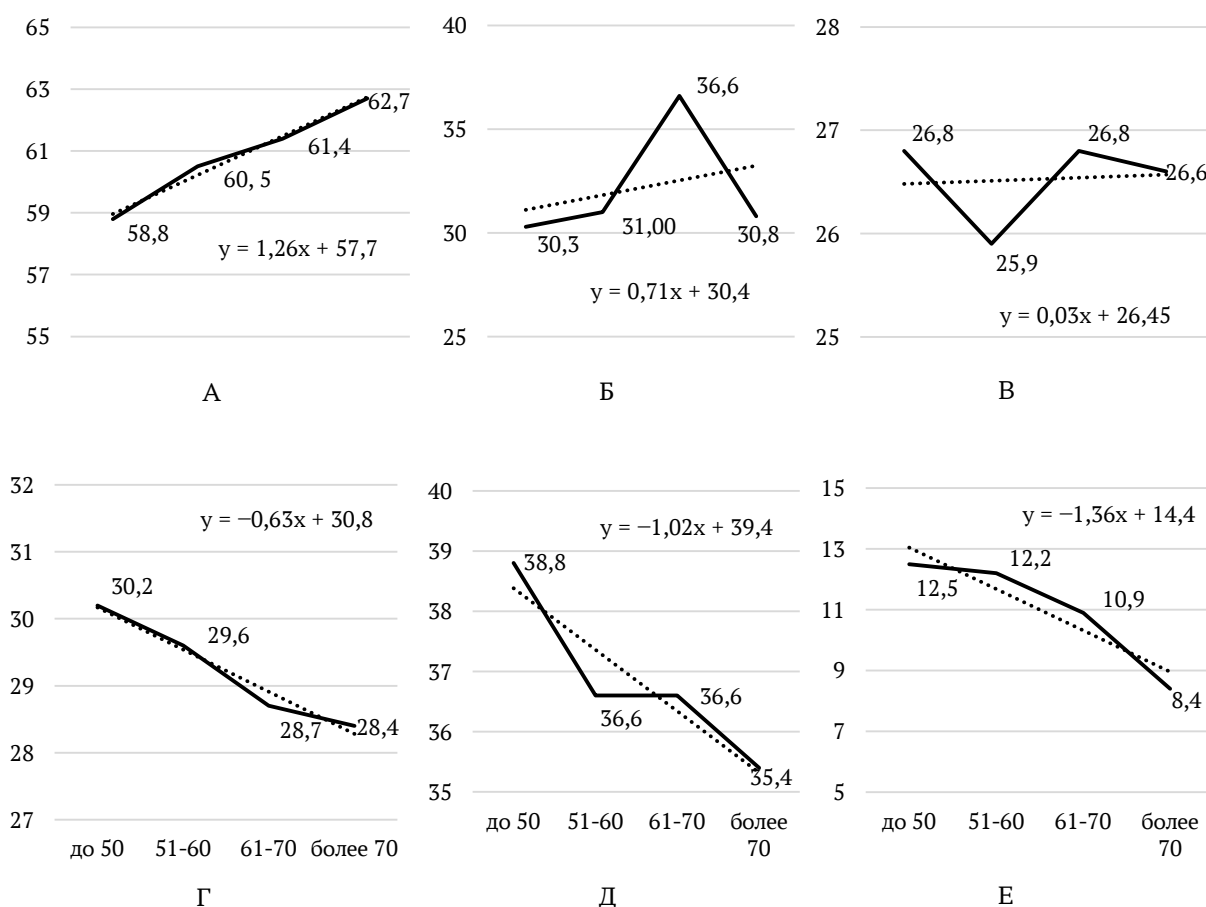


Рис. 5. Изменение основных наиболее изменчивых пластических признаков девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* из оз. Приливное в декабре 2022 – марте 2023 гг. по мере роста ($n = 310$ specimen): А – антеанальное расстояние, Б – антепекторальное расстояние, В – длина головы, Г – антедорзальное расстояние, Д – антевентральное расстояние, Е – длина хвостового стебля. По вертикали: % от SL. По горизонтали: размерные группы (SL)

Fig. 5. Change in the main most variable plastic characters of the nine-spined stickleback *Pungitius pungitius* from Lake Prilivnoe during December 2022 – March 2023 with the growth ($n = 310$ specimen): А – anteanal distance, Б – antepectoral distance, В – head length, Г – antedorsal distance, Д – anteventral distance, Е – length of the caudal peduncle. Vertically: % of SL. Horizontally: size groups (SL)

Таблица 3. Меристические признаки девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* из оз. Приливное в декабре 2022 – марте 2023 гг. ($n = 120$ экз.) в сравнении с литературными данными

Table 3. Meristic characteristics of the nine-spined stickleback *Pungitius pungitius* from Lake Prilivnoe during December 2022 – March 2023 ($n = 120$ specimen) in comparison with literature data

Признаки	оз. Приливное		[Зюганов,1991]	
	Пределы	Среднее	Пределы	Среднее
Спинных колючек	8–12	10	6–12	9,8
Лучей D	8–14	11	10–11	10,7
Лучей А	9–12	10,5	7–11	10
Лучей Р	8–11	9,5	10	10
Лучей С	10–16	13	12	12
Кожных пластин хвостового стебля	7–16	11,5	–	–

Число спинных колючек изменялось от 8 до 12. Колючки направлены под углом в стороны зигзагообразно. Перепонкой колючки соединены со спинной частью. Колючки разделены между собой треугольной мембраной и отделены от мягких лучей спинного плавника. Они могут фиксироваться в поднятом положении. Эта видовая особенность ранее была отмечена В.В. Зюгановым [1991]. Наибольшее количество особей (60%) имело 10 спинных колючек. 9 или 11 колючек имели 36% особей. Единичные особи имели 8 или 12 спинных колючек. Число мягких лучей в спинном плавнике изменялось от 8 до 14. Наибольшее количество экземпляров имели 10 (38,3%) или 11 (40,1%) лучей. Значительно меньше особей имели 12 (12,5%) или 9 (5%) лучей. Небольшое количество экземпляров (2,5%) имело 8 лучей спинного плавника. Встречались единичные экземпляры с 13 или 14 мягкими спинными лучами. Анальный, грудной и хвостовой плавники были менее изменчивы в отношении количества лучей. Анальный плавник состоял из одного колючего луча и от 9 до 12 мягких лучей. Чаще всего насчитывалось 10 (43,3%) или 11 (35%) мягких лучей. Грудной плавник состоял из 8–11 мягких лучей. Чаще всего в нем насчитывалось 10 лучей (в 74,2% случаев). У четверти экземпляров насчитывалось 9 или 11 лучей. Редко встречались экземпляры с восемью лучами в грудном плавнике. Число мягких лучей в хвостовом плавнике, в верхней и нижней его части, в сумме составляло обычно 12 (85,9% случаев). Реже встречалось 14 лучей (12,5% случаев). Были встречены единичные экземпляры с 10 и 16 мягкими лучами хвостового плавника. Хвостовой стебель с хорошо выраженным килем, состоящим из костных пластинок (или щитков). Количество выраженных пластинок изменялось от 7 до 16. Четко выраженные

пластинки постепенно переходили в нечеткие. Около половины особей (47,5%) имело 11–12 костных пластин. У четверти рассмотренных экземпляров насчитано 9–10 щитков. 15% экземпляров имели 7–8 щитков. 13–16 щитков имели 12,5% просмотренных экземпляров. Соотношение особей с различным числом отдельных меристических признаков показано на рисунке 6.

Обсуждение. Систематика колюшек рода *Pungitius* является традиционно трудной и неоднозначной для исследователей, поскольку фенотипически различные формы в одних местах ведут себя как виды, а в других свободно скрещиваются и ведут себя как внутривидовые группировки. В настоящее время нет объяснения огромной морфологической изменчивости колюшек, и неясно, почему в одинаковых условиях обитания колюшки имеют разные морфологические признаки [Долганов, Кравченко, 2009]. Считается, что наиболее информативными таксономическими признаками у колюшек являются боковые костные пластины, спинные и брюшные колючки, а также тазовый пояс, которые подвержены направленной редукции в процессе морфологической эволюции [Кравченко, 2012а]. Некоторые морфологические признаки могут быть использованы для описания новых видов. Так, с использованием морфологических признаков описан новый вид девятииглой колюшки *Pungitius polyakovi* Shedko, Shedko & Pietsch, 2005 в водоемах о. Сахалин [Шедько и др., 2005]. Однако в более поздних исследованиях показано, что все предложенные диагностические признаки подвержены сильной изменчивости и не могут быть использованы для выделения нового таксона [Кравченко, 2012б]. Значительную изменчивость колюшек обычно связывают с обширностью ареалов и разнообразием условий среды,

наличием проходных и жилых популяций и повторной гибридизацией [Зюганов, 1991]. Вид девятииглой колюшки подвержен многочисленным вариациям в отношении числа боковых пластин на теле и на киле, числа жаберных тычинок, степени развития брюшных колючек и тазового пояса, числа спинных колючек и окраски. Однако известно, что в одинаковых условиях обитания колюшки также имеют разные морфологические признаки [Долганов, Кравченко, 2009].

Изучение размерно-возрастного состава девятииглой колюшки в зимний период 2022–2023 гг. представляет особенный интерес, так как обычно ихтиологические исследования проводят в теплый период года. В период наших исследований рыба вела себя активно, близко к поверхности не подплывала, недостатка растворенного в воде кислорода не чувствовалось, угнетенного состояния рыбы не наблюдалось. Рыбы вели себя активно.

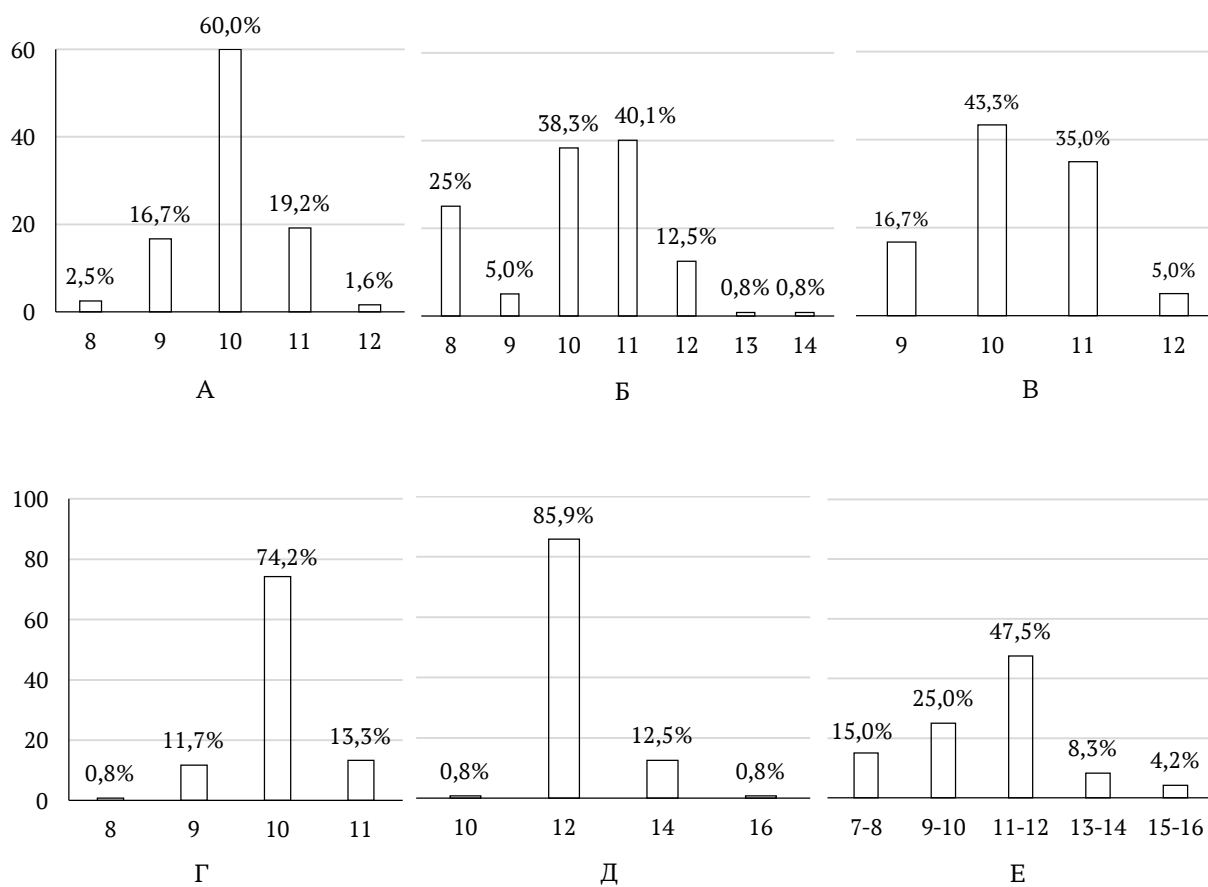


Рис. 6. Гистограмма группировок меристических признаков девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* из оз. Приливного в декабре 2022 – марте 2023 гг.: А – число колючих лучей D, Б – число мягких лучей D, В – число мягких лучей А, Г – число лучей P, Д – число мягких лучей C, Е – число щитков хвостового стебля. По вертикали: число случаев (%). По горизонтали: подсчитанное число значений

Fig. 6. Histogram of groups of meristic features of the nine-spined stickleback *Pungitius pungitius* from Lake Prilivnoe during December 2022 – March 2023: А – number of spiny rays D, Б – number of soft rays D, В – number of soft rays A, Г – number of rays P, Д – number of soft rays C, Е – number of caudal peduncle scutes. Vertically: number of cases (%). Horizontally: counted number of values

Исследования показали увеличение размера и массы тела девятииглой колюшки в течение зимнего периода. Так, средняя длина рыб (*SL*) увеличилась с 30,5 в декабре до 55,3 мм в марте, а средняя индивидуальная масса рыб увеличилась соответственно с 0,5 до 2,1 г. Имеются литературные данные о размерно-весовом составе девятииглой колюшки из озер центральных районов Камчатки в летний период [Токранов, Паскочина, 2023]. Средние показатели длины и массы в летних уловах были значительно ниже зимних показателей длины и массы девятииглой колюшки из оз. Приливногo. Например, в оз. Тхуклу длина составила 46,5 мм, а средняя масса тела 0,47 г. Также в оз. Кривом: средняя длина пойманных рыб составила 47,5 мм, а средняя масса тела 0,92 г. Такое расхождение размерно-весового состава рыб можно объяснить как лучшими кормовыми условиями рыб в оз. Приливном, по сравнению с внутренними озерами Камчатки, так и следствием небольшого объема выборок в данной работе. Однако очевидно, что даже в зимний период в оз. Приливном имеются благоприятные условия для роста девятииглой колюшки.

Результаты изучения морфологических признаков девятииглой колюшки, пойманной в оз. Приливном на Камчатке, показали изменчивость как пластических, так и меристических признаков. Для пластических признаков самый большой разброс данных отмечен для антеанального расстояния, антепекторального расстояния, антедорсального расстояния, антевентрального расстояния, длины хвостового стебля и длины головы.

Имеются данные по пластическим признакам девятииглой колюшки несколько меньшей средней длиной тела (57,3 мм *SL*) из рек бассейна р. Волги [Ziuganov, Gomeluk, 1985], которые также показывают ана-

логичные тенденции в изменении пластических признаков по мере роста.

Несмотря на близкие значения показателей пластических признаков, относительные средние значения в процентах от длины тела у рыб из оз. Приливногo были выше для длины головы, высоты головы, высоты тела, длины рыла и высоты хвостового стебля. Наоборот, меньше относительно длины тела у рыб из оз. Приливногo были значения диаметра глаза, длины хвостового стебля и длины первой спинной колючки. В работе В.В. Зюганова и В.Е. Гомелюк [Ziuganov, Gomeluk, 1985] приводятся сравнительные данные показателей пластических признаков для девятииглой колюшки и гибридов из рек бассейна р. Волги. Показаны некоторые различия в значениях, но они не комментируются, так как, вероятно, допускается высокая изменчивость этих значений.

Меристические признаки девятииглой колюшки, облавливаемой в одном месте, также изменчивы. Так, количество спинных колючек изменялось от 8 до 12. В 60% случаев спинных колючек было 10. Среднее значение также составило 10. Для сравнения, по данным В.В. Зюганова [1991], среднее количество спинных колючек составило 9,8. В связи с этим необходимо отметить, что на Атлантическом побережье Северной Америки эту колюшку называют десятииглой (*tenspine stickleback*) [Жизнь животных, 1971], что более правильно, так как в большинстве случаев количество спинных колючек равно 10. В целом количественные показатели морфологических признаков как крайних, так и средних значений близки к данным литературных источников. Лишь количество мягких лучей спинного плавника у девятииглой колюшки из оз. Приливногo (8–14, в среднем 11) более изменчиво по сравнению с литературными данными (10–11, в среднем 10,7) [Зюганов, 1991].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выполненные исследования показали изменчивость морфологических признаков девятииглой колюшки, обитающей в одном водоеме и облавливаемой в одном месте. Такой изменчивости пока нет объяснений. Эта изменчивость делает результаты многих исследований по популяционному составу девятииглой колюшки, основанных на морфологических признаках, слабо обоснованными. Поведение и рост трехиглой колюшки в оз. Приливном свидетельствуют о благоприятных условиях обитания в этом озере и позволяют исключить причастность этого водоема к массовой гибели гидробионтов на акватории близлежащего Халактырского пляжа.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Камчатского филиала федерального государственного бюджетного учреждения науки «Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Комиссия по биоэтике Камчатского филиала ТИГ ДВО РАН, созданная 20.11.2023 г. приказом директора Камчатского филиала ТИГ ДВО РАН № 39-ОД, подтверждает, что автором были соблюдены все международные, национальные и/или институциональные принципы использования животных (№ 01-22.11.2023).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Василец П.М., Карпенко В.И., Максименков В.В. 1999. Ихтиофауна эстуариев рек Восточной Камчатки. *Тезисы докладов областной научно-практической конференции «Проблемы охраны и рационального использования биоресурсов Камчатки»*. Петропавловск-Камчатский. С. 48–49.
- Виноградов К.А. 1949. О сезонных изменениях состава ихтиофауны Авачинской губы (Восточная Камчатка). *Зоологический журнал*. Т. 28. Вып. 6. С. 573–574.
- Долганов В.Н., Кравченко А.Ю. 2009. О направленности морфологической изменчивости колюшек рода *Pungitius* (Gasterosteidae). *Известия ТИНРО*. Т. 159. С. 204–207.
- Жизнь животных. 1971. Том 4. Часть 1. Рыбы. Под ред. Т.С. Расса. Москва: Просвещение. 655 с.
- Зюганов В.В. 1991. Семейство колюшковых (Gasterosteidae) мировой фауны. *Монография*. Ленинград: Наука. 261 с.
- Коваль М.В., Есин Е.В., Бугаев А.В. и др. 2015. Пресноводная ихтиофауна рек Пенжина и Таловка (Северо-Западная Камчатка). *Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана*. Вып. 37. С. 53–145. DOI:10.15853/2072-8212.2015.37.53-145
- Кравченко А.Ю. 2012а. Колюшки рода *Pungitius* Дальнего Востока (экология, формирование фауны, таксономия). *Автореферат диссертации ... канд. биол. наук*. Владивосток. 23 с.

- Кравченко А.Ю. 20126. О валидности девятииглой колюшки *Pungitius polyakovi* S. Shedko, M. Shedko et Pietch. *Известия ТИНРО*. Том 169. С. 41–44.
- Куренков И.И. 1965. Зоогеография пресноводных рыб Камчатки. *Вопросы географии Камчатки*. Вып. 3. С. 25–34.
- Лукьяненко В.И. 1987. Экологические аспекты ихтиотоксикологии. Москва: Агропромиздат. 240 с.
- Маркевич Г.Н., Панфилова П.Н. 2014. Современное состояние и многолетние изменения ихтиофауны эстуария реки Камчатки. *Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана*. Вып. 32. С. 21–34.
- Мешкова М.Г., Смирнов Б.П. 2003. Ихтиофауна озера Большой Вилюй. *Материалы научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей»*. С. 71–76.
- ТАСС. 2020. URL: <https://tass.ru/obschestvo/9687027>
- Токранов А.М. 1994. Состав сообщества рыб эстуария р. Большая (Западная Камчатка). *Вопросы ихтиологии*. Т. 34. № 1. С. 5–12.
- Токранов А.М., Бугаев В.Ф. 2001. Сообщество рыб приустьевой зоны р. Камчатка. *Материалы научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей»*. С. 97–98.
- Токранов А.М., Паскочина А.А. 2003. Девятииглая колюшка *Pungitius pungitius* из озер нижнего течения р. Облуковина (Западная Камчатка). *Чтения памяти В.Я. Леванидова*. Вып. 10. С. 272–279.
- Токранов А.М., Шейко Б.А. 2015. Современный состав ихтиофауны Авачинской губы (Юго-Восточная Камчатка). *Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана*. Вып. 36. С. 48–54. DOI: 10.15853/2072-8212.2015.36.48-54
- Шедько С.В., Шедько М.Б., Питч Т.В. 2005. *Pungitius polyakovi* sp. n. – новый вид девятииглой колюшки (Gasterosteiformes, Gasterosteidae) с юго-востока острова Сахалин. *Растительный и животный мир острова Сахалин. Материалы международного сахалинского проекта*. Ч. 2. Владивосток: Дальнаука. С. 223–233.
- Шейко Б.А., Федоров В.В. 2000. Класс Cephalaspidomorpha – Миноги. Класс Chondrichthyes – Хрящевые рыбы. Класс Holocephali – Цельноголовые. Класс Osteichthyes – Костные рыбы. В кн.: Каталог позвоночных животных Камчатки и сопредельных морских акваторий. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор. С. 7–69.
- Bondura V.G., Zamshina V.V., Chvertkova O.I. 2021. Space study of a red tide-related environmental disaster near Kamchatka Peninsula in September – October 2020. *Doklady Rossiiskoi Akademii Nauk. Nauki o Zemle*. Vol. 497. № 1. P. 83–90.
- Orlova T.Y., Aleksanin A.I., Lepskaya T.V. et al. 2022. A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020. *Harmful Algae*. Vol. 120. Article 102337. DOI: 10.1016/j.hal.2022.102337
- Popov A.M. 1933. Fishes of Avatcha Bay on the Southern Coast of Kamtchatka. *Copeia*. № 2. P. 59–67.
- Sakamoto S., Lim W.A., Lu D. et al. 2021. Harmful algal blooms and associated fisheries damage in East Asia: current status and trends in China, Japan, Korea and Russia. *Harmful Algae*. Vol. 102. Article 101787. DOI: 10.1016/j.hal.2020.101787

Ziuganov V.V., Gomeluk V.Ye. 1985. Hybridization of two forms of ninespine stickleback *Pungitius pungitius* and *P. platygaster* under experimental conditions and an attempt to predict the consequences of their contact in nature. *Environmental Biology of Fishes*. Vol. 13. № 4. P. 241–251.

REFERENCES

- Vasilets P.M., Karpenko V.I., Maksimov V.V. 1999. Ichthyofauna of estuaries of rivers in Eastern Kamchatka. *Proceedings of the regional scientific and practical conference “Problems of protection and rational use of biological resources of Kamchatka”*. Petropavlovsk-Kamchatsky. P. 48–49 (in Russian).
- Vinogradov K.A. 1949. On seasonal changes in the composition of the ichthyofauna of Avacha Bay (Eastern Kamchatka). *Zoologicheskij zhurnal (Russian Journal of Zoology)*. T. 28. Issue 6. P. 573–574 (in Russian).
- Dolganov V.N., Kravchenko A.Yu. 2009. On the direction of morphological variability in sticklebacks of the genus *Pungitius* (Gasterosteidae). *Izvestiya TINRO (Transactions of the Pacific Research Institute of Fisheries and Oceanography)*. T. 159. P. 204–207 (in Russian).
- Life of animals. 1971. Volume 4. Part 1. Pisces. Ed. T.S. Rass. Moscow: Prosveshchenie Publ. 655 p.
- Zyuganov V.V. 1991. Family of sticklebacks (Gasterosteidae) of the world fauna. *Monograph*. Leningrad: Science. 261 p. (in Russian).
- Koval M.V., Esin E.V., Bugaev A.V. et al. 2015. Freshwater ichthyofauna of the Penzhina and Talovka rivers (Northwestern Kamchatka). *Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana (The Research of water biological resources of Kamchatka and of the northwestern part of Pacific Ocean)*. Vol. 32. P. 21–34 (in Russian).
- Meshkova M.G., Smirnov B.P. 2003. Ichthyofauna of Lake Bolshoy Vilyui. *Proceedings of the scientific conference “Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters”*. P. 71–76 (in Russian).
- TASS. 2020. URL: <https://tass.ru/obschestvo/9687027> (in Russian).
- biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana (The Research of water biological resources of Kamchatka and of the northwestern part of Pacific Ocean)*. Vol. 37. P. 53–145. DOI: 10.15853/2072-8212.2015.37.53-145 (in Russian).
- Kravchenko A.Yu. 2012a. Sticklebacks of the genus *Pungitius* of the Far East (ecology, formation of fauna, taxonomy). *Abstract of the candidacy dissertation for biological sciences*. Vladivostok. 23 p. (in Russian).
- Kravchenko A.Yu. 2012b. On the validity of the nine-spined stickleback *Pungitius polyakovi* S. Shedko, M. Shedko et Pietch. *Izvestiya TINRO (Transactions of the Pacific Research Institute of Fisheries and Oceanography)*. Vol. 169. P. 41–44 (in Russian).
- Kurenkov I.I. 1965. Zoogeography of freshwater fish of Kamchatka. *Voprosy geografii Kamchatki (Problems of the Geography of Kamchatka)*. Vol. 3. P. 25–34 (in Russian).
- Lukyanenko V.I. 1987. Ecological aspects of ichthyotoxicology. Moscow: Agropromizdat Publ. 240 p. (in Russian).
- Markevich G.N., Panfilova P.N. 2014. Current state and long-term changes in the ichthyofauna of the Kamchatka River estuary. *Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana (The Research of water biological resources of Kamchatka and of the northwestern part of Pacific Ocean)*. Vol. 32. P. 21–34 (in Russian).

- Tokranov A.M. 1994. Composition of the fish community in the estuary of the river. Bolshaya (Western Kamchatka). *Voprosy ichtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 34. № 1. P. 5–12 (in Russian).
- Tokranov A.M., Bugaev V.F. 2001. Fish community in the river mouth zone. Kamchatka. *Proceedings of the scientific conference "Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters"*. P. 97–98 (in Russian).
- Tokranov A.M., Paskochina A.A. 2003. Nine-spined stickleback *Pungitius pungitius* from lakes of the lower reaches of the river Oblukovina (Western Kamchatka). *Readings in memory of V.Ya. Levanidov*. Vol. 10. P. 272–279 (in Russian).
- Tokranov A.M., Sheiko B.A. 2015. Modern composition of the ichthyofauna of Avacha Bay (South-Eastern Kamchatka). *Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana (The Research of water biological resources of Kamchatka and of the northwestern part of Pacific Ocean)*. Vol. 36. P. 48–54. DOI: 10.15853/2072-8212.2015.36.48-54 (in Russian).
- Shedko S.V., Shedko M.B., Pitch T.V. 2005. *Pungitius polyakovi* sp. n. – a new species of nine-spined stickleback (Gasterosteiformes, Gasterosteidae) from the southeast of Sakhalin Island. Flora and fauna of Sakhalin Island. *Materials of the international Sakhalin project*. Part 2. Vladivostok: Dalnauka Publ. P. 223–233 (in Russian).
- Sheiko B.A., Fedorov V.V. 2000. Class Cephalaspidomorphi – Lampreys. Class Chondrichthyes – Cartilaginous fish. Class Holocephali – Whole-headed. Class Osteichthyes – Bony fishes. Catalog of vertebrate animals of Kamchatka and adjacent marine areas. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatka Printing Yard Publ. P. 7–69 (in Russian).
- Bondura V.G., Zamshina V.V., Chvertkova O.I. 2021. Space Study of a Red Tide-Related Environmental Disaster near Kamchatka Peninsula in September – October 2020. *Doklady Rossiiskoi Akademii Nauk. Nauki o Zemle*. Vol. 497. № 1. P. 83–90.
- Orlova T.Y., Aleksanin A.I., Lepskaya T.V. et al. 2022. A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020. *Harmful Algae*. Vol. 120. Article 102337. DOI: 10.1016/j.hal.2022.102337
- Popov A.M. 1933. Fishes of Avatcha Bay on the Southern Coast of Kamchatka. *Copeia*. № 2. P. 59–67.
- Sakamoto S., Lim W.A., Lu D. et al. 2021. Harmful algal blooms and associated fisheries damage in East Asia: current status and trends in China, Japan, Korea and Russia. *Harmful Algae*. Vol. 102. Article 101787. DOI: 10.1016/j.hal.2020.101787
- Ziuganov V.V., Gomeluk V.Ye. 1985. Hybridization of two forms of ninespine stickleback *Pungitius pungitius* and *P. platygaster* under experimental conditions and an attempt to predict the consequences of their contact in nature. *Environmental Biology of Fishes*. Vol. 13. № 4. P. 241–251.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ
INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Григорьев Сергей Сергеевич – Камчатский филиал Тихоокеанского института географии (КФ ТИГ) ДВО РАН; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук, доцент, старший

научный сотрудник лаборатории гидробиологии; sgr1@inbox.ru. SPIN-код: 3010-8053, Author ID: 976830, Scopus ID: 56258333100.

Grigorev Sergey Sergeevich – Kamchatka Branch of Pacific Geographycal Institute (KB PGI) FEB RAS; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences, Docent, Senior Researcher of Hydrobiology Laboratory; sgr1@inbox.ru. SPIN-code: 3010-8053, Author ID: 976830, Scopus ID: 56258333100.

Статья поступила в редакцию 05.03.2024; одобрена после рецензирования 15.03.2024; статья принята к публикации: 29.03.2024.

The article was submitted 05.03.2024; approved after reviewing 15.03.2024; accepted for publication 29.03.2024.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЙМЕННЫХ ОЗЕР БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ ОБИ

Сафонова М.А., Ширинина М.К., Котовщиков А.В., Яныгина Л.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1.

В статье представлены результаты исследования шести пойменных озер бассейна Верхней Оби на незаросших участках и в зарослях высшей водной растительности. Целью работы стала оценка экологического состояния данных водоемов на основе гидрохимических и гидробиологических (с использованием фитопланктона и зообентоса) показателей. В большинстве озер отмечены повышенные уровни хлорофилла А и биогенных элементов, свидетельствующие о процессе эвтрофирования. Для четырех водоемов из шести отмечено увеличение численности и биомассы донных сообществ на заросших участках. Также выявлено обеднение бентосных сообществ наиболее глубоких участков исследованных озер.

Ключевые слова: бентос, Верхняя Обь, пойменные озера, фитопланктон.

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATUS OF FLOODPLAIN LAKES IN THE UPPER OB BASIN

Safonova M.A., Shirinina M.K., Kotovshchikov A.V., Yanygina L.V.

Institute for Water and Environmental Problems of the SB of the RAS, Barnaul, Molodezhnaya Str. 1.

The study results of six floodplain lakes of the Upper Ob basin was presented in the paper. The sites with and without thickets of higher aquatic vegetation were investigated. The aim of the work was to assess the ecological state of these reservoirs based on hydrochemical and hydrobiological (phytoplankton and zoobenthos) indicators. In most lakes, the increased chlorophyll A and biogenic elements content indicated the ongoing eutrophication. The growing number and biomass of bottom communities were recorded in the overgrown areas of four out of six reservoirs. Depleted benthic communities were revealed in the deepest sections of the studied lakes.

Key words: benthos, the Upper Ob, floodplain lakes, phytoplankton.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение темпов эвтрофирования водоемов относится к числу наиболее значимых экологических проблем современности [Jiang et al., 2022]. Особенно подвержены данному процессу пойменные водоемы, что связано с особенностями их

морфологии и динамики, обеспечивающими регулярное поступление и накопление биогенных веществ с водосборной территории [Pan et al., 2014].

Наиболее развитыми пойменными системами характеризуются незарегулированные участки крупных равнинных рек. Пойменные водоемы отличаются высокой

скоростью образования первичной продукции, что определяет особенности функционирования их экосистем и качество воды [Мартынов и др., 2019]. Благодаря отсутствию течений и небольшим глубинам, в период разлива пойменные водоемы быстро прогреваются, что создает благоприятные температурные условия и способствует бурному развитию первичных продуцентов, представленных фитопланктоном и высшими водными растениями. Обилие органического вещества в свою очередь формирует условия для гипертрофирования водной среды, что ведет к нарушению функций поймы, основными из которых являются поддержание разнообразия и биопродуктивности речных экосистем [Pan et al., 2014]. Кроме того, пойменные водоемы часто используются человеком в целях рекреации и хозяйственной деятельности, что повышает необходимость оценки их состояния.

В отличие от гидрохимического анализа качества воды, который характеризует только текущее состояние водоема в момент исследования, биологический анализ способен отражать последствия хронического загрязнения и отдаленный эффект эпизодических воздействий, что делает его важным элементом системы экологического мониторинга [Рассади́на, 2007]. При этом в качестве индикаторов экологического состояния водоемов можно использовать различные показатели как планктонных, так и бентосных сообществ [Мингазова, Ахатова, 2008]. Альгоценозы первыми реагируют на ухудшение экологических условий, поэтому их применяют как оперативный биологический индикатор возможного загрязнения. Относительно долгая продолжительность жизненного цикла донных беспозвоночных в сравнении с планктонными организмами и их стабильная локализация в местах обитания по-

зволяют дать оценку как общего состояния водоема, так и отдельных его участков с прогнозом дальнейших изменений состояния [Безматерных, 2007]. Кроме того, донные сообщества способны отражать комплексное воздействие различных факторов трансформации водной среды [Рассади́на, 2007], приводящих к накопительному эффекту [Яныгина, 2022].

Река Обь – одна из крупнейших рек в мире, характеризуется развитой пойменной системой. Ширина затопляемых участков в нижнем течении реки достигает 60 км [Головатин, Пасхальный 2012], а в верхнем, как правило, не превышает 20 км [Лузгин, 2010]. Пойменные водоемы бассейна р. Оби рассматриваются многими авторами в качестве источника органических веществ, а также фактора пополнения видового богатства и численности сообществ русла реки [Еленевский, 1936; Фашцевский, 2007; Нечаева и др., 2010]. Пойма также выступает местом нагула и нереста промысловых и непромысловых видов рыб [Шмыглева, 2022]. Однако, несмотря на важное значение поймы для функционирования речной экосистемы в целом, исследования этого типа водных объектов сравнительно редки. Работы по изучению верхнего течения р. Оби касались преимущественно русла реки (гидрологических характеристик, процесса деформаций и функционирования водосборной территории [Дьяченко и др., 2017; Марусин и др., 2019; Куракова, 2022; Чалов, 2023], при этом водные биоценозы были исследованы фрагментарно [Котовщиков и др., 2015; Суторихин и др., 2017; Вдовина и др., 2020]. Сведения о состоянии фитопланктона и зообентоса пойменных водоемов практически или полностью отсутствуют ввиду обширности территории и труднодоступности некоторых участков. В связи с этим целью данной работы

является оценка экологического состояния пойменных озер бассейна Верхней Оби на основе гидрохимических и гидробиологических характеристик.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для работы послужили результаты комплексного исследования шести пойменных озер бассейна Верхней Оби (Ора, Исток, Биркино, Ерестное, Бельмесевское и Долгое) на участке от слияния Бии и Катуня до устья Чумыша в период с 26 июля – 4 августа 2017 г.

На анализируемом участке Верхней Оби принято выделять два морфологических типа поймы [Русловые процессы ..., 1996]: ложбинно-островной и сегментно-островной (сегментно-гивистый). Первый тип, к границам которого принадлежат озера Ора и Исток, начинается от слияния Бии и Катуня и продолжается до с. Бураново. В этом месте лучше развита левосторонняя низкая пойма, ширина которой меняется от 2–3 до 10 км. Сегментно-островной тип, в пределах которого находятся озера Биркино, Бельмесевское, Ере-

стное и Долгое, начинается от с. Бураново и продолжается до с. Черемно-Подгорное. Пойма здесь в основном правосторонняя, шириной до 15 км. Левосторонняя пойма выражена фрагментарно, преимущественно низкая, и ее высота составляет 2,5–4 м над урезом воды.

Озера как правобережной поймы – Ора и Ерестное, – так и левобережной – Исток, Биркино, Бельмесевское и Долгое – по своей форме относятся к водоемам старичного типа с типично петлеобразной и вытянуто-лентовидной формами. В соответствии с классификацией С.П. Китаева [1984] по максимальной глубине исследованные озера можно разделить на две категории: очень малые (меньше 3,12 м) – Биркино, Бельмесевское, Ерестное и Долгое; малые (3,12–6,25 м) – Ора и Исток. Все рассматриваемые озера по площади водного зеркала относятся к категории малых – менее 10 км²: от 32 тыс. м² (оз. Биркино) до 339 тыс. м² (оз. Долгое) (ГОСТ Р 59054-2020) (табл. 1). Донные отложения озер представлены в основном черным илом с детритом, единично – серым илом (оз. Бельмесевское) (табл. 1).

Таблица. 1. Характеристика пойменных озер Верхней Оби (2017 г).

Table. 1.Characteristics of floodplain lakes of the Upper Ob (2017)

Признаки		Пойменные озера Верхней Оби, 2017 г.					
		Ора	Исток	Биркино	Бельмесевское	Ерестное	Долгое
Система координат	с. ш.	52°43'98"	52°42'40"	52°85'62"	53°21'91"	53°29'34"	53°44'57"
	в.д.	84°83'01"	84°87'67"	83°59'76"	83°75'45"	83°89'51"	83°15'19"
t, °C	ОВ	22	20	23,2	24,3	16,4	27,8
	МФ	19,6	20,1	23,4	24,8	24,4	28,3
Площадь водного зеркала, км ²		0,035	0,061	0,032	0,166	0,215	0,339
Глубина, м	ОВ	4	3,2	1,67	1	3	3
	МФ	1,4	1,8	0,9	0,6	0,3	0,7
Тип грунта	ОВ	Черный жирный ил	Черный ил с детритом	Черный ил с детритом	Серый ил с детритом	Черный ил с детритом	Черный ил с детритом
	МФ	Детрит с черным илом	Крупный детрит с илом	Черный ил с детритом	Детрит с серым илом	Заиленный детрит	Черный ил с детритом

В прибрежной зоне глубиной до 1,8 м преобладающей растительностью в большинстве озер были рдест (Бельмесевское и Ерестное), роголистник (Исток, Бельмесевское) и телорез (Ора). Достаточно часто в зарослях высших водных растений озер Исток, Биркино и Ерестного можно было встретить кубышку и гидриллу. В каждом из шести озер были обследованы по два участка: открытая вода (ОВ) и заросли макрофитов (МФ).

Гидрохимическая характеристика и сведения по содержанию хлорофилла А приведены по результатам анализа проб, взятых с поверхности воды по общепринятым методикам выполнения измерений содержания гидрокарбонатов, измерений массовой концентрации ионов аммония, нитрит- и нитрат-ионов, хлоридов, фосфатов и полифосфатов. Во всех пробах определяли содержание БПК₅, растворенного кислорода, сумму ионов [Методы ..., 1990; Руководство ..., 2009], а также температуру воды.

Для определения пигментных характеристик фитопланктон концентрировали с помощью фильтрации 200–400 мл воды на мембранных фильтрах «Владипор» МФАС-ОС-3. Последующую экстракцию проводили в 90%-ном ацетоне по стандартной спектрофотометрической методике согласно ГОСТ 17.1.4.02-90. Для характеристики фитопланктонного сообщества использовали показатели концентрации хлорофилла А (далее Хл А) и содержание феопигментов (Фео) в пробе, а также пигментные индексы E430/664, E480/664 и E450/480, косвенно отражающие соотношения концентраций пигментов.

Отбор донных отложений проводился в двух повторностях по стандартной методике [Методические рекомендации ..., 2003] с помощью дночерпателя Петерсена с площадью захвата 0,025 м². Определение таксономической принадлежности макро-

беспозвоночных осуществляли с помощью специальной литературы до возможного низшего уровня (преимущественно видов). Исключение составляли малоцетинковые и круглые черви – до семейства и класса соответственно.

Для характеристики бентосных сообществ были рассчитаны следующие показатели: численность (N, тыс. экз/м²), биомасса (B, г/м²), индекс видового разнообразия Шеннона (H, бит/экз.) и олигохетный индекс Гуднайта – Уитлея (%). Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета программы Past 4.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты. По классификации О.А. Алекина [1953] все исследованные пойменные озера относились к гидрокарбонатно-кальциевым (I тип). Общая минерализация большинства водоемов (Ора, Исток, Биркино, Бельмесевское) не превышала 500 мг/л и соответствовала «среднему» уровню [Баранов, 1961]. Озера Ерестное и Долгое характеризовались повышенной минерализацией (более 500 мг/л). Отмечена тенденция незначительного увеличения общей минерализации пойменных озер вниз по течению р. Оби, как в правобережной (оз. Ора [424–426 мг/л] – оз. Ерестное [550 мг/л]), так и левобережной пойме (в ряду оз. Исток [231 мг/л] – оз. Биркино [285 мг/л] – оз. Бельмесевское [348 мг/л] – оз. Долгое [519 мг/л]).

Биохимическое потребление кислорода (БПК₅) существенно колебалось между водоемами (от 0,8 до 7,49 мгО₂/дм³). Минимальные значения (0,8–1,54 мгО₂/дм³) зафиксированы в оз. Исток, что характеризовало качество воды в нем как «чистая» [Оксиюк и др., 1993]. Максимальные значения показателя отмечены в оз. Ора: в открытой воде – 5,54 мгО₂/дм³, что со-

ответствовало классу «сильно загрязненная», в макрофитах – 7,49 мгО₂/дм³ – класс «грязная».

Количество растворенного в воде кислорода в исследованных водоемах также широко варьировало. Наименьшие значения зарегистрированы в оз. Исток и составили 3,49–5,6 мгО₂/дм³. Низким уровнем кислорода характеризовалось также оз. Ерестное, значения в котором колебались от 5,95 до 6,56 мгО₂/дм³. Максимальное среди исследуемых водоемов содержание растворенного кислорода (8,77 мгО₂/дм³) выявлено на открытом участке оз. Долгое. Для остальных водоемов диапазон изменчивости этого показателя составил от 7,42 до 8,58 мгО₂/дм³, что свидетельствует о благоприятных кислородных условиях для обитания гидробионтов в поверхностных слоях воды.

По уровню содержания фосфатов и нитратов водоемы Бельмесевское, Долгое и Ора

характеризовались как «загрязненные» и «грязные». Разряды качества вод здесь варьировали от 4а – «умеренно загрязненные» до 5б – «предельно грязные» (табл. 2). Содержание ионов аммония и нитрит-ионов в озерах Долгом и Ора в основном соответствовало классу «удовлетворительной чистоты». Исключением стало оз. Бельмесевское, концентрация ионов аммония в котором достигала значений, характерных для уровня «умеренно загрязненных» вод.

Минимальные концентрации биогенных веществ (фосфаты, нитраты и аммоний) выявлены в озерах Исток, Биркино и Ерестном. По комплексной экологической классификации О.П. Оксюк (1993) эти водоемы были отнесены к классам «чистых» или «удовлетворительной чистоты», а по концентрации нитрит-ионов – к «слабо загрязненным» (табл. 2).

Таблица. 2. Пигментные характеристики фитопланктона и содержание биогенных элементов в пойменных озерах Верхней Оби в 2017 году

Table. 2. Pigment characteristics of phytoplankton and the biogenic elements content in floodplain lakes of the Upper Ob (2017)

Признаки	Пойменные озера Верхней Оби						
		Ора	Исток	Биркино	Ерестное	Бельмесевское	Долгое
Хлорофилл А, мг/м ³	ОВ	26,57	4,05	19,17	14,56	21,82	15,83
	МФ	36,13	5,01	17,83	21,78	12,81	14,7
Индекс Маргалефа (Е430/Е664)	ОВ	2,06	2,94	2,42	2,2	2,34	2,31
	МФ	2,13	2,33	2,1	2,3	2,17	2,27
Пигментное отношение (Е480/Е664)	ОВ	0,6	1,41	1,04	0,82	0,87	0,95
	МФ	0,8	0,95	0,83	0,95	0,69	0,97
Пигментный индекс (Е450/Е480)	ОВ	2,22	1,53	1,6	1,63	1,73	1,58
	МФ	1,7	1,66	1,6	1,59	1,93	1,53
Феопигменты, %	ОВ	31,51	52,38	19,64	52,38	32,33	26,83
	МФ	–	38,78	32,08	61,9	35,96	26,83
PO ₄ ³⁻ , мгP/л	ОВ	0,293	0,04	0,06	0,093	0,58	0,34
	МФ				0,06	0,323	0,163
NO ₃ ⁻ , мгN/л	ОВ	2,743	0,04	0,457	0,571	8,686	1,771
	МФ				0,457	0,857	0,4
NO ₂ ⁻ , мгN/л	ОВ	0,004	0,012	0,014	0,006	0,002	0,004
	МФ				0,014	0,026	0,007
NH ₄ ⁺ , мгN/л	ОВ	<0,074	<0,074	<0,074	0,295	0,083	0,074
	МФ				<0,074	0,756	0,092

Примечание. «–» – нет данных

Note. «–» – no data

Содержание Хл А в воде исследованных пойменных озер варьировало в широких пределах: от 4,1 до 36,1 мг/м³ (табл. 2). Наиболее высокими значениями отличалось озеро Ора (как в открытой воде – 26,57 мг/м³, так и в макрофитах – 36,13 мг/м³), класс качества воды в котором соответствовал «слабо загрязненному» (разряд 3б) [Оксиюк и др., 1993]. Повышенное содержание пигментов зафиксировано также в воде озер Бельмесевского (от 12,8 до 21,8 мг/м³) и Долгого (14,7–15,8 мг/м³), классы качества которых соответствовали уровням от 2б – «вполне чистые» до 3б – «слабо загрязненные». По среднему содержанию Хл А трофический статус водоемов соответствовал: олиготрофному – оз. Исток (4,05–5,01 мг/м³), мезотрофному – оз. Биркино и оз. Долгое (14,7–19,17 мг/м³), умеренно эвтрофному (мезотрофно-эвтрофному) – оз. Ерестное и оз. Бельмесевское (12,81–21,81 мг/м³) и эвтрофному – оз. Ора (36,16 мг/м³) [Оксиюк и др., 1993]. Концентрация Хл А в зарослях озер Ора, Исток и Ерестного была выше, чем в открытой воде, в то время как в озерах Биркино, Бельмесевском и Долгом наблюдалась противоположная тенденция.

Относительное содержание продуктов распада хлорофилла – феопигментов – для большинства озер в среднем составляло (37,3 ± 3,9)%, а весь диапазон значений соответствовал наиболее часто встречающимся величинам для пресных водоемов [Бульон, 1983]. Высокие значения Фео, указывающие на ухудшение состояния водоема, отмечены в оз. Ерестном (52,38% в открытой воде и 61,60% в макрофитах) и на незаросшем участке оз. Исток (52,38%). Индекс Маргалеффа (2,06 < E430 / E664 < 2,94) и пигментное отношение (0,6 < E480 / E664 < 1,41), отражающие физиологическое состояние водорослей, изменялись незначительно и свидетельствовали об ак-

тивном росте фитопланктона на всех участках водоемов (табл. 2). При этом высокие значения пигментного индекса 1,53 < E450 / 480 < 2,22 свидетельствовали о предполагаемом доминировании диатомовых и зеленых водорослей [Сиделев, Бабаназарова, 2008].

В донных сообществах пойменных озер было выявлено 46 таксонов макробеспозвоночных, принадлежащих к шести классам: насекомые (*Insecta*) – 36 таксонов, малощетинковые черви (*Oligochaeta*) – 2, круглые черви (*Nematoda*) – 1, паукообразные (*Arachnida*) – 4, двустворчатые моллюски (*Mollusca*) – 1 и пиявки (*Hirudinea*) – 2. Доминантную группу зообентоса сформировали личиночные стадии двукрылых насекомых, которые составляли 71,7% общего видового богатства. Лидирующим семейством выступали комары-звонцы (*Chironomidae*), принадлежность к которым установлена для 27 таксонов. Наиболее встречаемыми в пробах представителями отряда двукрылых являлись: *Chaoborus flavicans* (50% проб), *Mallochhelea inermis* (45,8%), *Chironomus sp.* (45,8%), а также *Cladopelma laccophila* (29,2%). Второй по видовому богатству группой были паукообразные (4 таксона), представленные амфибиотическими клещами отряда *Trombidiformes*. Наибольшей частотой встречаемости среди клещей характеризовался р. *Limnesia* (20,8% проб). Высокая встречаемость отмечена также для малощетинковых червей, которые зарегистрированы в 54,2% проб (табл. 3).

В ходе исследования обнаружены существенные различия видового богатства зообентоса между отдельными пойменными озерами. Наибольшим видовым богатством как на участке открытой воды, так и в зарослях водной растительности характеризовалась бентофауна оз. Биркино, представленная 32 видами беспозвоночных.

Среди обнаруженных в этом озере таксонов преобладали двукрылые насекомые – 24 вида, из которых: 22 – представители семейства *Chironomidae* и 2 – *Ceratopogonidae*. Наименьшее видовое богатство, представленное монодоминантным сообществом *Chaoborus flavicans*, было зафиксировано на незаросших участках озер Исток и Ерестного. Минимальным количеством видов на участках с водной растительностью среди исследованных водоемов характеризовались озера Исток

и Ора, где кроме хаоборид обнаружены единичные особи *Ablabesmyia annulata* (оз. Исток) и *Glossiphonia complanata* (оз. Ора).

В большинстве водоемов видовое богатство макробеспозвоночных на заросших участках водоемов превышало аналогичный показатель открытых участков (рис. 1). Исключение составляло оз. Ора, видовое богатство бентоса в котором на участке открытой воды было выше в два раза, чем в макрофитах.

Таблица. 3. Значения индексов Шеннона (по зообентосу) и Гуднайта – Уитлея в пойменных озерах бассейна Верхней Оби

Table.3. The Shannon (zoobenthos) and Goodnight – Whitley indices for floodplain lakes of the Upper Ob basin

Индекс		Озера					
		Исток	Ора	Биркино	Бельмесевское	Ерестное	Долгое
Индекс Шеннона, бит/экз.	ОВ	0	0,58 ± 0,12	2,79 ± 0,31	1,18 ± 0,32	0	0,46 ± 0,46
	МФ	0,14 ± 0,14	0,11 ± 0,11	3,20 ± 0,23	1,53 ± 0,15	2,28 ± 0,17	2,34 ± 0,27
Индекс Гуднайта – Уитлея, %	ОВ	0	0	3,66 ± 2,23	77,5 ± 8,5	0	0,73 ± 0,73
	МФ	0	0	5,66 ± 1,66	67,8 ± 6,8	24,3 ± 16,3	23,35 ± 9,65

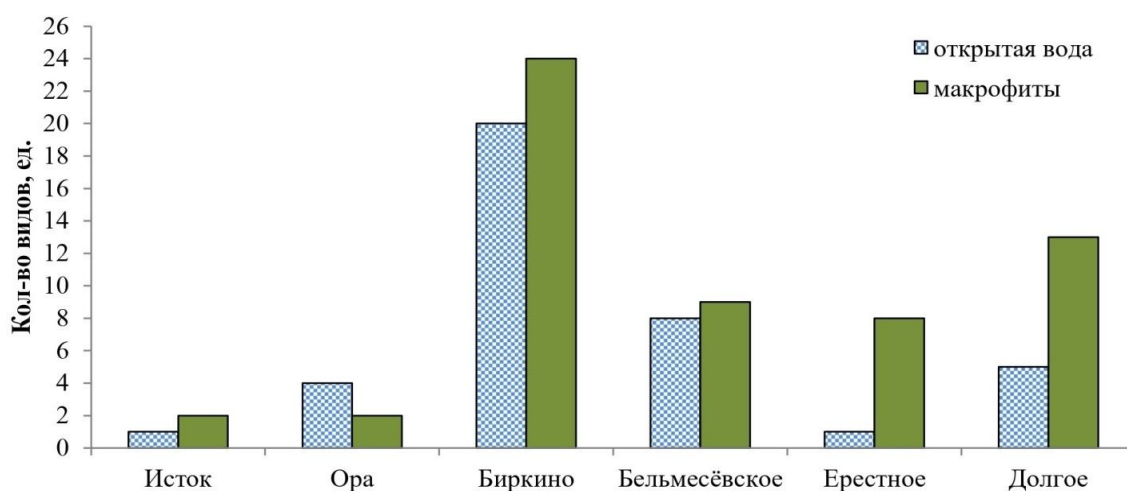


Рис. 1. Видовое богатство макрозообентоса в пойменных озерах бассейна Верхней Оби

Fig. 1. Species richness of macrozoobenthos in floodplain lakes of the Upper Ob basin

Максимальные значения средней численности зообентоса отмечены в оз. Бельмесевском как на заросших участках, так и в открытой воде ($3,4 \pm 1,2$) и ($3,2 \pm 1,1$) тыс. экз/м² соответственно). Наименьшие значения численности для открытой воды ($0,2 \pm 0,02$ тыс. экз/м²) отмечены в оз. Ерестном, а для макрофитного участка – в оз. Исток ($0,4 \pm 0,4$ тыс. экз/м²) (рис. 2). Следует отметить, что численность макробеспозвоночных на заросших участках остальных озер, как правило, была выше (от $1,1 \pm 0,1$) до $(2,6 \pm 0,7)$ тыс. экз/м²,

чем на открытых (от $0,5 \pm 0,1$) до $(2,1 \pm 0,7)$ тыс. экз/м²).

Максимальные значения биомассы зообентоса отмечены в зарослях водной растительности оз. Бельмесевского ($4,0 \pm 1,7$ г/м²). На открытых участках водоемов биомасса зообентоса не превышала ($2,9 \pm 0,1$) г/м² с максимальным значением в оз. Долгом. Наименьшие значения, как и по показателю средней численности, были характерны для озер Ерестного – $(0,2 \pm 0,03)$ г/м² на участке открытой воды и Исток – $(0,2 \pm 0,2)$ г/м² на заросшем участке (рис. 3).

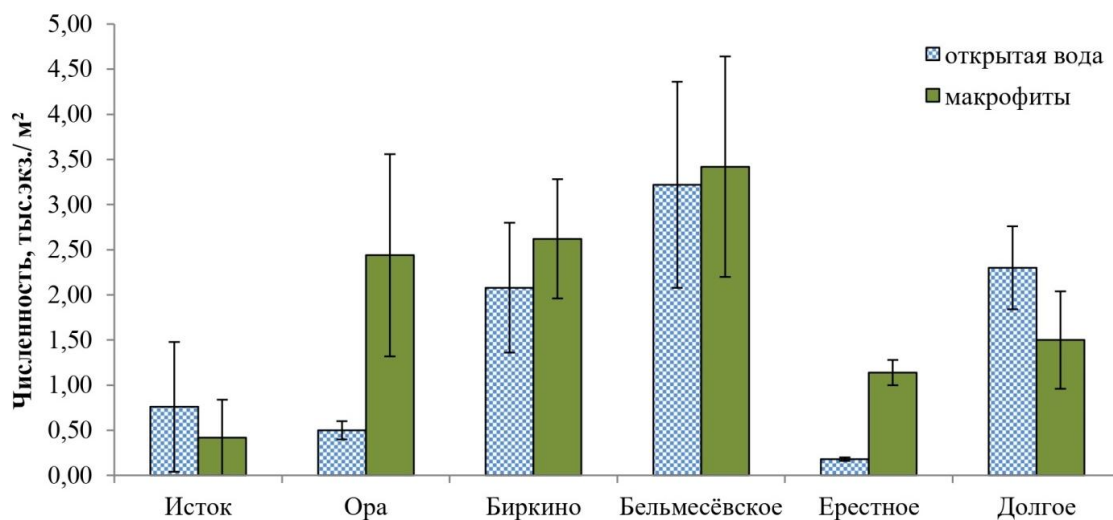


Рис. 2. Численность макрозообентоса в пойменных озерах бассейна Верхней Оби

Fig. 2. Macrozoobenthos number in floodplain lakes of the Upper Ob basin

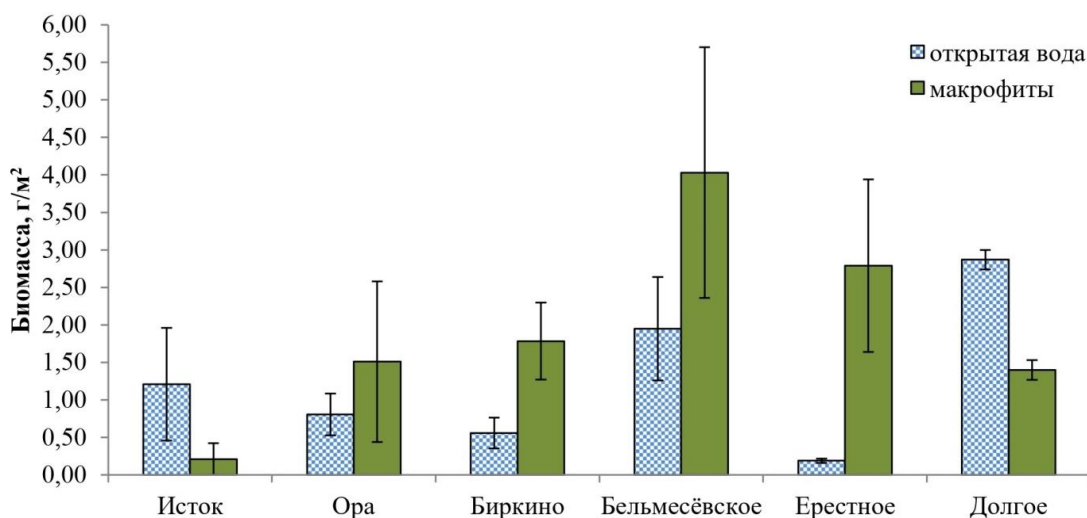


Рис. 3. Биомасса макрозообентоса в пойменных озерах бассейна Верхней Оби

Fig. 3. Biomass of macrozoobenthos in floodplain lakes of the Upper Ob basin

По классификации трофности водоемов С.П. Китаева [2007] биомасса зообентоса на незаросших участках озер соответствовала диапазону от ультраолиготрофного (оз. Исток, Ора, Биркино, Ерестное) до α -мезотрофного (оз. Бельмесевское, Долгое). Заросшие участки водоемов демонстрировали большую продуктивность: ультраолиготрофному уровню соответствовало только оз. Исток. Остальные пойменные водоемы характеризовались как олиготрофные (оз. Долгое, Ора, Биркино) или α -мезотрофные (оз. Ерестное, Бельмесевское).

Наибольшие значения индекса видового разнообразия Шеннона отмечены в озере Биркино ($(2,79 \pm 0,31)$ бит/ экз. в открытой воде и $(3,20 \pm 0,23)$ бит/ экз. в зарослях макрофитов), что свидетельствует об устойчивом, благополучном состоянии экосистемы [Медведева и др., 2021]. Наименьшее значение индекса (0) отмечено на открытых участках озер Исток и Ерестного. Среди заросших участков озер минимальное значение индекса зафиксировано в оз. Ора и составляло $(0,11 \pm 0,11)$ бит/ экз. В соответствии с классификацией В.А. Яковлева (1988) полученные значения индекса Шеннона свидетельствовали о неблагоприятном состоянии большинства пойменных озер ($H < 2,0$). Наиболее низкий класс качества воды (V – «грязные») отмечен в озерах Исток и Ора. Немного лучше качество воды в оз. Бельмесевском – IV класс («загрязненные»). Более благоприятная среда для развития и обитания бентосных организмов в озере Биркино (класс качества от «умеренно загрязненного» (III) до «чистого» (II)). Озера Ерестное и Долгое характеризовались неоднозначной ситуацией: открытые участки водоемов относились к классу «грязных», а заросшие – «умеренно загрязненных».

Олигохетный индекс Гуднайта – Уитлея использовался для дополнительной

оценки качества воды исследуемых водоемов. Согласно ГОСТ 17.1.3.07-82 озера Ора, Исток и Биркино относились к категории водоемов с «очень чистой» водой (индекс Гуднайта – Уитлея 1–20%), Ерестное и Долгое характеризовались как «чистые» (21–35%), а оз. Бельмесевское – «грязное» на обоих участках (66–85%) (табл. 3).

Обсуждение. Как часть речной системы, пойма играет важную роль в обмене веществ (органических и неорганических) и энергии между водными и наземными экосистемами [Мартынов, 2019]. Пойменные водоемы выступают природными резервуарами для аккумуляции веществ, принесенных с водосборной территории или образовавшихся при распаде отмерших частей растений и животных. Благодаря накопительному эффекту, продуктивность поймы возрастает в десятки раз по сравнению с русловыми участками, что приводит к увеличению кормовой базы для водоплавающих птиц и полуводных млекопитающих, а также интенсивному использованию этих территорий животными для размножения [Фащевский, 2007]. Многие промысловые и непромысловые виды рыб используют подобные затопляемые участки в качестве мест нереста и нагула [Асанов, 2020]. Кроме того, пойма выступает основным поставщиком первичной продукции и видового богатства для русловых сообществ [Дудкин и др., 2015].

Одним из факторов, определяющих развитие фитопланктона – первичного продуцента в пойменных водоемах, – является гидрологический режим р. Оби. В наиболее удаленных от реки и гидрологически слабосвязанных с руслом водоемах Ора, Биркино и Бельмесевское отмечалось интенсивное развитие водорослей. Минимальное количество фитопланктона зафиксировали в озерах Исток, Ерестном

и Долгом, которые располагались вблизи русла и имели постоянную гидрологическую связь с рекой.

Исследование пигментных характеристик фитопланктона пойменных озер показало высокие значения Хл А практически во всех водоемах. По содержанию органических веществ и биогенных элементов наибольшую нагрузку испытывало оз. Ора, в котором также зафиксированы максимальные среди всех исследованных водоемов значения Хл А ($26,57 \text{ мг/м}^3$ в открытой воде и $36,13 \text{ мг/м}^3$ на заросшем участке). Подобное состояние могло быть вызвано высокой продуктивностью макрофитных сообществ, представленных здесь зарослями телореза [Дудкин и др., 2015]. Согласно литературным данным, телорез способен оказывать ингибирующее воздействие на альгофлору [Солнцев и др., 2006; Красильникова, 2010], однако на момент исследования в оз. Ора содержание Хл А в зарослях водной растительности было выше, чем в открытой воде на $9,56 \text{ мг/м}^3$. Также данные по пигментным индексам и относительному содержанию Фео указывают на то, что в период исследования фитопланктон данного озера находился в стадии активного роста. Стоит предположить, что с увеличением интенсивности зарастания озера телорезом вероятность угнетения фитопланктонных сообществ будет увеличиваться.

Водоемы Биркино и Долгое, за счет различий в концентрациях отдельных биогенных веществ, находились на разных стадиях эвтрофикации (см. табл. 2). По содержанию Хл А озера получили статус «мезотрофных». Также в данных озерах отмечена незначительная разница концентраций фитопланктона между участками открытой воды и макрофитов.

Несмотря на схожие показатели трофности, мезотрофно-эвтрофные по фито-

планктону озера Бельмесевское и Ерестное находились на разных стадиях развития. Высокие концентрации биогенных элементов и Хл А на всех участках оз. Бельмесевского указывали на стадию активного развития фитопланктона данного водоема. При этом заметное снижение содержания Хл А (почти на 9 мг/м^3) на участке заросшей воды свидетельствовало об ухудшении условий обитания фитопланктона за счет снижения освещенности водной толщи и перехвата биогенных веществ, а также возможного влияния аллелопатических веществ, выделяемых зарослями роголистника и рдеста на альгоценоз этого озера [Красильникова, 2010; Курбатова и др., 2013; Исеналиева и др., 2014; Сергеева, 2016; Ломсков и др., 2018; Маханова, 2019; Стасюк, Чачина, 2021].

Высокие значения концентрации Хл А, малое содержание биогенных веществ и значительная доля Фео на всех участках водоема свидетельствовали о том, что фитопланктон оз. Ерестного находился в угнетенном состоянии. Заросли макрофитов, представленные кубышкой и рдестом, не оказывали существенного влияния на альгоценоз данного водного объекта вследствие того, что содержание Хл А на участке высшей водной растительности было выше, чем в открытой воде на $7,22 \text{ мг/м}^3$ [Явид и др., 2020].

Наименьшая концентрация Хл А на обоих участках и высокое содержание Фео в открытой воде, которые соответствовали олиготрофному статусу, были зафиксированы в оз. Исток. Величины данных показателей указывали на угнетенное состояние водорослевого сообщества. При этом в зарослях макрофитов, представленных кубышкой и роголистником (60 и 10% от общей площади зарослей соответственно), наблюдались признаки «самоочищения»: понижение концентраций Хл А

за счет конкуренции водорослей и высших растений за условия среды и возможного влияния альгицидных веществ [Косов и др., 2001; Халиуллина, Яковлев, 2015; Прокин, Селезнев, 2018; Куанова и др., 2023].

Заросли водной растительности также способны оказывать влияние и на бентосные сообщества. Макрофиты формируют специфическую среду обитания, которая может служить убежищем от хищников, источником пищи и строительным материалом, а также субстратом для колонизации беспозвоночных [Ивичева и др., 2021]. В исследованных пойменных озерах Верхней Оби заросли макрофитов характеризовались большим видовым богатством беспозвоночных по сравнению с открытыми участками водоемов. Исключение составляло оз. Ора, заросшие участки которого состояли преимущественно из скоплений телореза. Данный вид растительности обладает очень высокой продуктивностью, при этом слабо перерабатывается консументами, что приводит к длительному разложению (особенно в зимний период), вызывает снижение уровня растворенного в воде кислорода до критических для большинства беспозвоночных значений и увеличивает содержание сероводорода [Дудкин и др., 2015]. Высокая численность и биомасса зообентоса на незаросшем участке этого озера при низком видовом богатстве достигалась за счет монодоминантного сообщества хаборид, устойчивых к дефициту кислорода и токсическому воздействию продуктов распада органических веществ [Вежновец, Лапука, 2021; Лапука, 2021]. Неблагополучное состояние озера подтверждается высокими значениями показателя БПК₅ (5,54 на открытом участке и 7,49 в макрофитах), отражающего высокую степень органического загрязнения. Помимо влияния телореза в литературе имеются данные об ингибирующем

воздействии на водные сообщества кубышки желтой (*Nuphar lutea* L.) [Мухортова, 2007; Сиротин, Сиротина, 2022], крупные скопления которой отмечены в озерах Исток и Долгом. В зарослях высшей водной растительности этих озер наблюдалось снижение численности и биомассы зообентоса, в сравнении с открытыми участками. Стимулирующее действие макрофитов на бентосные сообщества отмечено в оз. Бельмесевском, где показатели биомассы и численности достигали максимальных значений. Водная растительность данного озера сформирована зарослями роголистника и рдеста, которые, как было показано ранее [Мухортова, 2007], оказывают положительное влияние на характеристики сообществ донных беспозвоночных.

Помимо характера водной растительности на состав и численность зообентоса могут оказывать влияние многие факторы, основными из которых являются: тип донных отложений, степень проточности водоема, глубина, количество доступных органических веществ и уровень растворенного в воде кислорода [Безматерных, 2007]. В исследуемых пойменных озерах грунты представлены преимущественно однотипными илами. Илы как субстрат являются одним из наиболее благоприятных сред для развития бентосных сообществ и обеспечивают высокие количественные показатели [Жукова, Безматерных, 2010]. Однако сходство типа грунтов исследуемых озер не позволяет рассматривать этот фактор как определяющий выявленные различия количественных и качественных характеристик донных сообществ. Более значимыми факторами пространственного распределения зообентоса в данном случае, вероятно, являются глубина и концентрация растворенного кислорода. Согласно предыдущим исследованиям [Садчиков, Остроумов, 2019]

с увеличением глубины водоема концентрация кислорода в большинстве озер снижается, что может являться основной причиной уменьшения биоразнообразия и численности бентосных сообществ наиболее глубоких участков озер Ора, Ерестного, Долгого и Исток. Косвенным подтверждением наличия заморов является доминирование в донных сообществах открытых участков этих озер, устойчивых к дефициту кислорода личинок хаборид. Также в оз. Исток даже у поверхности воды был отмечен низкий уровень содержания кислорода – от $3,49 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ до $5,6 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, что увеличивает вероятность его дефицита на глубине. Усугублять кислорододефицитные состояния исследованных водоемов может термическая стратификация водоемов, которая характерна для пойменных озер Верхней Оби [Котовщиков и др., 2015].

По результатам исследования выявлено, что наиболее сложная экологическая ситуация характерна для озер Бельмесевского и Исток. В оз. Бельмесевском, расположенном в непосредственной близости от садоводческого товарищества «Сибирская долина», зафиксированы повышенные концентрации Хл А и биогенных элементов, свидетельствующие о высокой нагрузке на экосистему. Основу сообщества донных беспозвоночных этого озера по численности и биомассе составляли малощетинковые черви, которые также являются показателем органического загрязнения. В оз. Исток отмечен самый низкий трофический статус («олиготрофный»), сопровождающийся минимальными значениями биогенных веществ, БПК₅, Хл А и низкими количественными характеристиками зообентоса, что указывает на процесс деградации сообществ водоема. Наиболее благополучным экологическим состоянием по гидрохимическим и гидро-

биологическим показателям характеризовалось оз. Биркино, где зафиксированы средние значения Хл А и феопигментов, низкие концентрации биогенных элементов, а также наибольшие для зообентоса значения видового богатства и индекса Шеннона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования гидробиологических и гидрохимических показателей пойменных озер Верхней Оби были выявлены признаки эвтрофикации, что выразилось повышенным содержанием биогенных элементов и хлорофилла А. Процесс зарастания негативно отразился и на состоянии бентосных сообществ, спровоцировав сокращение видового богатства и возникновение заморных явлений на наиболее глубоких участках исследованных озер. Вместе с тем отсутствие данных о сезонной и межгодовой динамике экосистем затрудняет комплексную оценку экологического состояния поймы Верхней Оби и обуславливает необходимость проведения дополнительных исследований на всей указанной территории.

ЛИТЕРАТУРА

- Алекин О.А. 1953. Основы гидрохимии. Ленинград: Гидрометеиздат. 295 с.
- Асанов А.Ю. 2020. Мониторинг продуктивности зообентоса на зарегулированном участке реки Суры в Пензенской области. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки.* № 2(30). С. 100–110.
- Баранов И.В. 1961. Лимнологические типы озер СССР. Ленинград: Гидрометеиздат. 276 с.

- Безматерных Д.М. 2007. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири. *Серия аналитических обзоров мировой литературы «Экология»*. № 85. С. 1–86.
- Бульон В.В. 1983. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Ленинград: Наука. 150 с.
- Вдовина О.Н., Яныгина Л.В., Безматерных Д.М. 2020. Изученность макрозообентоса бассейна Верхней Оби. *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. № 12. С. 55–76.
- Вежновец В.В., Лапука И.И. 2021. Пространственное распределение зоопланктона и зообентоса в озере Барковщина Ушачского района Беларуси. *Природные ресурсы*. № 1. С. 76–83.
- Головатин М.Г., Пасхальный С.П. 2012. Гагары поймы Нижней Оби. *Русский орнитологический журнал*. Т. 21. № 755. С. 1047–1058.
- ГОСТ 17.1.4.02-90. 2003. Государственный контроль качества воды. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла А. Москва: Изд-во стандартов. 15 с.
- ГОСТ Р 59054-2020. 2020. Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды. Классификация водных объектов. Москва: Стандартинформ. 20 с.
- Дудкин Е.А., Иванов А.И., Ильин В.Ю. 2015. Экологические проблемы пойменных озер по результатам исследования бассейнов рек Сура и Хопер в Пензенской области. *Биосфера*. Т. 7. № 1. С. 96–103
- Дьяченко А.В., Марусин К.В., Коломейцев А.А., Вагнер А.А. 2017. Натурные исследования пропускной способности рукавов русловых разветвлений и пойменных проток реки Обь на участке Барнаул – Камень-на-Оби. *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. № 3 (46). С. 54–62.
- Еленевский Р.А. 1936. Вопросы изучения и освоения пойм. Всесоюзный научно-исследовательский институт болотного хозяйства. Москва: Изд-во Всесоюзной академии с.-х. наук им. В. И. Ленина. 100 с.
- Жукова О.Н., Безматерных Д.М. 2010. Состав и структура макрозообентоса Карасукской озерно-речной системы (Западная Сибирь). *Мир науки, культуры, образования*. 2010. № 2(21). С. 285–289.
- Ивичева К.Н., Комарова А.С., Угрюмова Е.В., Филоненко И.В. 2021. Сообщества беспозвоночных зарослей макрофитов разнотипных водных объектов Вологодской области. *Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН*. № 94 (97). С. 94–104.
- Исеналиева Ж.Н., Волкова И.В., Нгуен Т.Т.Н. 2014. К вопросу о биоиндикации некоторых водных экосистем дельты реки Волги. *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. Т. 19. № 5. С. 1297–1300.
- Китаев С.П. 1984. Экологические основы биопродуктивности озер различных природных зон. Москва: Наука. 208 с.
- Китаев С.П. 2007. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Карельский научный центр Российской академии наук. Институт биологии. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН. 394 с.
- Косов В.И., Косов И.В., Санникова О.С. 2001. Современная оценка состояния озера Селигер крупнейшего озера Верхневолжской водной системы. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. Т. 3. № 2. С. 246–253.

- Котовщиков А.В., Суторихин И.А., Долматова Л.А., Дьяченко А.В. 2015. Температурный и кислородный режим в пойменном водоеме (бассейн верхней Оби). *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. № 3(38). С. 55–62.
- Красильникова Н.С. 2010. Биоиндикация качества воды реки Свяи́ги с помощью высших водных растений. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. № 4(28). С. 261–264.
- Куанова А.С., Литвинова Н.В., Ершова Т.С. и др. 2023. Макрофиты рода *Potamogeton* – биоиндикаторы накопления тяжелых металлов. *Водные биоресурсы и среда обитания*. Т. 6. № 3. С. 7–14.
- Куракова А.А. 2022. Размывы пойменных берегов Оби и Иртыша и их связь с морфологией русла. *Географический вестник*. № 1(60). С. 40–59.
- Курбатова С.А., Лаптева Н.А., Ершов И.Ю., Борисовская Е.В. 2013. Средообразующая роль гидрофитов в развитии и функционировании планктонных сообществ. *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. № 3. С. 119–128.
- Лапука И.И. 2021. Распределение зообентоса озера Круглик в зависимости от температуры и концентрации кислорода. *Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии»*. Гродно: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы. С. 37–39.
- Ломсков М.А., Бреннер П.К., Капралова М.А. 2018. Эффект применения роголистника (*Ceratophyllum L.*) как катализатора нитрификационных процессов в современных аквариумных системах. *Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в науке и практике»*. Часть 1. Самара: Дендра. С. 77–84.
- Лузгин Б.Н. 2010. Пойменные акватории Верхней Оби. *Известия Алтайского государственного университета*. № 3-2. С. 93–98.
- Мартынов А.В. 2019. Варьирование показателей кислотности в почвах поймы реки Амур. *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. № 98. С. 57–76.
- Марусин К.В., Дьяченко А.В., Коломейцев А.А., Вагнер А.А. 2019. Современное состояние и история развития русла реки Обь на территории города Барнаула. *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. 2019. № 4 (55). С. 82–92.
- Маханова Е.В. 2019. Диагностика экологического состояния водоема: Сопоставление результатов химического анализа, биотестирования и биоиндикации. *Вода и экология: проблемы и решения*. 2019. № 2(78). С. 102–110.
- Медведева Е.В., Македонская И.Ю., Студёнов И.И. 2021. Таксономический состав и структура летнего фитопланктона озер Няндомского района Архангельской области. *Национальная (всероссийская) научно-практическая конференция «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование»*. Ч. 1. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 52–55.
- Методические рекомендации по сбору и определению зообентоса при гидробиологических исследованиях водотоков Дальнего Востока России: *Методическое пособие*. 2003. Москва: Изд-во ВНИРО. 95 с.
- Методы исследования качества воды водоемов. 1990. Под ред. А.П. Шицковой. Москва: Медицина, 400 с.

- Мингазова Н.М., Ахатова В.М. 2008. Роль зооценозов малых пойменных озер урбанизированной территории. *Вода: химия и экология*. № 4(4). С. 27–34.
- Мухортова О.В. 2007. Зоофитос Саратовского водохранилища. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. Т. 9. № 4. С. 1007–1012.
- Нечаева Е.Г., Белозерцева И.А., Напрасникова Е.В. и др. 2010. Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем сибирских регионов. Новосибирск: Наука. 315 с.
- Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. 1993. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод. *Гидробиологический журнал*. Т. 29. № 4. С. 62–76.
- Прокин А.А., Селезнев Д.Г. 2018. Межгодовые изменения видового богатства и количественных характеристик макрозообентоса пойменных озер Хоперского заповедника. *Биология внутренних вод*. № 1. С. 60–69.
- Рассадина Е.В. 2007. Биоиндикация и ее место в системе мониторинга окружающей среды. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. № 2(5). С. 48–53.
- Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону: Изд-во НОК, 2009. Ч. 1. 1046 с.
- Русловые процессы на реках Алтайского региона. 1996. Москва. 244 с.
- Садчиков А.П., Остроумов С.А. 2019. Содержание кислорода в воде и стратификация водных экосистем на примере мезотрофного озера. *The Caucasus. Economic and Social Analysis Journal of Southern Caucasus*. Т. 7. № 34. С. 14–17.
- Сергеева В.Г. 2016. Биоиндикация экологического состояния реки Охта с помощью макрофитов. *Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право*. № 2(18). С. 32–38.
- Сиделев С.И., Бабаназарова О.В. 2008. Анализ связей пигментных и структурных характеристик фитопланктона высокоэвтрофного озера. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*. Т. 1. № 2. С. 162–177.
- Сиротин А.Л., Сиротина М.В. 2022. Структура зоопланктона разных биотопов малых рек Кологривского кластера заповедника «Кологривский лес». *Трансформация экосистем*. Т. 5. № 4(18). С. 112–125.
- Солнцев Л., Гавриленко О., Шишлова Д. и др. 2006. Мониторинг загрязнения водной среды водоемов города Сарова и Мордовского государственного природного заповедника им. П.Г. Смидовича с помощью методов биоиндикации. *Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П.Г. Смидовича*. № 7. С. 114–179.
- Стасюк Ю.М., Чачина С.Б. 2021. Использование водных растений валлиснерия и роголистник в качестве методов доочистки сточных вод. *Материалы Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы региона и пути их разрешения»*. Омск: Омский государственный технический университет. С. 60–64.
- Суторихин И.А., Акулова О.Б., Букачый В.И., Фроленков И.М. 2017. Определение трофического статуса пресноводных озер Алтайского края в период 2013–2016 гг. по гидрооптическим характеристикам. *Известия Алтайского государственного университета*. № 1(93). С. 58–61.
- Фашевский Б.В. 2007. Экологическое значение поймы в речных экосистемах. *Ученые записки Российского государ-*

- ственного гидрометеорологического университета. № 5. С. 118–129.
- Халиуллина Л.Ю., Яковлев В.А. 2015. Фитопланктон мелководий в верховьях Куйбышевского водохранилища. Казань: Изд-во Академии наук РТ. 171 с.
- Чалов Р.С. 2023. Пойменно-русловые разветвления: условия формирования и гидролого-морфологическая характеристика. *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. Т. 78. № 2. С. 10–21.
- Шмыглева А.В. 2022. Рыбохозяйственные исследования Обь-Иртышского речного бассейна (первая половина XX в.). *Вестник Сургутского государственного педагогического университета*. № 6(81). С. 17–24.
- Явид Е.Я., Ходонович В.В., Фисак Е.М. и др. 2020. Изменчивость метаболома водных макрофитов в зависимости от среды обитания, с предметным рассмотрением состава фитопланктона. *Материалы Международной научной конференции по водным макрофитам «Гидророботаника 2020»*. Борок: Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. С. 186–187.
- Яковлев В.А. 1988. Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования (практические рекомендации). Апатиты. 27 с.
- Яныгина Л.В. 2022. Оценка влияния промышленно-селитебной агломерации г. Горно-Алтайска на экологическое состояние р. Улалушка. *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. № 2(65). С. 82–91.
- Jiang X., Sun X., Alahuhta J. et al. 2022. Responses of multiple facets of macroinvertebrate alpha diversity to eutrophication in floodplain lakes. *Environmental Pollution*. Vol. 306 (1). DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119410.
- Pan B., Wang H., Wang H. 2014. A floodplain-scale lake classification based on characteristics of macroinvertebrate assemblages and corresponding environmental properties. *Limnologica*. Vol. 49. P. 10–17. DOI: 10.1016/j.limno.2014.07.003.

REFERENCES

- Alekin O.A. 1953. *Fundamentals of Hydrochemistry*. Leningrad: Gidrometioizdat Publ. 295 p. (in Russian).
- Asanov A.Yu. 2020. Monitoring zoobentos productivity at the regulated Sura river section in Penza region. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Estestvennye nauki (University proceedings. Volga region. Natural Sciences. Ecology)*. № 2(30). P. 100–110 (in Russian).
- Baranov I.V. 1961. *Limnological types of lakes of the USSR*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. 276 p. (in Russian).
- Bezmaternyh D.M. 2007. Zoobentos as an indicator of water ecosystems state in Western Siberia. *Seriya analiticheskikh obzorov mirovoj literatury "Ekologiya" (A series of analytical reviews of world literature "Ecology")*. № 85. P. 1–86 (in Russian).
- Bul'on V.V. 1983. *Primary production plankton inland water bodies*. Leningrad: Nauka Publ. 150 p. (in Russian).
- Vdovina O.N., Yanygina L.V., Bezmaternyh D.M. 2020. Studies of macrozoobentos in the upper Ob river catchment. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk (Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences)*. № 12. P. 55–76 (in Russian).
- Vezhnovec V.V., Lapuka I.I. 2021. Spatial distribution of zooplankton and zoobenthos in lake Barkovshchina Ushachsky district

- of Belarus. *Prirodnye resursy (Natural Resources)*. № 1. P. 76–83.
- Golovatin M.G., Paskhal'nyj S.P. 2012. Divers of floodplain of the lower Ob. *Russkij ornitologicheskij zhurnal (The Russian Journal of Ornithology)*. Vol. 21. № 755. P. 1047–1058 (in Russian).
- GOST 17.1.4.02-90. 2003. State water quality control. Method for spectrophotometric determination of chlorophyll A. Moscow: Standartinform Publ. 15 p. (in Russian).
- GOST R 59054-2020. 2020. Protection of nature. Surface and subterranean waters. Classification body of water. Moscow: Standartinform Publ. 20 p. (in Russian).
- Dudkin E.A., Ivanov A.I., Il'in V.Yu. 2015. Ecological problems in floodplain lakes on the results of studies of river basins of the Sura and Hoper in the Penza region. *Biosfera*. Vol. 7. № 1. P. 96–103. (in Russian).
- D'yachenko A.V., Marusin K.V., Kolomejcev A.A., Vagner A.A. 2017. Field study of relative capacity of Ob river branches and flood-plane streams between Barnauland Kamen-na-Obi. *Izvestiya Altajskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva (Proceedings of the Altai Branch of the Russian Geographical Society)*. № 3 (46). P. 54–62 (in Russian).
- Elenevskij R.A. 1936. Issues of studying and developing floodplains. All-Union Scientific Research Institute of Swamp Economy. Moscow. 100 p. (in Russian).
- Zhukova O.N., Bezmaternyh D.M. 2010. Composition and structure of macrozoobenthos from the Karasuk river-lake system (West Siberia). *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya (The World of science, Culture and Education)*. 2010. № 2(21). P. 285–289 (in Russian).
- Ivicheva K.N., Komarova A.S., Ugryumova E.V., Filonenko I.V. 2021. Communities of invertebrate thickets of macrophytes of different types of water bodies in the Vologda region. *Trudy Instituta biologii vnutrennih vod im. I.D. Papanin RAN (Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS)*. № 94 (97). P. 94–104 (in Russian).
- Isenalieva Zh.N., Volkova I.V., Nguen T.T.N. 2014. On the issue of bioindication of some aquatic ecosystems of the Volga River delta. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki (Tambov University Review. Series: Natural and technical sciences)*. Vol. 19. № 5. P. 1297–1300 (in Russian).
- Kitaev S.P. 1984. Ecological basis of bioproductivity of lakes in various natural zones. Moscow: Nauka Publ. 208 p. (in Russian).
- Kitaev S.P. 2007. Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists. Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Institute of Biology. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 394 p. (in Russian).
- Kosov V.I., Kosov I.V., Sannikova O.S. 2001. Modern estimation of a condition of lake Seliger of the largest lake of water system of highest Volga. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk (Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences)*. Vol. 3. № 2. P. 246–253 (in Russian).
- Kotovshchikov A.V., Sutorihin I.A., Dolmatova L.A., D'yachenko A.V. 2015. Temperature and oxygen regime in a floodplain reservoir (the upper-Ob basin). *Izvestiya Altajskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva (Proceedings of the Altai Branch of the Russian Geographical Society)*. № 3(38). P. 55–62 (in Russian).
- Krasil'nikova N.S. 2010. Bioindication of water quality of Sviyaga river by means of

- higher aquatic plants. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Izvestia Orenburg State Agrarian University)*. № 4(28). P. 261–264 (in Russian).
- Kuanova A.S., Litvinova N.V., Ershova T.S. et al. 2023. Macrophytes of the genus Potamogeton as the bioindicators for the accumulation of heavy metals. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya (Aquatic Bioresources & Environment)*. Vol. 6. № 3. P. 7–14 (in Russian).
- Kurakova A.A. 2022. Riverbank erosion on the Ob and the Irtysh and its connection with the river channel morphology. *Geograficheskij vestnik (Geographical bulletin)*. № 1(60). P. 40–59 (in Russian).
- Kurbatova S.A., Lapteva N.A., Ershov I.Yu., Borisovskaya E.V. 2013. Environmental role of hydrophytes in development and functioning of planktonic communities. *Trudy Karelskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk (Transactions of the Karelian research centre of the Russian)*. № 3. P. 119–128 (in Russian).
- Lapuka I.I. 2021. Distribution of zoobenthos of lake Kruglik depending on temperature and oxygen concentration. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Current problems of ecology”*. Grodno: Grodno State University named after Yanka Kupala. P. 37–39 (in Russian).
- Lomskov M.A., Brenner P.K., Kapralova M.A. 2018. The effect of using hornwort (*Ceratophyllum* L.) as a catalyst for nitrification processes in modern aquarium systems. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Current issues in science and practice”*. Part 1. Samara: Dendra Publ. P. 77–84 (in Russian).
- Luzgin B.N. 2010. Inundated Water Areas of the Upper Ob. *Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta (Izvestiya of Altai State University)*. № 3-2. P. 93–98 (in Russian).
- Martynov A.V. 2019. Variation of acid values in floodplain soils of the Amur river. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva (Dokuchaev Soil Bulletin)*. № 98. P. 57–76 (in Russian).
- Marusin K.V., D'yachenko A.V., Kolomejcev A.A., Vagner A.A. 2019. Modern morphodynamics and history of evolution of Ob river at Barnaul city. *Izvestiya Altajskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva (Proceedings of the Altai Branch of the Russian Geographical Society)*. № 4 (55). P. 82–92 (in Russian).
- Mahanova E.V. 2019. Diagnostics of the water body ecological state: Comparing results of chemical analysis, bioassay and bioindication. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya (Water and Ecology: Problems and Solutions)*. № 2(78). P. 102–110 (in Russian).
- Medvedeva E.V., Makedonskaya I.Yu., Studyonov I.I. 2021. Taxonomic composition and structure of summer phytoplankton of the lake Nyandoma district of the Arkhangelsk region. *National (All-Russian) scientific and practical conference “Natural resources, their current state, protection, commercial and technical use”*. Part 1. Petropavlovsk-Kamchatcky: KamchatSTU. P. 52–55 (in Russian).
- Methodological recommendations for the selection and identification of zoobenthos during hydrobiological studies of watercourses of the Russian Far East. 2003. Moscow: Publishing house VNIRO (Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography). 95 p. (in Russian).
- Methods for studying the water quality of reservoirs. 1990. Edited by A.P. Shickovoj. Moscow: Medicina Publ. 400 p. (in Russian).

- Mingazova N.M., Ahatova V.M. 2008. The role of zoocenoses in small floodplain lakes in urbanized areas. *Voda: himiya i ekologiya (Water: Chemistry and Ecology)*. № 4(4). P. 27–34 (in Russian).
- Muhortova O.V. 2007. The zoofitos of Saratov impounded body of water. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk (Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences)*. Vol. 9. № 4. P. 1007–1012 (in Russian).
- Nechaeva E.G., Belozerceva I.A., Naprasnikova E.V. et al. 2010. Monitoring and forecasting of the substance-dinamical state of geosystems in the siberian regions. Novosibirsk: Nauka Publ. 315 p. (in Russian).
- Oksiyuk O.P., Zhukinskij V.N., Braginskij L.P. et al. 1993. Complex ecological quality classification of surface waters. *Gidrobiologicheskij zhurnal (Hydrobiological Journal)*. Vol. 29. № 4. P. 62–76 (in Russian).
- Prokin A.A., Seleznev D.G. 2018. Interannual variations in species richness and quantitative parameters of macrozoobenthos in floodplain lakes of the Khoper nature reserve. *Biologiya vnutrennih vod (Inland Water Biology)*. № 1. P. 60–69 (in Russian).
- Rassadina E.V. 2007. Bioindication and its place in the environmental monitoring system. *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii (Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy)*. № 2(5). P. 48–53 (in Russian).
- Manual for the chemical analysis of terrestrial surface waters. 2009. Rostov-on-Don: NOK Publ. P. 1. 1046 p. (in Russian).
- River bed evolution on rivers of the Altai region. 1996. Moscow. 244 p. (in Russian).
- Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. 2019. Oxygen content in water and stratification of aquatic ecosystems using the example of a mesotrophic lake. *The Caucasus. Economic and Social Analysis Journal of Southern Caucasus*. Vol. 7. № 34. P. 14–17 (in Russian).
- Sergeeva V.G. 2016. Bioindication of the river Ohta ecological state using macrophytes. *Informacionnye tekhnologii i sistemy: upravlenie, ekonomika, transport, pravo (Information technologies end system: management, economy, transport, benefit)*. № 2(18). P. 32–38 (in Russian).
- Sidelev S.I., Babanazarova O.V. 2008. The link analysis of the pigmentary and structural characteristics of the high-eutrophic lake phytoplankton. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya (Journal of Siberian Federal University. Biology)*. Vol. 1. № 2. P. 162–177 (in Russian).
- Sirotin A.L., Siroтина M.V. 2022. The structure of zooplankton community in different biotopes of small rivers in the Kologrivsky cluster of the Natural State Reserve “Kologrivsky Forest”. *Transformaciya ekosistem (Ecosystem Transformation)*. Vol. 5. № 4(18). P. 112–125 (in Russian).
- Solntsev L., Gavrilenko O., Shishlova D., Dushkova D. 2006. Monitoring of water pollution in water bodies of the Sarov town and the Mordovia State Nature Reserve using bioindication methods. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika im. P.G. Smidovicha (Proceedings of the Mordovia State Nature Reserve)*. № 7. P. 114–179 (in Russian).
- Stasyuk Yu.M., Chachina S.B. 2021. Use of aquatic plants Vallisneria and hornwort as wastewater treatment methods. *Proceedings of the International scientific and practical conference “Environmental problems of the region and ways to solve them”*. Omsk: Omsk State Technical University. P. 60–64 (in Russian).

- Sutorihin I.A., Akulova O.B., Bukatyj V.I., Frolenkov I.M. 2017. Evaluation of trophic status of freshwater lakes in altaikrai in 2013–2016 with hydro-optical characteristics. *Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta (Izvestiya of Altai State University)*. № 1(93). P. 58–61. (in Russian).
- Tuzovskij P.V. 1990. Key to water mites deutonymphs. Moscow: Nauka Publ. 238 p. (in Russian).
- Fashchevsky B.V. 2007. The ecological significance of the floodplain in the river ecosystems. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta (Scientific Notes of the RSHU)*. № 5. P. 118–129 (in Russian).
- Khaliullina L.Yu., Yakovlev V.A. 2015. Phytoplankton of shoals in upper reaches of the Kuibyshev reservoir. Kazan: Academy of Science of Republic of the Tatarstan Press Publ. 171 p. (in Russian).
- Chalov R.S. 2023. Floodplain-channel braided reaches: forming conditions and hydrological-morphological characteristics. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya (Moscow University Bulletin. Series 5, Geography)*. № 2. P. 10–21 (in Russian).
- Shmygleva A. V. 2022. Fishery Studies of the Ob-Irtysh River Basin (the First Half of the XX Century). *Vestnik Surgutskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta (Surgut State Pedagogical University Bulletin)*. № 6(81). P. 17–24 (in Russian).
- Yavid E.Ya., Hodonovich V.V., Fisak E.M. et al. 2020. Variability of the aquatic macrophytes metabolome depending on the habitat, with a substantive review of the phytoplankton composition. *Proceedings of the International scientific conference on aquatic macrophytes “Hydrobotany 2020”*. Borok: IBIW RAS. P. 186–187 (in Russian).
- Yakovlev V.A. 1988. Assessment of the Kola North surface waters quality by hydrobiological indicators and the bio/testing data (practical recommendations). Apatity: Kolskiy filial AN SSSR. 28 p. (in Russian).
- Yanygina L.V. 2022. Influence of the industrial and residential agglomeration of Gorno-Altaysk on the ecological state of the Ulalushka river. *Izvestiya Altajskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva (Proceedings of the Altai Branch of the Russian Geographical Society)*. № 2(65). P. 82–91 (in Russian).
- Jiang X., Sun X., Alahuhta J. et al. 2022. Responses of multiple facets of macroinvertebrate alpha diversity to eutrophication in floodplain lakes. *Environmental Pollution*. Vol. 306 (1). DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119410 (in Russian).
- Pan B., Wang H., Wang H. 2014. A floodplain-scale lake classification based on characteristics of macroinvertebrate assemblages and corresponding environmental properties. *Limnologica*. Vol. 49. P. 10–17. DOI: 10.1016/j.limno.2014.07.003 (in Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Сафонова Марина Алексеевна – Институт водных и экологических проблем СО РАН; 656038, Россия, Барнаул; аспирант лаборатории гидробиологии; marisha-safonova@mail.ru. SPIN-код: 6846-1858, Author ID: 1221918.

Safonova Marina Alexeevna – Institute for Water and Environmental Problems of the SB of the RAS; 656038, Russia, Barnaul; Postgraduate of the Hydrobiology Laboratory; marisha-safonova@mail.ru. SPIN-code: 6846-1858, Author ID: 1221918.

Ширинина Марина Константиновна – Институт водных и экологических проблем СО РАН; 656038, Россия, Барнаул; аспирант лаборатории гидробиологии; shirinina.marina@mail.ru. SPIN-код: 5661-6433, Author ID: 1101091.

Shirinina Marina Konstantinovna – Institute for Water and Environmental Problems of the SB of the RAS; 656038, Russia, Barnaul; Postgraduate of the Hydrobiology Laboratory; shirinina.marina@mail.ru. SPIN-code: 5661-6433, Author ID: 1101091.

Котовщиков Антон Викторович – Институт водных и экологических проблем СО РАН; 656038, Россия, Барнаул; кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии ИВЭП СО РАН; kotovschik@iwep.ru. SPIN-код: 8164-9372, Author ID: 172575.

Kotovshchikov Anton Viktorovich – Institute for Water and Environmental Problems of the SB of the RAS; 656038, Russia, Barnaul; Candidate of Biological Sciences; Senior Researcher of Hydrobiology Laboratory IWEP SB RAS; kotovschik@iwep.ru. SPIN-code: 8164-9372, Author ID: 172575.

Яныгина Любовь Васильевна – Институт водных и экологических проблем СО РАН; 656038, Россия, Барнаул; Алтайский государственный университет; 656049, Россия, Барнаул; доктор биологических наук; зав. лабораторией гидробиологии ИВЭП СО РАН, главный научный сотрудник; доцент; профессор кафедры зоологии и физиологии АлтГУ; zoo@iwep.ru. SPIN-код: 7390-5775, Author ID: 97010.

Yanygina Liubov Vasilievna – Institute for Water and Environmental Problems of the SB of the RAS; 656038, Russia, Barnaul; Altay State University; 656049, Russia, Barnaul; Doctor of Biological Sciences; Head of the Hydrobiology Laboratory IWEP SB RAS, Chief Researcher; Docent; Professor of Zoology and Physiology Chair, ASU; zoo@iwep.ru. SPIN-code: 7390-5775, Author ID: 97010.

Статья поступила в редакцию 24.11.2023; одобрена после рецензирования 15.03.2024; статья принята к публикации: 29.03.2024.

The article was submitted 24.11.2023; approved after reviewing 15.03.2024; accepted for publication 29.03.2024.

УДК [599.3:591.9](234.85)

DOI: 10.17217/2079-0333-2024-67-80-94

СООБЩЕСТВА МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ТОБОЛО-ИШИМСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Стариков В.П., Володина О.Ю., Кравченко В.Н., Тарикулиева С.Э., Ялымова Д.М.

Сургутский государственный университет, г. Сургут, ул. Ленина, 1.

В работе обобщен материал по населению мелких млекопитающих северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья (Южное Зауралье). Рассмотрена краткая история изучения этой группы животных. Использование двух методов учета (конусы с направляющими системами и ловушко-линии) позволило наиболее полно выявить видовой состав. На изученной территории зарегистрировано 18 видов насекомоядных и грызунов. В то же время видовой состав, группа фоновых и доминирующих видов, показатели суммарного обилия мелких млекопитающих изученной территории во многом определялись спецификой метода учета животных. Ядро мелких млекопитающих северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья составили виды, тяготеющие к увлажненным местообитаниям, – обыкновенная и малая бурозубки. В целом вне зависимости от метода учета животных в исследуемый период они характеризовались низкими показателями обилия.

Ключевые слова: грызуны, насекомоядные, северная лесостепь, сообщества, Тоболо-Ишимское междуречье, Южное Зауралье.

COMMUNITIES OF SMALL MAMMALS IN THE NORTHERN FOREST-STEPPE OF THE TOBOL-ISHIM INTERFLUVIAL AREA

Starikov V.P., Volodina O.Y., Kravchenko V.N., Tarikulieva S.E., Yalymova D.M.

Surgut State University, Surgut, Lenin Str. 1.

The paper summarises the material on the communities of small mammals in the northern forest-steppe of the Tobol-Ishim interfluvium (the South Trans-Ural region). A brief history of the study of this group of animals is reviewed. The use of two accounting methods (cones with guide systems and trap lines) made it possible to identify the species composition most fully. 18 species of insectivores and rodents have been registered in the studied territory. At the same time, the species composition, the group of background and dominant species, and the indicators of the total abundance of small mammals in the studied territory were largely determined by the specifics of the animal accounting method. The core of small mammals of the northern forest-steppe of the Tobolo-Ishim interfluvium consisted of species tending to moistened habitats – common and pigmy shrew. In general, regardless of the method of accounting animals, they were characterized by low abundance in the study period.

Key words: rodents, insectivores, northern forest-steppe, communities, Tobol-Ishim interfluvium, the South Trans-Ural region.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования проведены на территории северо-восточной части Курганской области (Южное Зауралье), которая расположена на границе леса и степи.

В соответствии со схемой ботанико-географического районирования Западно-Сибирской равнины здесь выделяют подтаежную подзону лесной зоны и две подзоны степной зоны – лесостепь (северная и южная широтные полосы) и разнотравно-дерновинно-злаковую степь [Ильина и др., 1977, 1985; Науменко, 2008]. Территория наших исследований – северная лесостепь Тоболо-Ишимского междуречья характеризуется исключительной равнинностью, преобладанием слабодренированных бессточных пространств, обилием болот и озер, облесенностью 45–60%, континентальностью климата, высокой засоленностью вод – грунтовых, речных, озерных [Никифоров, 1959; Ступина, 1965; Науменко, 2008; и др.].

Одной из важнейших составляющих сообществ региона являются широко представленные здесь мелкие млекопитающие, главным образом, насекомоядные и грызуны. Первые сведения о млекопитающих Южного Зауралья можно встретить в работах П.С. Палласа [1786], Л.П. Сабанеева [1874], И.Я. Словцова [1892], М.К. Серебренникова [1929]. Однако особенно интенсивно и всесторонне эта группа животных изучалась во второй половине XX в. ([Шварц, 1955; Шварц и др., 1957; Никифоров, 1959; Марвин, 1969; Большаков, 1977; Новикова, 1977; Стариков, Кочуров, 1986; Стариков, Сапегина, 1986; Никольский, Стариков, 1997; и др.], а также в настоящее время [Русakov, Стариков, 2013; Стариков, 2020; Стариков, Вершинин, 2020; и др.].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В апреле – августе 2023 г. сборы мелких млекопитающих выполнены в подзоне лесостепи (широтная полоса северной лесостепи) на территории Курганской области в Мокроусовском районе вблизи села Куртан (55°46 с. ш. 67°11 в. д.). В 2020, 2021 и 2022 гг. подобные исследования проведены соответственно в широтной полосе южной лесостепи, подтайге и разнотравно-дерновинно-злаковой степи [Стариков и др., 2023а]. В 2023 г. в северной лесостепи Южного Зауралья, как и в других точках, мелких млекопитающих отлавливали с помощью конусов с направляющими системами [Наумов, 1955; Охотина, Костенко, 1974] и метода ловушко-линий [Кучерук, 1963]. Всего отработано 15 505 конусо-суток и 10 712 давилко-суток, отловлено 905 особей насекомоядных и грызунов 17 видов: обыкновенная бурозубка *Sorex araneus* Linnaeus, 1758, тундряная бурозубка *S. tundrensis* Merriam, 1900, крупнозубая бурозубка *S. daphaenodon* Thomas, 1907, средняя бурозубка *S. caecutiens* Laxmann, 1788, малая бурозубка *S. minutes* Linnaeus, 1766, крошечная бурозубка *S. minutissimus* Zimmermann, 1780, обыкновенная кутора *Neomys fodiens* Pennant, 1771, лесная мышовка *Sicista betulina* Pallas, 1779, красная полевка *Myodes rutilus* Pallas, 1779, узкочерепная полевка *Lasiopodomys gregalis* Pallas, 1779, темная (пашенная) полевка *Agricola agrestis* Linnaeus, 1761, полевка-экономка *Alexandromys oeconomus* Pallas, 1776, обыкновенная полевка *Microtus arvalis* Pallas, 1778, мышья-малютка *Micromys minutus* Pallas, 1771, полевая мышь *Apodemus agrarius* Pallas, 1771, малая лесная мышь *Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811, домовая мышь *M. musculus* Linnaeus, 1758. Кроме указанных видов мелких млекопитающих, с помощью капканов

в окрестностях села Куртан добыто три особи краснощекого суслика *Spermophilus erythrogeus* Brandt, 1841.

Русские и латинские названия видов млекопитающих приведены по А.А. Лисовскому с соавторами [2019]. Обилие насекомых и грызунов оценивали с помощью балльной шкалы А.П. Кузякина [1962] с добавлением верхних и нижних градаций [Равкин, Ливанов, 2008]. При сопоставлении данных по населению мелких млекопитающих северной лесостепи с другими крупными выделами Южного Зауралья мы использовали индекс доминирования. Этот индекс (доля особей одного вида от их суммарного обилия) наиболее адекватен для решения одной из основных задач исследования – выявления географических различий участия видов мелких млекопитающих в их сообществах. Главным образом это определялось тем, что популяции животных в разные годы находились на различных фазах динамики численности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Мы придерживаемся мнения В.Е. Флинта [1977] и других зоологов о том, что фауна мелких млекопитающих лесостепи не специфична и складывается из видов либо типичных для соседних ландшафтно-географических зон (лесная и степная зоны), либо имеющих широкое интразональное распределение.

Результаты изучения видового состава мелких млекопитающих, соотношение фоновых и доминирующих видов, показатели суммарного обилия во многом определяются спецификой используемых методов учета животных. Это неоднократно подтверждалось в наших предыдущих исследованиях, нашло подтверждение и в северной лесостепи Тоболо-Ишимского между-

речья. Так, с помощью метода ловушкочертовых для этой территории в течение апреля – августа 2023 г. удалось установить лишь восемь видов землероек и грызунов (табл. 1). При этом виды многочисленные, обычные и редкие отсутствовали. Сообщество мелких млекопитающих было представлено лишь очень редкими и чрезвычайно редкими видами (в целом по стационару). Группу доминантов в порядке убывания составили: красная полевка, полевка-экономка, малая лесная мышь, а также обыкновенная и тундрная бурозубки. Более всего животных встречалось в увлажненных и облесенных (закрытых) биотопах.

Совершенно иная ситуация в учетах животных в конусы с помощью направляющих систем (табл. 2). В этом случае в биотопах окрестностей села Куртан зарегистрировано в два раза больше видов – 16 (дальнейшие обсуждения ряда сторон биологии этих животных будет проводиться с учетом использования этого метода). В качестве фоновых видов зарегистрированы обыкновенная и малая бурозубки (обычны в среднем по стационару). Они же, а также тундрная бурозубка составили группу доминантов. В качестве основных содоминантов учтены средняя бурозубка и полевка-экономка. Вместе на их долю приходилось более 75% от суммарного обилия всех учтенных мелких млекопитающих. Подавляющая часть (11 видов) грызунов и землероек, учтенных с помощью направляющих систем, отнесены к группе редких. Крупнозубая и крошечная бурозубки, а также обыкновенная полевка – очень редкие виды для изученной территории. Максимальные показатели суммарного обилия животных в весенне-летний период 2023 г. в природных местообитаниях зарегистрированы в группе увлажненных биотопов, а самые низкие – в биотопах села Куртан (табл. 2).

Таблица 1. Распределение и обилие (особей на 100 давилко-суток) мелких млекопитающих северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья (окрестности и село Куртан Мокроусовского района Курганской области, апрель – август 2023 г.)

Table 1. Distribution and abundance (individuals per 100 trap-days) of small mammals in the northern forest-steppe of the Tobol-Ishim interfluve (neighbourhood and Kurtan village, Mokrousovo District, Kurgan Oblast, April – August 2023)

Группы биотопов, биотопы	Виды								Суммарное обилие
	<i>S. araneus</i>	<i>S. tundrensis</i>	<i>S. minutus</i>	<i>M. rutilus</i>	<i>A. oeconomus</i>	<i>M. arvalis</i>	<i>S. uralensis</i>	<i>M. musculus</i>	
Увлажненные									
Тростниковое займище	0,72	0,67	0,08	–	0,67	–	–	0,04	2,18
Осоково-разнотравное закустаренное низинное болото	0,25	–	–	–	–	–	–	–	0,25
Ивняково-разнотравные заболоченные заросли	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Осиново-злаковые заболоченные заросли	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Среднее по группе биотопов	0,24	0,17	0,02	–	0,17	–	–	0,01	0,61
Облесенные (закрытые)									
Березняк шиповниково- разнотравный	–	–	–	0,62	0,49	–	–	–	1,11
Березово-осиновый кустарниково- разнотравный лес	–	–	–	0,34	–	–	0,42	–	0,76
Посадки сосново- березовые злаково- разнотравные	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Среднее по группе биотопов	–	–	–	0,32	0,16	–	0,14	–	0,62
Полуоткрытые									
Злаково-разнотравный приколочный луг	–	–	–	–	–	–	0,17	–	0,17
Антропогенные (с. Куртан)									
Кленовые мертвопокров- ные заросли	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Огород	–	–	–	–	–	0,10	–	–	0,10
Среднее по группе биотопов	–	–	–	–	–	0,05	–	–	0,05
Среднее на территории исследования	0,06	0,04	0,005	0,08	0,08	0,01	0,08	0,003	0,358

Таблица 2. Распределение и обилие (особей на 100 конусо-суток) мелких млекопитающих северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья (окрестности и село Курган Мокроусовского района Курганской области, апрель – август 2023 г.).

Table 2. Distribution and abundance (individuals per 100 cone-days) of small mammals in the northern forest-steppe of the Tobol-Ishim interfluvium (neighbourhood and Kurtan village, Mokrousovo District, Kurgan Oblast, April – August 2023)

Биотопы, группы биотопов	Виды													Суммарное обилие			
	<i>S. araneus</i>	<i>S. tundrensis</i>	<i>S. daphaeno-</i> <i>don</i>	<i>S. caecutiens</i>	<i>S. minutus</i>	<i>S. minutissimus</i>	<i>N. fodiens</i>	<i>S. betulina</i>	<i>M. rutilus</i>	<i>L. gregalis</i>	<i>A. agrestis</i>	<i>A. oeconomus</i>	<i>M. arvalis</i>		<i>M. minutus</i>	<i>A. agrarius</i>	<i>S. uraltensis</i>
Увлажненные																	
Осоковое низинное открытое болото	22,00	6,05	1,92	0,95	9,86	-	2,54	-	-	-	-	4,13	-	0,65	-	-	48,10
Тростниковое займище	13,39	1,19	0,30	-	5,64	0,30	0,59	-	-	-	-	6,53	-	1,19	-	-	29,13
Осоково-разнотравное закустаренное низин- ное болото	6,18	0,51	-	1,19	4,59	-	0,14	0,78	0,41	0,14	0,78	1,32	0,14	0,27	-	-	16,45
Осиново-элаковые заболоченные заросли	4,19	1,16	-	3,48	2,78	-	-	-	1,62	0,24	0,92	0,24	-	-	0,24	0,24	15,11
Ивняково-разно- травные заболоченные заросли	2,08	-	-	1,16	1,62	-	-	0,24	1,62	0,24	-	-	-	-	0,24	0,24	7,20
Среднее по группе биотопов	9,57	1,78	0,44	1,36	4,90	0,06	0,65	0,20	0,73	0,12	0,34	2,44	0,03	0,42	0,05	0,10	23,19
Облесенные (закрытые)																	
Березняк шиповнико- во-разнотравный	1,52	0,96	-	3,97	2,37	-	0,17	0,37	2,09	0,34	0,17	0,51	-	-	-	0,71	13,18
Березово-осиновый кустарниково-разно- травный лес	0,58	0,39	-	0,20	0,44	-	-	-	0,68	0,20	-	0,49	-	0,10	-	0,49	3,57
Посадки сосново-бере- зовые элаково-разно- травные	0,37	-	0,09	0,93	0,56	-	-	0,09	0,28	-	-	0,09	-	-	-	0,09	2,50
Среднее по группе биотопов	0,82	0,45	0,03	1,70	1,12	-	0,06	0,15	1,02	0,18	0,06	0,36	-	0,03	-	0,43	5,59

Окончание табл. 2

The end of the Table 2

Биотопы, группы биотопов	Виды													Суммарное обилие			
	<i>S. araneus</i>	<i>S. tundraensis</i>	<i>S. daphaenodon</i>	<i>S. caecutiens</i>	<i>S. minutus</i>	<i>S. minutissimus</i>	<i>N. fodens</i>	<i>S. betulina</i>	<i>M. rutilus</i>	<i>L. gregalis</i>	<i>A. agrestis</i>	<i>A. oeconomus</i>	<i>M. arvalis</i>		<i>M. minutus</i>	<i>A. agrarius</i>	<i>S. uraltensis</i>
Полуоткрытые																	
Экотон: Березово-осиновый смородиновощиповниковый разнотравный лес; сенокос злаково-разнотравный	0,46	2,46	-	0,68	0,97	0,09	-	-	0,09	1,06	0,49	0,43	0,29	0,29	0,29	0,66	8,26
Злаково-разнотравный приколочный луг	1,45	0,76	-	0,88	0,98	-	0,41	-	0,88	0,10	0,19	0,19	0,19	0,29	0,10	0,29	6,62
Среднее по группе биотопов	0,96	1,61	-	0,78	0,98	0,05	0,21	-	0,49	0,58	0,31	0,24	0,29	0,29	0,20	0,48	7,48
Открытые																	
Сенокос злаково-разнотравный	1,50	1,80	-	-	1,50	-	-	-	-	2,00	0,40	-	0,20	0,20	-	-	7,40
Крапивно-разнотравные заросли	0,55	0,09	-	0,17	1,33	0,09	-	1,59	0,05	0,33	0,05	0,09	0,05	0,05	-	-	4,24
Среднее по группе биотопов	1,03	0,95	-	0,09	1,42	0,05	-	0,70	0,03	1,17	0,23	0,05	0,13	0,13	-	-	5,88
Антропогенные (с. Курган)																	
Кленовые мертворожденные заросли	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Огород	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68	-	0,68
Среднее по группе биотопов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	-	0,34
В среднем по территории исследования	2,48	0,96	0,09	0,79	1,68	0,03	0,18	0,21	0,45	0,41	0,23	0,06	0,17	0,12	0,20	0,20	8,73

Примечание. В среднем по территории выделены жирным фонные виды

Note. Background species are marked in bold on average for the territory

**Повидовой обзор
мелких млекопитающих
северной лесостепи
Тоболо-Ишимского междуречья**

Обыкновенная бурозубка. Один из эвритопных видов землероек [Юдин, 1962; Шефтель, 1990; и др.]. В Южном Зауралье фоновый вид среди мелких млекопитающих. Зверек преобладал среди всех землероек в южной и северной лесостепи. В подтайге эта бурозубка уступала по доминированию средней бурозубке, а в разнотравно-дерновинно-злаковой степи – тундряной бурозубке [Стариков и др., 2023а].

Тундряная бурозубка в Южном Зауралье – вид открытых и полуоткрытых местообитаний [Стариков, Кочуров, 1986]. Сходные предпочтения к подобным местообитаниям свойственны ей в центральной и восточной частях юга Западно-Сибирской равнины [Юдин, 1969; Дупал, Литвинов, 2007; Новикова, Богомолова, 2007]. Максимальные показатели ее обилия характерны для разнотравно-дерновинно-злаковой степи. По мере движения к северу (подтайга) ее доля в сообществе мелких млекопитающих резко падает; здесь тундряной бурозубки более чем в 30 раз меньше, чем в степи.

Крупнозубая бурозубка – восточный палеаркт. На юге Западно-Сибирской равнины ее наибольшая численность в восточной части равнины [Максимов, 1959; Юдин, 1969]. В Южном Зауралье крупнозубая бурозубка редкий вид, внесена в Красную книгу Курганской области [2002, 2012]. Основные ее находки в Курганской области сосредоточены в Тоболо-Ишимском междуречье, где чаще всего этот зверек отлавливался на низинных болотах.

Средняя бурозубка широко представлена по территории Южного Зауралья, тяготеет к таежным формациям. Наибольшая доля средней бурозубки (от суммарно-

го обилия мелких млекопитающих) зарегистрирована в подтайге. Здесь в 2021 г. она доминировала среди всех землероек. В то же время этот зверек избегает открытых пространств; в разнотравно-дерновинно-злаковой степи в 2022 г. ее вклад в сообщество мелких млекопитающих был более чем в 100 раз ниже по сравнению с подтайгой [Стариков и др., 2023а].

Малая бурозубка – фоновый вид мелких млекопитающих Южного Зауралья, широко и равномерно представлен в Курганской области. В целом на изученной территории северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья (по доле от суммарного обилия) занимала второе место среди всех мелких млекопитающих (табл. 2), уступая лишь обыкновенной бурозубке. По характеру предпочтения местообитаний близка к обыкновенной бурозубке [Юдин, 1962; Michielsen, 1966; Churchfield, 1990].

Крошечная бурозубка – редкий для Южного Зауралья вид, внесен в Красную книгу Курганской области [2002, 2012]. По обилию занимает одно из последних мест среди землероек Южного Зауралья. Отмечена на всей территории, за исключением подтайги. Встречается, как правило, в открытых и полуоткрытых местообитаниях.

Обыкновенная кутора встречается на всей территории Южного Зауралья. В северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья в 2023 г. редка. Наибольшие показатели обилия зарегистрированы в группе увлажненных биотопов, чаще всего встречалась на осоковых низинных открытых болотах.

Лесная мышовка в северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья в 2023 г. отнесена к редким видам, однако в целом по многолетним данным в Южном Зауралье это обычный вид, более тяготеющий к облесенным (закрытым) биотопам.

Красная полевка – в Южном Зауралье широко распространенный, обычный или многочисленный вид, приурочен к облесенным местообитаниям [Шварц и др., 1957; Никифоров, 1959; Стариков, Кочуров, 1986]. В 2023 г. в северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья эта полевка отнесена к редким видам.

Узкочерепная полевка – вид открытых пространств, встречается на всей территории Южного Зауралья. К северу в связи с сокращением пригодных для узкочерепной полевки биотопов обилие ее резко снижается. В северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья в 2023 г. максимальные показатели обилия отмечены в группе открытых и полуоткрытых биотопов.

Темная (пашенная) полевка на территории Южного Зауралья, в том числе в учетах 2023 г. редка. Лишь в 2020 г. в южной лесостепи Зауралья была обычной; среди всех учтенных мелких млекопитающих по обилию уступала только обыкновенной бурозубке. Зверек придерживается облесенных и увлажненных местообитаний.

Полевка-экономка – гигрофильный вид, в разных частях ареала заселяет специфический набор биотопов, включая интразональные формации, связанные с заболоченными побережьями водоемов разного типа – пойм рек, пресных озер, ручьев [Zimmermann, 1942; Карасева и др., 1957; Tast, 1966; Громов, Поляков, 1977; Флинт, 1977; Бобрецов, 2016; Стариков и др., 2023б]. Не исключением является и Тоболо-Ишимское междуречье. Здесь она обычна в группе увлажненных биотопов, в облесенных (закрытых), полуоткрытых и открытых – редка.

Обыкновенная полевка широко представлена в Южном Зауралье, обычна, с наибольшими показателями обилия в разнотравно-дерновинно-злаковой степи. В 2023 г. в северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья повсеместно очень редка.

Мышь-малютка – широко распространенный, обычный вид в Южном Зауралье. В 2023 г. в северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья редкий вид.

Полевая мышь – в Южном Зауралье широко распространенный вид, тяготеет к поймам крупных рек (Тобол, Исеть, Миасс). В 2020–2023 гг. на всей территории исследования (Курганская область) полевая мышь редкий или очень редкий вид. Особенно низкие показатели обилия характеризовали ее в разнотравно-дерновинно-злаковой степи [Стариков и др., 2023а].

Малая лесная мышь – широко распространенный, обычный или многочисленный вид Южного Зауралья. Обилие ее падает в северном направлении – от разнотравно-дерновинно-злаковой степи к подтайге. В 2023 г. в северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья в учетах конусами с помощью направляющих систем редка, в учетах давилками – очень редка.

Домовая мышь – синантропный грызун. В северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья зарегистрирована на тростниковом займище (отловлена единично в давилку) вблизи с. Куртан. В районе наших работ в лесостепи домовая мышь летом практически не связана с жилищем и хозяйственными постройками человека, а на зимний период переселяется в населенные пункты [Тупикова, 1947]. В 2022 г. в разнотравно-дерновинно-злаковой степи встречалась как в населенном пункте (с. Озёрное), так и во многих природных биотопах на удалении от села до 1,5 км и более [Стариков и др., 2023а].

По сравнению с исследованиями 1954–1955 гг., проведенными Л.П. Никифоровым [1959], в сборах мелких млекопитающих (2023 г.) в северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья отсутствовала лишь рыжая полевка *Myodes glareolus* Schreber, 1780, хотя и в прошлые годы

зверек здесь был очень редок. В то же время наши исследования позволили пополнить список видов мелких млекопитающих этой территории (тундряная, крупнозубая, крошечная бурозубки, обыкновенная кутора, лесная мышовка и домовая мышь).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Всего на изученной территории северной лесостепи Тоболо-Ишимского междуречья установлено обитание представителей 18 видов насекомоядных и грызунов. Среди используемых методов отлова эффективнее работали конусы с направляющими системами (ловчие канавки, заборчики из полиэтиленовой пленки) по сравнению с методом ловушко-линий. В последнем случае разное отношение животных к приманке, их размеры не позволили сравнительно полно выявить видовой состав. Сообщество мелких млекопитающих северной лесостепи полидоминантно. Это установлено как с помощью конусов с направляющими системами (обыкновенная, малая и тундряная бурозубки), так и ловушко-линий (красная полевка, полевка-экономка, малая лесная мышь, обыкновенная и тундряная бурозубки). В 2023 г. мелкие млекопитающие территории исследования характеризовались низкими показателями обилия. Подавляющее большинство насекомоядных и грызунов отнесены к редким и очень редким видам. Многочисленные виды в среднем по стационарному участку, вне зависимости от метода учетов, отсутствовали. Предполагая, мы можем это связать с возможной депрессией численности, поскольку погодные условия в 2023 г. были близки к среднемноголетним. Животные в основном концентрировались в увлажненных и облесенных (закрытых) биотопах, где условия существования для мелких млекопитаю-

щих более стабильны по сравнению с группой открытых и полукрытых биотопов.

ЛИТЕРАТУРА

- Бобрецов А.В. 2016. Популяционная экология мелких млекопитающих равнинных и горных ландшафтов Северо-Востока Европейской части России. Москва: Тов-во науч. изд. КМК. 381 с.
- Большаков В.Н. 1977. Звери Урала. Свердловск: Средне-Уральское кн. изд-во. 136 с.
- Громов И.М., Поляков И.Я. 1977. Полевки (Microtinae). Серия Фауна СССР. Млекопитающие. Т. 3. Вып. 8. Ленинград: Наука. 504 с.
- Дупал Т.А., Литвинов Ю.Н. 2007. Изучение структуры сообществ насекомоядных млекопитающих (Insectivora, Mammalia) в степной зоне Западной Сибири в связи с сукцессиями и антропогенной трансформацией ландшафта. *Материалы Всероссийской научной конференции по биологии насекомоядных млекопитающих «Биология насекомоядных млекопитающих»*. Новосибирск. С. 41–42.
- Ильина И.С., Лапшина Е.И., Махно В.Д., Романова Е.А. 1977. Принципы составления обзорной карты растительности Западно-Сибирской равнины. Геоботаническое картографирование. Ленинград: Наука. С. 41–58.
- Ильина И.С., Лапшина Е.И., Лавренко Н.Н. и др. 1985. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука. 251 с.
- Карасева Е.В., Нарская Е.В., Бернштейн А.Д. 1957. Полевка-экономка, обитающая в окрестностях озера Неро. *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический*. Т. 62. Вып. 3. С. 5–18.

- Красная книга Курганской области. 2002. Курган: Зауралье. 424 с.
- Красная книга Курганской области. 2012. Изд. 2-е. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та. 448 с.
- Кузякин А.П. 1962. Зоогеография СССР. *Ученые записки Московского областного педагогического института имени Н.К. Крупской*. Т. 109. Вып. 1. С. 3–182.
- Кучерук В.В. 1963. Новое в методике количественного учета грызунов и землероек. Организация и методика учета птиц и вредных грызунов. Москва: Изд-во АН СССР. С. 159–184.
- Лисовский А.А., Шефтель Б.И., Савельев А.П. и др. 2019. Млекопитающие России: список видов и прикладные аспекты. *Сборник трудов Зоологического музея МГУ*. Т. 56. Москва: Тов-во науч. изд. КМК. 191 с.
- Максимов А.А. 1959. Фауна млекопитающих в природных очагах туляремии Западной Сибири и роль водяной крысы как основного эпидемически опасного вида грызунов в этих очагах. Водяная крысы и борьба с ней в Западной Сибири. Новосибирск: Кн. изд-во. С. 217–237.
- Марвин М.Я. 1969. Фауна наземных позвоночных животных Урала. Вып. 1. Млекопитающие. Свердловск: УрГУ. 155 с.
- Науменко Н.И. 2008. Флора и растительность Южного Зауралья. *Монография*. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та. 512 с.
- Наумов Н.П. 1955. Изучение подвижности и численности мелких млекопитающих с помощью ловчих канавок. В кн.: Вопросы краевой, общей и экспериментальной паразитологии и медицинской зоологии. Москва: Медгиз. Т. 9. С. 179–202.
- Никифоров Л.П. 1959. Опыт биосъемки населения млекопитающих Тоболо-Ишимской лесостепи. В кн.: География населения наземных животных и методы его изучения. Москва: Изд-во АН СССР. С. 7–22.
- Никольский А.А., Стариков В.П. 1997. Изменчивость звукового сигнала, предупреждающего об опасности у рыжеватого (*Spermophilus major*) и краснощекого (*S. erythrogenus*) сусликов (Rodentia, Sciuridae) в зоне контакта на территории Курганской области. *Зоологический журнал*. Т. 76. № 7. С. 845–857.
- Новикова А.В. 1977. Фаунистические компоненты природных очагов туляремии Курганской области. *Автореферат диссертации ... канд. биол. наук*. Свердловск. 25 с.
- Новикова Е.В., Богомолова И.Н. 2007. Численность и распределение землероек Омского Прииртышья. *Материалы Всероссийской научной конференции по биологии насекомоядных млекопитающих «Биология насекомоядных млекопитающих»*. Новосибирск. С. 85–87.
- Охотина М.В., Костенко В.А. 1974. Полиэтиленовая пленка – перспективный материал для изготовления ловчих заборчиков. *Труды Биолого-почвенного института «Фауна и экология позвоночных животных юга Дальнего Востока СССР»*. Новая серия. Т. 17. Владивосток. С. 193–196.
- Паллас П.С. 1786. Путешествие по разным местам Российского государства. Санкт-Петербург: Изд-во С-Петербургского ун-та. Ч. 2. Кн. 2. 571 с.
- Равкин Ю.С., Ливанов С.Г. 2008. Факторная зоогеография: принципы, методы и теоретические представления. Новосибирск: Наука. 205 с.
- Русаков В.А., Стариков В.П. 2013. Население мелких млекопитающих и типизация незастроенных территорий города

- Кургана. *Известия Самарского научного центра РАН*. Т. 15. № 3. С. 1142–1145.
- Сабанеев Л.П. 1874. Позвоночные Среднего Урала и географическое распространение их в Пермской и Оренбургской губерниях. Москва: Типография Готье. 204 с.
- Серебренников М.К. 1929. Материалы по систематике и экологии грызунов (Mammalia, Rodentia) Южного Зауралья. В кн.: Ежегодник Зоологического музея АН СССР. 1929. С. 251–284.
- Словцов И.Я. 1892. Позвоночные Тюменского округа и их распространение в Тобольской губернии. В кн.: Материалы к познанию фауны и флоры Российской империи. Отделение зоологическое. Вып. 1. С. 187–264.
- Стариков В.П. 2020. Эктопаразиты степной пеструшки *Lagurus lagurus* Pallas, 1773 Южного Зауралья (Курганская область) в связи с природной очаговостью туляремии. *Вестник Нижневартковского государственного университета*. № 2. С. 102–109.
- Стариков В.П., Вершинин Е.А. 2020. Паразитические членистоногие обыкновенной слепушонки *Ellobius talpinus* Pallas, 1770 Южного Зауралья (Курганская область). *Паразитология*. Т. 54. № 2. С. 152–162.
- Стариков В.П., Кочуров В.Н. 1986. Терионаселение Курганской области. *Сборник научных трудов «Фауна позвоночных Урала и сопредельных территорий»*. Свердловск: УрГУ. С. 13–27.
- Стариков В.П., Кравченко В.Н., Володина О.Ю. и др. 2023а. Биогеографическая характеристика мелких млекопитающих разнотравно-дерновинно-злаковой степи и прилежащих территорий Южного Зауралья (Курганская область). *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле*. 2023. Т. 33. Вып. 1. С. 15–24.
- Стариков В.П., Кравченко В.Н., Володина О.Ю. 2023б. Размножение и структура популяции полевки-экономки *Alexandromys oesonotus* Pallas, 1776 (Cricetidae, Rodentia) в Южном Зауралье. *Поволжский экологический журнал*. № 2. С. 229–245.
- Стариков В.П., Сапегина В.Ф. 1986. Эктопаразиты мелких млекопитающих лесостепного Зауралья. *Известия СО АН СССР*. Новосибирск: Наука. Вып. 3. С. 76–83.
- Ступина Н.М. 1965. Западно-Сибирская лесостепь (природные условия и сельскохозяйственное использование). *Автореферат диссертации ... канд. геогр. наук*. Москва. 16 с.
- Тупикова Н.В. 1947. Экология домовой мыши средней полосы СССР. Фауна и экология грызунов. Материалы по грызунам. Москва: Изд-во МОИП. Вып. 2. С. 5–65.
- Флинт В.Е. 1977. Пространственная структура популяций мелких млекопитающих. Москва: Наука. 183 с.
- Шварц С.С. 1955. Биология землероек лесостепного Зауралья. *Зоологический журнал*. Т. 34. Вып. 4. С. 915–927.
- Шварц С.С., Павлинин В.Н., Сюзюмова Л.М. 1957. Теоретические основы построения прогнозов численности мышевидных грызунов в лесостепном Зауралье. *Труды Института биологии УфАН СССР*. Вып. 8. С. 3–59.
- Шефтель Б.И. 1990. Анализ пространственного распределения землероек в средней енисейской тайге. Экологическая организация и сообщества. Москва: Наука. С. 15–31.
- Юдин Б.С. 1962. Экология бурозубок (род *Sorex*) Западной Сибири. *Труды Биологического института СО АН СССР «Вопросы экологии, зоогеографии и систематики животных»*. Вып. 8.

- Новосибирск: Изд-во СО АН СССР. С. 33–134.
- Юдин Б.С. 1969. Комплексы насекомоядных млекопитающих в ландшафтах Новосибирской области. Биологическое районирование Новосибирской области (в связи с проблемой природноочаговых инфекций). Новосибирск: Наука. С. 131–143.
- Churchfield S. 1990. The natural history of shrews. London: Christofer Helm. 178 p.
- Michielsen N.S. 1966. Intraspecific and interspecific competition in the shrews *Sorex araneus* L. and *S. minutus* L. *Archives Neerlandaises de Zoologie*. Vol. 17. № 1. P. 73–174.
- Tast J. 1966. The Roll vole, *Microtus oeconomus* (Pallas) as an inhabitant of seasonally flooded land. *Annales Zoologici Fennici*. Vol. 3. № 3. P. 127–171.
- Zimmermann K. 1942. Kenntnis von *Microtus oeconomus* (Pallas). *Archiv für Naturgeschichte*. Bd. 11. Heft 2. P. 174–197.
- REFERENCES**
- Bobretsov A.V. 2016. Population ecology of small mammals of plain and mountain landscapes of the North-East of the European part of Russia. Moscow: KMK Scientific Press Ltd. 381 p. (in Russian).
- Bolshakov V.N. 1977. Mammals of the Urals. Sverdlovsk: Sredne-Uralskoye Publ. 136 p. (in Russian).
- Gromov I.M., Polyakov I.Ya. 1977. Voles (Microtinae). Fauna of the USSR. Mammals. Vol. 3. Issue 8. Leningrad: Nauka Publ. 1977. 504 p. (in Russian).
- Dupal T.A., Litvinov Y.N. 2007. Study of the structure of insectivorous mammal communities (Insectivora, Mammalia) in the steppe zone of Western Siberia in connection with succession and anthropogenic transformation of the landscape. *Proceedings of the All-Russian scientific conference on the biology of insectivorous mammals* “Biology of insectivorous mammals”. Novosibirsk. P. 41–42 (in Russian).
- Ilyina I.S., Lapshina E.I., Makhno V.D., Romanova E.A. 1977. Principles of compiling an overview map “Vegetation map of the West Siberian Plain”. *Geobotanical mapping*. Leningrad: Nauka Publ. P. 41–58 (in Russian).
- Ilyina I.S., Lapshina E.I., Lavrenko N.N. et al. 1985. Vegetation cover of the West Siberian Plain. Novosibirsk: Nauka Publ. 251 p. (in Russian).
- Karaseva E.V., Narskaya E.V., Bernstein A.D. 1957. The *Microtus oeconomus* inhabiting the neighbourhood of lake Nero in Yaroslavl region. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelej prirody. Otdelenie biologicheskij (Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series)*. Vol. 62. Issue 3. P. 5–18 (in Russian).
- Red Book of the Kurgan Region. 2002. Kurgan: Zauralye Publ. 424 p. (in Russian).
- Red Book of the Kurgan Region. 2012. 2nd ed. Kurgan: Kurgan State University Publ. 448 p. (in Russian).
- Kuzyakin A.P. 1962. Zoogeography of the USSR. *Uchyonye zapiski Moskovskogo oblastnogo pedagogicheskogo instituta imeni N.K. Krupskoj (Scientific notes of the N.K. Krupskaya MOPI)*. Vol. 109. Issue 1. P. 3–182 (in Russian).
- Kucheruk V.V. 1963. New in the methodology of quantitative counting of rodents and shrews. Organisation and methodology of counting birds and harmful rodents. Moscow: Akad. Nauk SSSR Publ. P. 159–184 (in Russian).
- Lissovsky A.A., Sheftel B.I., Saveljev A.P. et al. 2019. Mammals of Russia: species list and applied issues. *Sbornik trudov Zoologicheskogo muzeya MGU (Archives*

- of Zoological Museum of Moscow State University*). Vol. 56. Moscow: KMK Scientific Press Ltd. 191 p. (in Russian).
- Maksimov A.A. 1959. The fauna of mammals in natural foci of tularemia in Western Siberia and the role of the water rat as the main epidemically dangerous rodent species in these foci. Water rat and its control in Western Siberia. Novosibirsk: Novosibirsk Publ. P. 217–237 (in Russian).
- Marvin M.Ya. 1969. Fauna of terrestrial vertebrates of the Urals. Vol. 1. Mammals. Sverdlovsk: Ural State University Publ. 155 p. (in Russian).
- Naumenko N.I. 2008. Flora and vegetation of the South Trans-Urals region. *Monograph*. Kurgan: Kurgan State University Publ. 512 p. (in Russian).
- Naumov N.P. 1955. Study of the mobility and numbers of small mammals by means of ditch with pitfalls. In: Issues in regional, general and experimental parasitology and medical zoology. Moscow: Medgiz Publ. Vol. 9. P. 179–202 (in Russian).
- Nikiforov L.P. 1959. Experience of biosurvey of mammal community of Tobol-Ishim forest-steppe. In: Geography of the community of terrestrial animals and methods of its study. Moscow: Akad. Nauk SSSR Publ. P. 7–22 (in Russian).
- Nikolsky A.A., Starikov V.P. 1997. Variability of alarm call in *Spermophilus major* and *Spermophilus erythrogenys* (Rodentia, Sciuridae) within contact zone in Kurgan district. *Zoologicheskii zhurnal (Russian Journal of Zoology)*. Vol. 76. № 7. P. 845–857 (in Russian).
- Novikova A.V. 1977. Faunistic components of natural foci of tularaemia in the Kurgan oblast. *Abstract of the candidacy dissertation of biological sciences*. Sverdlovsk. 25 p. (in Russian).
- Novikova E.V., Bogomolova I.N. 2007. Numbers and distribution of shrews of Omsk Irtysh region. *Proceedings of the All-Russian scientific conference on the biology of insectivorous mammals “Biology of insectivorous mammals”*. Novosibirsk. P. 85–87 (in Russian).
- Okhotina M.V., Kostenko V.A. 1974. Polyethylene film is a promising material for the manufacture of catching fences. *Proceedings of the Biological and Soil Institute “Fauna and ecology of vertebrate animals of the south of the Far East of the USSR”*. New series. Vol. 17. Vladivostok. P. 193–196 (in Russian).
- Pallas P.S. 1786. Travelling to different places of the Russian State. St. Petersburg: St. Petersburg University Publ. Ch. 2. Book 2. 571 p. (in Russian).
- Ravkin Yu.S., Livanov S.G. 2008. Factor zoogeography: principles, methods and theoretical generalizations. Novosibirsk: Nauka Publ. 205 p.
- Rusakov V.A., Starikov V.P. 2013. Population of small mammals and vacant territories typification of Kurgan city. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN (Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences)*. Vol. 15. № 3. P. 1142–1145 (in Russian).
- Sabaneev L.P. 1874. Vertebrates of the Middle Urals and their geographical distribution in Perm and Orenburg provinces. Moscow: Gautier's Publ. 204 p. (in Russian).
- Serebrennikov M.K. 1929. Materials on systematics and ecology of rodents (Mammalia, Rodentia) of the South Trans-Ural region. In: Yearbook of the Zoological Museum of the USSR Academy of Sciences. 1929. P. 251–284 (in Russian).
- Slovtsov I.Ya. 1892. Vertebrates of Tyumen district and their distribution in Tobolsk province. In: Materials to the knowledge of fauna and flora of the Russian Empire. Zoological section. Vol. 1. P. 187–264 (in Russian).

- Starikov V.P. 2020. Ectoparasites of a steppe lemming *Lagurus lagurus* Pallas, 1773 in the South Trans-Ural region (Kurgan oblast) in connection with the natural foci of tularemia. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta (Bulletin of Nizhnevartovsk State University)*. № 2. P. 102–109 (in Russian).
- Starikov V.P., Vershinin E.A. 2020. Parasitic arthropods of the northern mole vole *Ellobius talpinus* Pallas, 1770 in the Southern Trans-Ural region (Kurgan oblast). *Parazitologiya (Parasitology)*. Vol. 54. № 2. P. 152–162 (in Russian).
- Starikov V.P., Kochurov V.N. 1986. Mammal community of the Kurgan oblast. *Collection of scientific papers "Fauna of vertebrates of the Urals and adjacent territories"*. Sverdlovsk: Ural State University Publ. P. 13–27 (in Russian).
- Starikov V.P., Kravchenko V.N., Volodina O.Yu. et al. 2023a. Biogeographical characteristics of small mammals of the herb-bunchgrass steppe and adjacent territories in the South Trans-Ural region (Kurgan oblast). *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle (Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences)*. Vol. 33. Issue 1. P. 15–24 (in Russian).
- Starikov V.P., Kravchenko V.N., Volodina O.Yu. 2023b. Breeding and population structure of the root vole *Alexandromys oeconomicus* Pallas, 1776 (Cricetidae, Rodentia) in the Southern Trans-Urals region. *Povolzhskij ekologicheskij zhurnal (Povolzhskiy Journal of Ecology)*. № 2. P. 229–245 (in Russian).
- Starikov V.P., Sapegina V.F. 1986. Ectoparasites of small mammals of the forest-steppe Trans-Ural region. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Akademii nauk SSSR (Izvestia of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences)*. Novosibirsk: Nauka Publ. Vol. 3. P. 76–83 (in Russian).
- Stupina N.M. 1965. West Siberian forest-steppe (natural conditions and agricultural use). *Abstract of the candidacy dissertation for geographical sciences*. Moscow. 16 p. (in Russian).
- Tupikova N.V. 1947. Ecology of the house mouse in the central zone of the USSR. *Fauna and ecology of rodents. Materials on rodents*. Moscow: Moscow Society of Naturalists Publ. Vol. 2. P. 5–65 (in Russian).
- Flint V.E. 1977. Spatial structure of small mammal populations. Moscow: Nauka Publ. 183 p. (in Russian).
- Schwartz S.S. 1955. Biology of shrews in the forest-steppe of the Trans-Ural region. *Zoologicheskii zhurnal (Russian Journal of Zoology)*. Vol. 34. Issue. 4. P. 915–927 (in Russian).
- Schwartz S.S., Pavlinin V.N., Syuzumova L.M. 1957. Theoretical foundations for constructing forecasts for the association of mouse-like rodents in the forest-steppe Trans-Urals. *Proceedings of the Institute of Biology of the Ural Branch of the USSR Academy of Sciences*. Vol. 8. P. 3–59 (in Russian).
- Sheftel B.I. 1990. Analysis of spatial distribution of shrews in the middle Yenisei taiga. *Ecological organization and communities*. Moscow: Nauka Publ. P. 15–31 (in Russian).
- Yudin B.S. 1962. Ecology of shrews (genus *Sorex*) of Western Siberia. *Proceedings of the Biological Institute of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences "Problems of ecology, zoogeography and systematics of animals"*. Vol. 8. Novosibirsk: Siberian Branch of Akad. Nauk SSSR Publ. P. 33–134 (in Russian).
- Yudin B.S. 1969. Complexes of insectivorous mammals in the landscapes of the Novosibirsk oblast. *Biological zoning of the*

- Novosibirsk oblast (in connection with the problem of natural focal infections). Novosibirsk: Nauka Publ. P. 131–143 (in Russian).
- Churchfield S. 1990. The natural history of shrews. London: Christofer Helm. 178 p.
- Michielsen N.S. 1966. Intraspecific and interspecific competition in the shrews *Sorex araneus* L. and *S. minutus* L. Archives Neerlandaises de Zoologie. Vol. 17. № 1. P. 73–174.
- Tast J. 1966. The Roll vole, *Microtus oeconomus* (Pallas) as an inhabitant of seasonally flooded land. *Annales Zoologici Fennici*. Vol. 3. № 3. P. 127–171.
- Zimmermann K. 1942. Kenntnis von *Microtus oeconomus* (Pallas). Archiv für Naturgeschichte. Bd. 11. Heft 2. P. 174–197.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Стариков Владимир Павлович – Сургутский государственный университет; 628412, Россия, Сургут; доктор биологических наук, профессор кафедры «Биологии и биотехнологии»; starikov_vp@inbox.ru. SPIN-код: 1145-0837; Author ID: 85287.

Starikov Vladimir Pavlovich – Surgut State University; 628412, Russia, Surgut; Doctor of Biological Sciences, Professor of Biology and Biotechnology Chair; starikov_vp@inbox.ru. SPIN-code: 1145-0837; Author ID: 85287.

Володина Оксана Юрьевна – Сургутский государственный университет; 628412, Россия, Сургут; преподаватель медицинского колледжа; оха9209@mail.ru.

Volodina Oksana Yuryevna – Surgut State University; 628412, Russia, Surgut; Lecturer at the Medical College; оха9209@mail.ru.

Кравченко Вероника Николаевна – Сургутский государственный университет; 628412, Россия, Сургут; аспирант; kioreis@mail.ru. SPIN-код: 2465-7007; Author ID: 1169033.

Kravchenko Veronika Nikolaevna – Surgut State University; 628412, Russia, Surgut; Postgraduate; kioreis@mail.ru. SPIN-code: 2465-7007; Author ID: 1169033.

Тарикулиева Сабина Эзберовна – Сургутский государственный университет; 628412, Россия, Сургут; студент; tarikulieva_se@edu.surgu.ru.

Tarikulieva Sabina Ezberovna – Surgut State University; 628412, Russia, Surgut; Student; tarikulieva_se@edu.surgu.ru.

Ялымова Дарья Михайловна – Сургутский государственный университет; 628412, Россия, Сургут; магистрант; yalymova2000@inbox.ru.

Yalymova Daria Mikhailovna – Surgut State University; 628412, Russia, Surgut; Master's Student; yalymova2000@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 26.10.2023; одобрена после рецензирования 15.03.2024; статья принята к публикации: 29.03.2024.

The article was submitted 26.10.2023; approved after reviewing 15.03.2024; accepted for publication 29.03.2024.

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

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

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

В рамках общих направлений предпочтения отдается следующим профилям:

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

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

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

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

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

Направление рукописей

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

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

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

- согласие автора о передаче права на публикацию рукописи и распространение в российских и международных электронных базах данных (Приложение 2);
- согласие автора на обработку и передачу персональных данных (Приложение 3);
- акт экспертизы / экспертное заключение в форме, принятой в направляющей организации;
- разрешение на опубликование материалов от организации, в которой работает автор с подписью руководителя и печатью организации (для внешних авторов).

Рецензирование рукописей

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

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

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

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

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

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

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

Опубликование рукописей

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

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

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

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

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

Печатная версия журнала высылается по всем обязательным адресам рассылки.

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

Приложение 1

Анкета-заявка

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

Приложение 2

Согласие автора

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

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

автор рукописи _____

_____ (название рукописи)

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

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

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

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

наименование
организации

должность

дата

подпись

расшифровка
подписи

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

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

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

(подпись)

(Ф. И. О. автора)

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ

Объем

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

Рекомендуемая структура

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

Правила набора

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

Начало статьи

Через один междустрочный интервал последовательно приводятся следующие сведения:

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

на русском языке указываются:

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

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

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

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

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

далее на английском языке через один междустрочный интервал указываются:

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

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

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

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

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

Образец оформления начала статьи

УДК

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

Иванов А.А.¹, Петрова А.А.²

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

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

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

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

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

Ivanov A.A.¹, Petrova A.A.²

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

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

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

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

Текст статьи

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

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

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

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

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

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

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

Образец оформления текста статьи

ВВЕДЕНИЕ

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

.....

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

.....

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

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

.....

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

Представленная таблица показывает стадии процесса деструкции

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показывает, что

Образец оформления формул

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

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

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

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

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

Оформление литературы

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

Образец оформления литературы

ЛИТЕРАТУРА

- Алфимов Н.Н., Петров Ю.Е. 1972. О биологических и биохимических особенностях некоторых ламинариевых и фукусовых водорослей (Phaeophyta) острова Беринга (Командорские острова). *Ботанический журнал*. Т. 57. № 6. С. 697–700.
- Аминина Н.М., Ключкова Н.Г. 2002. Перспективы развития производства по переработке водорослей на побережье Камчатки. *Рыболовство России*. № 1. С. 54–56.
- Богданов В.Д., Сафронова Т.М. 1993. Структурообразователи и рыбные композиции. Москва: ВНИРО. 172 с.

- Вафина Л.Х. 2010. Обоснование комплексной технологии переработки бурых водорослей (Phaeophyta) при получении функциональных пищевых продуктов. *Диссертация ... канд. техн. наук.* М. 280 с.
- Вишневецкая Т.Н., Саяпина Т.А., Аминина Н.М. 1999. Химический состав и перспективы использования экстрактов из бурых водорослей. *Тезисы докладов Российской научной конференции «Новые биомедицинские технологии с использованием биологически активных добавок».* Владивосток. С. 10–12.
- Вялков А.Н., Козлов В.К., Бобровницкий А.И., Михайлов В.И., Подкорытова А.В., Оди-нец А.Г., Супрун С.В., Тулупов А.М. 2008. Морские водоросли в восстановительной ме-дицине, комплексной терапии заболеваний с нарушением метаболизма. Москва: МДВ. 156 с.
- Зацепина А.Н., Бессонова А.Д. 2016. Обоснование технологии получения продуктов из бу-рых водорослей. *Материалы Национальной (всероссийской) научно-практической кон-ференции «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и тех-ническое использование».* С. 115–119.
- Иванюшина Е.А., Жигадлова Г.Г. 1994. Биология ламинарии *Laminaria bongardiana* на лито-рали острова Беринга (Командорские острова). *Биология моря.* Т. 20. № 5. С. 374–380.
- Огородников В.С. 2007. Водоросли-макрофиты Северных Курильских островов. *Авторефе-рат диссертации ... канд. биол. наук.* Петропавловск-Камчатский. 25 с.
- Патент № 2041656 РФ. Способ получения пищевого полуфабриката из ламинариевых водо-рослей. *Тихоокеанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океа-нографии* (Подкорытова А.В., Ковалева Е.А., Аминина Н.М.).
- Пьянкова А.С. 2012. Получение и использование полисахаридов бурых водорослей. *Вестник Камчатского государственного технического университета.* № 20. С. 62–66.

REFERENCES

- Alfimov N.N., Petrov Yu.E. 1972. On the biological and biochemical characteristics of some kelp and fucalean algae (Phaeophyta) of Bering Island (Commander Islands). *Botanicheskiy zhurnal (Botanical Journal).* Vol. 57. № 6. P. 697–700.
- Aminina N.M., Klochkova N.G. 2002. Prospects for the development of algae processing on the coast of Kamchatka. *Rybolovstvo Rossii (Russian Fishery).* № 1. P. 54–56.
- Bogdanov V.D., Safronova T.M. 1993. Structuring agents and fish compositions. Moscow: VNIRO-press. 172 p.
- Vafina L.H. 2010. Justification of the integrated technology for processing of the brown algae (Phaeophyta) in obtaining functional food products. *Candidacy dissertation for technical sci-ences.* Moscow. 280 p.
- Vishnevskaya T.N., Sayapina T.A., Aminina N.M. 1999. Chemical composition and prospects of using extracts from the brown algae. *Proceedings of Russian scientific conference “New bio-medical technologies using biologically active additives”.* Vladivostok. P. 10–12.
- Vyalkov A.N., Kozlov V.K., Bobrovnikiy A.I. et al. 2008. Seaweed in rehabilitation medicine, complex therapy of metabolic diseases. Moscow: MDV. 156 p.
- Zatsepina A.N., Bessonova A.D. 2016. Justification of technology for obtaining products from brown algae. *Proceedings of National (All-Russian) scientific and practical conference “Natural resources, their present condition, protection, industrial and technical use”.* P. 115–119.

- Ivanyushina E.A., Zhigadlova G.G. 1994. Biology of the kelp species *Laminaria bongardiana* from the tidal zone of Bering Island (Commander Islands). *Biologiya morya (Marine Biology)*. Vol. 20. № 5. P. 374–380.
- Ogorodnikov B.C. 2007. Algae-macrophytes from the Northern Kuril Islands. *Abstract of the candidacy dissertation for biological sciences*. Petropavlovsk-Kamchatsky. 25 p.
- Patent № 2041656 RF. Method of obtaining a food semi-finished product from the laminariacean algae. *Pacific Fisheries and Oceanography Research Institute* (Podkoryitova A.V., Kovaleva E.A., Aminina N.M.).
- Pyanцова A.S. 2012. Production and utilization of brown algae polysaccharides. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 20. P. 62–66.

Информация об авторах

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

Образец оформления информации об авторах

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

Образец оформления рисунков и таблиц в конце статьи

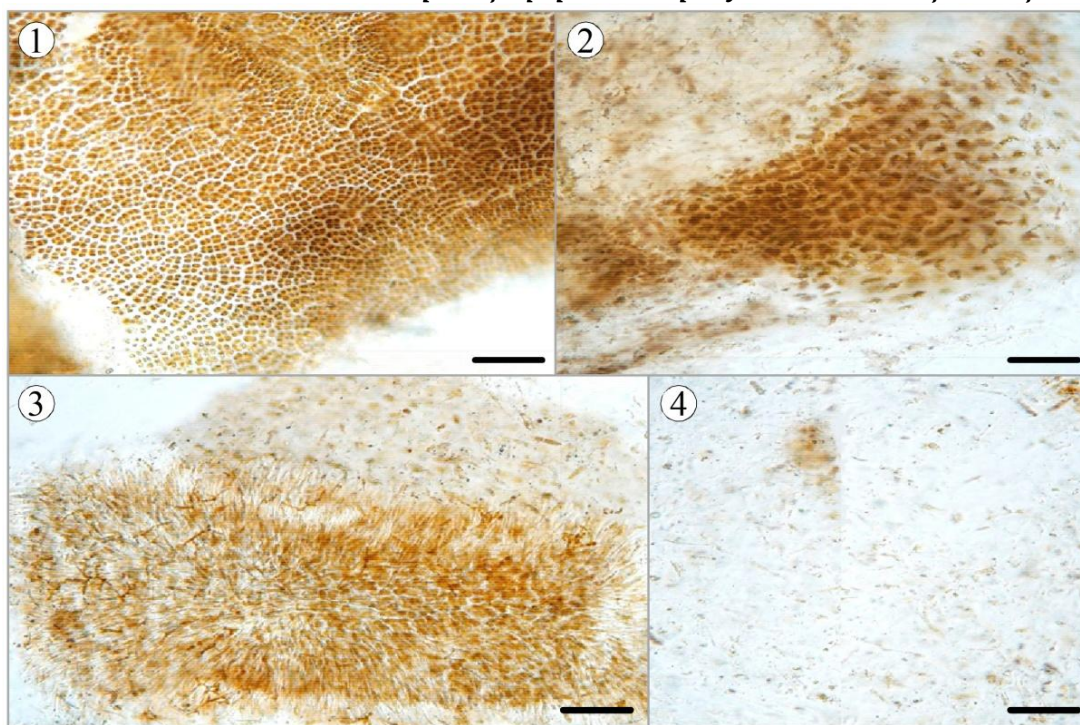


Рис. 1. Последовательность мацерации тканей *Saccharina bongardiana*: 1 – разделение дорсальной и вентральной половин слоевища и разрыхление корового слоя; 2 – разрыхление и дезинтеграция клеток меристодермы и медуллярной ткани; 3 – фрагмент соруса спорангиев с дезинтегрированными зооспорангиями и парафизами;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

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

Таблица 1. Мацерация дробленой *Saccharina bongardiana* в процессе ее термощелочной обработки

Table 1. Maceration of shredded *Saccharina bongardiana* thalli during thermo-alkaline treatment

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

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

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

Главный редактор Т.А. Ключкова

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

Адрес редакции, издателя:

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

Дата выхода в свет 29.03.2024 г.
Формат 60*84/8. Печать цифровая. Гарнитура PT Astra Serif
Авт. л. 6,97. Уч.-изд. л. 8,76. Усл. печ. л. 12,79
Тираж 500 экз. Заказ № 1738-24

Подписной индекс в каталоге «Почта России» ПН093

Цена свободная

Отпечатано по заказу ООО «Опора»
680012, Хабаровский край, г. Хабаровск, ул. Павла Леонтьевича Морозова, д. 87, оф. 212
в типографии ООО «Амирит»
410004, РФ, г. Саратов, ул. Чернышевского, 88, литер У, тел. 88007008633

ISSN 2079-0333



9 772079 033418 >