

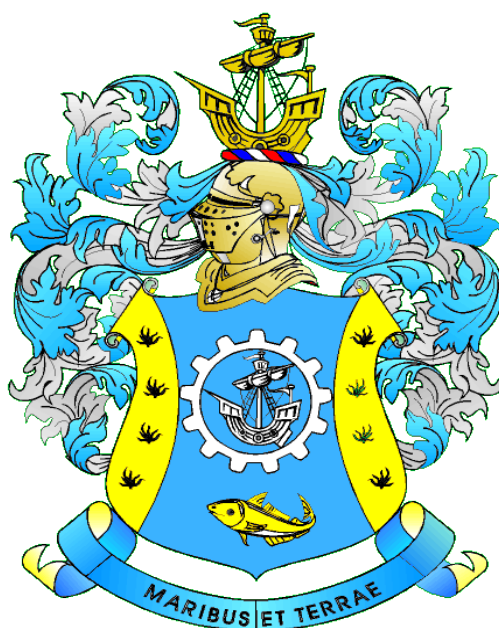
ИЗВЕСТИЯ КГТУ

2023

№ 70

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

Научный журнал



Индексирование журнала, включение в базы данных

Входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Agricultural Research Information System (Agris)

Калининград

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

Научный журнал
Основан в 2002 г.

Редакционный совет:

Главный редактор: Н. А. Кострикова, канд. физ.-мат. наук, доц.
Зам. главного редактора: А. Я. Яфасов, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.

С. Т. Антипов, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный университет инженерных технологий, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств;

В. Ф. Белей, д-р техн. наук, проф., Калининградский государственный технический университет, заведующий кафедрой энергетики;

О. А. Булатов, д-р биол. наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва, директор по научной работе;

Е. А. Криксунов, д-р биол. наук, проф., МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, заведующий лабораторией онтогенеза кафедры ихтиологии;

В. А. Панфилов, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств;

О. Я. Тимофеев, д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, декан факультета кораблестроения и океанотехники;

Мирослав Шредер, д-р экон. наук, проф., Гданьский университет (г. Гданьск, Польша), декан факультета управления;

А. В. Юров, д-р физ.-мат. наук, проф., Балтийский федеральный университет имени И. Канта, директор образовательно-научного кластера «Институт высоких технологий»;

Марек Якубовский, д-р техн. наук, проф., Национальный научно-исследовательский институт морского рыболовства (г. Гдыня, Польша), профессор кафедры технологии переработки и механизации.

Редакционная коллегия:

О. В. Агеев, д-р техн. наук, доц.; *И. С. Александров*, д-р техн. наук, доц.;
М. П. Андреев, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.; *О. А. Анциферова*, д-р с.-х. наук,
проф.; *А. Г. Архипов*, д-р биол. наук, доц.; *О. О. Бабич*, д-р техн. наук, доц.;
А. С. Баркова, д-р вет. наук, доц.; *О. М. Бедарева*, д-р биол. наук, проф.;
В. В. Брюханов, д-р физ.-мат. наук, проф.; *Н. Л. Великанов*, д-р техн. наук, проф.;
В. В. Верхотуров, д-р биол. наук, проф.; *А. А. Герасимов*, д-р техн. наук, проф.;
В. И. Гнатюк, д-р техн. наук, проф.; *Е. М. Грамузов*, д-р техн. наук, проф.;
В. В. Дорофеева, д-р экон. наук, проф.; *Л. С. Дышлюк*, д-р техн. наук, доц.;
С. В. Дятченко, д-р техн. наук, доц.; *А. В. Иванов*, д-р экон. наук, проф.;
И. П. Корнева, канд. техн. наук, доц.; *О. В. Кригер*, д-р техн. наук, доц.;
С. Н. Лябзина, д-р биол. наук, доц.; *О. Я. Мезенова*, д-р техн. наук, проф.;
А. Г. Мнацаканян, д-р экон. наук, проф.; *А. Б. Муромцев*, д-р вет. наук, проф.;
Е. Н. Науменко, д-р биол. наук, доц.; *В. А. Наумов*, д-р техн. наук, проф.;
А. И. Притыкин, д-р техн. наук, доц.; *Л. И. Сергеев*, д-р экон. наук, проф.;
Н. Я. Синявский, д-р физ.-мат. наук, проф.; *В. А. Слежкин*, канд. хим. наук, доц.;
А. В. Снытников, д-р техн. наук, проф.; *Т. Е. Степанова*, д-р экон. наук, проф.;
В. И. Сутырин, д-р техн. наук, доц.; *А. Б. Тристанов*, канд. техн. наук, доц.;
Е. В. Ульрих, д-р техн. наук, доц.; *Ю. А. Фатыхов*, д-р техн. наук, проф.;
С. В. Федоров, д-р техн. наук, проф.; *С. В. Шибаетов*, д-р биол. наук, проф.;

Выпускающий редактор С. В. Супрунова

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

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
2023



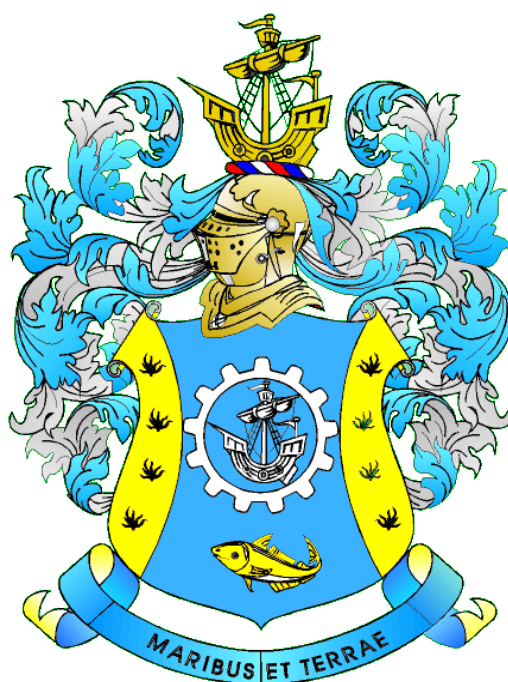
KSTU NEWS

2023

№ 70

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

SCIENTIFIC JOURNAL



Journal index, registration in databases

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

*Russian Index of Scientific Citation (RISC)
Agricultural Research Information System (Agris)*

Kaliningrad

СОДЕРЖАНИЕ

Биология, экология и рыбное хозяйство

<i>Анциферова О. А., Бертова В. П.</i> Анализ площадей экологически неблагоприятных переувлажненных почв в агроландшафтах Калининградской области	11
<i>Бедарева О. М., Юсов А. И., Троян Т. Н.</i> Типы стратегии жизни ценопопуляции поликарпических трав на элементарных ландшафтах Вармийской возвышенности	24
<i>Моисеенко В. В., Цупикова Н. А.</i> Флористические и экобиоморфологические особенности побережья обводненного карьера Янтарный	34
<i>Наумов В. А.</i> Ряд средних годовых расходов воды в р. Матросовке (рукав р. Неман)	46
<i>Попова А. С., Федоров Л. С., Шибяев С. В., Ляхов А. В.</i> Характеристика любительского лова снетка (<i>Osmersus eperlanus eperlanus morpha spirinchus</i>) в р. Преголе в пределах г. Калининграда	59

Техника и технология пищевых производств

<i>Воробьев В. И., Булычев А. Г., Нижникова Е. В.</i> Характеристики пищевого коллагенсодержащего гидрата из кожи судака по данным ИК-Фурье-спектроскопии	73
<i>Ключко Н. Ю., Позднякова Д. А., Ковалева Е. Д.</i> О возможности использования рыбных белковой и белково-минеральной добавок в технологии хлебобулочных изделий	88
<i>Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В., Дамбарович Л. В.</i> Потенциал и перспективы использования жира из копченых рыбных отходов	103
<i>Чернега О. П., Казимирченко О. В., Костенко А. А.</i> Исследование процесса ферментации регионального косточкового плодового сырья (сливы) для расширения ассортимента продукции общественного питания	115

Судостроение, машиностроение и энергетика

<i>Ореховский Е. М., Толмачев А. В., Филонов А. Г.</i> Впрыск сжиженного природного газа в камеру сгорания двигателя для работы по комбинированному циклу	135
<i>Чуреев Е. А., Орлов О. П.</i> К вопросу о модернизации современных малых промысловых судов	148

CONTENT

Biology, ecology and fisheries

<i>Antsiferova O. A., Bertova V. P.</i> Analysis of the areas of ecologically unfavorable waterlogged soils in the agro-landscapes of the Kaliningrad region	11
<i>Bedareva O. M., Yusov A. I., Troyan T. N.</i> Types of life strategy of the coenopopulation of polycarpic herbs on the elementary landscapes of the Warmian upland	24
<i>Moiseenko V. V., Tsupikova N. A.</i> Floristic and ecobiomorphological features of the flooded Yantarny quarry coast	34
<i>Naumov V. A.</i> The series of average annual water flow rate in the Matrosovka River (arm of the Neman River)	46
<i>Popova A. S., Fedorov L. S., Shibaev S. V., Lyakhov A. V.</i> Characteristics of recreation fishing for smelt (<i>Osmersus eperlanus morpha spirinchus</i>) in the river Pregolya within the city of Kaliningrad	59

Processes and technology of food manufacturing

<i>Vorob'ev V. I., Bulychev A. G., Nizhnikova E. V.</i> Characteristics of food collagen hydrate obtained from pikeperch skin by FTIR spectroscopy	73
<i>Klyuchko N. Yu., Pozdnyakova D. A., Kovaleva E. D.</i> Possibility of using fish protein and protein-mineral additives in the technology of bakery products	88
<i>Mezenova O. Ya., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Kalinina N. S., Volkov V. V., Dambarovich L. V.</i> Potential and perspectives of using fat from smoked fish waste	103
<i>Chernega O. P., Kazimirchenko O. V., Kostenko A. A.</i> Study of the fermentation process of regional stone fruit raw materials (plums) to expand the range of catering products	115

Shipbuilding, machine manufacturing and power engineering

<i>Orekhovskiy E. M., Tolmachiov A. V., Filonov A. G.</i> LNG injection into engine combustion chamber for combined cycle	135
<i>Chureev E. A., Orlov O. P.</i> On the issue of modern small fishing vessels modernization	148

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Научная статья
УДК 631.4:342.7054
DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-11-23

**Анализ площадей экологически неблагополучных переувлажненных почв
в агроландшафтах Калининградской области**

Ольга Алексеевна Анциферова¹, Валерия Павловна Бертова²

^{1,2} Калининградский государственный технический университет, Калининград,
Россия

¹olga.antsiferova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5389-7243>

²valeriya.bertova@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме учета переувлажненных почв на основе анализа картографических материалов и космических снимков с последующей обработкой данных. В условиях гумидного климата Калининградской области (Юго-Западная Прибалтика) около 80 % почв являются осушенными, поэтому исследование направлено на оценку их гидрологического состояния в агроландшафтах. Потенциальные площади земель, подверженные переувлажнению, предлагается выделять на основе диагностического почвенного показателя – степени оглеения. В условиях осушения наибольшему риску развития неблагоприятной эколого-гидрологической ситуации подвержены глеевые почвы (дерново-подзолистые глеевые, дерново-глеевые, болотные низинные). Суммарно на водоразделах они составляют 21,9 % от общей площади сельскохозяйственных угодий Калининградской области (без учета аллювиальных почв) и 26,2 % в Зеленоградском муниципальном округе. Изучение почвенного покрова территории 15 сельскохозяйственных предприятий, существовавших в 70-е – 80-е годы XX в., выявило сильную пространственную неоднородность в распределении ареалов глеевых почв при высоких коэффициентах вариации. Аналогичная ситуация сохраняется на современных пахотных угодьях. Актуальные площади почв, подверженных переувлажнению, учитывали на основе анализа космических снимков, сделанных в ноябре – декабре и феврале – апреле 2016–2022 гг. в наиболее типичные периоды развития неблагоприятной гидрологической ситуации. Для четырех пахотных участков показано, что доля переувлажненных почв составляет в среднем от 17,5 до 38,7 % общей площади полей. Варьирование площадей почв с неудовлетворительным гидрологическим состоянием может быть связано с выпадением большого количества осадков и их аккумуляцией в замкнутых понижениях. Различные нарушения дренажной сети приводят к некачественной ее работе по отводу избыточной влаги с полей. Итоги эколого-гидрологического мониторинга почв, подверженных переувлажнению, являются основанием для принятия решений по оптимизации мелиоративного состояния.

Ключевые слова: переувлажнение, глеевые почвы, анализ почвенных карт, космические снимки, почвенно-гидрологический мониторинг.

Для цитирования: Анциферова О. А., Бертова В. П. Анализ площадей экологически неблагоприятных переувлажненных почв в агроландшафтах Калининградской области // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 11–23. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-11-23.

Original article

Analysis of the areas of ecologically unfavorable waterlogged soils in the agro-landscapes of the Kaliningrad region

Ol'ga A. Antsiferova¹, Valeriya P. Bertova²

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹olga.antsiferova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5389-7243>

²valeriya.bertova@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the actual problem of soils with excessive moisture accounting based on the analysis of cartographic materials and satellite images with subsequent data processing. In the humid climate of the Kaliningrad region (South-Western Baltic States), about 80% of the soils are drained, so the study is aimed at assessing their hydrological state in agricultural landscapes. Potential areas of land subject to waterlogging are proposed to be allocated on the basis of a diagnostic soil indicator – the degree of gley. In conditions of drainage, gley soils (Gleic Albeluvusols, Umbric Gleysols, Eutric Histosols) are at the greatest risk of developing an unfavorable ecological and hydrological situation. In total, they make up 21.9% of the total area of agricultural land in the Kaliningrad Region (excluding alluvial soils) and 26.2% in the Zelenograd Municipal District. The study of the soil cover of the territory of 15 agricultural enterprises that existed in the 70s – 80s of the twentieth century revealed a strong spatial heterogeneity in the distribution of areas of gley soils with high coefficients of variation. A similar situation persists on modern arable land. The actual areas of soils subject to waterlogging were taken into account based on the analysis of satellite images taken in November – December and February – April 2016–2022 during the most typical periods of the development of an unfavorable hydrological situation. For four arable plots, it is shown that the proportion of waterlogged soils averages from 17.5 to 38.7% of the total field area. Variation of soil areas with unsatisfactory hydrological condition may be associated with the precipitation of large amounts of precipitation and their accumulation in closed depressions. Various violations of the drainage network leads to poor quality of its work to remove excess moisture from the fields. The results of ecological and hydrological monitoring soils with excessive moisture in the agrolandscapes are the basis for making decisions to optimize the reclamation state.

Keywords: waterlogging, gley soils, analysis of soil maps, satellite images, soil-hydrological monitoring.

For citation: Antsiferova O. A., Bertova V. P. Analysis of the areas of ecologically unfavorable waterlogged soils in the agro-landscapes of the Kaliningrad region. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (70):11-23. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-11-23.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные климатические изменения и усиливающееся антропогенное влияние на природные ландшафты обостряют проблему переувлажнения земель в регионах России в целом и Северо-Западного федерального округа в частности [1–3]. Наибольшая опасность переувлажнения почв наблюдается в Архангельской, Псковской, Калининградской областях и Республике Коми. Особенностью Калининградской области является широкомасштабная мелиорация почв и наличие больших площадей полейдерных земель (70 % от всей площади полейдеров в России) [4]. Природно-климатические условия обуславливают высокий риск развития чрезвычайных ситуаций, связанных с подтоплением низменных осушаемых территорий.

На мировом уровне особенно остро стоит проблема переувлажнения земель, когда речь идет о сельскохозяйственных угодьях [5–8]. Переувлажнение и подтопление на осушаемых землях представляют собой деграционные процессы, снижающие количество и качество сельскохозяйственной продукции [6, 9], поэтому актуальными задачами являются разработка стратегий адаптации и управления территориями в зонах риска переувлажнения почв [10–12]. Для этого необходим мониторинг и учет проблемных почв, подверженных переувлажнению и подтоплению, на уровне регионов и сельскохозяйственных предприятий. В основу научно-обоснованного подхода должны быть положены генетические различия почв и их актуальное эколого-гидрологическое состояние. Такие исследования для условий Калининградской области практически отсутствуют.

Цель работы – предложение и апробация методологии оценки потенциальных и актуальных площадей экологически неблагоприятных почв, подверженных переувлажнению, на основании анализа картографических материалов, дистанционного и наземного мониторинга.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ почвенного покрова проведен на уровнях мелкомасштабных (1:500 000) карт Калининградской области, среднемасштабной (1:200 000) карты административной единицы (Зеленоградского муниципального округа; в XX в. района), крупномасштабных (1:10 000) почвенных карт колхозов и совхозов (1970–1990 гг.), пахотных угодий (по состоянию на 2022 г.) ООО «Молочная фабрика» (Зеленоградское подразделение растениеводства агрохолдинга «Долгов Групп»).

В работе использован комплекс методов исследования на основе генетического принципа классификации почв: сравнительно-географический, картографический, стационарный (почвенно-режимных наблюдений).

Обработка картографических материалов проводилась с использованием компьютерных программ MS Office (Picture manager, Excel), Adobe Fine Reader, Google Earth, Quantum GIS. Натурные полевые исследования осуществлялись на ключевых участках в Зеленоградском муниципальном округе, в том числе на полигонах многолетнего почвенно-гидрологического мониторинга [9]. Для учета площадей проблемных почв в ходе маршрутных обследований использован

GPS-навигатор «Garmin Dakota». Статистический и графический анализ данных выполнен с использованием программы Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Официальные данные указывают, что в Калининградской области площадь переувлажненных почв составляет 170 тыс. га, а заболоченных – 30,5 тыс. га [13], что в сумме равно 24,4 % от всей площади сельскохозяйственных угодий. В то же время данные ФГБУ «Управление “Калининградмелиоводхоз”» показывают, что площади осушенных сельскохозяйственных угодий, попадающих в категорию «неудовлетворительное состояние» ввиду несвоевременного отвода поверхностных вод и поднятия уровня грунтовых вод, варьируют от 27,5 до 38,5 %. Следовательно, наблюдается неопределенность площадей земель, подверженных переувлажнению и подтоплению. Причинами различий в официальных цифрах являются как неточности в методике учета, так и влияние погодных условий.

Территория области характеризуется гумидным климатом со среднемноголетними значениями годового количества осадков от 700 до 805 мм по данным основных метеостанций. Для Калининграда этот показатель составляет 781 мм [14, с. 82–83]. Мы провели корреляционный анализ и установили, что за 10 лет (2012–2021 гг.) долевой вклад среднегодового количества осадков в формирование неблагоприятной экологической ситуации с переувлажнением соответствует 46 %. Так, в сухие и средние по количеству осадков годы площадь почв с неудовлетворительным мелиоративным состоянием варьирует от 25,7 до 31,1 %, а в годы с экстремальной суммой осадков более 1000 мм (например, 2017) увеличивается до 38,5 %. Наряду с погодными условиями решающее значение имеет состояние мелиоративных систем. Сочетание обоих этих факторов в итоге дает нестабильные цифры площадей земель, подверженных переувлажнению и подтоплению на сельскохозяйственных угодьях. Однако, для повышения точности учета и экологической грамотности необходимо понимание, что земледелие, кормопроизводство, пастбищное животноводство ведутся на конкретных почвах, имеющих классификационное название. Понятие «переувлажненные земли» подразумевает земли, почвы которых содержат воду в количестве, затрудняющем их хозяйственное использование [1, с. 276]. Переход от термина «земли» к термину «почвы» повышает информативность понятия «переувлажнение» путем наполнения конкретными количественными характеристиками. Переувлажнение почв – состояние, когда содержание в них влаги превышает 85 % от предельной полевой влагоемкости на почвах тяжелого гранулометрического состава или 95 % – на почвах легкого гранулометрического состава [1, с. 276]. Таким образом, переувлажнение – динамичный показатель. Длительность переувлажнения находит отражение в морфологических признаках почв, что положено в основу разделения их на автоморфные (неоглеенные), глееватые и глеевые. Этот генетический признак используется для картографирования, агроэкологической группировки земель, прикладных классификаций почв (эколого-гидрологической, ландшафтно-экологической) [15,16].

Многолетние исследования, проведенные нами на ключевых участках в западной и центральной частях Калининградской области, позволили установить, что степень оглеения является стабильным диагностическим показателем, влияющим на продуктивность зерновых колосовых, озимого рапса и многолетних

трав [9, 17]. Для большинства полевых культур урожайность снижается в ряду «неоглеенные – глееватые – глеевые», причем в глеевых почвах снижение урожайности достоверно в течение многих лет. В условиях сложного почвенного покрова сельскохозяйственных угодий потенциально проблемными являются дерново-подзолистые глеевые, дерново-глеевые и болотные низинные осушенные почвы. Все они приурочены к пониженным элементам рельефа, аккумулирующим поверхностный и внутрипочвенный сток. Долевое участие этих почв в составе почвенного покрова конкретного поля можно выяснить, используя информационные ресурсы крупномасштабных почвенных карт сельскохозяйственных угодий, составленных Калининградским отделением СевЗапГипрозема в 70-е – 80-е годы XX в. Границы почвенных ареалов четко обозначены в пространстве, поэтому процент глееватых и глеевых почв можно считать стабильным, но все же потенциальным фактором снижения продуктивности сельскохозяйственных культур. Так как речь идет об агроландшафтах с регулируемым водным режимом путем осушительной мелиорации, то условно отрицательный экологический потенциал оглеения может и не проявиться. Поэтому требуется учет динамичных компонентов, которые приводят к возникновению переувлажнения на оглеенных почвах. Экологическим эффектом переувлажнения в агроландшафтах является снижение продуктивности сельскохозяйственных культур или их полная гибель.

Нами предлагается методология оценки почв, подверженных переувлажнению (рис. 1). Реализация этого предложения может быть выполнена на разных уровнях: областном, муниципальном, уровне сельскохозяйственного предприятия и отдельного поля. Последний уровень является наиболее важным, так как именно он служит минимальной хозяйственной единицей производства сельскохозяйственной продукции растениеводства, овощеводства открытого грунта, промышленного садоводства, кормопроизводства, пастбищного животноводства.

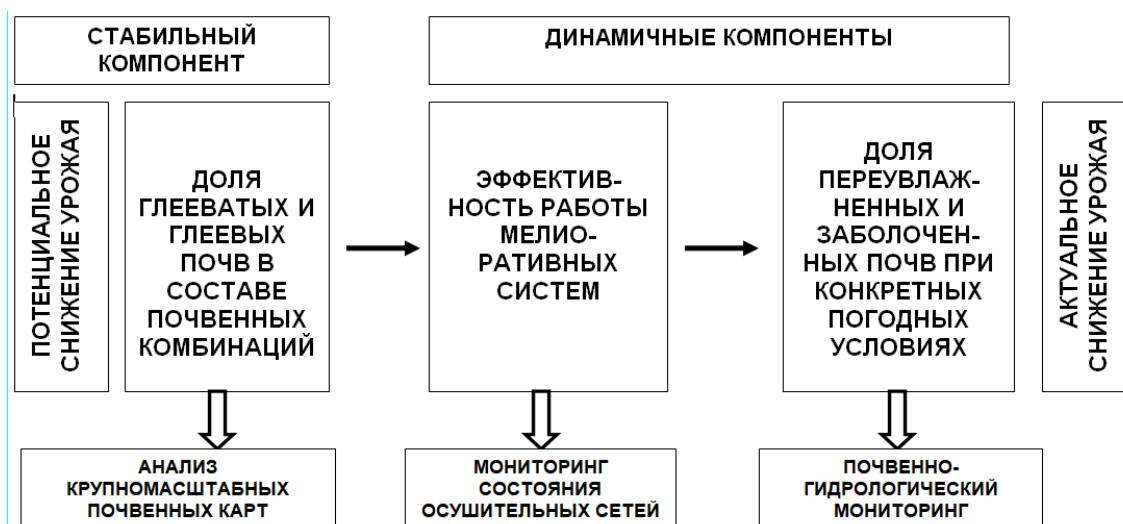


Рис. 1. Система оценки почв, подверженных переувлажнению в осенне-весенний период

Fig. 1. Assessment system of soils subject to waterlogging in the autumn-spring period

Апробацию предложенной методики провели в 2022 г. на четырех уровнях: 1) областном; 2) районном; 3) уровне сельскохозяйственного предприятия; 4) уровне индивидуального поля. В качестве тестовой территории выбран Зеленоградский муниципальный округ, большая часть площади которого относится к физико-географическому району Самбийской холмисто-моренной равнины [14, с. 30].

На основании каталога площадей почв, приведенного в книге В. И. Панашина с соавторами [18], почвенных карт и их корректировки с учетом выделения буроземов [9] было рассчитано долевое участие почв разной степени оглеения в составе почвенного покрова Зеленоградского района (название на период составления карт) (рис. 2).

На уровне района (современного муниципального округа) абсолютно доминируют оглеенные почвы, что является основанием для отнесения территории к агроэкологической группе полугидроморфно-зональных [11, с. 168]. Глеевые почвы, потенциально подверженные переувлажнению, суммарно составляют 26,2 % на водораздельных территориях.

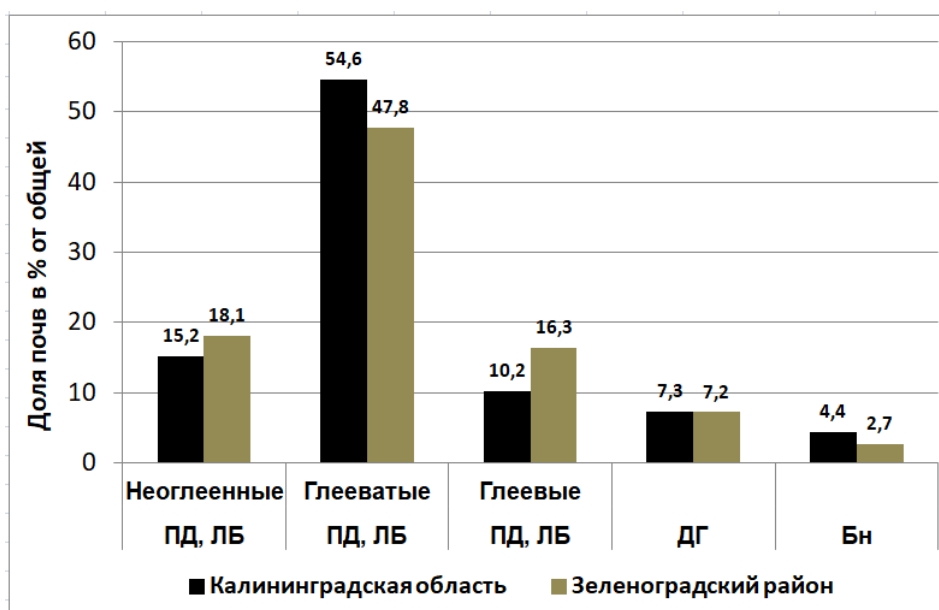


Рис. 2. Распределение почв сельскохозяйственных угодий по степени оглеения (без учета аллювиальных)

Fig. 2. Distribution of agricultural land soils by degree of gley (excluding alluvial)

Индексы почв: ПД – дерново-подзолистые; ЛБ – буроземы; ДГ – дерново-глеевые; Бн – болотные низинные

Следующий этап оценки проводился на уровне отдельных сельскохозяйственных предприятий. В советский период в Зеленоградском районе функционировали колхозы и совхозы. Результаты обработки данных крупномасштабных почвенных карт Гипрозема показывают очень высокий разброс площадей почв разных групп оглеения (табл. 1), что связано с геоморфологическими и литологическими условиями. Уже на данном уровне просматривается сложность и контра-

стность почвенных условий, которая и является главной предпосылкой возникновения очагов переувлажнения в условиях волнистого и холмистого рельефа.

Для анализа площадей экологически неблагополучных почв на четвертом уровне было выбрано четыре типичных пахотных поля и изучен их почвенный покров. Выяснилось, что доля глеевых почв на современной пашне очень высока и составляет 43,6–79,6 % (табл. 2). Это является существенным фактором потенциального снижения урожайности из-за повышенного гидроморфизма.

Таблица 1. Распределение почв по степени оглеения внутри сельскохозяйственных предприятий Зеленоградского района (% от общей площади колхоза / совхоза, 70-е–80-е годы XX века)

Table 1. Distribution of soils by degree of gley within agricultural enterprises of the Zelenograd district (% of the total area of the collective farm/ state farm, 70s–80s of the twentieth century)

№ колхоза / совхоза	Автоморфные (неоглеенные) почвы	Полугидроморфные зональные почвы		Гидроморфные почвы	
		Глееватые	Глеевые	Дерново-глеевые	Болотные
1	15,0	50,7	23,4	5,9	5,0
2	36,6	45,2	5,9	9,0	3,2
3	18,5	49,0	21,0	5,4	6,0
4	5,4	72,6	11,0	7,4	1,0
5	12,7	58,9	18,4	1,3	3,7
6	10,4	37,6	26,3	17,1	0,3
7	6,7	46,3	13,6	4,0	0,1
8	13,4	52,2	16,9	8,9	1,3
9	0,2	52,0	17,7	3,7	0
10	11,2	48,2	23,5	6,7	4,3
11	15,9	50,7	13,5	0,2	4,9
12	22,4	43,1	23,2	5,3	1,8
13	48,3	33,5	2,2	7,2	6,4
14	13,6	43,3	27,8	3,6	1,3
15	41,9	33,6	–	23,1	1,4
Статистические показатели					
X	18,1	47,8	16,3	7,3	2,7
σ	13,7	9,8	8,6	5,9	2,2
m	3,4	2,5	2,2	1,5	0,5
Lim	0,2 – 48,3	33,5–72,6	2,2–26,3	0,2–23,1	0–6,4
V	75,7	20,5	52,7	80,8	81,5

Примечание: X – среднее арифметическое; σ – стандартное отклонение; m – ошибка среднего; lim – пределы варьирования (минимальное и максимальное значение показателя); V – коэффициент вариации, %

Таблица 2. Доля проблемных глеевых почв на основе анализа почвенных карт
Table 2. The proportion of problematic gley soils based on the analysis of soil maps

Название ключевого участка	Площадь участка, га	Площадь (га) /доля глеевых почв в % от общей площади поля
Перелески	151,7	<u>77,0</u> 50,8
20-й км	136,8	<u>59,6</u> 43,6
Коврово	134,7	<u>107,2</u> 79,6
Низовка	48,2	<u>22,6</u> 46,9

Актуальные площади переувлажненных почв на тестовых ключевых участках выделяли на основании анализа серий разновременных космических снимков Google Earth из открытого доступа с последующей обработкой в программе Quantum GIS для отрезка в 7 лет с 2016 по 2022 гг. (табл. 3).

Для диагностики переувлажнения и оценки экологических рисков от гидрологических факторов по космическим снимкам важен период «октябрь – декабрь» и «февраль – апрель» для условий Калининградской области. Контура вымочек и темные ареалы переувлажненных почв хорошо просматриваются на космических снимках, сделанных в период распаханного, но незасеянного поля или в начальные фазы роста сельскохозяйственных культур до смыкания посевов. Информативны также зимние космоснимки при условии незначительного снегового покрова на поле или его отсутствия. Снимки, составленные из склеенных фрагментов, выбраковывались. Мало информации несут снимки, сделанные в период максимального вегетативного развития растений или покрытия почвы стерней после уборки культуры. Описанные трудности подбора космических снимков затрудняют анализ разновременных серий для качественной дистанционной диагностики площадей переувлажненных почв. Для уточнения площадей проблемных почв проводили наземный обход с выделением участков снижения или полной гибели урожая из-за гидрологических факторов.

Таблица 3. Динамика площадей переувлажненных почв (% от общей площади поля) на тестовых участках по результатам обработки космических снимков
Table 3. Dynamics of the areas of waterlogged soils (% of the total field area) in test areas based on the results of satellite image processing

Годы	Название ключевого участка и его площадь, га			
	Перелески	20-й км	Коврово	Низовка
2016	53,8	29,7	18,2	16,0
2017	40,3	54,1	37,5	19,0
2018	38,8	34,4	35,6	16,6
2019	36,6	Нет данных	20,5	18,9
2020	30,5	27,6	22,1	19,3
2021	30,7	18,5	Нет данных	16,8
2022	33,7	19,4	Нет данных	18,0

Статистические показатели				
X	37,8	30,6	25,8	17,5
σ	8,0	13,0	7,8	1,2
m	3,1	4,5	3,0	0,5
Lim	30,7–53,8	18,5–54,4	18,2–35,6	16,0–19,3
V	21,2	45,5	30,2	6,9

Результаты исследования выявили значительный разброс доли почв, подверженных переувлажнению на всех ключевых участках в разные годы. Проверка гипотезы связи с количеством осадков показала, что коэффициент корреляции варьирует на разных полях от 0,74 до 0,46. Таким образом, теснота связи неустойчивая (от сильной до слабой). Существенный вклад вносит площадь замкнутых понижений на полях с регулярным застоём влаги в зимний и весенний периоды (январь – март) и эффективность работы дренажных систем. Крупные (3–16 га) замкнутые западины (Перелески, Коврово) являются основными очагами переувлажнения почв, что приводит к гибели урожая от вымокания [9].

Сравнительный анализ потенциальных и актуальных площадей проблемных почв позволил выяснить, что благодаря осушительной мелиорации площадь переувлажнённых почв на пахотных полях меньше, чем глеевых (рис. 3).

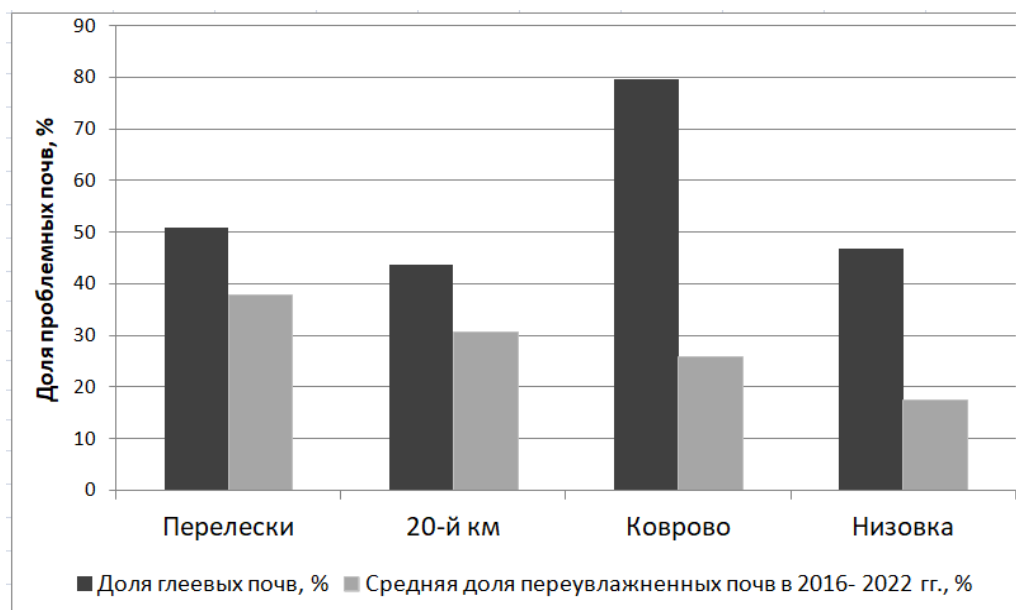


Рис. 3. Сравнительный анализ потенциальных (глеевых) и актуальных (переувлажнённых) проблемных почв в 2016–2022 гг.

Fig. 3. Comparative analysis of potential (gley) and actual (waterlogged) problem soils in 2016–2022

Однако современное мелиоративное состояние пашни оценивается как неудовлетворительное. По итогам наземного обследования установлено, что причинами низкой эффективности работы дренажных систем являются несвоевременный отвод поверхностной влаги, блокирование стока из коллекторов, механические повреждения коллекторов и мелких осушителей, засыпка водопоглотитель-

ных колодцев. В результате в среднем на четверти площади пахотных полей возникает переувлажнение в осенний и весенний периоды. Поэтому улучшение работы осушительных систем позволит снизить гидрологические риски земледелия и сократить площади экологически неблагоприятных переувлажненных почв в агроландшафтах.

ВЫВОДЫ

1. Предложена методика анализа площадей земель, подверженных переувлажнению, основанная на последовательном учете стабильного лимитирующего показателя (степень оглеения почв) и динамичных показателей (состояние дренажных систем и количество почв с избыточной влажностью на полях).

2. По данным имеющихся картографических материалов глеевые почвы, потенциально подверженные переувлажнению (суммарно дерново-подзолистые глеевые, дерново-глеевые и болотные), составляют 21,9 % от всех почв сельскохозяйственных угодий в Калининградской области и 26,2 % – в Зеленоградском муниципальном округе при широком варьировании на конкретных полях.

3. Наиболее информативным периодом для дистанционной диагностики площадей переувлажненных почв по космическим снимкам является поздняя осень и февраль – апрель. При анализе снимков первостепенное внимание надо уделять состоянию поверхности поля.

4. Площадь актуальных почв, подверженных переувлажнению, существенно варьирует в зависимости от сочетания геоморфологических и климатических условий, а также состояния дренажных систем. В 2016–2022 гг. доля переувлажненных почв на пахотных полях в Зеленоградском муниципальном округе варьировала в среднем от 17,5 до 37,8 % в позднеосенний и ранневесенний периоды.

Список источников

1. Переувлажнение и подтопление земель в регионах России / под ред. В. В. Разумова. Москва: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2018. 279 с.

2. Зоидзе Е. К., Разумов В. В., Хомякова Т. В. Опасность и риск переувлажнения земель // Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Северо-Западного федерального округа России / под ред. С. К. Шойгу. Москва: Дизайн, Информация, Картография, 2010. С. 230–233.

3. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / под общ. ред. С. К. Шойгу. Москва: Дизайн, Информация, Картография, 2005. 271 с.

4. Об экологической обстановке в Калининградской области в 2021 году: Государственный доклад. Калининград, 2022. 200 с.

5. Pierce S. C., Kröger R. and Pezeshki R. Managing Artificially Drained Low-Gradient Agricultural Headwaters for Enhanced Ecosystem Functions // *Biology*. 2012. V. 1. P. 794 – 856. DOI: 10.3390/biology1030794.

6. Golden Impacts and management strategies for crop production in waterlogged or flooded soils: A review / G. Kaur, G. Singh, P. P. Motavalli, K. A. Nelson, J. M. Orłowski // *Agronomy Journal*. 2020. V. 112. P. 1475–1501. DOI: 10.1002/agj2.20093.

7. Soil and Crop Management Practices to Minimize the Impact of Waterlogging on Crop Productivity / S. M. N. Manik, G. Pengilley, G. Dean, B. Field, S. Shabala and M. Zhou // *Front. Plant Sci.* 2019. V. 10. Art. 140. DOI: 10.3389/fpls.2019.00140.

8. The Use of Spectral Indices to Recognize Waterlogged Agricultural Land in South Moravia, Czech Republic / M. Bednář, B. Šarapatka, P. Netopil, M. Zeidler, T. Hanousek, L. Homolová // *Agriculture*. 2023. V. 13. Art. 287. DOI: 10.3390/agriculture13020287.

9. Анциферова О. А. Гидрологический режим и агроэкологическая оценка почв агроландшафтов Самбийской равнины. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ». 2022. 356 с.

10. Schneider F., Don A. Root-restricting layers in German agricultural soils. Part II: Adaptation and melioration strategies // *Plant Soil*. 2019. V. 442. P. 419–432. DOI: 10.1007/s11104-019-04186-8.

11. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 г. Версия 2.0 / под ред. С. Г. Митина, А. Л. Иванова. Москва: Изд-во МБА, 2021. 400 с.

12. Кирюшин В. И. Концепция развития земледелия в Нечерноземье. Санкт-Петербург: ООО «Квадро», 2020. 276 с.

13. Доклад о состоянии и использовании земель Калининградской области в 2006 г. Калининград: Управление Федерального агентства кадастра объектов недвижимости по Калининградской области, 2007. 69 с.

14. Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В. В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. 276 с.

15. Зайдельман Ф. Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. Москва: КДУ, 2009. 720 с.

16. Кирюшин В. И. Классификация почв и агроэкологическая типология земель. Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2016. 288 с.

17. Сафонова Д. Н., Анциферова О. А. Влияние запасов продуктивной влаги на урожайность многолетних трав на осушенных дерново-подзолистых почвах тяжелого гранулометрического состава // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова*, 2022. № 28. С. 23–32.

18. Панасин В. И., Депутатов К. В., Вихман М. И. Почвы Калининградской области и их агрохимические свойства. Калининград: Изд-во БФУ им. Канта, 2020. 240 с.

References

1. *Pereuvlazhneniye i podtopleniye zemel' v regionakh Rossii*. Pod red. V. V. Razumova [Waterlogging and flooding of lands in the regions of Russia. Ed. by V. V. Razumov]. Moscow, Pochvennyy in-t im. V. V. Dokuchaeva, 2018, 279 p.

2. Zoidze E. K., Razumov V. V., Khomyakova T. V. Opasnost' i risk pereuvlazhneniya zemel' [Danger and risk of waterlogging of lands]. *Atlas prirodnykh i tekhnogennykh opasnostey i riskov chrezvychaynykh situatsiy Severo-Zapadnogo federal'nogo okruga Rossii*. Pod red. S. K. Shoygu [Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergency situations of the North-Western Federal District of Russia. Ed. by S. K. Shoigu]. Moscow, Dizayn, Informatsiya, Kartografiya, 2010, pp. 230–233.

3. *Atlas prirodnykh i tekhnogennykh opasnostey i riskov chrezvychaynykh situatsiy v Rossiyskoy Federatsii*. Pod red. S. K. Shoigu [Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergency situations in the Russian Federation. Under the general editorship of S. K. Shoigu]. Moscow, Dizayn, Informatsiya, Kartografiya, 2005, 271 p.
4. Gosudarstvennyy doklad «Ob ekologicheskoy obstanovke v Kaliningradskoy oblasti v 2021 godu» [State report "On the environmental situation in the Kaliningrad region in 2021"]. Kaliningrad, 2022, 200 p.
5. Pierce S. C., Kröger R. and Pezeshki R. Managing Artificially Drained Low-Gradient Agricultural Headwaters for Enhanced Ecosystem Functions. *Biology*, 2012, vol. 1, pp. 794 – 856. DOI: 10.3390/biology1030794.
6. Kaur G., Singh G., Motavalli P. P., Nelson K. A., Orlowski J. M. Golden Impacts and management strategies for crop production in waterlogged or flooded soils: A review. *Agronomy Journal*, 2020, vol. 112, pp. 1475–1501. DOI: 10.1002/agj2.20093.
7. Manik S. M. N., Pengilley G., Dean G., Field B., Shabala S. and Zhou M. Soil and Crop Management Practices to Minimize the Impact of Waterlogging on Crop Productivity. *Front. Plant Sci*, 2019, vol. 10, art. 140. DOI: 10.3389/fpls.2019.00140.
8. Bednář M., Šarapatka B., Netopil P., Zeidler M., Hanousek T., Homolová L. The Use of Spectral Indices to Recognize Waterlogged Agricultural Land in South Moravia, Czech Republic. *Agriculture*, 2023, vol. 13, art. 287. DOI: 10.3390/agriculture13020287.
9. Antsiferova O. A. *Gidrologicheskiy rezhim i agroekologicheskaya otsenka pochv agrolandshaftov Sambiyskoy ravniny* [Hydrological regime and agroecological assessment of soils of agricultural landscapes of the Sambian plain]. Kaliningrad, KGTU Publ., 2022, 356 p.
10. Schneider F., Don A. Root-restricting layers in German agricultural soils. Part II: Adaptation and melioration strategies. *Plant Soil*, 2019, vol. 442, pp. 419– 432. DOI: 10.1007/s11104-019-04186-8.
11. *Rekomendatsii po razvitiyu agropromyshlennogo kompleksa i sel'skikh territoriy Nechernozemnoy zony Rossiyskoy Federatsii do 2030 g. Versiya 2.0*. Pod red. S. G. Mitina, A. L. Ivanova [Recommendations for the development of the agro-industrial complex and rural territories of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation until 2030 Version 2.0. Edited by S. G. Mitin, A. L. Ivanov]. Moscow, MBA Publ., 2021, 400 p.
12. Kiryushin V. I. *Kontsepsiya razvitiya zemledeliya v Nechernozem'ye* [The concept of agriculture development in the Non-Chernozem region]. Saint-Petersburg, Quadro Publ., 2020, 276 p.
13. Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' Kaliningradskoy oblasti v 2006 g. [Report on the state and use of the lands of the Kaliningrad region in 2006]. Kaliningrad, Upravleniye Federal'nogo agentstva kadastra ob'yektov nedvizhimosti po Kaliningradskoy oblasti, 2007, 69 p.
14. *Geograficheskiy atlas Kaliningradskoy oblasti*. Gl. red. V. V. Orlenok [Geographical atlas of the Kaliningrad region. Ch. ed. V. V. Orlenok]. Kaliningrad, KGU Publ., 2002, 276 p.
15. Zaydel'man F. R. *Genezis i ekologicheskiye osnovy melioratsii pochv i landshaftov* [Genesis and ecological foundations of soil and landscape reclamation]. Moscow, KDU, 2009, 720 p.

16. Kiryushin V. I. *Klassifikatsiya pochv i agroekologicheskaya tipologiya zemel'* [Classification of soils and agroecological typology of lands]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2016, 288 p.

17. Safonova D. N., Antsiferova O. A. Vliyaniye zapasov produktivnoy vlagi na urozhaynost' mnogoletnikh trav na osushennykh dernovo-podzolistykh pochvakh tyazhelogo granulometricheskogo sostava [The effect of productive moisture reserves on the yield of perennial grasses on drained sod-podzolic soils of heavy granulometric composition]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova*, 2022, no. 28, pp. 23–32.

18. Panasin V. I., Deputatov K. V., Vikhman M. I. *Pochvy Kaliningradskoy oblasti i ikh agrokhimicheskiye svoystva* [Soils of the Kaliningrad region and their agrochemical properties]. Kaliningrad, BFU im. Kanta Publ., 2020, 240 p.

Информация об авторах

О. А. Анциферова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор

В. П. Бертова – студент

Information about the authors

O. A. Antsiferova – Doctor of Agricultural Sciences, Professor

V. P. Bertova – student

Статья поступила в редакцию 10.05.2023; одобрена после рецензирования 24.05.2023; принята к публикации 05.06.2023.

The article was submitted 10.05.2023; approved after reviewing 24.05.2023; accepted for publication 05.06.2023.

Научная статья

УДК 57.045:574.34: 574.47: 574.23:631.423

DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-24-33

Типы стратегии жизни ценопопуляции поликарпических трав на элементарных ландшафтах Вармийской возвышенности

Ольга Михайловна Бедарева¹, Александр Иванович Юсов², Татьяна Николаевна Троян³

^{1,2,3}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹olga.bedareva@klgtu.ru

²aleksandr.yusov@klgtu.ru

³tatyana.troyan @klgtu.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с проблемами эродированных почв и последующими процессами развития серийных сообществ на пути образования устойчивого климаксового фитоценоза. Серия рассматривается как совокупность видов, кратковременно существующих на данной территории и замещающих друг друга. Развитие эрозии почв обусловлено факторами антропогенного и природного характера, поэтому процесс идет по смешанному типу (природно-антропогенный). Эрозия почв склонов любых экспозиций элементарных ландшафтов оказывает влияние на экологические условия формирования фитоценозов и видовой состав растительных сообществ, обусловленных вторичными сукцессиями. Растительные сообщества травянистых фитоценозов эродированных почв характеризуются как последовательной, так и внезапной сменой видового состава с появлением видов, адаптированных к снижению показателей почвенного плодородия. Для прохождения этапов вторичных сукцессий имеется достаточный запас семян, способствующий их распространению, прорастанию и укоренению сначала единичными особями, затем формируя агломерации, популяции, которые в конечном итоге вписываются в структуру растительного сообщества, обеспечивая его пространственную и временную однородность с соблюдением правил последовательного заполнения среды. Направление, скорость и количество сукцессионных смен зависят от интенсивности развития эрозионных процессов. Сильноэродированные почвы создают значительные повышения гетерогенности почвенной среды, это оптимальные условия для вселения не всегда типичных для рассматриваемых фитоценозов видов, поэтому количество ассектаторов возрастает на почвах данного типа. Принимая слабоэродированные почвы за контроль, количество ассектаторов на сильноэродированных почвах увеличивается в два-три раза, при этом ситуация рассматривается с возможными флуктуационными изменениями, направленными на уменьшение ассектаторов, что связано с экотопическим и фитоценобиотическим отборами.

Ключевые слова: почва, эрозия, региональные проблемы, эродированность, фитоценоотипы, вторичные сукцессии.

Для цитирования: Бедарева О. М., Юсов А. И., Троян Т. Н. Типы стратегии жизни ценопопуляции поликарпических трав на элементарных ландшафтах Вармийской возвышенности // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 24–33. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-24-33.

Original article

Types of life strategy of the coenopopulation of polycarpic herbs on the elementary landscapes of the Warmian upland

Ol'ga M. Bedareva¹, Aleksandr I. Yusov², Tatyana N. Troyan³

^{1,2,3} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹ olga.bedareva@klgtu.ru

² aleksandr.yusov@klgtu.ru

³ tatyana.troyan @klgtu.ru

Abstract. The article deals with issues related to the problems of eroded soils and the subsequent processes of development of serial communities on the way to the formation of a stable climax phytocenosis. A series is considered as a set of species that briefly exist in a given territory and replace each other. The development of soil erosion is due to anthropogenic and natural factors, so the process is of a mixed type - natural-anthropogenic. Soil erosion on slopes of any exposure of elementary landscapes affects the ecological conditions for the formation of phytocenotypes and the species composition of plant communities due to secondary successions. Plant communities of herbaceous phytocenoses of eroded soils are characterized by both sequential and sudden changes in species composition with the appearance of species adapted to a decrease in soil fertility. To pass through the stages of secondary successions, there is a sufficient supply of seeds that contribute to their distribution, germination and rooting, first as single individuals, then forming agglomerations, populations that, in the end, fit into the structure of the plant community, ensuring its spatial and temporal uniformity, observing the rules of sequential filling of the medium. The direction, speed and number of succession changes depend on the intensity of the development of erosion processes. Highly eroded soils create a significant increase in the heterogeneity of the soil environment - these are optimal conditions for the introduction of species that are not always typical for the considered phytocenoses, therefore the number of assectators increases on soils of this type. Taking weakly eroded soils as control, the number of assectators on highly eroded soils increases two to three times, while the situation is considered with possible fluctuation changes aimed at reducing assectators, which is associated with ecotopic and phytocenobiotic selections.

Keywords: perennial grasses, loose shrub grasses, cocksfoot, population, morphometric parameters, age groups.

For citation: Bedareva O. M., Yusov A. I., Troyan T. N. Types of life strategy of the coenopopulation of polycarpic herbs on the elementary landscapes of the Warmian upland. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (70) : 24-33. (In Russ.). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-70-24-33.

ВВЕДЕНИЕ

Ландшафты – это устойчивые геосистемные единицы в силу того, что основополагающим компонентом ландшафта рассматривается литология – геологический фундамент. Другие компоненты ландшафта подвержены динамическим процессам, так как включают иерархический ряд соподчиненных единиц на уровне урочищ и фаций, объединенных общей направленностью физико-географических процессов [1, 2].

Исходя из принципов индивидуальной трактовки ландшафта, учитывается комплекс факторов, влияющих на устойчивость и динамику, при этом ландшафт рассматривается как конкретная территория в разрезе градиентов: типов почв, их гранулометрического состава, почвенного плодородия, рельефа и др. [3, 4] по принципу фациально-динамических рядов. Пространственные различия ландшафта принимаются во внимание как его естественные качества [2], этим надежнее обозначены природоохранные аспекты земельных ресурсов. Подобный подход является эффективным методом исследования разнообразия ландшафтов в контексте региональных проблем развития негативных процессов деградации и эрозии почвенного покрова, наносящих экономический и экологический ущерб [5].

Природная основа современного ландшафта во многом определяется рельефом, четвертичными отложениями, геологическими процессами эндогенного и экзогенного характера природного и антропогенного происхождения [6]. Степень эрозионных изменений в системе экзогенеза (эндогенетических сукцессий) диктует необходимость постоянного изучения, мониторинга и прогноза ущерба, нанесенного ландшафтной среде в целом и эдафическому покрову в частности [7], поскольку увеличение эрозионных процессов наносит масштабное разрушение почвенной среде [8], что особенно важно в направлении предотвращения необратимости снижения плодородия, изменения гранулометрического состава, деформации микробиоты в направлении уменьшения аэробных микроорганизмов по сравнению с анаэробами [4]. Конъюгированно изменяется и ферментативная активность почв: до 60 % на сильноэродированных, до 30 % – на слабоэродированных участках [9].

При этом необходимо помнить, что почвенно-биотический комплекс составляет основу почвенного плодородия, поэтому любые изменения в видовом составе микроорганизмов (например, снижение видового разнообразия) приведут к нарушению мутуалистических, трофических и синтрофных связей внутри микробного сообщества, что в целом отразится на способности почвы к самоочищению и детоксикации. На один биотический комплекс приходится совокупность организмов, весомых по своей значимости как в качественном, так и количественном отношении – на 1 га почвы 10 т представителей почвенно-биотического комплекса, включая микро-, мезо- и макрофауну (в 1 г почвы содержится около 90 млн бактерий) [9, 10].

Сельскохозяйственные угодья в России ежегодно теряют почти 1,5 млрд тонн плодородного слоя почвы вследствие эрозионных процессов, что приводит к снижению урожая на 35–48 % [11]. С учетом масштабности эрозионных процессов в контексте экологических и экономических проблем представленное исследование имеет актуальное значение.

Цель работы – изучение устойчивости фитоценозов с оценкой биоморфологического спектра фитоценофитов на разных элементарных ландшафтах дифференцированной степени эродированности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужили фитоценозы юго-западной части Варьинской возвышенности на бурых лесных почвах, приуроченных к трансэлювиальным элементам рельефа, характеризующихся укороченным почвенным профилем [7]. По происхождению они вторичны, так как возникли на месте сведенных лесов.

В работе использовалась градация точек отбора по схеме элементарных ландшафтов (Б. Б. Полюнов – М. А. Глазовская) [12] (табл. 1); шкала оценки эродированности, ранее апробированная в Калининградской области (табл. 2); геоботанические методы исследования – учет видового состава, обилия видов (по О. Друде); учет проективного и истинного покрытия по эталонам градаций на почвах разной степени эродированности (по Л. Г. Раменскому).

Таблица 1. Элементарные ландшафты в районе ключевого участка
 Table 1. Elementary landscapes in the area of the key site

Элементарный ландшафт	Степень эродированности почвы	Характер увлажнения, смыв, сток
Элювиальные водоразделы с уклоном 2°	слабая	смыв незначительный вследствие атмосферного увлажнения
Трансэлювиальный с уклоном 3°	сильная	смыв и размыв вследствие интенсивного стока
Трансаккумулятивный в основании склона	средняя	отложение аллювия за счет натечных вод

Таблица 2. Шкала оценки степени эродированности [13]
 Table 2. Scale for assessing the degree of erosion

Степень эродированности	Деградация почвенного покрова	Снижение гумуса в слое 0–50 см, %	Характеристика горизонтов почвы
Слабоэродированные	до четверти горизонта А	<20	АВ _{пах} , где А>50 %, В<50 %
Среднеэродированные	до половины горизонта А	20–50	АВ _{пах} , где А<50 %, В>50 %
Сильноэродированные	горизонт А разрушен полностью	50–80	В _{пах}
Очень сильноэродированные	до половины горизонта А	>80	ВС _{пах}
Катастрофически эродированные	горизонты А и В разрушены полностью	Около 100	С _{пах}

В основу работы положены материалы исследований и наблюдений авторов, выполненных в рамках тем научно-исследовательских работ «Растительные и кормовые ресурсы Калининградской области: инвентаризация, экология, продуктивность, управление» (№ 13.16.021.2), «Ресурсный потенциал сельскохозяйственных растений в контексте симбиотических популяционных взаимодействий» (№ 01-33001-2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ведущее место в формировании травянисто-дерновых покрытий принадлежит многолетним злаковым травам, которым свойственно обильное кущение, долголетняя способность побегообразования с постоянным обновлением надземных органов. Флористический состав поликарпиков луговых сообществ представлен 25 видами, их распределение неравномерно [14] и зависит от рельефа, почвенных условий.

На эродированных почвах параллельно протекают и сингенетические, и экзоэкогенетические изменения растительных сообществ. Были выявлены полидоминантные сообщества (табл. 3). Травостой верхней трети склона на слабоэродированной почве содержит достаточно большое количество разнообразных видов, включая представителей семейства бобовых, поэтому растительный покров сильноэродированных почв можно охарактеризовать как несформированный окончательно и одновременно – как переходный к лавинообразному изменению фитоценоза из-за сильной эрозии части геоморфологического профиля с доминированием корневищных и стержнекорневых видов, которые обладают высокой степенью адаптации к изменению эродированности [14].

Таблица 3. Фитоценозы различных элементов ландшафта
Table 3. Phytocenoses of various landscape elements

Элементарный ландшафт	Название фитоценоза
Элювиальные водоразделы с уклоном 2°	<i>Poa pratensis</i> – <i>Elytrigia repens</i> + <i>Alopecurus pratensis</i> + <i>Achillea millefolium</i>
Трансэлювиальный с уклоном 3°	<i>Carex vesicaria</i> + <i>Iris pseudacorus</i> – <i>Achillea millefolium</i> + <i>Scirpus lacustris</i>
Трансаккумулятивный в основании склона	<i>Equisetum arvense</i> – <i>Sonchus arvensis</i> <i>Alopecurus pratensis</i> – <i>Lupinum polipholia</i>

Зависимость такого распределения растительных сообществ определяется скоростью смены доминирующих видов при различной интенсивности и направленности эрозионных процессов (рис. 1).

На сильноэродированных почвах наблюдается увеличение видового состава, при этом больший процент участия приходится на ассектаторы, образующие второстепенные ступени в растительных сообществах. В рассматриваемых условиях все ассектаторы относятся к дегрессивным, так как внедрились и сформировались в состоянии нарушенного почвенного покрова. При этом на ключевом участке полностью отсутствуют аутохтонные и эдификаторофобные ассектаторы.

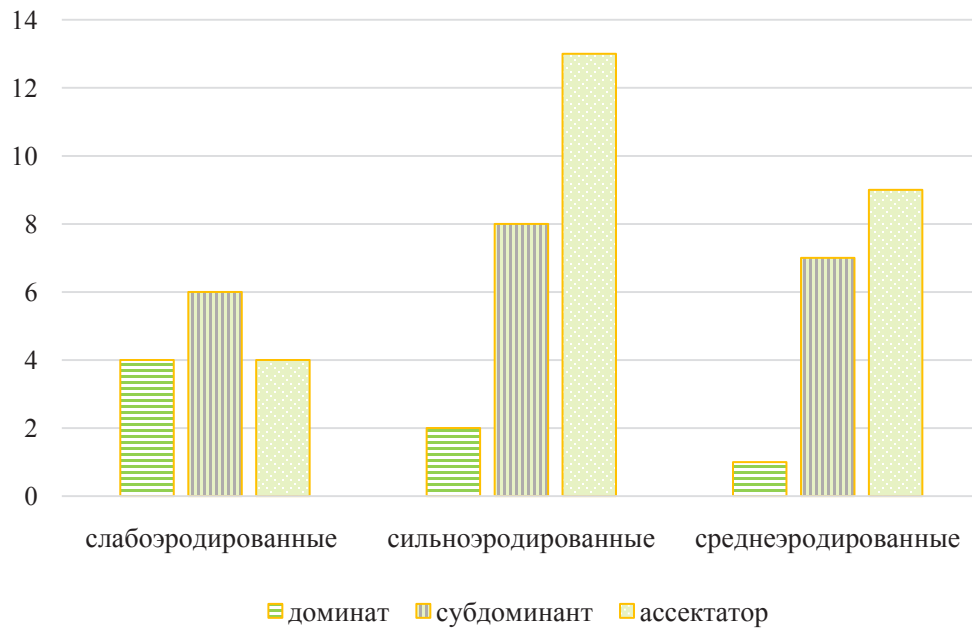


Рис. 1. Система доминирования видов в фитоценозах на почвах различной степени смывости

Fig. 1. The system of species dominance in phytocenoses on soils of various degrees of erosion

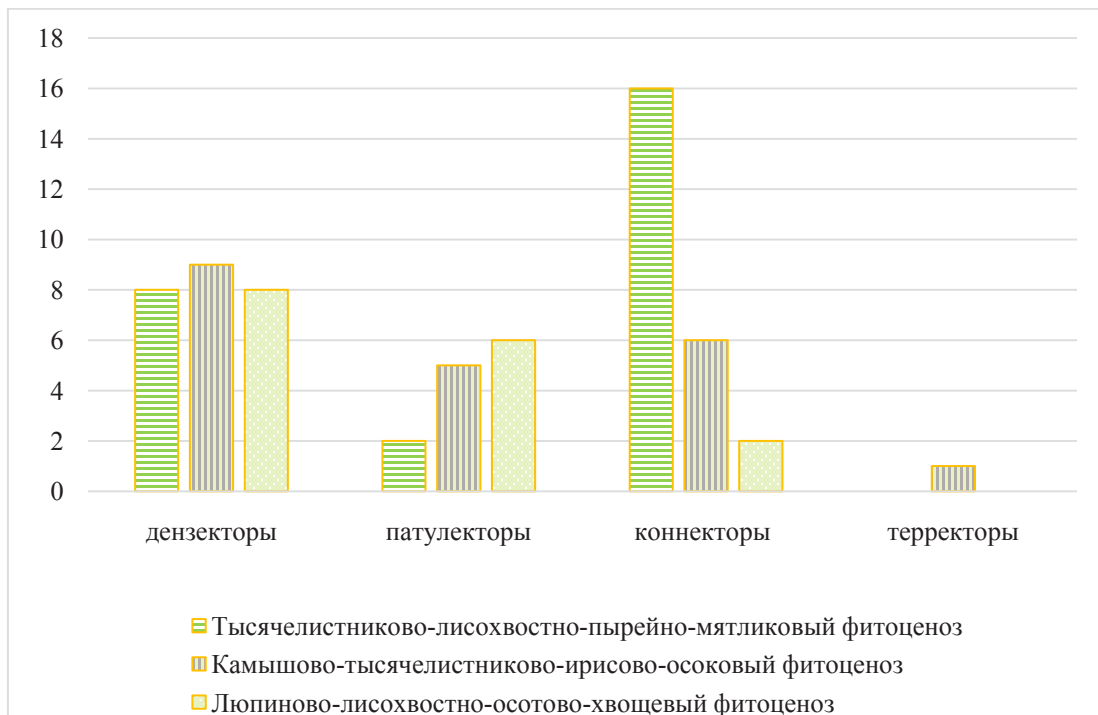


Рис. 2. Биоморфологический спектр видов с учетом их доминирования при восстановлении растительных сообществ на почвах различной степени смывости

Fig. 2. Biomorphological spectrum of species, taking into account their dominance in the restoration of plant communities on soils of varying degrees of erosion

С точки зрения биоморфологического спектра в сообществе тысячелистниково-лисохвостно-пырейно-мятликового фитоценоза присутствуют патулекторы, коннекторы, дензекторы (рис. 2).

Таким образом, в видовом составе на геоморфологическом профиле эродированной бурой лесной супесчаной почвы северного склона с высокой долей участия выступают коннекторы, доминирующие при тесном сплетении корневищами, столонами. Прогноз такого типа фитоценоза направлен на предохранение и замедление эрозионных процессов в силу того, что растения выступают в качестве фактора, структурирующего поверхность почвы, препятствующего вымыванию частиц почвы и их коллоидов даже при поверхностном стоке [15].

На среднеэродированных почвах создается гетерогенная среда. При таких условиях возможно внедрение видов, характеризующих экологическую устойчивость и надежность данного местообитания. Камышово-тысячелистниково-ирисово-осоковый фитоценоз характеризуется атмосферным увлажнением и наличием поверхностного стока. В этом случае формируются популяции, свойственные прибрежно-водной растительности. Преобладают дензекторы, произрастающие в густом стоянии, но не связанные сетью корневищ. В сообществе растений появляются растения-терректоры (кукушкин лен), обеспечивающие закрепление поверхностных структур почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях развития эрозионных процессов количество травянистых растений-эдификаторов – доминантов в фитоценозах – снижается с 7,4 до 1,8 %, при этом увеличивается количество видов с корневищными и стержневыми корневыми системами. Наряду с этим участие видов-ассектаторов стабильное, их доля участия вниз по профилю элементарных ландшафтов стремится с 11,1 до 12,9–14,8 %. На трансэлювиальном участке склона ассектаторы занимают лидирующие числовые значения (27,5 %) по сравнению со слабоэродированными участками, что объяснимо высокой степенью адаптации видов данной группы к ухудшению показателей почвенного плодородия; субдоминанты теряют свои позиции на 8,85 % по сравнению с числовыми значениями на элювиальном участке ландшафта. В основании склона со средней степенью эродированности ассектаторов (16,6 %) незначительно больше, чем субдоминантов (12,69 %). Следствием такой эволюции растительных сообществ по элементам ландшафта является увеличение интенсивности развития эрозионных процессов, что и отличает фитоценозы с низкой площадью истинного и проективного покрытия.

Список источников

1. Исаченко А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. Москва: Высшая школа, 1991. 366 с.
2. Мельник М. С., Подколзин О. А. Региональные проблемы развития негативных процессов почвенного покрова степных ландшафтов Западного Предкавказья // International agricultural journal. 2019. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnye-problemy-razvitiya-negativnyh-protsessov>

pochvennogo-pokrova-stepnyh-landshaftov-zapadnogo-predkavkazya/viewer (дата обращения: 10.04.2023).

3. Antsiferova O. A. Monitoring-based investigation of Cambisols moisture regimes for areas in autonomous relief positions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 368. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/368/1/012004> (дата обращения: 10.04.2023).

4. Kurkina M. V., Maslennikov P. V., Umanskiy A. S. Geocological study of soil microbial communities of the natural and agricultural ecosystems in the south-eastern Baltic region // International journal of environmental science. 2021. V. 78. Iss. 5. P. 737-758. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207233.2020.1845533> (дата обращения: 10.04.2023).

5. Фетюхин И. В., Черненко В. В. Факторы развития, моделирование и прогнозирование эрозии почвы // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 1 (361). С. 11–13.

6. Романова О. Е., Виноградова О. Л. Современные ландшафты Калининградской области как отражение динамики землепользования // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2015. Вып. 1 С. 35–43.

7. Паракшина Э. М., Юсов А. И. Физико-химические свойства и противоэрозионная устойчивость бурых лесных окультуренных почв Вармийской возвышенности // Вестник Томского государственного университета: общенаучный периодический журнал. 2008. № 308. С. 173–175.

8. Ишамятова И. Х., Тараканов О. В., Чурсин А. И. Влияние эрозионных процессов на структуру и качество земельного фонда. Факторы развития эрозии // International agricultural journal. 2022. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-erozionnyh-protsessov-na-strukturu-i-kachestvo-zemelnogo-fonda-factory-razvitiya-erozii/viewer> (дата обращения: 10.04.2023).

9. Хабиров И. К., Сайфуллин Р. Р. Эрозия почв и ферментативная активность // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 1 (115). С. 150–152.

10. Мировая климатическая повестка, почвозащитное ресурсосберегающее (углеродное) земледелие как стандарт межнациональных и национальных стратегий по сохранению почв и аграрных карбоновых рынков / Беляев В. И. [и др.]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovaya-klimaticheskaya-povestka-pochvozaschitnoe-resursosberegayuschee-uglerodnoe-zemledelie-kak-standart-mezhnatsionalnyh-i/viewer> (дата обращения: 11.04.2023).

11. Сучков Д. К. Противоэрозионные насаждения и мероприятия на смытых и размываемых почвах // Экология. 2020. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/protivoerozionnye-nasazhdeniya-i-meropriyatiya-na-smytyh-i-razmytyh-pochvah/viewer> (дата обращения: 10.12.2022).

12. Колбовский Е. Ю. Ландшафтоведение: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. Москва: Издательский центр «Академия», 2006. 480 с.

13. Терентьева М. Ю. Эрозия почв западной части Калининградского эксклава: монография. Калининград: КГТУ, 2005. 204 с.

14. Юсов А. И. Экологические аспекты современной эрозии почв северных склонов Вармийской возвышенности: дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Калининград, 2009. 167 с.

15. Juying J, Houyuan Z., Ning W. Research progress on the effects of soil erosion on vegetation. URL: https://www.researchgate.net/publication/222695228_Research_progress_on_the_effects_of_soil_erosion_on_vegetation июль 2009 г. Acta Ecologica Sinica 29(2):85-91 (дата обращения: 10.12.2022).

References

1. Isachenko A. G. *Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe rayonirovanie* [Landscape science and physical-geographical zoning]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1991, 366 p.

2. Mel'nik M. S., Podkolzin O. A. Regional'nye problemy razvitiya negativnykh protsessov pochvennogo pokrova stepnykh landshaftov Zapadnogo Predkavkaz'ya [Regional Problems of the Development of Negative Processes in the Soil Cover of the Steppe Landscapes of the Western Ciscaucasia]. *International agricultural journal*, 2019, no. 3, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnye-problemy-razvitiya-negativnyh-protsessov-pochvennogo-pokrova-stepnyh-landshaftov-zapadnogo-predkavkazya/viewer> (Accessed 10 April 2023).

3. Antsiferova O. A. Monitoring-based investigation of Cambisols moisture regimes for areas in autonomous relief positions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 368, available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/368/1/012004> (Accessed 11 April 2023).

4. Kurkina M. V., Maslennikov P. V., Umanskiy A. S. Geoecological study of soil microbial communities of the natural and agricultural ecosystems in the south-eastern Baltic region. *International journal of environmental science*, 2021, vol. 78, iss. 5, pp. 737–758, available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207233.2020.1845533> (Accessed 10 April 2023).

5. Fetyukhin I. V., Chernenko V. V. Faktory razvitiya, modelirovanie i prognozirovanie erozii pochvy [Development factors, modeling and forecasting of soil erosion]. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 2018, no. 1 (361), pp. 11–13.

6. Romanova O. E., Vinogradova O. L. Sovremennye landshafty Kaliningradskoy oblasti kak otrazhenie dinamiki zemlepol'zovaniya [Modern Landscapes of the Kaliningrad Region as a Reflection of Land Use Dynamics]. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*, 2015, no. 1, pp. 35–43.

7. Parakshina E. M., Yusov A. I. Fiziko-khimicheskie svoystva i protivooerozionnaya ustoychivost' burykh lesnykh okul'turenykh pochv Varmiyskoy vozvyshennosti [Physical and chemical properties and erosion resistance of cultivated brown forest soils of the Warmian Upland]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta: obshchenauchnyy periodicheskiy zhurnal*, 2008, no. 308, pp. 173–175.

8. Ishamyatova I. Kh., Tarakanov O. V., Chursin A. I. Vliyanie erozionnykh protsessov na strukturu i kachestvo zemel'nogo fonda. Faktory razvitiya erozii [Influence of erosion processes on the structure and quality of the land fund. Erosion development factors]. *International agricultural journal*, 2022, no. 4, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-erozionnyh-protsessov-na-strukturu-i-kachestvo-zemelnogo-fonda-factory-razvitiya-erozii/viewer> (Accessed 10 April 2023).

9. Khabirov I. K., Sayfullin R. R. Eroziya pochv i fermentativnaya aktivnost' [Soil erosion and enzymatic activity]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2022, no. 1 (115), pp. 150–152.

10. Belyaev V. I. [i dr.] Mirovaya klimaticheskaya povestka, pochvozaschitnoe resursosberegayushchee (uglerodnoe) zemledelie kak standart mezhnatsional'nykh i natsional'nykh strategiy po sokhraneniyu pochv i agrarnykh karbonovykh rynkov [Global climate agenda, soil conservation (carbon) agriculture as a standard for international and national strategies for soil conservation and agrarian carbon markets]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovaya-klimaticheskaya-povestka-pochvozaschitnoe-resursosberegayushchee-uglerodnoe-zemledelie-kak-standart-mezhnatsionalnyh-i/viewer> (Accessed 11 April 2023).

11. Suchkov D. K. Protivoerozionnye nasazhdeniya i meropriyatiya na smytykh i razmytykh pochvakh [Anti-erosion plantings and measures on eroded and eroded soils]. *Ekologiya*, 2020, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/protivoerozionnye-nasazhdeniya-i-meropriyatiya-na-smytyh-i-razmytyh-pochvah/viewer> (Accessed 10 December 2022).

12. Kolbovskiy E. Yu. *Landshaftovedenie* [Landscape science]. Moscow, Akademiya Publ., 2006, 480 p.

13. Terent'eva M. Yu. *Eroziya pochv zapadnoy chasti Kaliningradskogo eksklava* [Soil erosion in the western part of the Kaliningrad exclave]. Kaliningrad, KGTU Publ., 2005, 204 p.

14. Yusov A. I. *Ekologicheskie aspekty sovremennoy erozii pochv severnykh sklonov Varmiyской возвышенности. Diss. kand. biol. nauk* [Ecological Aspects of Modern Soil Erosion on the Northern Slopes of the Warmian Upland. Dis. kand. biol. sci.]. Kaliningrad, 2009, 167 p.

15. Juying J., Houyuan Z., Ning W. Research progress on the effects of soil erosion on vegetation, available at: https://www.researchgate.net/publication/222695228_Research_progress_on_the_effects_of_soil_erosion_on_vegetationyul 2009 g. *Acta Ecologica Sinica* 29(2):85–91 (Accessed 10 December 2022).

Информация об авторах

О. М. Бедарева – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Агрономия и агроэкология»

А. И. Юсов – кандидат биологических наук, доцент

Т. Н. Троян – кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors

O. M. Bedareva – Doctor of Biological Science, Professor, Head of Department of Agronomy and Agroecology

A. I. Usov – PhD in Biology, Associate Professor

T. N. Troyan – PhD in Biology, Associate Professor

Статья поступила в редакцию 01.06.2023; одобрена после рецензирования 10.06.2023; принята к публикации 20.06.2023.

The article was submitted 01.06.2023; approved after reviewing 10.06.2023; accepted for publication 20.06.2023.

Научная статья

УДК 574.4

DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-34-45

Флористические и экобиоморфологические особенности побережья обводненного карьера Янтарный

Валентина Валерьевна Моисеенко¹, Надежда Александровна Цупикова²

^{1,2} Калининградский государственный технический университет, Калининград,
Россия

¹ valentina.moiseenko@klgtu.ru

² tsoupikova@klgtu.ru

Аннотация. В последние десятилетия образовалось множество отработанных карьеров по добыче полезных ископаемых открытым способом, поэтому все большую актуальность приобретают исследования, посвященные искусственной рекультивации и естественной ренатурализации карьеров. Несмотря на то, что много работ посвящено исследованию восстановления экосистем техногенно-нарушенных территорий, имеются аспекты, которые требуют более детального изучения. Это выявление специфики растительности, обусловленной зонально-климатическими и техногенно-ландшафтными особенностями конкретных территорий.

В данной статье приведены результаты изучения флористического состава побережья обводненного карьера Янтарный, в котором за последние 50 лет, прошедших после прекращения добычи янтаря, сформировались устойчивые растительные сообщества. Рассмотрена растительность крутых и пологих склонов обводненного карьера с точки зрения различий видового разнообразия на них, на основании чего выявлены особенности, характерные для обводненного карьера Янтарный. Также обнаружена неравномерность в зарастании побережья в зависимости от характера и величины рекреационной нагрузки на отдельные участки побережья данного водоема. Проективное покрытие побережья растительностью составляет 80 %. Установлено, что на побережье рассматриваемого обводненного карьера произрастают 47 видов сосудистых растений четырех жизненных форм, принадлежащих к 44 родам, 24 семействам. Более 20 % от общего числа видов составляют растения-виоленты. Преобладает травянистая и кустарниковая растительность. Обнаружены два вида инвазионных растений. Наблюдается переход к климаксоному сообществу с лесной древесной растительностью. Наибольшее видовое разнообразие растительности отмечено в переходной зоне от подножия к борту склона карьера.

Ключевые слова: фиторазнообразие, обводненный карьер, флористический анализ, жизненные формы растений, локальная растительность.

Для цитирования: Моисеенко В. В., Цупикова Н. А. Флористические и экобиоморфологические особенности побережья обводненного карьера Янтарный // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 34–45. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-34-45.

Original article

Floristic and ecobiomorphological features of the flooded Yantarny quarry coast

Valentina V. Moiseenko¹, Nadezhda A. Tsupikova²

^{1,2} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹ valentina.moiseenko@klgtu.ru

² tsoupikova@klgtu.ru

Abstract. Many open-pit mining pits have been excavated within recent decades, therefore research on artificial reclamation and natural renaturalization of quarries is increasingly relevant. Despite the fact that many works are devoted to the study of the restoration of ecosystems of technogenically disturbed territories, there are aspects that require more detailed study. These include: identification of features of vegetation, due to zonal-climatic and technogenic-landscape features of specific areas.

This article presents the results of studying the floristic composition on the coast of the watered Yantarny quarry, where stable plant communities have formed over the past 50 years since amber mining was stopped. The features of the steep and gentle slopes of the flooded quarry are considered in terms of the peculiarities of species diversity of vegetation on such slopes; based on it the features characteristic of the flooded Yantarny quarry are identified. Differences were also found in the overgrowth of the coast, depending on the recreational load upon individual parts of the reservoir coastline. The projective vegetation cover of the coast is about 80%. It has been established that 47 species of vascular plants of four life forms belonging to 44 genera and 24 families grow on the coast of the watered Yantarny quarry. 20% of the total number of species are violenta-plants. Herbaceous and shrub vegetation predominates. Two species of invasive plants have been found. There is a transition to a climax community with woody vegetation. The greatest variety of vegetation species grows in the transition zone from the foot to the side slope of the quarry.

Keywords: phytodiversity, flooded quarry, floristic analysis, life forms of plants, local vegetation.

For citation: Moiseenko V. V., Tsupikova N. A. Floristic and ecobiomorphological features of the flooded Yantarny quarry coast. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (70): 34-45. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-34-45.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на территории Калининградской области в разработке находится 44 карьера по добыче полезных ископаемых. Наиболее распространенным способом рекультивации таких объектов является их обводнение. Всего на территории области насчитывается несколько десятков водоемов, образованных вышеуказанным способом.

Карьерные комплексы являются антропогенными экотопами, и флора их побережья формируется в результате самозарастания. Восстановление растительности относится к актуальным проблемам ботанико-экологических исследований, которые способствуют разработке эффективных способов рекультивации нарушенных экотопов. Поэтому установление закономерностей процесса формирования растительного покрова на нарушенных землях представляет существенный интерес для планирования и осуществления фитомелиоративных мероприятий. Кроме того, изучение естественного зарастания карьеров по добыче полезных ископаемых позволяет установить направление сукцессионных смен и определить степень необходимости вмешательства в естественный ход восстановления растительного покрова.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования флористического и экобиоморфологического состава побережья обводненного карьера Янтарный проводились маршрутным методом в летний период 2022 г. Для выявления видового состава растений были заложены учетные площадки (10×10 м) в трехкратной повторяемости. В результате анализа полученных данных составлен список видов сосудистых растений, осуществлена таксономическая и биоморфологическая классификация. Для изучения видового состава растительных сообществ использовались общепринятые методики геоботанических описаний [1, 2].

На рис. 1 представлена карта обводненного карьера Янтарный и обозначены берега с пологим склоном.

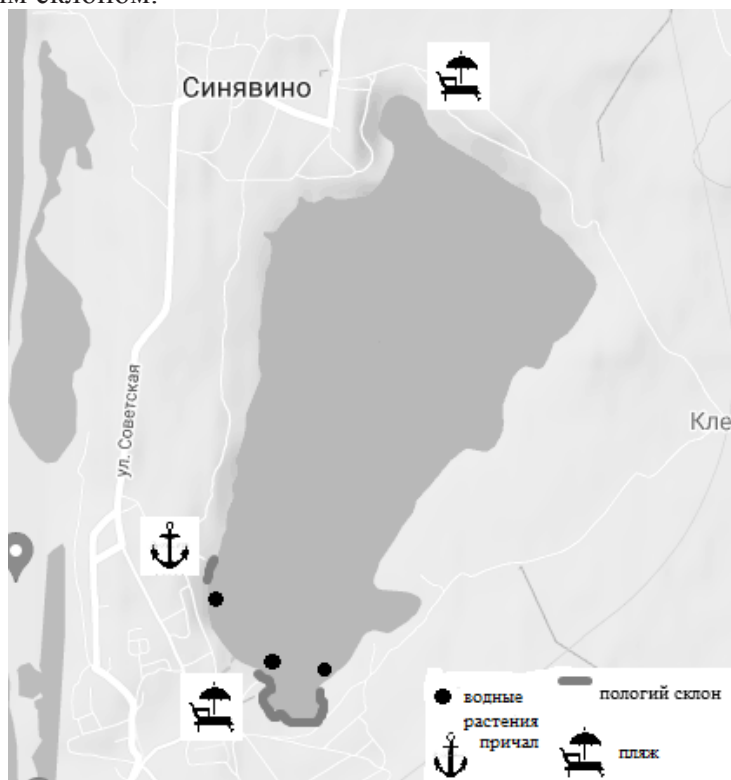


Рис. 1. Ситуационный план обводненного карьера Янтарный
Fig. 1. Layout of the flooded Yantarny quarry

Проведена типизация жизненных форм растений по классификации Раменского-Грайма, а также рассчитан коэффициент флористической общности для растительности склонов разной крутизны [3, 4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обводненный карьер Янтарный (часто именуемый «оз. Янтарное» или «Синявинский карьер») расположен в курортной зоне на побережье Балтийского моря между поселками Янтарный и Синявино, относящимися к муниципальному образованию «Янтарный городской округ», в 40 км к северо-западу от г. Калининграда, в 0,7 км от Балтийского моря. По объему вод, согласно классификации В. М. Мишона [5], Янтарный относится к крупным водоемам (0,02 км³), по глубине, согласно С. П. Китаеву [6], – к очень большим. Средняя глубина достигает 18 м, максимальная – 23 м, в основном преобладают глубины от 15 до 20 м. Площадь водной поверхности составляет около 111 га, средняя ширина – 0,6 км, длина – 1,9 км, длина береговой линии – приблизительно 5 км [7].

Водоем образовался на месте бывшего карьера по добыче янтаря «Вальтер». Янтарь добывали открытым способом с 1913 года. Когда запасы янтаря на месторождении исчерпались, специалистами принято решение о его закрытии в связи с разработкой нового карьера с более высоким содержанием янтаря. В 1972 году в старом карьере «Вальтер» перестали осуществлять водопонижение (т. е. откачивать воду), и он заполнился родниковыми и грунтовыми водами, в результате чего образовался искусственный водоем – обводненный карьер Янтарный. В настоящее время на побережье располагаются официальное место для купания, кафе, дайвинг-центры и парусная секция, кемпинг с благоустроенной и охраняемой территорией и оборудованный родник [8].

Данный водный объект вытянут с юго-запада на северо-восток. С северо-восточной стороны лежат волнистые супесчано-глинистые плохо дренированные, переувлажненные приледниково-озерные равнины под широколиственными лесами на дерново-подзолистых различно оглеенных почвах, а с юго-западной стороны – волнистые супесчано-суглинистые валунные замедленно дренированные приподнятые моренные равнины под широколиственными лесами на бурых лесных и глеевых почвах [9].

Заращение побережья происходит естественным путем. Берега в основном крутые, с отвесными склонами под углом почти 80°, что связано с карьерным происхождением водоема, лишь в нескольких местах оборудованы пологие берега, которые активно используются в рекреационных целях. Примерно на 40 % побережья доступ к водоему труднодоступен из-за крутизны склонов или недоступен в связи с арендой земельных участков.

Общее проективное покрытие растительностью побережья карьера составляет 80 %. Склоны покрыты деревьями и кустарниками, сменяющимися по мере приближения к урезу воды полукустарниками и травами, а у самого уреза воды – погруженными в воду гидрофитами. Проективное покрытие водными растениями самого водоема составляет менее 5 %. Установлено, что рекреационная нагрузка играет значительную роль в эмиссии биогенных веществ в данный водоем. Несмотря на смыв биогенов от фосфорноносных пород с крутых склонов вследствие

нарушенности водоносных горизонтов, проективное покрытие макрофитами больше на побережье с пологими склонами, чем с крутыми [10]. При этом наибольшее зарастание наблюдается в местах, которые используются для купания, других отличительных особенностей (тип грунта, строение подводного склона) между пологим и крутым склонами нет. Этот факт позволяет предположить, что в местах наибольшей рекреационной нагрузки на водоем происходит усиленное поступление биогенных элементов (азота и фосфора), которое создает благоприятную среду для развития водной растительности.

Всего в результате обследования побережья данного водоема обнаружено 47 видов растений из 44 родов и 24 семейств. Преобладают семейства астровые и злаковые, большинство других обнаруженных семейств представлены всего одним видом. Результаты отражены в табл. 1.

Таблица 1. Структура флоры побережья обводненного карьера Янтарный
 Table 1. Structure of the coastal flora of the flooded Yantarny quarry

Семейство	Число родов	Число видов	Доля от общего числа видов, %
Астровые (<i>Asteraceae</i>)	11	12	25,5
Злаковые (<i>Gramineae</i>)	7	8	17,0
Розовоцветные (<i>Rosaceae</i>)	5	5	10,6
Сапиндовые (<i>Sapindaceae</i>)	1	2	4,3
Хвощевые (<i>Equisetum</i>)	1	1	2,1
Амарантовые (<i>Amaranthaceae</i>)	1	1	2,1
Зонтичные (<i>Umbelliferae</i>)	1	1	2,1
Гераниевые (<i>Geraniaceae</i>)	1	1	2,1
Крапивные (<i>Urticaceae</i>)	1	1	2,1
Гвоздичные (<i>Caryophyllaceae</i>)	1	1	2,1
Капустные (<i>Brassicaceae</i>)	1	1	2,1
Бобовые (<i>Fabaceae</i>)	1	1	2,1
Коноплевые (<i>Cannabaceae</i>)	1	1	2,1
Пасленовые (<i>Solanaceae</i>)	1	1	2,1
Рогозовые (<i>Typhaceae</i>)	1	1	2,1
Телиптерисовые (<i>Thelypteridaceae</i>)	1	1	2,1
Аириные (<i>Acoraceae</i>)	1	1	2,1
Подорожниковые (<i>Plantaginaceae</i>)	1	1	2,1
Адоксовые (<i>Adoxaceae</i>)	1	1	2,1
Жимолостные (<i>Caprifoliaceae</i>)	1	1	2,1
Лоховые (<i>Elaeagnaceae</i>)	1	1	2,1
Ивовые (<i>Salicaceae</i>)	1	1	2,1
Буковые (<i>Fagaceae</i>)	1	1	2,1
Березовые (<i>Betulaceae</i>)	1	1	2,1
Всего	44	47	100,0

Общее проективное покрытие растительностью побережья карьера составляет 80 %. Склоны покрыты деревьями и кустарниками, по мере приближения к урезу воды сменяющимися полукустарниками и травами, у самого уреза воды

погружены в воду гидрофиты (ежеголовник скученный (*Sparganium glomeratum* Laest. ex Beurl.) Neuman), аир обыкновенный (*Acorus calamus* L.).

В единичном экземпляре были обнаружены паслен сладко-горький (*Solanum dulcamara* L.) и хмель вьющийся (*Humulus lupulus* L.). Также выявлены два инвазионных вида – мелколепестник канадский (*Conyza canadensis* L.) и клен ясенелистный (*Acer negundo* L.).

Растительность побережья обводненного карьера Янтарный по классификации жизненных форм И. Г. Серебрякова представлена четырьмя биоморфами (табл. 2).

Таблица 2. Биоморфы растений побережья обводненного карьера Янтарный
Table 2. Plant life forms of the flooded Yantarny quarry

Биоморфа	Число видов	Доля от общего числа видов, %
Деревянистые растения	14	29,78
Полудревесные растения	0	0
Наземные травы	30	65,95
Водные растения	3	6,38
Всего	47	100,0

Анализ жизненных форм показал, что преобладают наземные травы, из них 24 % составляют монокарпические, 76 % – поликарпические. Полудревесные растения отсутствуют. Водные растения представлены только земноводными видами: ежеголовник скученный (*Sparganium glomeratum* Laest. ex Beurl.) Neuman), аир обыкновенный (*Acorus calamus* L.), тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), плавающие и подводные растения отсутствуют, в целом проективное покрытие водоема менее 5 %.

По классификации элементарных ландшафтов Б. Б. Полюнова, на элювиальных ландшафтах доминирует рябиново-березово-разнотравное сообщество, на супераквальных – ивово-хвощевое, на субаквальном – аирово-тростниковое.

В каждом из перечисленных сообществ виды различаются по жизненным формам, экологическим особенностям и относятся, согласно Н. Н. Цвелеву, к разным ценоотическим группам. Это разнообразие эколого-биологических свойств видов, заселяющих похожие местообитания, – важная особенность, позволяющая растениям в ходе восстановительной сукцессии успешно колонизировать свободные субстраты даже в условиях динамично меняющейся среды [11, 12].

Согласно классификации Раменского-Грайма, отображенной в табл. 3, преобладают виды-эксплеренты (70 %), которые играют важную роль в формировании субстрата. Представленные в таблице пациенты являются экотопическими. Виды в таблице расположены в порядке встречаемости.

Таблица 3. Растения побережья обводненного карьера Янтарный по классификации Раменского-Грайма
 Table 3. Coastal plants of the flooded Yantarny quarry according to the Ramensky-Grime classification

Тип стратегии по Л.Г. Раменскому (Дж. Грайму)	Обнаруженные виды растений
Эксплерент (рудерал)	Мать-и-мачеха обыкновенная (<i>Tussilago farfara</i> L.), полынь обыкновенная (<i>Artemisia vulgaris</i> L.), одуванчик лекарственный (<i>Taraxacum officinale</i> Wigg), ежевика сизая (<i>Rubus caesius</i> L.), кострец безостый (<i>Bromopsis inermis</i> Holub.), пырей ползучий (<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski), щетинник зеленый (<i>Setaria viridis</i> L.), хвощ полевой (<i>Equisetum arvense</i> L.), мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i> L.), икотник серый (<i>Berteroa incana</i> L.), мятлик однолетний (<i>Poa annua</i> L.), сорго алеппское (<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.), мелколепестник канадский (<i>Conyza canadensis</i> L.), лисохвост луговой (<i>Alopecurus pratensis</i> L.), облепиха крушиновидная (<i>Hippophaë rhamnoides</i> L.), чертополох колючий (<i>Carduus acanthoides</i> L.), осот огородный (<i>Sonchus oleraceus</i> L.), тысячелистник обыкновенный (<i>Achillea millefolium</i> L.), цикорий обыкновенный (<i>Cichorium intybus</i> L.), якобея обыкновенная (<i>Jacobaea vulgaris</i> Gaertn.), лопух малый (<i>Arctium minus</i> (Hill) Bernh.), бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.), бодяк болотный (<i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.), клен ясенелистный (<i>Acer negundo</i> L.), марь луговая (<i>Chenopodium pratericola</i>), морковь дикая (<i>Daucus carota</i> L.), герань Роберта (<i>Geranium robertianum</i> L.), крапива двудомная (<i>Urtica dioica</i> L.), мыльнянка лекарственная (<i>Saponaria officinalis</i> L.), подорожник большой (<i>Plantago major</i> L.), клевер ползучий (<i>Trifolium repens</i> L.), хмель вьющийся (<i>Humulus lupulus</i> L.), паслен сладко-горький (<i>Solanum dulcamara</i> L.).
Пациент (стресс-толерант)	Тростник обыкновенный (<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.), болотный папоротник (<i>Thelypteris palustris</i> Schott), ежеголовник скученный ((<i>Sparganium glomeratum</i> Laest. ex Beurl.) Neuman), аир обыкновенный (<i>Acorus calamus</i> L.).

Виолент (конкурент)	Ива белая (<i>Salix alba</i> L.), береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), бузина черная (<i>Sambucus nigra</i> L.), клен остролистный (<i>Acer platanoides</i> L.), дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i> L.), боярышник колючий (<i>Crataegus laevigata</i> (Poir.) DC), шиповник обыкновенный (<i>Rosa cinnamomea</i> L.), черемуха кистевая (<i>Prunus padus</i> L.), калина красная (<i>Viburnum opulus</i> L.).
------------------------	--

Замечено, что виды-виоленты начинают развиваться при возрасте отработанного карьера более десяти лет [13]. Поскольку зарастание бывшего карьера идет уже 50 лет, на его берегах наблюдается значительное количество видов-виолентов (более 20 %). Виды-пациенты, обитающие в неблагоприятных условиях (например, отсутствие почвенного слоя в результате разработки карьера и высокая влажность вблизи уреза воды), составляют 8 %.

Прослеживается смена сукцессионных серий от мелколиственных деревьев (ива белая (*Salix alba* L.), береза повислая (*Betula pendula* Roth)) к широколиственным (дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.)).

По системе жизненных форм К. Раункиера, представленной в табл. 4, преобладают гемикриптофиты, что характерно для умеренных широт.

Таблица 4. Растения побережья обводненного карьера Янтарный по системе жизненных форм Раункиера

Table 4. Coastal plants of the flooded Yantarny quarry according to the Raunkiaer's Life Forms System

Жизненная форма	Число видов	Доля от общего числа видов, %
Фанерофиты	14	29,78
Хамефиты	3	6,38
Гемикриптофиты	20	42,55
Криптофиты	6	12,76
Герофиты	6	12,76
Всего	47	100,0

Береговая растительность заметно различается на крутом и пологом склонах. Высота пологого склона составляет примерно 1 м, крутого – от 2 до 4 м в разных частях побережья карьера. Профиль пологого и крутого склонов представлен на рис. 2.

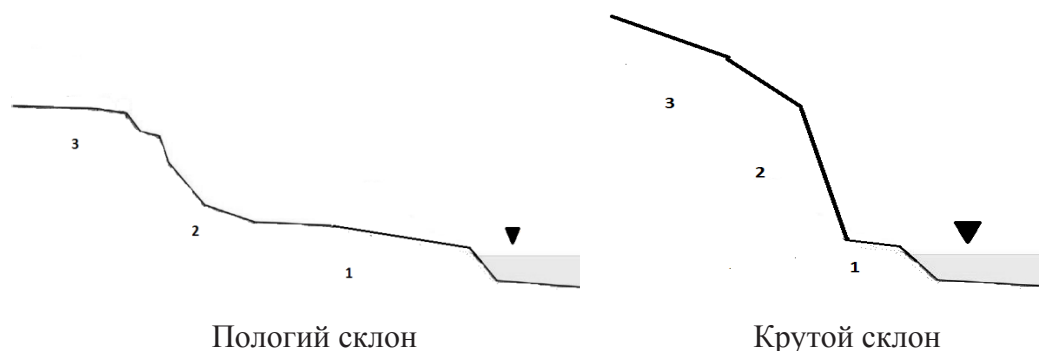


Рис. 2. Типичный профиль склонов обводненного карьера Янтарный: 1 – подножие склона, 2 – борт карьера, 3 – ненарушенное сообщество, ▼ – урез воды

Fig. 2. Typical slope profile of the Yantarny flooded quarry: 1 – foot of the slope, 2 – quarry board, 3 – undisturbed community, ▼ – water level

На пологих склонах растительность местами вытоптана из-за пребывания отдыхающих. Растительность вершин склонов имеет схожий видовой состав. Различия наблюдаются на самом склоне и его подножии. Например, заросли тростника обыкновенного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) и ивы белой (*Salix alba* L.) обнаружены только у подножия пологого склона, а черемуха кистевая (*Prunus padus* L.) и клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) доминируют на крутых склонах. Коэффициент флористической общности Жаккара для крутого и пологого склонов составляет 0,5 для подножия склона и 0,25 для бортов карьера, что указывает на большее сходство растительного состава подножия склонов разной крутизны и значительные различия на бортах карьера. Наибольшее разнообразие видов было представлено в переходной зоне от подножия к бортам карьера.

Согласно исследованиям О. И. Суминой, поселение растений-колониистов более успешно в аккумулятивных экотопах подножий склонов [14, 15], что подтверждается исследованием флористического состава побережья обводненного карьера Янтарный.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обследование всего побережья обводненного карьера Янтарный показало, что флористический состав представлен 47 видами растений, принадлежащих к 44 родам и 24 семействам. Доминирует семейство астровые, которое является одним из самых больших и наиболее распространенных во всем мире. Травяной покров представлен в основном представителями семейств астровых и злаковых. Обнаружено значительное количество видов-эксплерентов, которые уже начинают вытесняться виолентами. Водная растительность более развита у пологих склонов, возле мест, подверженных рекреационной нагрузке. Установлены различия растительности крутого и пологого склонов. Коэффициент флористической общности Жаккара демонстрирует большее сходство во флористическом составе подножий склонов, растительность бортов карьеров различается сильнее.

В целом характер растительности меняется от травянистой к древесной, что соответствует переходу от неустойчивых серийных сообществ к климаксным. Фитоценоз начинает формировать сложную структуру с ярусностью и обилием жизненных форм, что является показателем перехода к завершительной стадии синегенеза. На урете воды обводненного карьера сформированы устойчивые сообщества гидрофитов, на побережье поликарпические растения преобладают над монокарпическими. Присутствует значительное количество видов-виолентов, что согласуется с продолжительностью зарастания бывшего карьера.

Список источников

1. Жуков А. А., Жукова Е. Ю. Особенности сукцессии растительности на примере рекультивированного отвала угольного разреза «Черногорский» // Лесохозяйственная информация. 2022. № 3. С. 114–124.
2. Чадаева В. А., Цепкова Н. Л., Жашуев А. Ж. Многолетняя динамика восстановления растительности техногенных ландшафтов Былымской аридной котловины (Центральный Кавказ) // Аридные экосистемы. 2020. № 4 (85). С. 127–135.
3. Коновалова А. Е, Кривобоков Л. В., Кофман Г. Б. Сравнительный анализ сопряженности видов и их групп с элементами рельефа // Современные фундаментальные проблемы классификации растительности: II Междунар. научн. конф. (15–20 окт.): тезисы. Симферополь: Ариал, 2019. С. 30–31.
4. Landscape Project for the Environmental Recovery of a Quarry / Teodoro Semeraro et al. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. N 3. P. 1–10.
5. Мишон В. М. Функционально-генетическая классификация прудов Центрального Черноземья // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2003. № 3. С. 23–32.
6. Мякишева Н. В. Многокритериальная классификация озер. СПб: РГГМУ, 2009. 160 с.
7. Моисеенко В. В., Цупикова Н. А. Изучение внешней нагрузки на пруд Янтарный (Калининградская область) в 2018 году // Вестник молодежной науки. 2019. № 5 (22). С. 36–44.
8. Лучникова В. В. Янтарный – Пальмникен: исторический путеводитель. Калининград: Живем, 2016. 54 с.
9. Панасин В. И., Депутатов К. В., Вихман М. И. Почвы Калининградской области и их агрохимические свойства. Калининград: Издательство БФУ им. И. Канта, 2020. 232 с.
10. Моисеенко В. В., Цупикова Н. А. Исследование рекреационной нагрузки на пруд Янтарный за купальные сезоны 2017 и 2018 годов // Вестник молодежной науки. 2018. № 5 (17). С. 22–29.
11. Kirsten Stephan, Jason A. Hubbart. Plant Community, Soil and Microclimate Attributes after 70 Years of Natural Recovery of an Abandoned Limestone Quarry // Land, 2023. N 12 (117). P. 1–18.
12. Цвелев Н. Н. Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). СПб: Изд-во Химико-фармацевтической академии. 2000. 789 с.

13. Дмитрикова Я. А., Сумина О. И. Заращение песчаных карьеров: влияние рельефа на размещение видов-колонистов // Успехи современного естествознания. 2012. № 11. С. 86–88.
14. Сумина О. И. Поливариантная модель первичной сукцессии растительности на экотопически гетерогенной территории (на примере карьеров лесотундры) // Успехи современного естествознания. 2012. № 11. С. 112–116.
15. Sumina O. I., Koptseva E. M. Vegetation Monitoring on Quarries in the Russian Far North as a Basis for Creating Models and Analyzing Trends of Landscape Processes // Current Trends in Landscape Research. N 4. 2019. P. 559–578.

References

1. Zhukov A. A., Zhukova E. Y. Osobennosti suksessii rastitel'nosti na primere rekul'tivirovannogo otvala ugol'nogo razreza «Chernogorskiy» [Peculiarities of Vegetation Succession on the Example of the Reclaimed Dump of the Chernogorsky Coal Mine]. *Lesokhozyastvennaya informatsiya*, 2022, no. 3, pp. 114–124.
2. Chadaeva V. A., Cepkova N. L., Zhashuev A. Z. Mnogoletnyaya dinamika vosstanovleniya rastitel'nosti tekhnogennykh landshaftov Bylymskoy aridnoy kotloviny (Tsentral'nyy Kavkaz) [Long-term dynamics of vegetation restoration in technogenic landscapes of the Bylym arid basin (Central Caucasus)]. *Aridnye ekosistemy*, 2020, no. 4 (85), pp. 127–135.
3. Konovalova A. E., Krivobokov L. V., Kofman G. B. Sravnitel'nyy analiz sopryazhennosti vidov i ikh grupp s elementami rel'efa [Comparative analysis of conjugation of species and their groups with relief elements]. *Sovremennye fundamental'nye problemy klassifikatsii rastitel'nosti: II Mezhdunar. nauchn. konf. (15–20 okt.): tezisy* [Modern fundamental problems of vegetation classification: II Intern. scientific conf. (15–20 Oct.): Abstracts.]. Simferopol'. Arial Publ., 2019, pp. 30–31.
4. Landscape Project for the Environmental Recovery of a Quarry. Teodoro Semeraro et al. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2019, no. 3, pp. 1–10.
5. Mishon V. M. Funktsional'no-geneticheskaya klassifikatsiya prudov Tsentral'nogo Chernozem'ya [Functional-genetic classification of ponds of the Central Chernozem region]. *Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2003, no. 3, pp. 23–32.
6. Myakisheva N. V. *Mnogokriterial'naya klassifikatsiya ozer* [Multicriteria classification of lakes]. Saint-Petersburg. RGGMU Publ., 2009, 160 p.
7. Moiseenko V. V., Tsupikova N. A. Izuchenie vneshney nagruzki na prud Yantarnyy (Kaliningradskaya oblast') v 2018 godu [Study of the external load on the Yantarny pond (Kaliningrad region) in 2018]. *Vestnik molodezhnoy nauki*, 2019, no. 5 (22), pp. 36–44.
8. Luchnikova V. V. *Yantarny – Pal'mniken: istoricheskiy putevoditel'* [Yantarny – Palmniken: historical guide]. Kaliningrad Publ., Zhivyom, 2016, 54 p.
9. Panasin V. I., Deputatov K. V., Vikhman M. I. *Pochvy Kaliningradskoy oblasti i ikh agrokhimicheskie svoystva* [Soils of the Kaliningrad region and their agrochemical properties]. Kaliningrad Publ., BFU im. I. Kanta, 2020, 232 p.
10. Moiseenko V. V., Tsupikova N. A. Issledovanie rekreatsionnoy nagruzki na prud Yantarnyy za kupal'nye sezony 2017 i 2018 godov [Study of the recreational

load on the Yantarny pond for the swimming seasons of 2017 and 2018]. *Vestnik molodezhnoy nauki*, 2018, no. 5 (17), pp. 22–29.

11. Kirsten Stephan, Jason A. Hubbart. Plant Community, Soil and Microclimate Attributes after 70 Years of Natural Recovery of an Abandoned Limestone Quarry. *Land*, 2023, no. 12 (117), pp. 1–18.

12. Tsvelev N. N. *Opredelitel' sosudistyykh rasteniy Severo-Zapadnoy Rossii (Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti)* [Key to vascular plants of Northwestern Russia (Leningrad, Pskov and Novgorod regions)]. Saint-Petersburg, Khimiko-farmatsevticheskaya akademiya Publ., 2000, 789 p.

13. Dmitrakova Y. A., Sumina O. I. Zarastanie peschanykh kar'erov: vliyanie rel'efa na razmeshchenie vidov-kolonistov [Overgrowing of sandpits: the influence of relief on the distribution of colonist species]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2012, no. 11, pp. 86–88.

14. Sumina O. I. Polivariantnaya model' pervichnoy suksessii rastitel'nosti na ekotopicheski geterogennoy territorii (na primere kar'erov lesotundry) [Polyvariant model of primary succession of vegetation on ecotopically heterogeneous territory (on the example of forest-tundra quarries)]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2012, no. 11, pp. 112–116.

15. Sumina O. I., Koptseva E. M. Vegetation Monitoring on Quarries in the Russian Far North as a Basis for Creating Models and Analyzing Trends of Landscape Processes. *Current Trends in Landscape Research*, 2019, no. 4, pp. 559–578.

Информация об авторах

В. В. Моисеенко – аспирант кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

Н. А. Цупикова – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

Information about the authors

V. V. Moiseenko – postgraduate student of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

N. A. Tsupikova – PhD in geological and mineralogical sciences, Associate Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

Статья поступила в редакцию 26.05.2023; одобрена после рецензирования 06.06.2023; принята к публикации 16.06.2023.

The article was submitted 26.05.2023; approved after reviewing 06.06.2023; accepted for publication 16.06.2023.

Научная статья
УДК 556.048+519.25
DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-46-58

Ряд средних годовых расходов воды в р. Матросовке (рукав р. Неман)

Владимир Аркадьевич Наумов

Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

vladimir.naumov@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0560-5933>

Аннотация. Река Матросовка представляет собой левый рукав р. Неман, протекает по территории Калининградской области. Она играет заметную роль в рыбном хозяйстве региона, является водоприемником многочисленных мелиоративных осушительных систем. Указанные проблемы тесно связаны с водностью реки, поэтому анализ ряда среднегодовых расходов воды в р. Матросовке – весьма актуальная задача. Гидрологический пост Мостовое, где проводятся измерения расходов воды, действует с 1968 г., однако результаты за отдельные годы отсутствуют. Использование р. Варты (правый приток Одера) в ранее опубликованных работах для восстановления ряда среднегодовых расходов р. Матросовки Q привело к серьезным ошибкам из-за нарушения условий гидрологического подобия. Показано, что всем требованиям, предъявляемым к реке-аналогу, удовлетворяет р. Неман. Длина ряда наблюдений Q в створе г. Смалнинкай насчитывает более 200 лет. Для восстановления ряда Q р. Матросовки был использован известный метод Е. Г. Иванова. Анализ параболического тренда и интегрально-разностной кривой стока показал, что восстановленный ряд можно разбить по водности на три периода: первый – с 1812 г. до середины 70-х годов 19-го века со средним расходом $Qs1 = 135,6$ куб.м/с; второй – до конца 50-х годов 20-го века, $Qs2 = 142,8$ куб.м/с; третий – по 2020-й год, $Qs3 = 125$ куб.м/с. Гипотеза однородности ряда была отвергнута (по критерию Стьюдента) из-за большой разницы $Qs2$ и $Qs3$, трехпараметрическое гамма-распределение Q принято в качестве теоретического. Параметры распределения были найдены тремя способами: 1) по всему ряду как однородному, 2) по составной формуле для трех периодов, 3) по составной формуле для двух последних периодов. Разница между расчетными расходами Q заданной вероятности превышения, найденными указанными способами, оказалась менее 3 %, поэтому для их определения можно использовать теоретическое распределение, рассчитанное по всему ряду как однородному.

Ключевые слова: река Неман, рукав Матросовка, средние годовые расходы воды, восстановление ряда, вероятность превышения.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 22-27-20016.

Для цитирования: Наумов В. А. Ряд средних годовых расходов воды в р. Матросовке (рукав р. Неман) // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 46–58. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-46-58.

Original article

The series of average annual water flow rate in the Matrosovka River (arm of the Neman River)

Vladimir A. Naumov

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

vladimir.naumov@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0560-5933>

Abstract. The Matrosovka River is the left arm of the Neman River, flows through the territory of the Kaliningrad region. It plays a significant role in the fisheries of the region, is a water receiver of numerous reclamation drainage systems. These problems are closely related to the water content of the river. Therefore, the analysis of the series of average annual water flow rate Q in the Matrosovka River is a very urgent task. The Mostovoye hydrological post, where water flow measurements are carried out, has been in operation since 1968. Moreover, there are no results for some years. The use of the Varta River (the right tributary of the Oder) in previously published works to restore the Q series of the Matrosovka River led to serious errors due to violations of the conditions of hydrological similarity. It is shown that the Neman River satisfies all the requirements for an analog river. A number of observations of Q in the alignment of the city of Smalininkai dates back more than 200 years. To restore the Q series of the Matrosovka River, the well-known method of E.G. Ivanov was used. Analysis of the parabolic trend and the integral-difference flow curve showed that the restored series can be divided into three periods by water content. The first was from 1812 to the mid – 70s of the 19th century with an average flow rate of $Q_{s1} = 135.6$ cubic meters/s. The second – until the end of the 50s of the 20th century, $Q_{s2} = 142.8$ cubic meters/s; the third – by 2020, $Q_{s3} = 125$ cubic meters/s. The hypothesis of uniformity of the series was rejected (according to the Student's criterion) due to the large difference between Q_{s2} and Q_{s3} . The three-parameter gamma distribution Q was accepted as theoretical. The distribution parameters were found in three ways: 1) over the entire series, as homogeneous, 2) by a composite formula for three periods, 3) by a composite formula for the last two periods. The difference between the estimated costs Q of a given probability of excess found by these methods turned out to be less than 3%. Therefore, to determine them, it is possible to use a theoretical distribution calculated over the entire series as a single one.

Keywords: Neman River, Matrosovka arm, average annual water flow rate, restoration of the series, probability of excess.

Funding: The research has been carried out with the financial support of the Russian Science Foundation and the Government of the Kaliningrad Region within the framework of scientific project No. 22-27-20016.

For citation: Naumov V. A. The series of average annual water flow rate in the Matrosovka River (arm of the Neman River). *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (70) : 46-58. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-46-58.

ВВЕДЕНИЕ

Р. Матросовка (прежнее название «Гильге») представляет собой левый рукав р. Неман, протекает по территории Калининградской области, играет заметную роль в рыбном хозяйстве региона [1, 2] и является водоприемником многочисленных осушительных (польдерных) систем Славского р-на [3, 4]. Расходы воды заметно влияют на перенос биогенных веществ, гидрохимические показатели и состояние речных экосистем [5–7]. Для обоснованного решения проблем, возникающих во всех названных приложениях, необходимо знать гидрологические характеристики водотока [8–10].

Река берет начало из Немана в 48 км от его устья (в 7,5 км ниже по течению от г. Советска). Устье расположено у пос. Матросово Полесского р-на, где река впадает в Куршский залив Балтийского моря. Длина р. Матросовки 43 км, средняя ширина 60–70 м, средняя глубина 1,5–3 м (в половодье глубина может достигать 6 м)¹.

Левый приток – р. Старица – впадает в Матросовку на расстоянии 15 км от ее устья. Немонинский и Приморский каналы соединяют р. Матросовку с р. Немонин. У пос. Заповедное по правому берегу от Матросовки отделяется рукав р. Товарной.

Р. Матросовка протекает по польдерным землям, лежащим ниже уровня моря, поэтому значительная часть берегов реки укреплена высокими дамбами. Матросовка имеет вид канала, так как во многих местах русло было углублено и спрямлено во время строительства и реконструкции осушительных систем.

На р. Матросовке в пос. Заповедное с 1947 по 1967 гг. действовал гидрологический пост (ГП). В гидрологических ежегодниках публиковались ежедневные уровни воды за этот период. В конце 1968 г. был открыт ГП «Мостовое», действующий по настоящее время. Средние годовые расходы р. Матросовки по этому посту имеются с 1969 по 2020 гг. (с пробелами).

В [11] предпринималась попытка восстановить гидрологический ряд р. Матросовки, однако при этом были допущены существенные промахи. Так, в качестве аналога приняли р. Варту (Warta) в Польше, правый приток Одера. Исток этой реки начинается вблизи г. Кромолов. Длина реки составляет 808 км, водосборная площадь – более 54 тыс. км². Единственное сходство с р. Матросовкой – близкий средний многолетний расход (примерно 124 м³/с). Очевидно, что не выполняется требование гидрологического подобия двух названных водотоков.

Цель данной статьи – восстановить ряд средних годовых расходов р. Матросовки и рассчитать по нему расходы заданной обеспеченности.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЯДА Р. МАТРОСОВКИ

Источниками данных о средних годовых расходах р. Матросовки являются гидрологические ежегодники; Схема комплексного использования и охраны вод-

¹ Все реки. Бассейн Балтийского моря [Электронный ресурс]. URL: <https://vsereki.ru/atlanticheskij-okean/bassejn-baltijskogo-morya/matrosovka> (дата обращения: 04.04.2023).

ных объектов бассейна р. Неман и рек бассейна Балтийского моря (Российская часть в Калининградской области)²; Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО)³. В настоящее время в АИС ГМВО доступны данные по расходам воды рек России (в т. ч. по Матросовке) до 2020 г. включительно. Не удалось обнаружить расходов воды в Матросовке за 1987–1989 и 2005–2007 гг.

Проверим, можно ли в качестве аналога для Матросовки принять р. Неман. Ближайший ГП с длинным рядом наблюдений на р. Неман, открытый в 1811 г., расположен в г. Смалининкай (в настоящее время на территории Литвы). В [12] были собраны данные о средних годовых расходах р. Неман (ГП «Смалининкай») с 1812 по 2009 гг. Источниками послужили гидрологические ежегодники, интернет-ресурс ЮНЕСКО⁴ (результат работы Государственного гидрологического института под руководством И. А. Шикломанова, в настоящее время ресурс недоступен), а также материалы статей [13, 14]. К сожалению, достоверных и полных данных о расходах р. Неман (ГП «Смалининкай») после 2009 г. найти не удалось.

С 1969 по 2009 гг. имеются результаты совместных наблюдений за расходами воды за 35 лет в реках Неман и Матросовка. Коэффициент парной корреляции гидрологических рядов весьма высок (0,892). Другие числовые условия свода правил⁵ также выполнены с большим запасом.

На рис. 1 точками показаны данные совместных наблюдений. Так как статистическая связь стока рек Неман QN и Матросовки QM формируется за счет присутствия случайной составляющей в структуре обеих сравниваемых величин, то за ее оценку нужно принимать линию, соответствующую центральной оси эллипса рассеяния переменных [15]. Эта линия занимает среднее положение между регрессиями QM по QN (1) и QN по QM (2) и описывается уравнением (3):

$$QM = QMs + r \cdot (QN - QNs) \cdot \sigma M / \sigma N, \quad (1)$$

$$QN = QNs + r \cdot (QM - QMs) \cdot \sigma N / \sigma M, \quad (2)$$

$$QM = QMs + (QN - QNs) \cdot \sigma M / \sigma N, \quad (3)$$

где r – коэффициент парной корреляции; QMs , QNs – средние значения расхода за годы совместных наблюдений; σM , σN – средние квадратичные отклонения.

² Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна р. Неман и рек бассейна Балтийского моря (Российская часть в Калининградской области). Утверждена приказом Невско-Ладожского БВУ Федерального агентства водных ресурсов № 171 от 09.12. 2014 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/page-2/> (дата обращения: 03.03.2023).

³ Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 10.03.2023).

⁴ UNESCO. International Hydrological Programme [Электронный ресурс]. URL: <http://webworld.unesco.org/water/> (дата обращения: 09.05.2014).

⁵ Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Одобрен для применения в качестве нормативного документа постановлением Госстроя России № 218 от 26 декабря 2003 г.

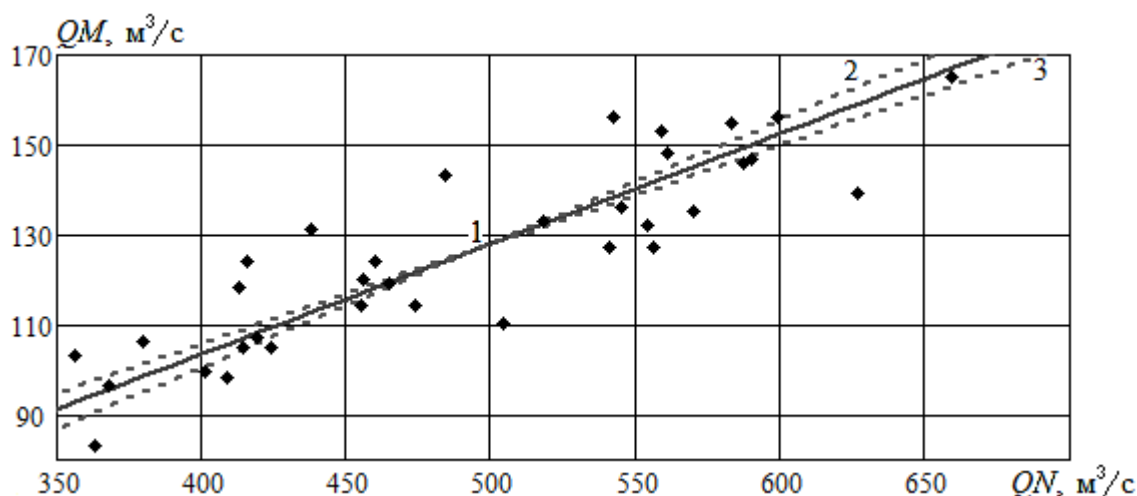


Рис. 1. Связь средних годовых расходов рек Неман (ГП «Смалининкай») и Матросовки (ГП «Мостовое»). Точки – данные наблюдений; 1 – результат расчета по формуле (3); 2 – по (1); 3 – по (2)

Fig. 1. The relationship between the average annual flow rate of the Neman River (“Smalininkai” GP) and Matrosovka (“Mostovoe” GP). Points – observational data; 1 – the result of calculation according to the formula (3); 2 – by (1); 3 – by (2)

Для восстановления гидрологического ряда р. Матросовки была использована формула (3). На рис. 2 восстановленные значения средних годовых расходов сравниваются с таковыми из [11] (не слишком удачная сетка [11] сохранена для удобства сравнения). Видно, что в [11] все восстановленные значения расхода ниже, чем получаются по (3). Особенно большое расхождение получилось по 1989 году (почти 32 %). Дело в том, что этот год в бассейне р. Неман был средней водности, а в бассейне р. Одер – маловодным. Использовать ряд р. Варты (бассейн Одера) для восстановления ряда р. Матросовки нельзя.

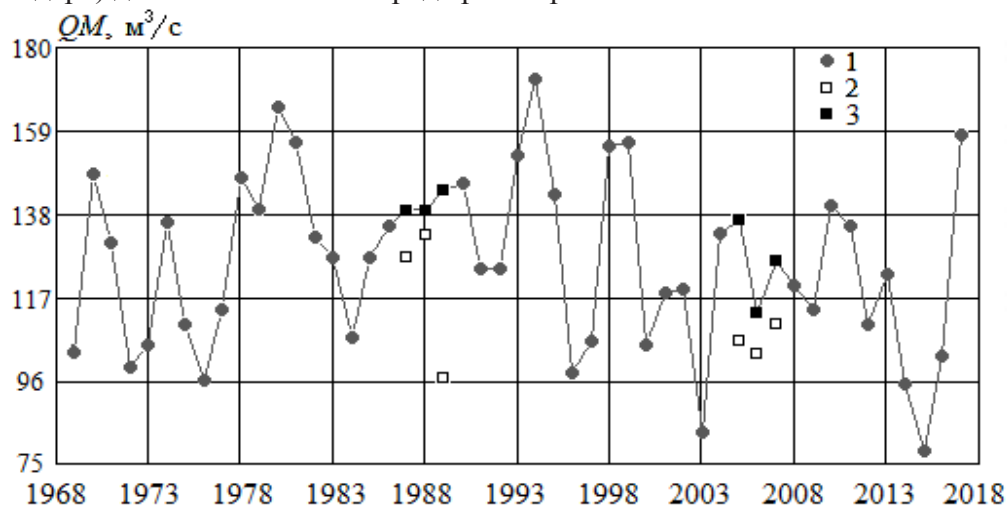


Рис. 2. Средние годовые расходы р. Матросовки (ГП «Мостовое»): 1 – данные наблюдений; 2, 3 – восстановленные значения (2 – в [11], 3 – в данной статье)

Fig. 2. Average annual flow rate of the Matrosovka River (GP “Mostovoye”): 1 – observational data, 2, 3 – restored values (2 – in [11], 3 – in this article)

На рис. 3 представлен гидрологический ряд р. Матросовки, восстановленный по ряду р. Неман (ГП «Смалининкай») с 1812 года.

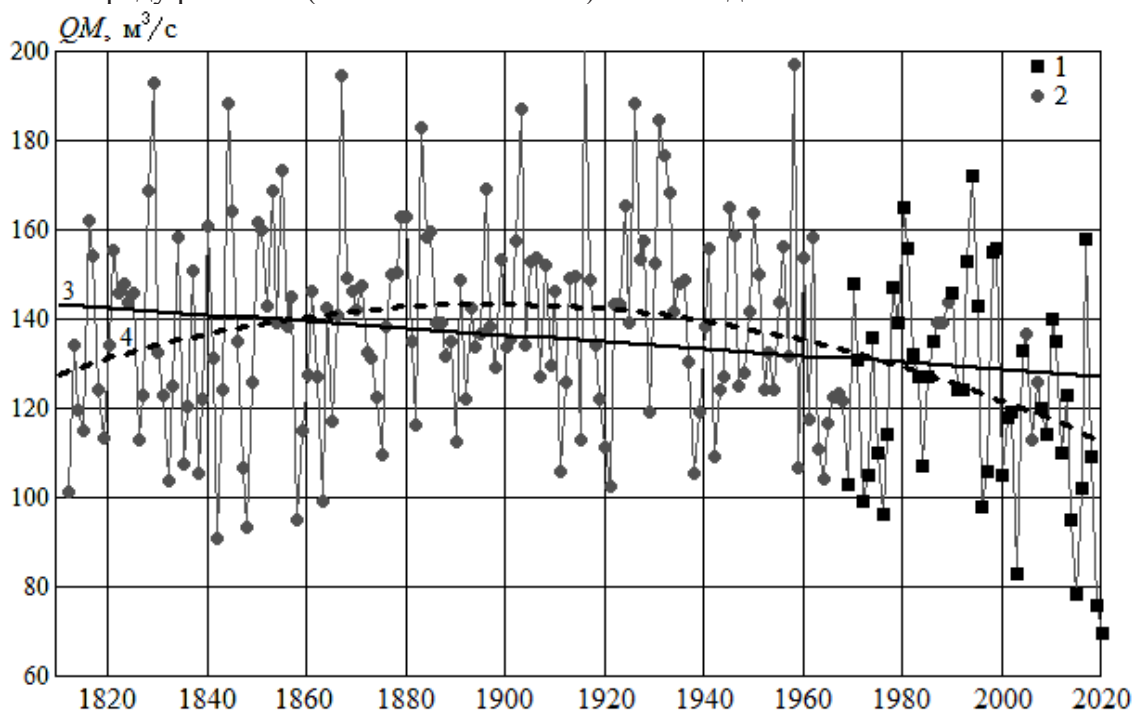


Рис. 3. Средние годовые расходы реки Матросовки (ГП «Мостовое»):
1 – данные наблюдений; 2 – восстановленные значения; 3 – линейный тренд;
4 – параболический тренд

Fig. 3. Average annual flow rate of the Matrosovka River (GP “Mostovoye”):
1 – observational data; 2 – restored values; 3 – linear trend; 4 – parabolic trend

После восстановления ряда общее количество точек (см. рис. 3) $n = 209$. Средний многолетний расход равен $135,2 \text{ м}^3/\text{с}$.

АНАЛИЗ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЯДА Р. МАТРОСОВКИ

Линейный тренд на рис. 3 показывает тенденцию некоторого снижения стока р. Матросовки за 200 с лишним лет. С помощью параболического тренда по величине стока можно выделить три периода: первый – с 1812 г. до середины 70-х годов 19-го века; второй – до конца 50-х годов 20-го века; третий – с конца 50-х годов прошлого века по 2020-й год. Эти же три периода четко просматриваются по интегрально-разностной кривой стока (ИРКС) (рис. 4). Первый период характеризуется чередованием многоводных и маловодных лет, ИРКС на рис. 4 колеблется вблизи нуля. Во второй период преобладают многоводные годы, ИРКС идет вверх. В третий период ИРКС падает, преобладают маловодные годы. Несомненно, главная причина таких явлений заключается в климатических изменениях. Не исключено антропогенное влияние, в частности, массовое строительство и реконструкция мелиоративных осушительных систем в Калининградской области.

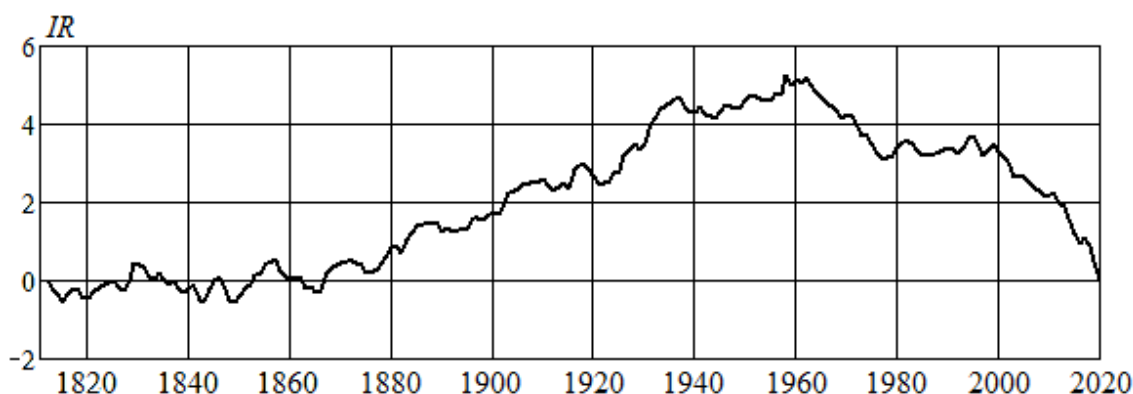


Рис. 4. Интегрально-разностная кривая стока р. Матросовки (ГП «Мостовое»)
Fig. 4. Integral-difference flow curve of the Matrosovka River (GP "Mostovoe")

Для уточнения указанной выше периодизации были рассчитаны выборочные средние Q_{sj} в каждый период при варьировании их границ. Наибольшая разница выборочных средних получилась при назначении границ периодов, приведенных в табл. 1, где обозначены: j – номер периода, n_j – количество лет в j -м периоде, σ_j – среднее квадратичное отклонение (точечная оценка), C_v – коэффициент вариации, C_s – коэффициент асимметрии, r_1 – коэффициент корреляции между расходами за смежные годы.

Таблица 1. Параметры среднего годового расхода реки Матросовки по периодам
Table 1. Parameters of the average annual flow rate of the Matrosovka River by period

j	Годы	n_j	$Q_{sj}, \text{м}^3/\text{с}$	$\sigma_j, \text{м}^3/\text{с}$	C_v	C_s	C_s/C_v	r_1
1	1812-1876	65	135,6	23,6	0,174	0,346	1,987	0,272
2	1877-1957	81	142,8	21,1	0,155	0,403	2,019	0,181
3	1958-2020	63	125,0	24,7	0,194	0,204	1,048	0,274

Проверку однородности выполним сначала между 1-й и 2-й частью ряда, затем – между 2-й и 3-й. Используем стандартные критерии Фишера со статистикой F и Стьюдента со статистикой T :

$$F_{1-2} = (\sigma_1 / \sigma_2)^2, F_{2-3} = (\sigma_3 / \sigma_2)^2; \quad (4)$$

$$T_{1-2} = \frac{|Q_{s1} - Q_{s2}|}{S_{1-2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}, T_{2-3} = \frac{|Q_{s2} - Q_{s3}|}{S_{2-3}} \cdot \sqrt{\frac{n_2 \cdot n_3}{n_2 + n_3}}; \quad (5)$$

где S_{1-2}, S_{2-3} – средневзвешенное отклонение годовых расходов указанных периодов.

Результаты расчета по формулам (4)–(5) приведены в табл. 2. Критические значения статистик взяты при уровне значимости 5 %.

Таблица 2. Результаты проверки гипотезы однородности ряда
Table 2. The results of testing the hypothesis of the homogeneity of the series

По периодам	Критерий Фишера			Критерий Стьюдента		
	F	$F_{кр}$	Гипотеза	T	$T_{кр}$	Гипотеза
1-2	1,14	1,47	не отвергается	0,04	1,97	не отвергается
2-3	1,21	1,48	не отвергается	2,72	1,97	отвергается

Из табл. 2 следует: $T_{2-3} > T_{кр}$. Как было показано в [16], критические значения $F_{кр}$, $T_{кр}$ нужно определять с учетом влияния коэффициента автокорреляции ряда r_1 . В частности, критические значения статистики Стьюдента $T_{кр+}$ при наличии автокорреляции можно рассчитать по формуле:

$$T_{кр+} = C_r \cdot T_{кр}, \quad (6)$$

где C_r – переходный коэффициент, определяемый в зависимости от r_1 и уровня значимости.

В [12] по таблицам из [16] был подобран многочлен аппроксимации для C_r . При уровне значимости 5 % он принимает следующий вид:

$$C_r = 1,033 + 0,579 \cdot r_1 + 2,357 \cdot r_1^2. \quad (7)$$

В рассматриваемом случае при проверке гипотезы однородности частей ряда за периоды 2–3 по формулам (6), (7) получим $T_{кр+} = 2,19$, с поправочным коэффициентом $T_{2-3} > T_{кр+}$. Значит, гипотеза однородности 2 и 3 частей ряда должна быть отвергнута из-за большой разницы выборочных средних расходов.

РАСЧЕТ ГОДОВЫХ РАСХОДОВ ЗАДАННОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ

Если ряд наблюдений неоднородный, в нормативных документах рекомендуется рассчитывать обеспеченность среднего годового расхода при трех интервалах однородности по формуле:

$$P = (n_1 P_1(Q) + n_2 P_2(Q) + n_3 P_3(Q)) / (n_1 + n_2 + n_3); \quad (8)$$

при двух интервалах однородности (2 и 3) по формуле:

$$P = (n_2 P_2(Q) + n_3 P_3(Q)) / (n_2 + n_3). \quad (9)$$

В формулах (8), (9) теоретические обеспеченности $P_1(Q)$, $P_2(Q)$, $P_3(Q)$ необходимо найти по данным за соответствующий период наблюдений. В качестве теоретической плотности вероятности была принята модель Крицкого-Менкеля как наиболее подходящая для ряда среднегодовых расходов:

$$f(k) := \frac{1}{b \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot \left(\frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \right)^{\alpha/b} \cdot k^{\alpha/b-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \cdot k \right)^{1/b} \right]. \quad (10)$$

где Γ – гамма-функция, $k = Q/Q_s$ – модульный коэффициент годового расхода.

Здесь для определения параметров α и b в (10) воспользуемся методом наибольшего правдоподобия [17], где была сформирована система уравнений:

$$\lambda 2 + \ln \left(\frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \right) - \frac{b}{\Gamma(\alpha)} \cdot \left(\int_0^{\infty} t^{\alpha-1} \cdot \ln(t) \cdot \exp(-t) dt \right) = 0; \quad (11)$$

$$\alpha \cdot \lambda_2 - \left(\frac{\Gamma(\alpha + b)}{\Gamma(\alpha)} \right)^{1/b} \cdot \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\ln(k_i) \cdot (k_i)^{1/b} \right] \right] + b = 0; \quad (12)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \ln(k_i)$$

Система уравнений (11), (12) была решена численным методом для каждой из частей, а также для всего ряда как однородного. В последнем случае получились значения: $\lambda_2 = -0,0158$; $\alpha = 5,852$; $b = 0,418$.

Функция распределения и теоретическая вероятность превышения среднего годового расхода (обеспеченность) определяются по формулам:

$$F(k) := \int_0^k f(t) dt; \quad P(Q) := 100 \cdot \left(1 - F\left(\frac{Q}{Q_s}\right) \right). \quad (13)$$

Расход при заданной обеспеченности P был рассчитан тремя способами: Q_{p0} – по всему ряду как однородному; Q_{p1} – по трем частям неоднородного ряда, формула (8); Q_{p2} – по двум последним частям неоднородного ряда, формула (9). Графики, полученные в последнем случае, показаны на рис. 5.

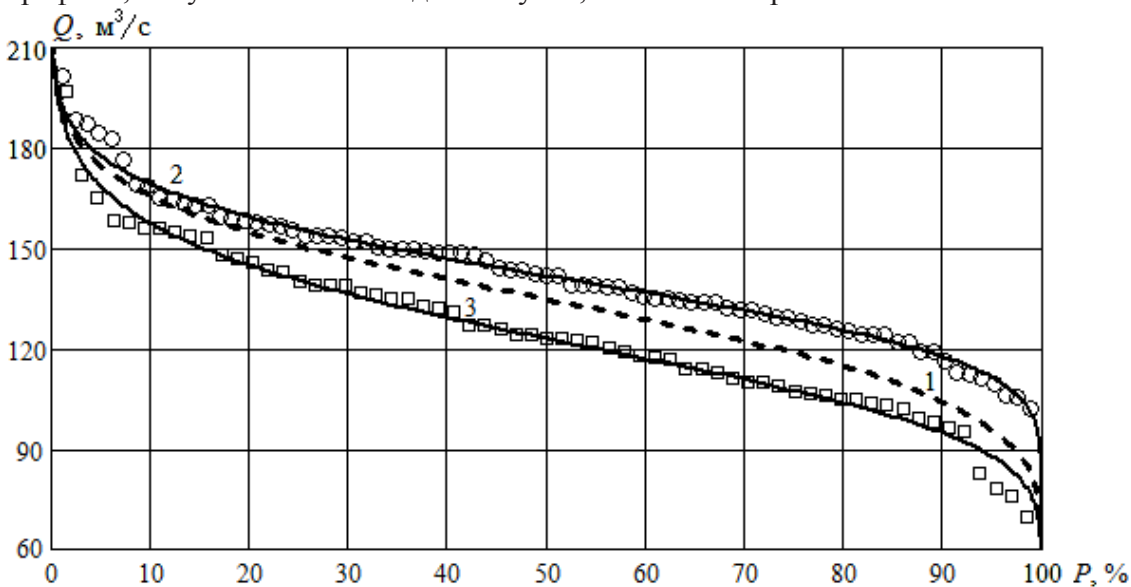


Рис. 5. Кривые обеспеченности средних годовых расходов р. Матросовки.

Точки – эмпирические (по результатам наблюдений), линии – теоретические (Крицкого-Менкеля); 1 – расчет по формуле (9); 2 – за период 2; 3 – 3

Fig. 5. Curves of security of the average annual flow rate of the Matrosovka River. Points – empirical (based on the results of observations), lines – theoretical (Kritsky-Menkel); 1 – calculation by formula (9); 2 – for the period 2; 3 – 3

Из табл. 3 видно, что наибольшие расхождения между значениями расхода, рассчитанными указанными методами, получаются при $P < 1\%$, но и тогда относительная погрешность составляет менее 3%. При других значениях обеспеченности погрешность еще меньше.

Таблица 3. Результаты расчета расходов воды заданной вероятности превышения
 Table 3. Results of calculation of water flow rate of a given probability of exceeding

$P, \%$	0,5	1	5	10	25	50	75	90	99
$Q_{p0}, \text{ м}^3/\text{с}$	198,3	192,1	174,8	165,9	151,0	134,7	118,9	105,1	82,5
$Q_{p1}, \text{ м}^3/\text{с}$	201,2	194,0	175,3	165,9	150,8	134,6	118,8	104,9	82,7
$Q_{p2}, \text{ м}^3/\text{с}$	200,3	193,2	174,9	165,7	150,8	134,8	118,7	104,2	81,3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, использование р. Варты (правый приток Одера) в ранее опубликованных работах для восстановления ряда среднегодовых расходов р. Матросовки (например, в [11]) привело к серьезным ошибкам из-за нарушения условий гидрологического подобия. Показано, что всем требованиям, предъявляемым к реке-аналогу, удовлетворяет р. Неман, при этом ряд наблюдений за среднегодовыми расходами в створе г. Смалининкай (Литва) насчитывает более 200 лет (с 1812 г.).

Для восстановления ряда среднегодовых расходов р. Матросовки был использован известный метод Е. Г. Иванова. Линейный тренд показывает небольшое снижение стока за все время наблюдений. Анализ параболического тренда и интегрально-разностной кривой стока показал, что восстановленный ряд можно разбить по водности на три периода: первый – с 1812 г. до середины 70-х годов 19-го века со средним расходом $Q_{s1} = 135,6 \text{ м}^3/\text{с}$, второй – до конца 50-х годов 20-го века, $Q_{s2} = 142,8 \text{ м}^3/\text{с}$, третий – с конца 50-х годов прошлого века по 2020-й год, $Q_{s3} = 125,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

Гипотеза однородности ряда была отвергнута (по критерию Стьюдента) из-за большой разницы Q_{s2} и Q_{s3} . Параметры теоретической кривой обеспеченности среднегодовых расходов (Крицкого-Менкеля) были найдены тремя способами: по всему ряду как однородному, по составной формуле для трех периодов и по составной формуле для двух последних периодов. Разница между расчетными расходами заданной вероятности превышения, найденными указанными способами, оказалось менее 3 %. Следовательно, для их определения можно использовать теоретическую кривую, рассчитанную для всего ряда (или двух последних периодов), как для однородного.

Список источников

1. Бурбах А. С., Шибаетов С. В., Соколов А. В. Воспроизводительная способность корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus* L.) в реке Неман Куршского залива // Известия КГТУ. 2016. № 43. С. 99–106.
2. Эволюция промысла корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinhus* L.) в реках Куршского залива бассейна Балтийского моря / А. С. Бурбах, С. В. Шибаетов, А. В. Соколов, О. А. Новожилов // Рыбное хозяйство. 2019. № 3. С. 85–89.

3. Спирин Ю. А., Пунтусов В. Г. Тенденции и перспективы развития гидромелиоративного комплекса Славского района Калининградской области // Овощи России. 2021. № 2. С. 86–92.
4. Пунтусов В. Г., Ерин А. А. Совершенствование реконструкции осушительных систем Калининградской области // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2022. Т. 8. № 1. С. 25–29.
5. Геоэкологические аспекты переноса биогенных веществ трансграничными реками (на примере Калининградской области) / С. В. Шibaев, Н. Н. Нагорнова, Т. А. Берникова, Н. А. Цупикова // Известия КГТУ. 2011. № 22. С. 134–141.
6. Debolskaya E., Ostyakova A., Ivanov A. Laboratory and mathematical modeling aspects of impurity distribution in permafrost river beds // Power Technology and Engineering. 2021. V. 55. N. 1. P. 1–6.
7. Валл Е. В., Ахмедова Н. Р. Эколого-гидрохимические исследования малых водотоков Калининградской области // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2021. Т. 7. № 4. С. 33–37.
8. Assessment of characteristics and distinguished hydrological periods of a river regime / М. А. Faiz, D. Liu, Q. Fu, M. I. Khan, T. Li, S. Cui // Environmental Earth Sciences. 2018. V. 77. P. 1–12.
9. Braşovanu L., Nistoran D.E.G., Armaş I. The hydrological regime of the Prahova River along Carpathian and Subcarpathian stretch // GeoPatterns. 2018. V. 3. Iss. 1. P. 32–42.
10. Наумов В. А. Максимальные годовые расходы воды малых рек Славского района Калининградской области // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12. № 4. С. 367–383.
11. Спирин Ю. А. Гидрологические характеристики речного стока в геоэкологических исследованиях поверхностных вод Славского района Калининградской области // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2021. Т. 31. № 2. С. 185–197.
12. Ахмедова Н. Р., Наумов В. А. Особенности неоднородного гидрологического ряда реки Неман в створе города Смалининкай // Известия вузов. Строительство. 2021. № 12 (756). С. 66–76.
13. Наумов В. А., Маркова Л. В. Восстановление данных о среднемесячных расходах реки Неман за время Второй мировой войны // Известия КГТУ. 2012. № 24. С. 64–68.
14. Climate induced changes of Lithuanian rivers runoff in 1960–2009 / E. Stonevicius, G. Valiuškevicius, E. Rimkus, J. Kazys // Water Resources. 2014. V. 41. N 5. P. 592–603.
15. Иванов Е. Г. Об особенностях формирования и способах описания статистических зависимостей в гидрологии // Водное хозяйство России. 2007. № 2. С. 22–26.
16. Рождественский А. В., Лобанов В. А., Лобанова А. Г. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. Санкт-Петербург: Нестор-История, 2010. 162 с.
17. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. 424 с.

References

1. Burbakh A. S., Shibaev S. V., Sokolov A. V. Vosproizvoditel'naya sposobnost' koryushki (*Osmerus eperlanus eperlanus L.*) v reke Neman Kurshskogo zaliva [Reproductive capacity of smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus L.*) in the Neman River of the Curonian Lagoon]. *Izvestiya KGTU*. 2016, no. 43, pp. 99–106.
2. Burbakh A. S., Shibaev S. V., Sokolov A. V., Novozhilov O. A. Evolyutsiya promysla koryushki (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinhus L.*) v rekakh Kurshskogo zaliva basseyna Baltiyskogo morya [The evolution of smelt fishing (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinhus L.*) in the rivers of the Curonian Lagoon of the Baltic Sea basin]. *Rybnoe khozyaystvo*. 2019, no. 3, pp. 85–89.
3. Spirin Yu. A., Puntusov V. G. Tendentsii i perspektivy razvitiya gidromeli-orativnogo kompleksa Slavskogo rayona Kaliningradskoy oblasti [Trends and prospects of the development of the hydroelectric complex of the Slavsky district of the Kaliningrad region]. *Ovoshchi Rossii*. 2021, no. 2, pp. 86–92.
4. Puntusov V. G., Erin A. A. Sovershenstvovanie rekonstruktsii osushitel'nykh sistem Kaliningradskoy oblasti [Improvement of reconstruction of drainage systems of the Kaliningrad region]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2022, vol. 8, no. 1, pp. 25–29.
5. Shibaev S. V., Nagornova N. N., Bernikova T. A., Tsupikova N. A. Geoekologicheskie aspekty perenosa biogennykh veshchestv transgranichnymi rekami (na primere Kaliningradskoy oblasti) [Geoecological aspects of the transfer of nutrients by transboundary rivers (on the example of the Kaliningrad region)]. *Izvestiya KGTU*. 2011, no. 22, pp. 134–141.
6. Debolskaya E., Ostyakova A., Ivanov A. Laboratory and mathematical modeling aspects of impurity distribution in permafrost river beds. *Power Technology and Engineering*. 2021, vol. 55, no. 1, pp. 1–6.
7. Vall E. V., Akhmedova N. R. Ekologo-gidrokhimicheskie issledovaniya malykh vodotokov Kaliningradskoy oblasti [Ecological and hydrochemical studies of small streams Kaliningrad region]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2021, vol. 7, no. 4, pp. 33–37.
8. Faiz M. A., Liu D., Fu Q., Khan M.I., Li T., Cui S. Assessment of characteristics and distinguished hydrological periods of a river regime. *Environmental Earth Sciences*. 2018, vol. 77, pp. 1–12.
9. Braşovanu L., Nistoran D.E.G., Armaş I. The hydrological regime of the Prahova River along Carpathian and Subcarpathian stretch. *GeoPatterns*. 2018, vol. 3, iss. 1, pp. 32–42.
10. Naumov V. A. Maksimal'nye godovye raskhody vody malykh rek Slavskogo rayona Kaliningradskoy oblasti [Maximum annual water consumption of small rivers of the Slavsky district of the Kaliningrad region]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*. 2022, vol. 12, no. 4, pp. 367–383.
11. Spirin Yu. A. Gidrologicheskie kharakteristiki rechnogo stoka v geoekologicheskikh issledovaniyakh poverkhnostnykh vod Slavskogo rayona Kaliningradskoy oblasti [Hydrological characteristics of river flow in geoecological studies of surface waters of the Slavsky district of the Kaliningrad region]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle*. 2021, vol. 31, no. 2, pp. 185–197.

12. Akhmedova N. R., Naumov V. A. Osobennosti neodnorodnogo gidrologicheskogo ryada reki Neman v stvore goroda Smalininkay [Features of the heterogeneous hydrological series of the Neman River in the alignment of the Smalininkai city]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2021, no. 12 (756), pp. 66–76.

13. Naumov V. A., Markova L. V. Vosstanovlenie dannykh o srednemesyachnykh raskhodakh reki Neman za vremya Vtoroy mirovoy voyny [Restoration of data on average monthly flows of the Neman River during the Second World War]. *Izvestiya KGTU*. 2012, no. 24, pp. 64–68.

14. Stonevicius E., Valiuškevicus G., Rimkus E., Kazys J. Climate induced changes of Lithuanian rivers runoff in 1960–2009. *Water Resources*. 2014, vol. 41, no. 5, pp. 592–603.

15. Ivanov E. G. Ob osobennostyakh formirovaniya i sposobakh opisaniya statisticheskikh zavisimostey v gidrologii [On the peculiarities of the formation and methods of describing statistical dependencies in hydrology]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii*. 2007, no. 2, pp. 22–26.

16. Rozhdestvenskiy A. V., Lobanov V. A., Lobanova A. G. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke odnorodnosti gidrologicheskikh kharakteristik i opredeleniyu ikh raschetnykh znacheniy po neodnorodnym dannym* [Methodological recommendations for assessing the homogeneity of hydrological characteristics and determining their calculated values from heterogeneous data]. Saint-Petersburg, Nestor-Istoriya Publ., 2010. 162 p.

17. Rozhdestvenskiy A. V., Chebotarev A. I. *Statisticheskie metody v gidrologii* [Statistical methods in hydrology]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1974. 424 p.

Информация об авторе

В. А. Наумов – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности и природообустройства

Information about the author

V. A. Naumov – Doctor of Technical Sciences, Professor of Technosphere Safety and Environmental Engineering Department

Статья поступила в редакцию 10.05.2023; одобрена после рецензирования 24.05.2023; принята к публикации 05.06.2023.

The article was submitted 10.05.2023; approved after reviewing 24.05.2023; accepted for publication 05.06.2023.

Научная статья

УДК 639.219(470.26)(06)

DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-59-69

Характеристика любительского лова снетка (*Osmersus eperlanus eperlanus morpha spirinchus*) в р. Преголе в пределах г. Калининграда

Александра Сергеевна Попова¹, Леонид Станиславович Федоров², Сергей Вадимович Шibaев³, Артем Владиславович Ляхов⁴

^{1,2,3,4}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹aleksandra.popova@klgtu.ru

²leonid.fedorov@klgtu.ru

³shibaev@klgtu.ru

⁴artem.mail.ru22@gmail.com

Аннотация. Впервые проведены исследования любительского лова снетка в черте г. Калининграда во время нерестового хода семейства корюшковых (*Osmmeridae*). Благодаря мониторингу любительского рыболовства в весеннем сезоне на р. Преголе, куда на нерест с Вислинского залива заходит снеток (*Osmmerus eperlanus eperlanus morpha spirinchus*) и европейская корюшка (*Osmmerus eperlanus eperlanus*), определены локализация рыболовов-любителей и посещаемость мест лова, произведен анализ уловов, видового состава, размерной структуры целевого вида и интенсивности лова. Расчет уловов на усилие позволил установить зависимость массовости рыболовства от величины уловов, а второе – от значений температуры воды. Величина уловов на усилие существенно варьировала от единичных экземпляров до килограмма рыбы в среднем за час лова. С прогревом воды уловы достигали максимальных величин, что обусловлено возрастанием эффективности лова снетка в эти дни. Определено, что рыбаки-любители являются хорошим индикатором нерестового хода, поскольку некоторые из них заранее проводят «контрольные обловы» для установления наличия целевого вида в уловах, затем приступают непосредственно к вылову. Благодаря рассчитанным показателям была установлена завершающая стадия нерестового хода семейства корюшковых в р. Преголе. Заключительным этапом исследования стал расчет суточного улова и совокупного вылова снетка любительским рыболовством за период нерестовой миграции в зависимости от интенсивности нерестового хода и массовости рыболовов-любителей. По результатам расчетов за весь период наблюдений в 2023 г. вылов снетка в р. Преголе составил 0,515 т.

Ключевые слова: снеток, любительское рыболовство, р. Преголя, нерестовой ход корюшковых.

Для цитирования: Попова А. С., Федоров Л. С., Шibaев С. В., Ляхов А. В. Характеристика любительского лова снетка (*Osmmerus eperlanus eperlanus morpha spirinchus*) в р. Преголе в пределах г. Калининграда // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 59–69. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-59-69.

Original article

Characteristics of recreation fishing for smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinchus*) in the river Pregolya within the city of Kaliningrad

Aleksandra S. Popova¹, Leonid S. Fedorov², Sergey V. Shibaev³, Artem V. Lyakhov⁴

^{1,2,3,4}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹aleksandra.popova@klgtu.ru

²leonid.fedorov@klgtu.ru

³shibaev@klgtu.ru

⁴artem.mail.ru22@gmail.com

Abstract. For the first time, studies of amateur smelt fishing within the city of Kaliningrad during the spawning run of the smelt family (*Osmeridae*) were carried out. Thanks to the monitoring of recreational fishing in the spring season on the river. Pre-holiday, where smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinchus*) and European smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus*) come to spawn from the Vistula Lagoon, the localization of amateur fishermen, attendance of fishing grounds was determined, the analysis of catches, species composition, size structure of the target type and intensity of fishing. The calculation of catches for effort made it possible to establish the dependence of the mass character of fishing on the size of the catches, and the second on the values of water temperature. The value of catches per effort varied significantly from single specimens to an average kilogram of fish per hour of fishing. With the warming of the water, the catches reached their maximum values, which is caused by an increase in the efficiency of catching smelt these days. It has been determined that recreational fishermen are a good indicator of the spawning run, since some fishermen conduct "control catches" in advance to determine the presence of the target species in their catches, then proceed directly to the catch. Thanks to the calculated indicators, the final stage of the spawning run of the smelt family in the river was established. Pregolya. The final stage of the study was the calculation of the daily catch and the total catch of smelt by recreational fishing for the period of spawning migration, depending on the intensity of the spawning run and the mass character of recreational fishermen. According to the results of calculations for the entire observation period in 2023, the catch of smelt in the river. Pregolya amounted to 0.515 tons.

Keywords: smelt, recreational fishing, r. Pregolya, spawning run of smelt.

For citation: Popova A. S., Fedorov L. S., Shibaev S. V., Lyakhov A. V. Characteristics of recreation fishing for smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinchus*) in the river Pregolya within the city of Kaliningrad // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (70) : 59-69. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-59-69.

ВВЕДЕНИЕ

Снеток (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinchus*) как жилая форма европейской корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus*) в пределах Калининградской области обитает в Куршском и Вислинском заливах. В Куршском заливе на протяжении последних 100 лет он играл заметную роль в промысле, который осуществляется в феврале – марте как непосредственно в заливе с использованием став-

ных неводов, так и реках бассейна с помощью закидных неводов. Максимальные уловы снетка были достигнуты в 1936 г. и составили 6,8 тыс. т. Однако в последние годы, вероятно в связи с глобальным потеплением, вылов снетка снизился и не превышает нескольких десятков тонн [1–7].

В Вислинском заливе промысел снетка ведется только рыбаками-любителями в подледный период, а также во время нерестового хода в реку Преголю весной. Сам лов происходит непосредственно в Преголе и ее рукавах в пределах г. Калининграда. Данный вид рекреации очень популярен среди населения, в период интенсивного нерестового хода набережная Калининграда, особенно в темное время суток, обычно полностью занята рыбаками-любителями.

Интенсивность лова, его пространственно-временная динамика и сам объем вылова снетка в Преголе в настоящее время неизвестны, хотя знание этих параметров является важным для понимания особенностей использования данного рекреационного ресурса, его биологической продуктивности, а также формирования налогооблагаемой базы за счет затрат на приобретение снастей и других средств ведения лова.

Цель работы – характеристика рекреационного лова снетка в р. Преголе в пределах г. Калининграда.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Материалом для настоящей работы послужили данные мониторинга любительского лова снетка во время нерестового хода в г. Калининграде в 2023 г. Наблюдения проводились на р. Преголе, на наиболее популярном участке у рыбаков от музея Мирового океана (54.7055 с. ш., 20.5032 в. д.) до о-ва Октябрьский (54.6989 с. ш., 20.5195 в. д.) (рис. 1). Глубина составляла 2,2 – 2,3 м, температура воздуха варьировала от +4 до +18 °С, температура воды – от 5,0 до 7,7 °С.

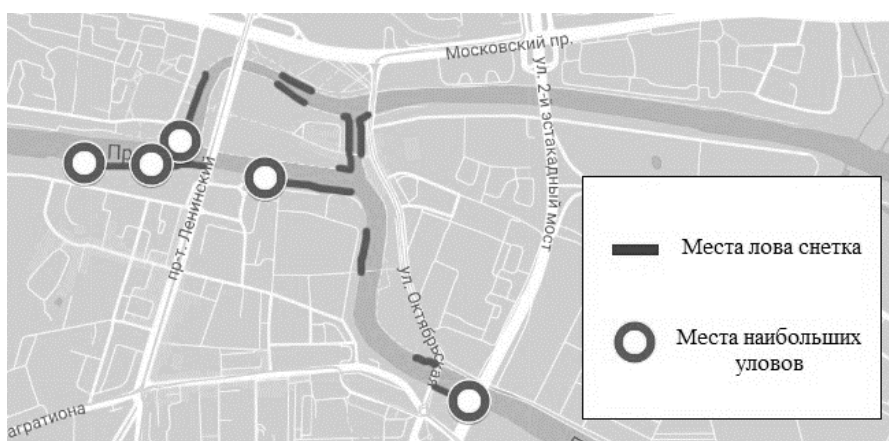


Рис. 1. Места лова снетка рыбаками-любителями в р. Преголе в пределах г. Калининграда

Fig. 1. Places for catching smelt by amateur fishermen in the Pregolya River within the city of Kaliningrad

Сбор материала происходил ежедневно в течении нерестового хода в светлое и темное время суток. При каждом обследовании осуществлялась фиксация температуры поверхности воды, просчитывалось количество рыбаков-любителей и производился анкетный опрос. Выборочно, но не менее чем у 30–35 % рыбаков, производился анализ видового и размерного состава уловов. Измерялась промысловая длина [8]. Всего учтено 290 рыболовов-любителей, в период с 22 марта по 9 апреля проанализировано 107 уловов, промерено 7834 экз. рыб, в том числе снетка – 7816 экз. За единицу индекса численности принят улов за час лова в экземплярах или килограммах.

Показатель уловов на усилие дает представление о вылове водных биологических ресурсов в числовом или весовом выражении за определенный промежуток времени [9]. Учитывая специфику рассматриваемого способа лова (процеживание толщи воды), данный показатель является также и индикатором плотности скоплений рыб и интенсивности нерестового хода.

В связи с тем, что продолжительность лова каждым конкретным рыбаком к моменту анализа уловов существенно различалась (от получаса до нескольких часов), величина улова на усилие приведена к единому показателю – улов в час на одно орудие лова. В среднем продолжительность лова одного рыбака составляла 4 ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нерестовая миграция снетка и корюшки в реки происходит обычно в апреле – марте. Протяженность миграций этих видов может достигать 200 км [4]. Массовый нерестовый ход снетка Вислинского (Калининградского) залива в р. Преголю в 2023 г. начался с третьей декады марта и продолжался по первую декаду апреля.

Традиционным орудием лова корюшковых у жителей г. Калининграда является подъемник (обиходное название «паук»). Подъемник – отцеживающее орудие лова, представляющее собой квадратное сетное полотно размером 1 х 1 м с шагом ячеи до 10 мм, углы которого закреплены за концы крестообразно пересекающихся дуг (рис. 2). Лов ведется с набережной или мостов. «Паук» опускают на дно и затем быстро поднимают на поверхность. Пойманную рыбу извлекают, и процесс лова повторяется. Периодичность подъема составляет 1–2 мин, за это время рыба успевает зайти в зону облова. Заметим, что аналогичным образом ведется лов уже не снетка, а корюшки в р. Дейме в районе г. Гвардейска, а также выше по течению в р. Преголе вплоть до плотины Правдинской ГЭС.



Рис. 2. Отцеживающее орудие лова – подъемник («паук»)
Fig. 2. Strainer fishing gear lift ("spider")

Количество рыбаков-любителей является хорошим индикатором нерестового хода снетка и находится в прямой зависимости от интенсивности хода. Некоторые рыбаки заранее проводят контрольные обловы и, как только в уловах появляется снеток, сообщают об этом другим. Чем интенсивнее нерестовый ход, тем больше уловы и привлекательнее сам лов. Таким образом, по количеству рыбаков на набережной можно судить о нересте снетка в Преголе.

Нерестовый ход снетка в 2023 г. начался 22 марта при температуре воды 6,4 °С. Временная динамика уловов снетка заключалась в следующем. С повышением температуры воды до 6,9–7,1 °С в середине третьей декады марта уловы на усилии достигли максимальных величин. С 25 марта началось понижение температуры, которое продолжалось вплоть до 29 марта. В эти дни уловы на усилии были минимальными. Второй пик увеличения уловов 30–31 марта также был обусловлен прогревом воды, затем из-за похолодания последовал спад интенсивности нерестового хода. В конце первой декады апреля, несмотря на существенное потепление, уловы на усилии не увеличивались, что свидетельствует о завершении массового нерестового хода снетка (рис. 3).

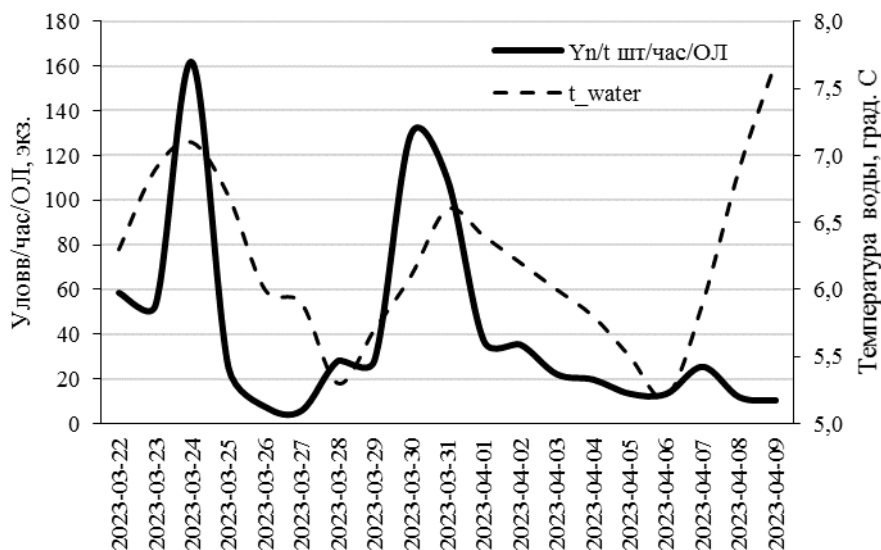


Рис. 3. Зависимость уловов на усилие (экз./ч) от температуры воды
Fig. 3. Dependence of catches on smelt (ind./hour) on water temperature

Уловы включали пять видов, среди которых доминировал снеток, составлявший 99,8 % по численности и 97,5 % по массе. Доля других видов – корюшки, уклей, а также мелких особей плотвы и судака – была очень незначительна (рис. 4).



Рис. 4. Видовая структура любительских уловов по численности и биомассе (подъемник, ячея 10 мм)

Fig. 4. Species structure of amateur catches by abundance and biomass (lifter, mesh 10 mm)

Учитывая несущественную роль видов прилова, в дальнейшем анализируется информация, характеризующая лов целевого вида – снетка.

В уловах снеток был представлен особями длиной от 6 до 11 см. Модальным являлся размерный класс 8 см (60 % уловов). Средняя масса особей составила 6,6 г при средней длине 8,7 см (рис. 5).

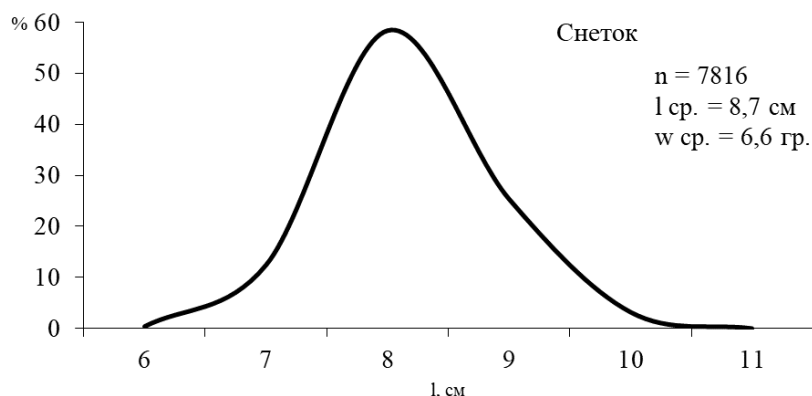


Рис. 5. Размерная структура снетка в р. Преголе
Fig. 5. The size structure of the smelt in the river. Pregolya

За период наблюдений величина улова на усилие существенно варьировала от единичных экземпляров до 162 (1,109 кг) в час. Средняя величина улова на усилие составила 42 экз./ч (0,273 кг/ч).

Определенный интерес представляет зависимость массовости рыболовства от величины уловов на усилие, массовость, в свою очередь, связана с интенсивностью нерестового хода (рис. 6, 7).

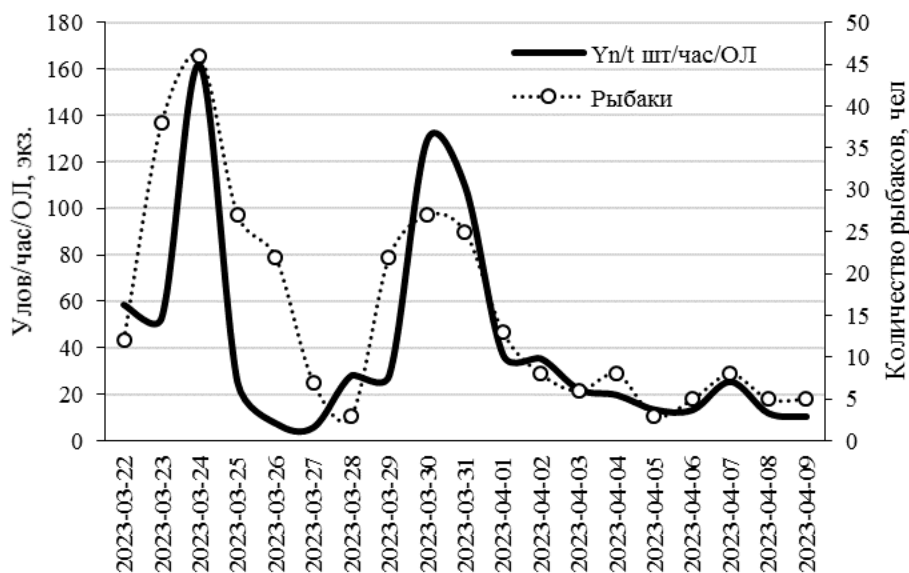


Рис. 6. Зависимость количества рыбаков от уловов на усилие (экз./ч)
Fig. 6. Dependence of the number of fishermen on catches per effort (ind./hour)

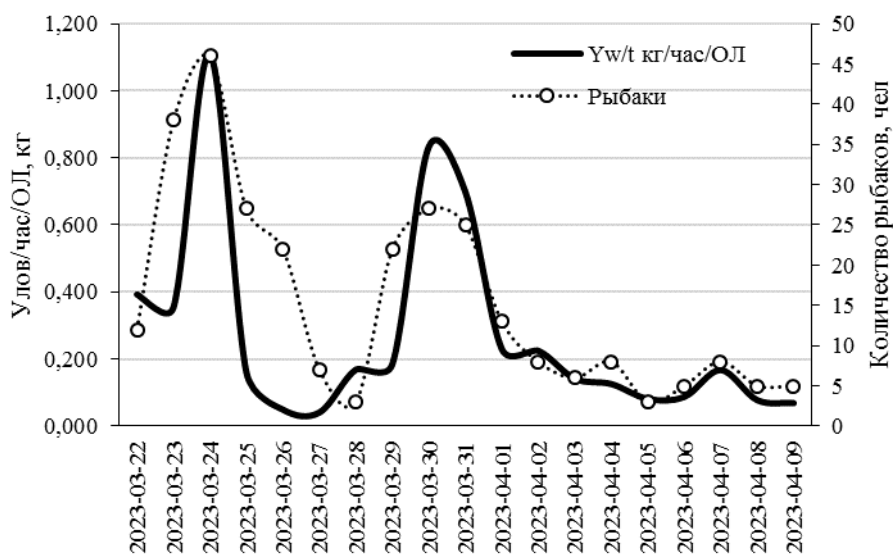


Рис. 7. Зависимость количества рыбаков от уловов на усилие (кг/ч)
Fig. 7. Dependence of the number of fishermen on catches per effort (kg/hour)

Как показали наблюдения, численность рыбаков на местах лова существенно увеличивается при возрастании эффективности лова. Этот факт свидетельствует о том, что многие рыболовы-любители отслеживают интенсивность нерестового хода сетка.

Посещаемость мест лова в разные дни варьировала от 10 человек в периоды низких уловов до 46 – при высокой результативности лова.

Делая допущение, что каждый рыбак проводит на водоеме около четырех часов, рассчитана величина вылова сетка за весь период наблюдений (рис. 8).

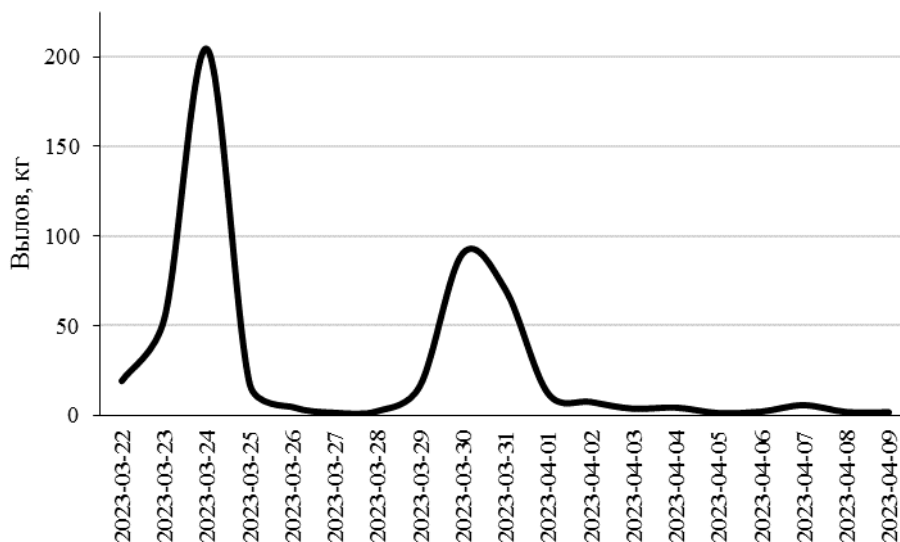


Рис. 8. Вылов сетка любительским рыболовством в 2023 г., кг
Fig. 8. Smelt catch by recreational fishing in 2023, kg

Результаты наблюдений показали, что суточный вылов снетка, в зависимости от интенсивности нерестового хода и массовости рыбаков-любителей, варьировал в широком диапазоне – от 170 до почти 30 000 экз. (от 1,135 до 204,054 кг).

За весь период наблюдения – 19 дней – было выловлено 77 880 экз. (515 кг).

ВЫВОДЫ

1. Отцеживающее орудие лова – подъемник («паук») – в период нерестового хода снетка – целевое орудие лова. Прилов других видов рыб является случайным и несущественным.

2. Величина уловов снетка на усилие в весенний период 2023 г. варьировала в пределах от 6 до 162 экз./ч (от 0,041 до 1,109 кг/час), составляя в среднем 42 экз./час (0,273 кг/час).

3. Установлена зависимость интенсивности нерестового хода снетка от степени прогрева воды: с увеличением температуры интенсивность нерестового хода возрастает.

4. Массовость посещения рыбаками излюбленных мест лова возрастает при увеличении уловов на усилие.

5. Суточный вылов снетка зависит от интенсивности нерестового хода и интенсивности лова (количества рыбаков-любителей). Совокупный вылов за период нерестовой миграции в 2023 г. составил 515 кг.

Список источников

1. Черепанова Н. С., Широков В. А., Георгиев А. П. Современное состояние и промысел корюшки (*Osmersus eperlanus L.*) в некоторых озерах республики Карелия // Вестник АГТУ. Рыбное хозяйство. 2019. № 1. С. 46–58.

2. Хлопников М. М., Голубкова Т. А., Репечка Р. Куршский залив. Иктиофауна // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. С. 37–54.

3. Эволюция промысла корюшки (*Osmersus eperlanus eperlanus L.*) и снетка (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinhus L.*) в реках Куршского залива бассейна Балтийского моря / Бурбах А. С., Шibaев С. В., Новожилов О. А., Соколов А. В. // Рыбное хозяйство. 2019. № 3. С. 85–90.

4. Тылик К. В. Рыбы трансграничных водоемов России и Литвы. Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2007. 125 с.

5. Бурбах А. С., Шibaев С. В. Первые результаты исследования нерестового хода корюшки (*Osmerus eperlanus eperlanus L.*) в реке Дейме бассейна Калининградской области // Известия КГТУ. 2021. № 60. С. 22–31.

6. Осадчий В. М. Влияние характера ведения промысла на состояние рыбных запасов в Куршском заливе // Тезисный доклад к Международной научно-технической конференции Калининградского государственного технического университета. Калининград, 1999. С. 30–31.

7. Федоров Л. С. Видовой состав промысловых уловов на Калининградском заливе // Тезисы докладов на международной научно-технической кон-

ференции, посвященной 70-летию основания Калининградского государственного технического университета. Калининград: КГТУ, 2000. Ч. 1. С. 28–30.

8. Рябчун В. А., Подгорный К. А., Голубкова Т. А. Современное состояние популяции корюшки европейской (*Osmersus eperlanus L.*) в Куршском заливе и использование адаптивных моделей для прогнозирования рекомендованного вылова // Труды АтлантНИРО. 2020. Т. 4. № 1 (9). Калининград: АтлантНИРО. С. 94–115.

9. Шибяев С. В. Промысловая ихтиология. Калининград: ООО «Аксиос», 2014. 535 с.

References

1. Cherepanova N. S., Shirokov V. A., Georgiev A. P. Sovremennoe sostoyanie i promysel koryushki (*Osmersus eperlanus L.*) v nekotorykh ozerakh respubliky Kareliya [Current state and fishery of smelt (*Osmersus eperlanus L.*) in some lakes of the Republic of Karelia]. *Vestnik AGTU. Rybnoe khozyaystvo*. 2019, no. 1, pp. 46–58.

2. Khlopnikov M. M., Golubkova T. A., Repechka R. Kurshskiy zaliv. Ichthyofauna [Curonian bay. Ichthyofauna]. *Rybokhozyaystvennyy kadastr transgranichnykh vodoemov Rossii (Kaliningradskaya oblast') i Litvy*. Kaliningrad, «IP Mishutkina» Publ., 2008, pp. 37–54.

3. Burbakh A. S., Shibaev S. V., Novozhilov O. A., Sokolov A. V. Evolyutsiya promysla koryushki (*Osmerus eperlanus eperlanus L.*) i snetka (*Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinhus L.*) v rekakh Kurshskogo zaliva basseyna Baltiyskogo morya [Evolution of the fishery for smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus L.*) and smelt (*Osmersus eperlanus eperlanus morpha spirinhus L.*) in the rivers of the Curonian Lagoon of the Baltic Sea Basin]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2019, no. 3, pp. 85–90.

4. Tylik K. V. *Ryby transgranichnykh vodoemov Rossii i Litvy* [Fish of transboundary water bodies of Russia and Lithuania]. Kaliningrad, «IP Mishchutkina» Publ., 2007, 125 p.

5. Burbakh A. S., Shibaev S. V. Pervye rezul'taty issledovaniya nerestovogo khoda koryushki (*Osmerus eperlanus eperlanus L.*) v reke Deyme basseyna Kaliningradskoy oblasti [The first results of the study of the spawning run of smelt (*Osmerus eperlanus eperlanus L.*) in the Deima River in the Kaliningrad region basin]. *Izvestiya KGTU*, 2021, no. 60, pp. 22–31.

6. Osadchiy V. M. Vliyanie kharaktera vedeniya promysla na sostoyanie rybnykh zapasov v Kurshskom zalive [Influence of the nature of fishing on the state of fish stocks in the Curonian Lagoon]. *Tezisnyy doklad k Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Abstract report for the International Scientific and Technical Conference of the Kaliningrad State Technical University]. Kaliningrad, 1999, pp. 30–31.

7. Fedorov L. S. Vidovoy sostav promyslovykh ulovov na Kaliningradskom zalive [Species composition of commercial catches in the Kaliningrad Bay]. *Tezisy dokladov na mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 70-letiyu osnovaniya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Abstracts of reports at the international scientific and technical conference dedicated to the 70th anniversary of the founding of the Kaliningrad State Technical University]. Kaliningrad, 2000, part 1, pp. 28–30.

8. Ryabchun V. A., Podgornyy K. A., Golubkova T. A. Sovremennoe sostoyanie populyatsii koryushki evropeyskoy (*Osmersus eperlanus L.*) v Kurshskom zalive i ispol'zovanie adaptivnykh modeley dlya prognozirovaniya rekomendovannogo vylova [The current state of the European smelt (*Osmersus eperlanus L.*) population in the Curonian Lagoon and the use of adaptive models to predict the recommended catch]. *Trudy AtlantNIRO* [Proceedings of AtlantNIRO]. Kaliningrad, 2020, vol. 4, no. 1 (9), pp. 94–115.

9. Shibaev S. V. *Promyslovaya ikhtiologiya* [Commercial ichthyology]. Kaliningrad, ООО «Aksios» Publ., 2014. 535 p.

Информация об авторах

А. С. Попова – аспирант кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

Л. С. Федоров – кандидат биологических наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

С. В. Шibaев – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой водных биоресурсов и аквакультуры

А. В. Ляхов – студент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

Information about the authors

A. S. Popova – graduate student of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

L. S. Fedorov – PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

S. V. Shibaev – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

A. V. Lyakhov – student of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

Статья поступила в редакцию 05.06.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2023; принята к публикации 20.06.2023.

The article was submitted 05.06.2023; approved after reviewing 15.06.2023; accepted for publication 20.06.2023.

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Научная статья

УДК 664.95.08 (06)

DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-73-87

Характеристики пищевого коллагенсодержащего гидрата из кожи судака по данным ИК-Фурье-спектроскопии

Виктор Иванович Воробьев¹, Александр Григорьевич Булычев², Елена Владимировна Нижникова³

^{1,2,3}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹viktor.vorobev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8209-7851>

²aleksandr.bulychev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9724-1104>

³elena.nizhnikova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2209-7937>

Аннотация. Разработан способ переработки рыбьей кожи, позволяющий получить пищевой гидрат, заключающийся в предварительной очистке кожи от прирезей мышечной ткани и последующем отделении чешуи. Полученную кожу судака опускали в емкость с водой, пищевой солью NaCl и содой NaHCO₃, взятых соответственно в массовом соотношении 100:400:5:1, выдерживали в течение 40 мин и промывали водой, затем погружали в яблочный сок (массовое соотношение 1:10) на 6 сут при 4 °С. В процессе выдержки (144 ч) в соке масса кожи увеличилась в 4,47 раза по сравнению с начальной массой, при этом кислотность сока снизилась с 3,54 до 3,70. Набухшая после 48 ч выдержки в соке кожа легко разрывалась (без усилий) и растиралась пальцами. Для характеристики исходной кожи и сока, а также образцов, полученных в процессе их совместной выдержки и отбираемых для анализа, через каждые 24 ч в течение всего процесса (6 сут) применялся метод ИК-Фурье-спектроскопии, показавший наличие функциональных групп коллагена (амид А, В, I, II и III) в исследуемых образцах. Разница в волновых числах между амидами I и II в образцах кожи, выдержанных в соке, составила менее 100 см⁻¹, что указывает на сохранение тройной спиральной структуры коллагена. Полученный гидрат из рыбьей кожи (с сохранением нативной структуры коллагена) может быть рекомендован в качестве пищевой добавки в продуктах питания.

Ключевые слова: рыба кожа, рыбный коллагенсодержащий гидрат, яблочный сок прямого отжима, кожа судака, метод ИК-Фурье-спектроскопии.

Финансирование: Исследование осуществлялось в рамках проекта Федерального агентства по рыболовству (Министерство сельского хозяйства Российской Федерации) с рег. № 122030900086-1 от 09.03.2022, код 01-32-05-1 «Развитие и совершенствование производственных систем пищевой промышленности».

Для цитирования: Воробьев В. И., Булычев А. Г., Нижникова Е. В. Характеристики пищевого коллагенсодержащего гидрата из кожи судака по данным ИК-Фурье-спектроскопии // Известия КГТУ. 2023. № 70. С 73-87. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-73-87.

Original article

Characteristics of food collagen hydrate obtained from pikeperch skin by FTIR spectroscopy

Viktor I. Vorob'ev¹, Aleksandr G. Bulychev, Elena V. Nizhnikova³

^{1,2,3} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹viktor.vorobev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8209-7851>

²aleksandr.bulychev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9724-1104>

³elena.nizhnikova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2209-7937>

Abstract. Authors developed a method for processing fish skin, which makes it possible to obtain a food hydrate. Method consists of skin preliminary cleaning from cuts in muscle tissue and the subsequent separation of fish scales. The resulting pikeperch skin was mixed in a container with water, food salt NaCl and soda NaHCO₃ taken respectively in a mass ratio of 100:400:5:1, kept for 40 minutes and washed with water. The cleaned skin was mixed with apple juice in a mass ratio of 1:10 and kept at 4 deg C for 6 days. During exposure (144 hours) in the juice, the weight of the skin increased by 4.47 times compared to its initial weight, while there was a decrease in the acidity of the juice from pH 3.54 to 3.70. Swollen after 48 hours of aging in juice, the skin was easily torn (without effort) and rubbed with fingers. To characterize the original skin and juice, as well as samples obtained during their joint exposure and taken every 24 hours during the entire process (6 days), the FT-IR spectroscopy method was used, which showed the presence of functional groups of collagens (amide A, B, I, II and III) in prototypes. The difference in wavenumbers between amides I and II in skin samples kept in juice was less than 100 cm⁻¹, which indicates the preservation of the triple helical structure of collagen. The resulting hydrate from fish skin (with the preservation of the native structure of collagen) can be recommended as an independent product, or as an additive in food products.

Keywords: fish skin, fish collagen hydrate, direct-pressed apple juice, pike-perch skin, FTIR spectroscopy method.

Funding: The study has been carried out within the framework of the project of the Federal Agency for Fisheries (Ministry of Agriculture of the Russian Federation) with reg. No. 122030900086-1 dated 09.03.2022, code 01-32-05-1 "Development and improvement of production systems of the food industry".

For citation: Vorob'ev V. I., Bulychev A. G., Nizhnikova E. V. Characteristics of food collagen hydrate obtained from pikeperch skin by FTIR spectroscopy // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (70) : 73-87. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-73-87.

ВВЕДЕНИЕ

Количество рыбьей кожи, образующейся в процессе разделки гидробионтов, составляет от 2,0 до 12,6 % от общей массы рыбы [1, 2].

Подсчитано, что в 2015 г. людьми во всем мире было съедено около 150 млн т рыбного филе, что эквивалентно 6 млн т выброшенных рыбьих кож, которые могли быть переработаны [3].

Не более 1 % рыбьих кож от общего количества произведенных кож, полученных от различных животных, используется при производстве кожгалантерейных изделий [4].

Основное направление переработки покровных тканей рыб – производство рыбной кормовой муки и гидролизатов [5].

В пищевой промышленности стран Юго-Восточной Азии одной из основных закусок является жареная или маринованная рыбья кожа, которая используется также в качестве начинки в суши-роллах, салатах или в виде порошка (применяется как добавка к соусам, желе, бульонам и приправам) [6–9].

Некоторое распространение в мире имеет производство чипсов из рыбьей кожи (с различными добавками в виде специй, масла, желтка утиных яиц и др.) под различными брендами (Golden Duck, Crispy fish skin chicharrons и др.) [10].

Основной компонент рыбьей кожи – коллаген (60–90 % от массы ее сухого вещества). Коллаген (группа родственных органических соединений) является преобладающим белком, составляющим 25–30 % от массы всех белков организма человека и животных [11].

Считается, что ввиду отсутствия незаменимых аминокислот (триптофан, цистин) коллаген переваривается в организме человека лишь частично. Недавние исследования показали, что физиологическая роль неперевариваемой части коллагена аналогична растительным балластным веществам, усиливающим перистальтику кишечника и сохраняющим тепло человеческого тела [12].

Более 20 лет исследователями многих стран ведутся активные поиски по экономически приемлемым способам получения коллагена из покровных тканей различных видов гидробионтов, что связано с его перспективным применением в различных отраслях (медицина, фармацевтика, косметика, продукты питания и др.), а также с необходимостью переработки значительного количества рыбных отходов (кожа, чешуя и др.), образующихся в процессе разделки рыбы, которые используются лишь частично, загрязняя окружающую среду.

Традиционными процессами получения коллагена из кожи рыб являются: отделение чешуи и очистка кожи; ее измельчение; удаление неколлагеновых белков; перевод коллагена в водорастворимое состояние (гидролиз с применением кислот, щелочей, ферментов и др.); выделение коллагена из раствора (солевое осаждение и др.) [13].

Значительное количество применяемых жидкостей и необходимость их частичной нейтрализации, продолжительность и многооперационность технологического процесса, использование дорогостоящих ферментов, высокие потери сырья и энергозатраты являются основными причинами того, что подавляющее большинство предложенных способов переработки рыбьей кожи при получении коллагена в настоящее время экономически неприемлемы.

Разработан экономически приемлемый способ получения коллагенсодержащего гидрата из кожи судака, используемого в качестве компонента хлебобулочного изделия [14].

Цель работы заключалась в исследовании характеристик получаемого рыбного пищевого коллагенсодержащего гидрата по данным ИК-Фурье-спектроскопии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходным материалом, необходимым для получения опытных образцов пищевого продукта, являлась кожа судака (*Sander lucioperca*), образующаяся при разделке ручным способом охлажденной рыбы (массой от 1,2 до 2,0 кг), выловленной в акватории Калининградской области.

Процесс приготовления образцов рыбьей кожи осуществляли следующим образом. Полученную после разделки судака кожу с чешуей промывали водой и очищали ножом от прирезей мышечной ткани (рис. 1).



Рис. 1. Рыбья кожа с чешуей (судак)
Fig. 1. Fish skin with scales (pikeperch)

Далее кожу в количестве 400 г погружали в двухскоростной смеситель «Moulinex Delico FP203» (500 Вт) вместе с пищевой солью NaCl (20 г), дробленным льдом (80 г) и обрабатывали в положении 1 (1000 об./мин) до полного отделения чешуи от кожи (продолжительность обработки составила 6 мин). Полученную смесь кожи с чешуей промывали в воде для удаления соли и частично пигментных клеток – хроматофоров (в основном меланофор, располагающихся на границе эпителия и дермы, имеющих черный пигмент меланин), определяющих окраску рыбьей кожи (исследовали на вкус и визуально), и фракционировали при помощи вращающегося сетчатого барабана, получая очищенную от чешуи кожу (210 г). Очищенную кожу опускали в емкость с пресной водой (при комнатной температуре), пищевой солью NaCl и содой NaHCO₃, взятых соответственно в массовом соотношении 100:400:5:1, и выдерживали в течение 40 мин. Далее жидкую часть сливали, оставшееся рыбное сырье промывали пресной водой до полного удаления соли, а также рыбного запаха и частично хроматофоров (проверяли на вкус, запах и визуально). Промытую рыбью кожу порциями (по 11,2 г) помещали в стеклянные банки с завинчивающимися крышками и заливали яблочным соком прямого отжима (ООО «Натурово», г. Калининград, далее по тексту «яблочный сок») в количестве по 112 г в каждую банку, банки закрывали крышками и выдерживали в холодильнике при температуре 4 °С.

Водородный показатель опытных образцов яблочного сока определяли при помощи поверенного рН-метра «HANNA HI 98103 Checker 1». Определение сухих веществ сока проводили при помощи рефрактометра «ИРФ-454Б2М». В процессе исследований осуществляли органолептическую оценку (внешний вид, цвет, вкус) полученных образцов на отдельных этапах обработки рыбьей кожи.

Через каждые 24 часа доставали из холодильника по одной банке и отделяли рыбью кожу от яблочного сока, кожу и сок по отдельности взвешивали и высушивали до постоянной массы (электросушилка «Clatronic DR 275», сушильный

шкаф «SNOL»), затем высушенную кожу измельчали (кофемолка «Scarlett SC-CG44506», 150 Вт).

Измельченные высушенные образцы рыбьей кожи (порошок) и яблочного сока (неподвижная вязкая масса) использовали для проведения их инфракрасного спектроскопического анализа с преобразованием Фурье (FTIR).

Подготовку образцов сухой кожи и сока для исследования методом ИК-Фурье-спектроскопии осуществляли следующим образом. Измельченные образцы рыбьей кожи перед снятием спектра дополнительно измельчали в агатовой ступке, а образцы яблочного сока наносили непосредственно на кристалл спектрометра стеклянным шпателем.

Сухим образцам сока были присвоены цифровые значения (0,1,2,3,4,5,6), соответствующие продолжительности их содержания в холодильнике в сутках. Аналогично, но с добавлением к цифре буквенного индекса «sp», были отмечены образцы рыбьей кожи (0sp–6sp). Регистрация инфракрасных спектров образцов проводилась на ИК-Фурье-спектрометре «ФТ-801» (производитель – научно-производственная фирма «СИМЕКС», г. Новосибирск, Россия). Для снятия спектров применяли метод нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с использованием универсальной приставки НПВО. Образцы прижимали к кристаллу с помощью специального приспособления для лучшего контакта между частицами образца и кристаллом.

Спектры регистрировались при комнатной температуре. Диапазон сканирования составлял от 500 см^{-1} до 4000 см^{-1} при разрешении 8 см^{-1} , число сканирования – 72. Опорный спектр фонового воздуха снимался перед каждым сканированием образца. Спектры были обработаны в программе «ZaIR 3.5».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рыбья кожа без чешуи, яблочный сок и их образцы, полученные после выдержки кожи в соке на отдельных этапах обработки, представлены на рис. 2–7.



Рис. 2. Рыбья кожа судака без чешуи
Fig. 2. Pike perch fish skin without scales

Очищенная от чешуи рыбья кожа (далее по тексту «рыбья кожа») (рис. 2) в результате обработки в смесителе и последующей выдержки в водном растворе солей имела более светлый и равномерный серый оттенок по всей поверхности по сравнению с кожей, очищенной от чешуи при помощи ножа без последующей обработки. Разница в оттенках связана с частичным разрушением, перераспреде-

нием и удалением клеток меланофор в процессе обработки рыбного сырья. Это также подтверждается грязно-темно-серым оттенком цвета жидкости, удаляемой в процессе промывки кожи.



Рис. 3. Внешний вид яблочного сока прямого отжима (слева, вид сбоку и сверху) и после 24 ч выдержки в нем кожи судака при 4 °С (справа)

Fig. 3. Appearance of straight-pressed apple juice (left, side and top view) and after 24 hours exposure of pike perch skin at 4 deg C (right)

После выдержки в яблочном соке рыбьей кожи (рис. 3) сок стал более светлым и менее прозрачным (мутным) по сравнению с исходным соком, что связано с абсорбционными свойствами коллагена кожи рыб, поэтому при набухании кожи (нажоре) вещества сока частично абсорбировались ею. Кроме того, сок стал менее кислым по сравнению с исходным.



Рис. 4. Внешний вид кожи судака (слева) и после выдержки ее в яблочном соке прямого отжима в течение 24 ч при 4 °С (справа)

Fig. 4. Appearance of pike-perch skin (left) and after soaking it in direct-pressed apple juice for 24 hours at 4 deg C (right)

Выдержанная (24 ч) в яблочном соке кожа судака (рис. 4) имела больший объем (толщину) и изменила цвет на аналогичный яблочному соку по сравнению с исходной кожей, что подтверждает абсорбирование ею веществ сока.



Рис. 5. Внешний вид яблочного сока прямого отжима (слева) и кожи судака (справа), выдержанной в соке в течение 48 ч при 4°C

Fig. 5. Appearance of direct-pressed apple juice (left) and pike-perch skin without scales (right), aged in juice for 48 hours at 4 deg C

Выдержанная (48 ч) в яблочном соке кожа судака (рис. 5) легко разрывалась (без усилий) и растиралась пальцами, поэтому ее измельчение (гомогенизация) проходило легко.



Рис. 6. Внешний вид высушенной кожи судака (сверху слева) без обработки (контроль) и образцов кожи, предварительно выдержанных в яблочном соке прямого отжима при 4 °С с различной продолжительностью обработки (24, 48, 72, 96,120 и 144 ч) и высушенных (далее сверху и снизу)

Fig. 6. Appearance of dried pike-perch skin (top left) without treatment (control) and its samples preliminarily aged in direct-pressed apple juice at 4 deg C with different treatment times (24, 48, 72, 96.120 and 144 h) and dried (top left on right and bottom)

Выдержанные в соке и высушенные образцы кожи (рис. 6) при ее незначительной толщине разламывались (с усилием пальцев) на отдельные полупрозрачные пластинки цвета яблочного сока, образцы большей толщины слегка растягивались при приложении значительных усилий. Исходный образец кожи не ломался, имел повышенную жесткость и цвет, свойственный покровной ткани рыб.



Рис. 7. Внешний вид высушенных и измельченных образцов кожи судака, предварительно выдержанных в яблочном соке прямого отжима при 4 °С с различной продолжительностью обработки (24, 48, 72, 96,120 и 144 ч) (сверху слева направо и далее нижний ряд аналогично)

Fig. 7. Appearance of dried and crushed samples of pike perch skin, previously aged in apple juice of direct extraction at 4 °C with different treatment times (24, 48, 72, 96.120 and 144 h) (from top left to right and then the bottom row is similar)

Выдержанные в соке и высушенные образцы кожи (рис. 7) измельчали до состояния порошков, имеющих тенденцию к комкованию.

Образец кожи судака без обработки в яблочном соке (контроль) измельчался с образованием нитеобразных мелких частиц (в виде ваты), имеющих поверхностный заряд (прилипание нитеобразных мелких частиц к поверхности стекла банки).

Воздействие природных органических кислот яблочного сока (яблочная, лимонная, молочная, янтарная и др.), являющихся слабыми электролитами, на коллаген кожи судака выразалось в увеличении массы кожи, ее толщины и абсорбции ею красящих компонентов яблочного сока (рис. 4, 8) [15].

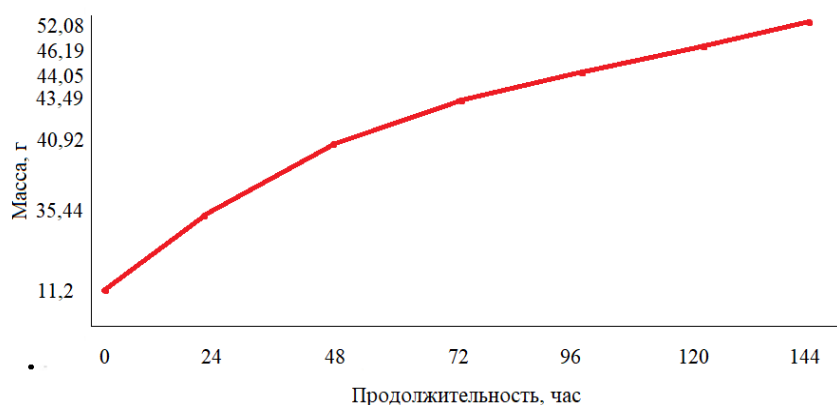


Рис. 8. Динамика изменения массы кожи судака в зависимости от продолжительности выдерживания ее в яблочном соке в массовом соотношении 1:10 при 4 °С

Fig. 8. Dynamics of change in mass of pike perch skin, depending on the duration of keeping it in apple juice in a mass ratio of 1:10 at 4 deg C

Согласно рис. 8, масса кожи судака при выдерживании в яблочном соке в течение 144 ч увеличилась в 4,47 раза (с 11,65 до 52,08 г) по сравнению с массой исходной (без обработки) кожи и в 8,93 раза – по сравнению с массой высушенной (5,83 г).

Отмечено некоторое снижение кислотности яблочного сока с pH 3,54 до 3,70 после выдержки в нем рыбьей кожи в течение 144 ч, что, вероятно, связано с наличием в коже щелочных металлов (Ca и др.), которые при взаимодействии с кислотами сока приводили к образованию солей, снижая содержание кислот.

Исходное содержание сухих веществ яблочного сока (12 %) после 24-часовой выдержки в нем кожи судака снизилось до 11,1 % и далее практически не изменялось, что связано с частичной абсорбцией коллагена рыбьей кожи сухих веществ яблочного сока.

ИК-спектры поглощения высушенной кожи судака без обработки (0sp) и ее образцов (1sp-6sp) после выдержки в яблочном соке представлены на рис 9.

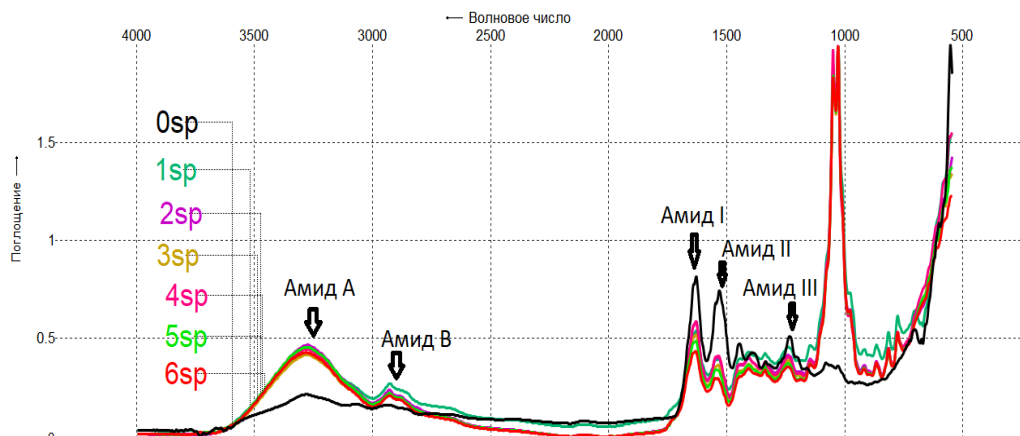


Рис. 9. ИК-спектры поглощения высушенной кожи судака без обработки (0sp) и ее образцов (1sp-6sp) после обработки (выдержки) в яблочном соке
Fig. 9. IR absorption spectra of dried pike perch skin and without treatment (0sp) and its samples (1sp-6sp) after treatment (exposure) in apple juice

ИК-спектры поглощения показывают наличие определенных функциональных групп коллагена (амид А, В, I, II и III). Амидная функциональная группа А была расположена в диапазоне $3278\text{--}3289\text{ см}^{-1}$, что указывает на присутствие аминогрупп (NH), участвующих в ассоциации водородных связей и имеющих сильную водородную связь. Функциональная группа амида В, расположенная в диапазоне $2928\text{--}2930\text{ см}^{-1}$, связана с асимметричными валентными колебаниями связей =CH и --NH .

Пик полосы поглощения в диапазоне $1631\text{--}1632\text{ см}^{-1}$ соответствует группе амида I, что обусловлено валентными колебаниями карбонильной группы (C=O) или водородной связью, соединенной с COO^- . Это указывает на наличие вторичной структуры белка.

Пик полосы поглощения в диапазоне $1532\text{--}1547\text{ см}^{-1}$ соответствует группе амида II, что обусловлено деформацией связи N--H в сочетании с валентными колебаниями групп C--N и N--H .

Пик полосы поглощения в диапазоне $1234\text{--}1240\text{ см}^{-1}$ соответствует группе амида III, что обусловлено деформационными колебаниями N--H от амидных связей и комплекса с межмолекулярными взаимодействиями в коллагене в виде растяжения C--N , изгиба N--H в плоскости от амидных связей.

Таким образом, общая характеристика ИК-спектров (рис. 9) высушенных образцов кожи судака, обработанной и необработанной яблочным соком, является типичной для спектров коллагена.

ИК-спектры поглощения исходного яблочного сока (0) и его образцов, отделенных от кожи судака после процедуры ее обработки (выдержки) в них (1, 3, 6), представлены на рис. 10.

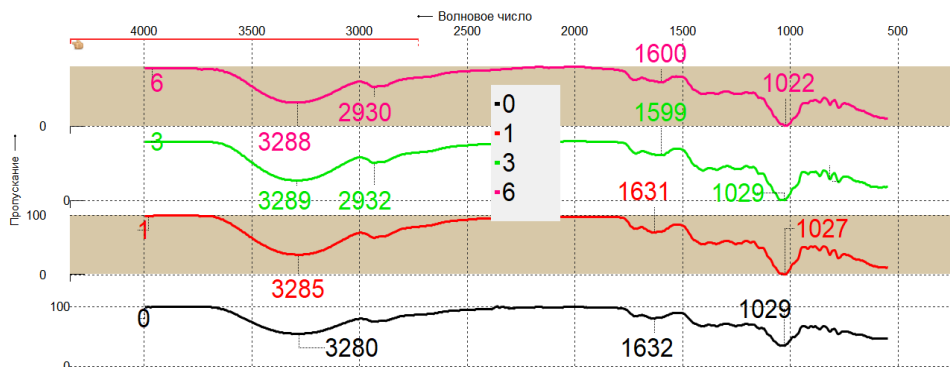


Рис. 10. ИК-спектры поглощения исходного яблочного сока (0) и его образцов (1sp-6sp), отделенных от кожи судака после процедуры ее обработки (выдержки) в них

Fig. 10. IR absorption spectra of the original apple juice (0) and its samples (1sp-6sp) separated from the pike-perch skin after its processing (exposure) in them

Сравнительный анализ ИК-спектров яблочного сока 0–6 показывает (рис. 10), что характер спектров подобен и присутствует интенсивный сигнал поглощения в диапазоне 1022–1029 см⁻¹, характерный для деформационных колебаний связи С–О в гидроксильной группе.

ИК-спектры кожи судака (0sp) без обработки, а также ее образцов после выдержки в яблочном соке (2sp, 3sp, 5sp, 6sp) в диапазоне поглощения 1510–1550 см⁻¹, амид II, представлены на рис. 11.

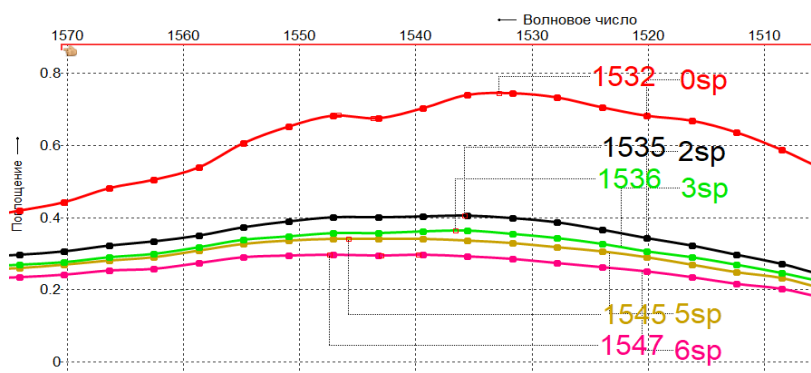


Рис. 11. ИК-спектры кожи судака (0sp) без обработки, а также ее образцов после выдержки в яблочном соке (2sp, 3sp, 5sp, 6sp) в диапазоне поглощения 1510–1550 см⁻¹, амид II

Fig. 11. IR spectra of pikeperch skin (0sp) without treatment, as well as its samples after soaking in apple juice (2sp, 3sp, 5sp, 6sp) in the absorption range 1510-1550 cm⁻¹, amide II

На рис. 11 показано незначительное смещение максимума поглощения группы N–H в амиде II от 1532 см⁻¹ до 1547 см⁻¹. Данное смещение, вероятно, обусловлено ослаблением межцепочечной (межнитевой) водородной связи N–H (Gly) O=C (Xaa).

Разница частот между максимумами поглощения амида I и амида II при увеличении продолжительности выдержки кожи в яблочном соке показана на рис. 12.

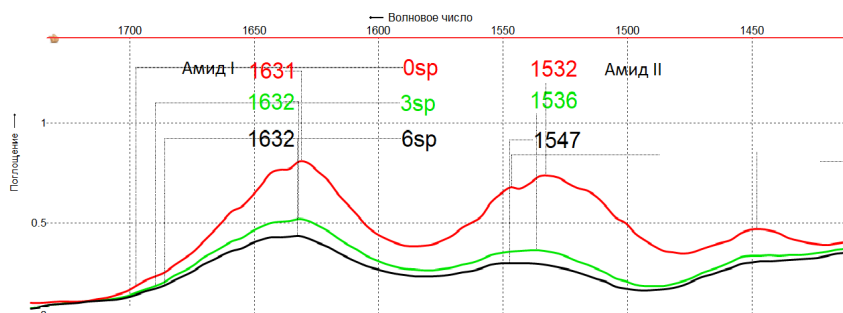


Рис. 12. ИК-спектры и максимумы поглощения амида I и амида II при увеличении продолжительности выдержки кожи судака в яблочном соке для образцов 0sp, 3sp и 6sp

Fig. 12. IR spectra and absorption maxima of amide I and amide II, with an increase in the duration of exposure of pikeperch skin in apple juice for samples 0sp, 3sp and 6s

Разница в волновых числах между амидами I и II (рис. 12), имеющая значение меньше 100 см^{-1} , а именно для 0sp, 3sp и 6sp, составляет соответственно 99 см^{-1} , 96 см^{-1} и 85 см^{-1} , что указывает на сохранение тройной спиральной структуры коллагена [16].

Представленный анализ рыбьего коллагенсодержащего гидрата из кожи судака согласуется с данными других исследователей [17–19].

Исходя из этого можно заключить, что полученная кожа судака, выдержанная в яблочном соке, представляет собой коллагеновый гидрат, который может быть использован в качестве загустителя, стабилизатора, гелеобразователя, пенообразователя и водоудерживающего агента при производстве коллагенсодержащих соков, джемов, йогуртов, конфет, хлебобулочных и кондитерских изделий и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выдерживание очищенной кожи судака в яблочном соке способствует увеличению ее толщины (назора), массы и абсорбции красящих компонентов яблочного сока, а также обеспечивает возможность ее гомогенизации (без значительных усилий) при получении однородного пищевого коллагенсодержащего гидрата.

Исследования измельченных образцов очищенной кожи судака как без обработки, так и с обработкой (выдержанных в яблочном соке), проведенные с помощью инфракрасного спектроскопического анализа, показали наличие функциональных групп коллагена (амид A, B, I, II и III).

Разница в волновых числах между амидами I и II в образцах кожи судака, выдержанных в яблочном соке, имеющая значение менее 100 см^{-1} , указывает на сохранение тройной спиральной структуры коллагена.

Полученный пищевой гидрат из кожи судака (с сохранением тройной спиральной структуры коллагена) может быть рекомендован в качестве самостоятельного продукта, так и добавки в различные продукты питания.

Список источников

1. Клейменов И. Я. Пищевая ценность рыб. Москва: Пищевая промышленность, 1971. 151 с.
2. Степанцова Г. Е., Воробьев В. И. Биологическая ценность коллагенсодержащего сырья гидробионтов // Инновации в науке и образовании-2007: V Междунар. науч. конф. (23–25 окт.): тр. в 2 ч. Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО «КГТУ». Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2007. Ч. 1. С. 310–312.
3. The Art of Turning Fish into Leather: Hakai Magazine... URL: <https://hakaimagazine.com/features/the-art-of-turning-fish-into-leather/> дата обращения: 22.05.2023).
4. How Fish Skin Leather Can Help Reduce Waste in a Seafood ... URL: <https://www.fishfulfuture.com/blog/fish-skin-leather> (дата обращения: 22.05.2023).
5. Исаев В. А. Кормовая рыбная мука. Москва: Агропромиздат, 1985. 189 с.
6. Gelatin from clown featherback skin: Extraction conditions / P. Kittiphattana-bawon, S. Benjakul, S. Sinthusamran, H. Kishimura // LWT-food Science and Technology. 2016. V. 66. P. 186–192.
7. Best Partner to Noodle Soup: Fried Fish Skin... URL: <https://guide.michelin.com/hk...hong-kong...article...fish-skin...> (дата обращения: 22.05.2023).
8. Guess what's for dinner? Healthy, nutritious fish by-product ... URL: <https://www.fao.org/blogs/blue-growth-blog/guess-whats-for-dinner-healthy...> (дата обращения: 22.05.2023).
9. Fish Skin Taste Reviews And Cooking Guides–My Chinese URL: <https://www.mychineserecipes.com/fish-skin-taste-revi...> (дата обращения: 22.05.2023).
10. The Fish Skin Obsessions Around the World – Michelin Guide. URL: <https://guide.michelin.com/article/features/fish-skin-delicacy-around-t...> (дата обращения: 22.05.2023).
11. Animal, plant, collagen and blended dietary proteins: effects on musculoskeletal outcomes / C. S. Deane, J. J. Bass, H. Crossland, B. E. Phillips, P. J. Atherton // Nutrients. 2020. V.12. N 9. P. 2670. DOI: 10.3390/nu12092670.

12. Кременевская М. И. Научные основы технологий глубокой переработки коллагенсодержащего сырья для получения продуктов с заданными свойствами: дис. докт. техн. наук: 05.18.04. Санкт-Петербург, 2019. 405 с.

13. Collagen Derived from Fish Industry Waste: Progresses and Challenges / Z. Rajabimashhadi, N. Gallo, L. Salvatore, F. Lionetto // *Polymers*. 2023. V.15. N 3. P. 544. DOI: 10.3390/polym15030544.

14. Способ приготовления хлебобулочного изделия: заявка на пат. 2022123212 Рос. Федерация / Воробьев В. И., Чернега О. П., Сафронова Т. В., Нижникова Е. В.; заявл. 29. 08. 2022. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2022123212&TypeFile=html. (дата обращения: 25 мая 2023 г.).

15. Махмудов Л. Э., Алиева Н. И., Каримов М. М. Коллаген в растворах электролитов // Молодой ученый: электронный научный журнал. 2015. № 14 (94). URL: <https://moluch.ru/archive/94/20712/> (дата обращения: 23.05.2023).

16. Physical and chemical properties of gelatin from the skin of cultured A mur sturgeon (*A cipenser schrenckii*) / Nikoo M. et al. // *Journal of Applied Ichthyology*. 2013. V. 29. N 5. P. 943–950, <https://doi.org/10.1111/jai.12238>.

17. Characterization of collagen from three genetic lines (gray, red and F1) of *Oreochromis niloticus* (tilapia) skin in young and old adults / Reátegui-Pinedo N. et al. // *Molecules*. 2022. V. 27. N 3. P. 1123, <https://doi.org/10.3390/molecules27031123>.

18. One-pot green synthesis of nitrogen-doped carbon nanoparticles as fluorescent probes for mercury ions / Huang H. et al. // *Rsc Advances*. 2013. V. 3. N 44. P. 21691–21696. DOI: 10.1039/c3ra43452d.

19. Антипова Л. В., Сухов И. В., Котов И. И. Влияние условий обработки шкур толстолобика на структуру коллагена // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. № 4 (82). URL: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-4-53-57> (дата обращения: 30.05.2023).

References

1. Kleymyonov I. Ya. *Pishchевaya tsennost' ryb* [The nutritional value of fish]. Moscow, Pishchевaya promyshlennost' Publ., 1971, 189 p.

2. Stepantsova G. E., Vorob'ev V. I. Biologicheskaya tsennost' kollagensoderzhashchego syr'ya gidrobiontov [Biological value of collagen-containing raw materials of hydrobionts]. *Innovatsii v nauke i obrazovanii-2007: V Mezhdunar. nauch. konf. (23–25 okt.): tr. v 2 ch. Feder. Agentstvo po rybolovstvu; FGBOU VPO «KGTU»* [Innovations in science and education-2007: V Intern. scientific conf. (23–25 Oct.) Proc. in 2 parts. Feder. Fisheries Agency; FGBOU VPO "KSTU"]. Kaliningrad, 2007, pp. 310–312.

3. The Art of Turning Fish into Leather. *Hakai Magazine*..., available at: <https://hakaimagazine.com/features/the-art-of-turning-fish-into-leather/> (Accessed 22 May 2023).

4. How Fish Skin Leather Can Help Reduce Waste in a Seafood ..., available at: <https://www.fishfulfuture.com/blog/fish-skin-leather> (Accessed 22 May 2023).
5. Isaev V. A. *Kormovaya rybnyaya muka* [Feed fishmeal]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 189 p.
6. Kittiphattanabawon P., Benjakul S., Sinthusamran S., Kishimura H. Gelatin from clown featherback skin: Extraction conditions. *LWT-food Science and Technology*. 2016, vol. 66, pp. 186–192.
7. Best Partner to Noodle Soup: Fried Fish Skin..., available at: <https://guide.michelin.com/hk...hong-kong...article...fish-skin...> (Accessed 22 May 2023).
8. Guess what's for dinner? Healthy, nutritious fish by-product ..., available at: <https://www.fao.org/blogs/blue-growth-blog/guess-whats-for-dinner-healthy...> (Accessed 22 May 2023).
9. Fish Skin Taste Reviews And Cooking Guides – My Chinese ..., available at: <https://www.mychineserecipes.com/fish-skin-taste-revi.> (Accessed 22 May 2023).
10. The Fish Skin Obsessions Around the World – Michelin Guide. Available at: <https://guide.michelin.com/article/features/fish-skin-delicacy-around-t...> (Accessed 22 May 2023).
11. Deane C. S., Bass J. J., Crossland H., Phillips B. E., Atherton P. J. Animal, plant, collagen and blended dietary proteins: effects on musculoskeletal outcomes. *Nutrients*, 2020, vol. 12, no. 9, pp. 2670. DOI: 10.3390/nu12092670.
12. Kremenevskaya M. I. *Nauchnye osnovy tekhnologiy glubokoy pererabotki kollagensoderzhashchego syr'ya dlya polucheniya produktov s zadannymi svoystvami. Diss. dokt. tekhn. nauk* [Scientific foundations of technologies for deep processing of collagen-containing raw materials to obtain products with desired properties. Dis. dr. tech. sci.] Saint-Petersburg, 2019, 405 p.
13. Rajabimashhadi Z., Gallo N., Salvatore L., Lionetto F. Collagen Derived from Fish Industry Waste: Progresses and Challenges. *Polymers*, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 544. DOI: 10.3390/polym15030544.
14. Vorob'ev V. I., Chernega O. P., Safronova T. V., Nizhnikova E. V. Sposob prigotovleniya khlebobulochnogo izdeliya [Bakery preparation method]. Zayavka na patent RF, no. 2022123212, 2023.
15. Makhmudov L. E., Alieva N. I., Karimov M. M. Kollagen v rastvorakh elektrolitov [Collagen in electrolyte solutions]. *Molodoy uchenyy*, 2015, no. 14 (94), available at: <https://moluch.ru/archive/94/20712/> (Accessed 24 May 2023).
16. Nikoo M. et al. Physical and chemical properties of gelatin from the skin of cultured A mur sturgeon (*A. cipenser schrenckii*). *Journal of Applied Ichthyology*, 2013, vol. 29, no. 5, pp. 943–950, <https://doi.org/10.1111/jai.12238>.
17. Reátegui-Pinedo N. et al. Characterization of collagen from three genetic lines (gray, red and F1) of *Oreochromis niloticus* (tilapia) skin in young and old adults. *Molecules*, 2022, vol. 27, no. 3, pp. 1123, <https://doi.org/10.3390/molecules27031123>.

18. Huang H. et al. One-pot green synthesis of nitrogen-doped carbon nanoparticles as fluorescent probes for mercury ions. *Rsc Advances*, 2013, vol. 3, no. 44, pp. 21691–21696. DOI: 10.1039/c3ra43452d.

19. Antipova L. V., Sukhov I. V., Kotov I. I. Vliyanie usloviy obrabotki shkur tolstolobika na strukturu kollagena [Influence of procesing conditions of silver carpskins on the structure of collagen]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2019, vol. 81, no. 4 (82), available at: <http://vestnik.voronezh.ru/content/view/54/30/> (Accessed 30 May 2023).

Информация об авторах

В. И. Воробьев – кандидат технических наук, доцент кафедры химии

А. Г. Булычев – кандидат химических наук, доцент кафедры химии

Е. В. Нижникова – кандидат биологических наук, доцент кафедры химии

Information about the authors

V. I. Vorob'ev – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Chemistry

A. G. Bulychev – PhD in Chemistry, Associate Professor of the Department of Chemistry

E. V. Nizhnikova – PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Chemistry

Статья поступила в редакцию 31.05.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2023; принята к публикации 22.06.2023.

The article was submitted 31.05.2023; approved after reviewing 15.06.2023; accepted for publication 22.06.2023.

Научная статья

УДК 664.66.022.39

DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-88-102

О возможности использования рыбных белковой и белково-минеральной добавок в технологии хлебобулочных изделий

Наталья Юрьевна Ключко¹, Дарья Александровна Позднякова², Екатерина Дмитриевна Ковалева³

^{1,2,3}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹natalya.kluchko@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6708-9674>

²dakrup1202@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9868-0133>

³kovaleva_k_30@mail.ru

Аннотация. В работе представлены данные опроса о предпочтениях респондентов в рационе питания. Проведены исследования по совершенствованию технологии хлебобулочных изделий – соломки пшеничной соленой и ржано-пшеничных хлебцев (краюшек) – путем их обогащения рыбными белковой и белково-минеральной добавками. В первом случае задача решается за счет введения в состав теста ферментированного фарша трески, полученного путем выдерживания измельченной мышечной ткани рыбы в воде при заданных параметрах (продолжительность ферментализации 20 мин, температура воды 20 ± 2 °C). Выпеченный готовый продукт представляет собой палочки округлой формы, слабо изогнутые, легко разламывающиеся, от светло-желтого до светло-коричневого цвета, хорошо пропеченные и без признаков непромеса, с приятным солоноватым вкусом и запахом, с невыраженным ароматом рыбы. По результатам физико-химических исследований содержание белка увеличилось на 66 %, минеральных веществ – на 11 %. В другом случае используют белково-минеральную композицию, полученную путем выдерживания измельченной тушки трески в молочной сыворотке при технологических параметрах: время гидролиза 268 мин, температура 28 °C. Готовый продукт был представлен в виде хлебцев (краюшек), изготовленных путем выпечки готового теста с введением в рецептуру белково-минеральной композиции и солодового экстракта. Прямоугольные хлебцы темно-коричневого цвета, со вкусом солода, обладали приятным сладковатым ароматом, имели хорошо разрыхленную, равномерную структуру. Замечено, что введение в состав рецептуры солодового экстракта обогащает продукт клетчаткой и белковыми веществами, улучшает органолептические характеристики готового продукта.

Ключевые слова: обогащенные продукты, хлебобулочные изделия, хлебобулочные изделия пониженной влажности, соломка, хлебцы, краюшки, белковая добавка, белково-минеральная добавка, треска балтийская, молочная сыворотка подсырная.

Для цитирования: Ключко Н. Ю., Позднякова Д. А., Ковалева Е. Д. О возможности использования рыбных белковой и белково-минеральной добавок в технологии хлебобулочных изделий // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 88–102. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-88-102.

Original article

Possibility of using fish protein and protein-mineral additives in the technology of bakery products

Nataliya Yu. Klyuchko¹, Dar'ya A. Pozdnyakova², Ekaterina D. Kovaleva

^{1, 2, 3} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹natalya.kluchko@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6708-9674>

²dakrup1202@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9868-0133>

³kovaleva_k_30@mail.ru

Abstract. The paper presents survey data on the preferences of respondents in the diet. Studies have been conducted to improve the technology of bakery products: salted wheat straws and rye-wheat loaves (edges) and by enriching them with fish protein and protein-mineral additives. In the first case, the problem is solved by introducing fermented minced cod into the dough, obtained by holding the crushed muscle tissue of the fish in water at the specified parameters: the duration of fermentolysis (20 min) and the water temperature ($20 \pm 2^\circ\text{C}$). The baked finished product consists of round-shaped sticks, slightly curved, easily broken, from light yellow to light brown, well baked and without signs of non-kneading, with a pleasant salty taste and smell, with an unexpressed aroma of fish. According to the results of physico-chemical studies, the protein content increased by 66%, mineral substances – by 11%. In another case, a protein-mineral composition obtained by holding a crushed cod carcass in whey at technological parameters: hydrolysis time of 268 minutes and temperature of 28°C . The finished product was presented in the form of loaves (edges) made by baking the finished dough with the introduction of a protein-mineral composition and malt extract into the recipe. The rectangular loaves had a pleasant, sweet aroma and malt taste and had a uniform dark brown color with a well-loosened, uniform structure. The introduction of malt extract into the formulation also enriches the product with fiber and protein substances and improves the organoleptic characteristics of the finished product.

Keywords: fortified products, bakery products, bread and bakery products of reduced humidity, straws, loaves, edges, protein supplement, protein-mineral supplement, Baltic cod, dairy whey.

For citation: Klyuchko N. Yu., Pozdnyakova D. A., Kovaleva E. D. Possibility of using fish protein and protein-mineral additives in the technology of bakery products. // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (70): 88-102. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-88-102.

ВВЕДЕНИЕ

Хлебобулочные изделия (ХБИ) традиционно считаются одним из главных пищевых продуктов в структуре питания населения России. В настоящее время хлебопекарная промышленность выпускает большое количество разнообразных хлебных, булочных, бараночных, сухарных, диетических и национальных изделий, различающихся рецептурой, видами сырья, способами выпечки, сроками хранения [1].

В структуре питания современного человека все большее место занимают перекусы, к которым, в первую очередь, прибегают наиболее мобильные слои населения – школьники, учащаяся молодежь, офисные сотрудники и др. [2]. Рацион их питания, как правило, не соответствует физиологическим потребностям организма. Минздрав России отмечает недостаточное употребление животного белка, дефицит витаминов и минеральных веществ, преобладание углеводно-жирового компонента и животных жиров, избыток простых углеводов [3].

Сформировалась отдельная группа продуктов, предназначенных для перекусов, это снеки. Пищевая промышленность, следуя за этой тенденцией, все больше расширяет ассортимент данной продукции. Среди хлебобулочных изделий в группу снеков, несомненно, могут входить ХБИ пониженной влажности [2].

Проведенный нами социологический опрос показал, что такие ХБИ пониженной влажности, как бараночные изделия, хлебцы, соломка, хлебные палочки, пользуются спросом среди населения и являются популярными видами данной группы изделий. Результаты о распределении опрошенных по предпочтениям ХБИ пониженной влажности представлены на рис. 1, их отношение к расширению ассортимента – на рис. 2.

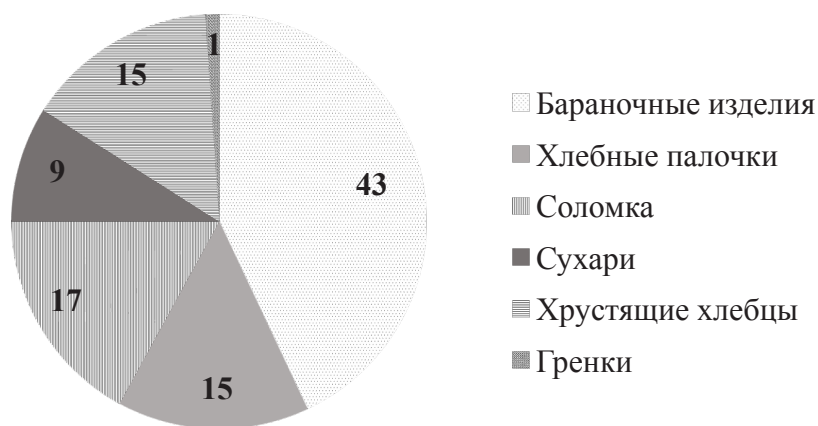


Рис. 1. Распределение респондентов по предпочтениям хлебобулочных изделий пониженной влажности

Fig. 1. Distribution of respondents by preferences of bakery products of low humidity

Из рис. 2 видно, что 65 % опрошенных положительно относятся к расширению ассортимента ХБИ пониженной влажности. В связи с этим актуально повышать биологическую ценность этих продуктов как наиболее популярных среди

потребителей. Хлебобулочные изделия – это преимущественно углеводный продукт, поэтому целесообразно их обогащение белком, минеральными веществами и витаминами [1, 4].

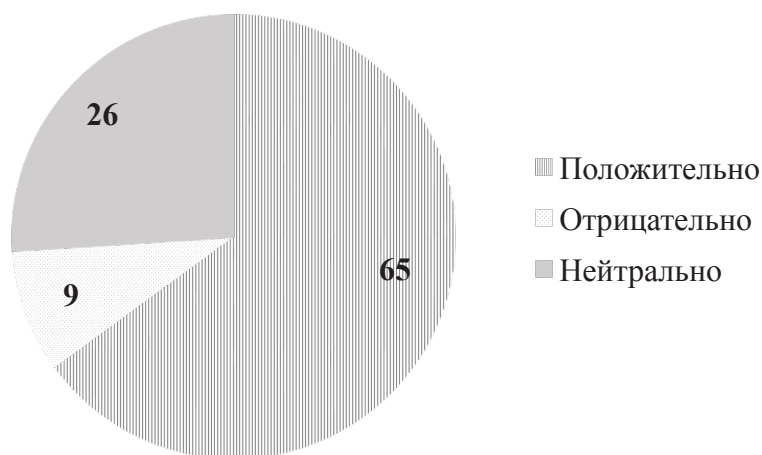


Рис. 2. Отношение респондентов к расширению ассортимента хлебобулочных изделий пониженной влажности за счет обогащения полезными компонентами
Fig. 2. Respondents' attitude to expanding the range of bakery products with reduced humidity due to enrichment with useful components

Повышение белковой, минеральной и витаминной ценности ХБИ осуществляется путем введения в их рецептуру различных добавок. В последнее время в качестве основных источников белка ученые предлагают использовать добавки растительного (шрот кунжута, льна, подсолнечника, рапса, концентраты и изоляты белков семян сои, нута, гороха, фасоли, чечевицы) и животного происхождения (белковые концентраты и гидролизаты рыбных и нерыбных объектов водного промысла, сурими, творожную и подсырную закваски, молочную сыворотку) [1, 4–10].

Особый интерес в качестве полноценного белка представляет рыбный белок. Известны работы отечественных ученых – Л. В. Шульгиной, Л. М. Эпштейн, Ю. Г. Блиновой, М. Б. Гуляковой, Г. И. Загородной, Ю. И. Касьяненко – по производству хлебобулочных изделий, обладающих биологической активностью путем введения в рецептурную смесь тонкоизмельченных сырых молот лососевых рыб в количестве 5–20 % от массы муки [11]. Труды А. П. Черногорцева, А. С. Лысовой, И. А. Бессмертной посвящены обогащению рыбным белком печенья [12], зарубежные ученые R. Xiaoqing, L. Zhongkou, Zh. Guang пишут об использовании рыбного фарша в технологии пропаренного хлеба [13].

Цель настоящей работы заключалась в совершенствовании технологии хлебобулочных изделий путем введения в рецептурную смесь теста рыбных белковой и белково-минеральной композиций.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным объектом исследования являлась треска балтийская (*Gadus morhua*), соответствующая ГОСТ 814-2019 «Рыба охлажденная. Технические условия». Помимо этого, в работе использовали муку пшеничную высшего и первого сортов (ГОСТ 26574-2017 «Мука пшеничная хлебопекарная»), муку ржаную цельнозерновую (ГОСТ 7045-2017 «Мука ржаная хлебопекарная»), сыворотку молочную подсырную (ГОСТ 34352-2017 «Сыворотка молочная – сырье. Технические условия»). В качестве разрыхлителя добавляли смесь карбоната и гидрокарбоната натрия (ГОСТ 32802-2014) и дрожжи хлебопекарные сушеные (ГОСТ Р 54845-2011 «Дрожжи хлебопекарные сушеные. Технические условия»). По показателям безопасности все сырье соответствовало требованиям ТР ЕАЭС 040/2016, ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 033/2013.

В работе использовали стандартные и общепринятые органолептические и физико-химические методы исследований. Органолептическую оценку готовой продукции проводили с помощью балльного и профильного методов. Массовую долю белка в сырье и готовой продукции определяли методом Кьельдаля (ГОСТ 34454-2018), содержание жира – экстракцией в аппарате Сокслета (ГОСТ 31902-2012), влагу – высушиванием навески в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С (ГОСТ 5900-2014), содержание золы в готовом продукте устанавливали после сжигания навески в муфельной печи при температуре 650 °С (ГОСТ 5901-2014), азота концевых аминогрупп – методом формольного титрования (ФТА).

Моделирование и оптимизацию рецептуры обогащенной пшеничной соломки и хлебцев осуществляли методом планирования эксперимента с применением ортогонального центрального композиционного плана второго порядка для двух факторов.

Статистическую обработку данных осуществляли общепринятыми методами при доверительной вероятности 0,95. Основные эксперименты проводились в трехкратной повторяемости. Для обработки полученных результатов использовались программы «Microsoft Word 2019», «Microsoft Excel 2019».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Возможность вводить в состав хлебобулочных изделий белок рыбы исследована на примере обогащения продукции пониженной влажности. В качестве объекта совершенствования рецептуры была выбрана соломка пшеничная соленая (ГОСТ 11270-88 «Изделия хлебобулочные. Соломка. Общие технические условия»), которая относится к ХБИ хрупкой структуры с содержанием массовой доли влаги не более 11 %, в виде палочек диаметром 5–8 мм и длиной 10–28 см, золотисто-желтого цвета, с глянцевой поверхностью. Изделия можно рассматривать как снековую продукцию.

Традиционная рецептура соломки включает пшеничную муку высшего сорта, воду, соль, сахар, маргарин и разрыхлитель. Для определения вкусовых предпочтений наиболее популярных рецептур соломки были произведены пробные выпечки изделий с использованием химического разрыхлителя (смесь карбоната и гидрокарбоната натрия) и дрожжей хлебопекарных. Путем органолептичес-

ской оценки дегустационная комиссия отдала предпочтение рецептуре соломки соленой, изготавливаемой с применением дрожжей. Последние улучшают структурно-механические свойства теста, а готовый продукт имеет более воздушную структуру и приятные вкусо-ароматические характеристики.

Анализ литературных данных показал, что ферментализ рыбного фарша приводит к распаду белков мышечной ткани рыб до крупномолекулярных соединений – альбуминов, пептонов, пептидов [13, 14]. Ферментализ способствует приобретению рыбной белковой массой свойств, необходимых для ее использования в качестве наполнителя пищевых продуктов с целью повышения их биологической ценности. После ферментализа может быть получена белковая добавка со структурно-механическими свойствами, которые способствуют лучшему сочетанию ее с тестом, приготовленным на основе пшеничной муки при замесе. Белковая добавка, полученная таким способом и введенная в тесто, обеспечит хорошую вязкость, липкость и соответствующие гидрофильные свойства теста.

Для совершенствования рецептуры соломки пшеничной соленой было предложено ввести в состав теста ферментированный рыбный фарш, полученный следующим образом. Мышечную ткань трески балтийской измельчали на куттере и направляли на ферментализ, который проводили в присутствии воды при гидромодуле 1 : 1 (фарш : вода), температуре 20 ± 2 °С и продолжительности 20 мин. Затем воду удаляли, а полученную рыбную белковую добавку (РБД) вводили в тесто.

Для установления оптимальных параметров процесса приготовления соломки повышенной биологической ценности применяли математическое планирование эксперимента. В качестве варьируемых частных факторов, подлежащих регулированию и оптимизации, использовали количество вносимых дрожжей (X_D) и РБД (X_P). Параметром оптимизации математической модели y для повышения объективности результатов исследования выбран безразмерный обобщенный показатель, объединяющий два частных отклика – хрупкость и флевор (вкус и запах). Обработка полученных данных позволила рассчитать параметры уравнения, адекватно связывающего обобщенный параметр оптимизации с изменяемыми факторами, которое позволяет прогнозировать качество продукта:

$$y = 0,315x_D^2 + 0,0086x_P^2 - 0,0147x_Dx_P - 0,5813x_D - 0,0946x_P + 0,4612$$

Расчет оптимальных значений факторов, а именно содержание дрожжей (X_D – 6 г/100 г продукта) и рыбной белковой добавки (X_P – 20 г/100 г продукта), позволил разработать рецептуру соломки пшеничной соленой, обогащенной рыбным белком, которую назвали соломка «Морская» (рис. 3).

Органолептическая оценка обогащенной соломки показала, что готовый продукт представляет собой ХБИ в форме округленных палочек, слабо изогнутых, со слегка шероховатой, без вздутий и трещин поверхностью, с равномерным цветом от соломенно-желтого до светло-коричневого, хорошо пропеченных, без признаков непромеса, легко разламывающихся, хрупких, приятных на вкус и запах (что свойственно данному виду изделий), аромат рыбы не выражен или выражен слабо (едва уловим). Физико-химические показатели представлены в табл. 1, из которой следует, что содержание белка в обогащенной соломке увеличилось на

66 %, минеральных веществ – на 11 %. Полученные результаты говорят о перспективности работы и требуют дальнейших исследований.



Рис. 3. Соломка пшеничная соленая, обогащенная рыбной белковой добавкой («Морская»)

Fig. 3. Salted wheat straw enriched with fish protein supplement («Sea»)

Таблица 1. Физико-химические показатели качества контрольных и экспериментальных образцов соломки пшеничной соленой

Table 1. Physico-chemical quality indicators of control and experimental samples of salted wheat straw

Наименование показателя	Соломка пшеничная соленая, контрольный образец	Соломка пшеничная соленая, обогащенная рыбным белком («Морская»), экспериментальный образец
Массовая доля влаги, %	$5,69 \pm 0,02$	$5,75 \pm 0,02$
Массовая доля белка, %	$7,23 \pm 0,02$	$12,05 \pm 0,02$
Массовая доля жира, %	$1,37 \pm 0,01$	$1,16 \pm 0,01$
Массовая доля углеводов, %*	$84,48 \pm 0,01$	$79,67 \pm 0,01$
Массовая доля минеральных веществ, %	$1,23 \pm 0,01$	$1,37 \pm 0,01$
Кислотность, град.	$1,80 \pm 0,01$	$1,80 \pm 0,01$

Примечание: * данные получены расчетным путем

Продолжением исследований, проводимых на кафедре пищевой биотехнологии Калининградского государственного технического университета и посвященных совершенствованию технологии ХБИ, стала разработка рецептуры ржано-пшеничных хлебцев (краюшек) [15]. С целью повышения содержания минеральной составляющей рыбной белковой добавки предложено использовать не

только мышечную, но и опорно-каркасную и покровную ткани. Последние являются источниками кальция и коллагена – строительных компонентов, необходимых для укрепления опорно-двигательного аппарата человека. Для размягчения рыбных тканей применяли кислотнo-ферментативный гидролиз в сыворотке молочной подсырной, которая отличается низкой калорийностью и высокой биологической ценностью: содержит молочный белок, витамины группы В, а также комплекс таких минеральных соединений, как калий, натрий, кальций, магний, железо и др.

Для оптимизации процесса дезагрегации рыбного сырья тушку трески пропускали через волчок 2 раза. Гидромодуль «фарш из тушки трески : сыворотка молочная подсырная» составил 1:1. Данный модуль выбран в связи с тем, что при большем модуле (1:2 и 1:3) происходит разбавление фермента и снижение скорости образования фермент-субстратного комплекса. Начальный рН рыбномолочной смеси составил 5,8–6,0, что близко к оптимальному значению работы катепсинов мышечной ткани рыбного сырья, молочнокислой микрофлоры и химозина – сычужного фермента, остающегося в сыворотке после получения сыра. Время гидролиза ($T_{гидр}$) варьировало от 2 до 6 ч, температура ($t_{гидр}$) – от 20 до 40 °С. В качестве частных откликов исследовали органолептическую оценку гидролизованной массы, изменение ее кислотности и накопление ФТА.

Результаты определения оптимальных режимов проведения дезагрегации рыбного белка для получения белково-минеральной добавки при варьировании температуры от 20 до 40 °С в течение 1–8 ч при рН $5,8 \pm 0,3$ представлены на рис. 4.

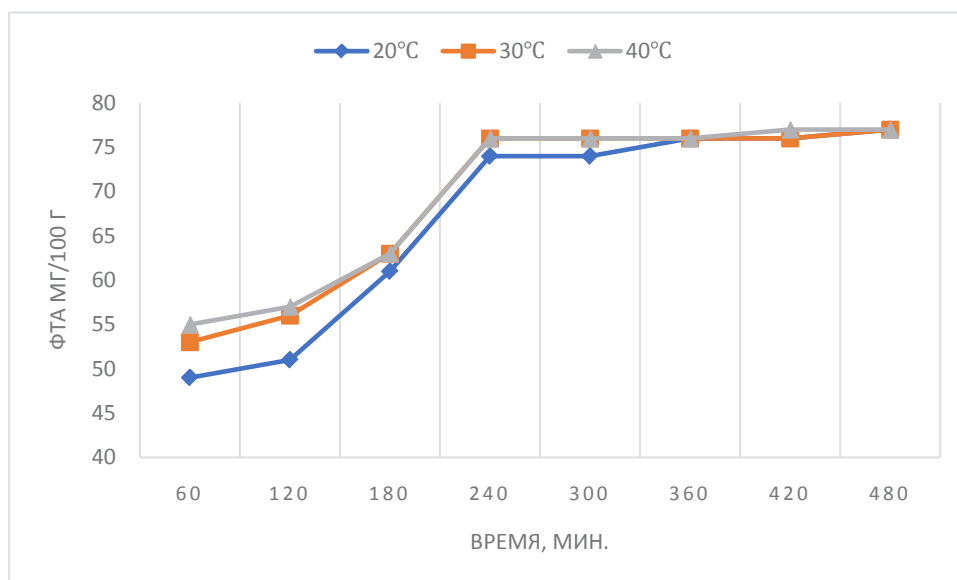


Рис. 4. Процесс накопления азота концевых аминокрупп (ФТА, мг/100 г) в рыбной белково-минеральной добавке из фарша тушки трески при варьировании температуры, времени гидролиза и гидромодуле 1:1

Fig. 4. The process of nitrogen accumulation of terminal amino groups (FTA, mg/100g) in a fish protein-mineral supplement from minced cod carcass with varying temperature, hydrolysis time and hydromodule 1:1

Данные на рис. 4 показывают, что наибольшее накопление ФТА наблюдается при температуре 30 °С и времени гидролиза 240 мин, затем рост показателя прекращается и устанавливается на одном уровне. В дальнейшем накопление ФТА снижается, процесс протекает медленно.

В результате обработки данных получили уравнение с натуральными значениями уровней факторов:

$$y = -0,0009252t_{\text{гидр}}^2 - 0,00002102T_{\text{гидр}}^2 + 0,00001708t_{\text{гидр}}T_{\text{гидр}} - 0,021344t_{\text{гидр}} + 0,005115T_{\text{гидр}} - 1,880011$$

Математически преобразовав полученное уравнение в натуральном виде, а также с помощью дифференцирования и решения системы уравнения, нашли оптимальные значения факторов: температура гидролиза – 28 °С, время – 268 мин.

Полученную рыбную белково-минеральную добавку (РБМД), которую вводили непосредственно при замесе теста, использовали для приготовления ржано-пшеничных хлебцев (краюшек). Для нивелирования рыбного запаха, а также повышения биологической ценности в состав хлебобулочного изделия дополнительно добавляли ржаной ферментированный солод. Последний представляет собой проросшее зерно ржи, которое после прорастания определенное количество времени выдерживают при высокой температуре. Это придает солоду красно-коричневый цвет и приятный аромат. Использование солодового экстракта в производстве хлебобулочного изделия позволит обогатить готовый продукт такими минеральными веществами, как магний, фосфор, калий, а также витаминами. Кроме того, улучшатся органолептические показатели качества хлеба (табл. 3) и физико-химические – качества образцов.

Физико-химические показатели качества солодового экстракта представлены в табл. 2 [9].

Таблица 2. Физико-химические показатели качества солодового экстракта
 Table 2. Physico-chemical quality indicators of malt extract

Наименование показателя	Солодовый экстракт
Содержание сухих веществ, %	84,10
Содержание белковых веществ, %	3,97
Содержание золы, %	1,36
Содержание гумми-веществ, %	5,36
Содержание декстринов, %	3,95
Кислотность, %	15,6

Таблица 3. Сравнительные характеристики органолептических показателей качества хлебобулочных изделий

Table 3. Comparative characteristics of organoleptic indicators of the quality of bakery products

Наименование показателя	Наименование образца	
	Образец 1 Хлебцы, обогащенные РБМД	Образец 2 Хлебцы, обогащенные РБМД и солодовым экстрактом
Цвет	Неравномерный, светло-серый, с вкраплением частиц трески	Равномерный, темно-коричневый
Состояние мякиша	Изделия хорошо разрыхленные, пропеченные, с равномерной структурой, без признаков непромеса	Изделия хорошо разрыхленные, пропеченные, с равномерной структурой, без признаков непромеса
Вкус	Выраженный вкус данного вида изделия, ржано-пшеничный, с не ярко выраженным вкусом рыбы	Приятный, свойственный данному виду изделия, с ярко выраженным сладковатым вкусом солода
Запах	Свойственный данному виду изделия, со слабо выраженным запахом трески	Приятный, свойственный данному виду изделия, с ароматом солода
Поверхность	Гладкая, без вздутий и трещин, с наколами, допускаются отпечатки сетки на нижней поверхности	Гладкая, без вздутий и трещин, с наколами, допускаются отпечатки сетки на нижней поверхности

Дегустаторами проведена оценка образцов продукции (с введением солодового экстракта в состав хлебобулочных изделий, обогащенных РБМД, и без него) профильным методом по интенсивности с использованием разработанных характеристик. Индивидуальные оценки экспертов заносились в дегустационные листы, после чего были построены профили вкуса и внешнего вида корки данных образцов хлебобулочных изделий (рис. 5).

По результатам органолептического анализа можно отметить, что добавление солодового экстракта делает продукт привлекательнее внешне, темно-коричневого цвета, с румяной корочкой, улучшает аромат и вкус изделия, нивелирует нежелательный не ярко выраженный привкус рыбы. Также использование солодового экстракта значительно влияет на физико-химические характеристики хлебобулочного изделия – увеличивает сроки хранения продукта и придает особую мягкость консистенции мякиша, обогащает продукт минеральными веществами и клетчаткой.

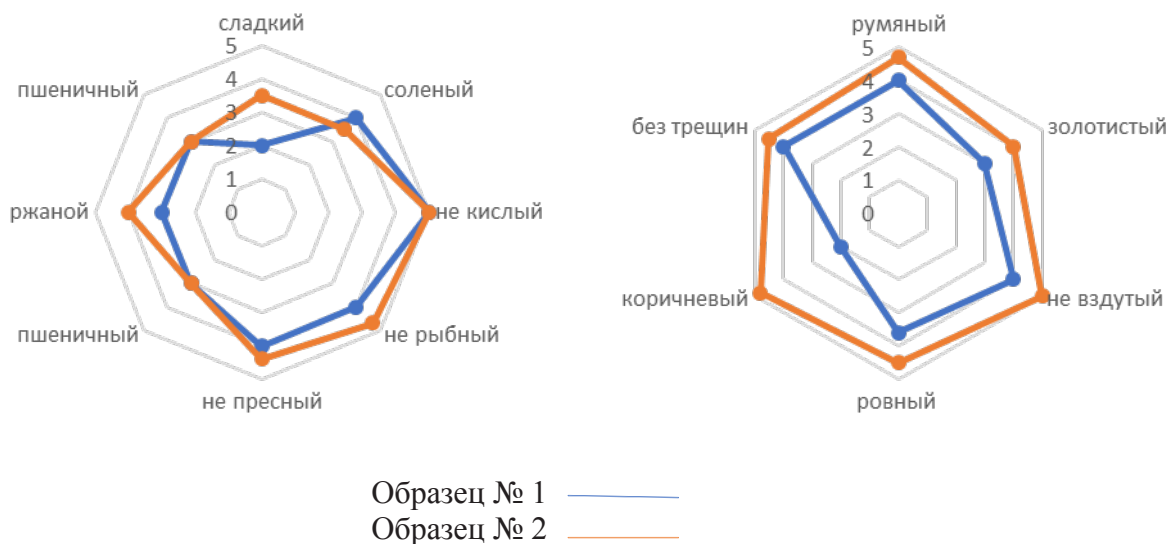


Рис. 5. Профиль вкуса и внешнего вида корки ржано-пшеничных хлебцев, обогащенных рыбной белково-минеральной добавкой (образец № 1) и рыбной белково-минеральной добавкой с солодовым экстрактом (образец № 2)

Fig. 5. Taste and appearance profile of rye-wheat bread crusts enriched with fish protein-mineral additive (sample No. 1) and fish protein-mineral additive and malt extract (sample No. 2)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования по совершенствованию технологии хлебобулочных изделий на примере соломки пшеничной соленой и ржано-пшеничных хлебцев (краюшек) путем введения в тесто белковой и белково-минеральной добавок показали их перспективность. С применением математического планирования эксперимента определены оптимальные параметры рецептуры: количество вносимых дрожжей и рыбной белковой добавки. Установлено, что содержание белка в такой соломке по сравнению с традиционной увеличилось на 66 %, минеральных веществ – на 11 %. По органолептическим показателям готовая продукция отличалась привлекательным внешним видом, хрупкостью, легко разламывалась, имела вкус и запах, свойственные данному виду изделий, при этом аромат рыбы не ощущался или был выражен слабо, едва уловим.

Для повышения содержания минеральной составляющей рыбной белковой добавки предложено использовать не только мышечную, но и опорно-каркасную и покровную ткани. С применением кислотно-ферментативного гидролиза получена рыбная белково-минеральная добавка, которая вводилась в рецептуру ржано-пшеничных хлебцев. Для оптимизации процесса дезагрегации рыбного сырья было проведено математическое планирование эксперимента, определены опти-

мальные параметры процесса гидролиза – время и температура. Для нивелирования запаха рыбы в хлебцах и повышения биологической ценности предложено использовать ржаной ферментированный солод. Полученный готовый продукт отличался привлекательными органолептическими показателями – ярко выраженным сладковатым вкусом и ароматом солода. Проведенные исследования показали перспективность работы. Готовая продукция может быть рекомендована различным слоям населения, в первую очередь школьникам и учащейся молодежи, которые мало употребляют в пищу рыбный белок.

Список источников

1. Чижикова О. Г., Коршенко Л. О. Технология производства хлеба и хлебобулочных изделий. Москва: Издательство Юрайт. 2023. 252 с. URL: <https://urait.ru/bcode/510044> (дата обращения: 23.05.2023).
2. Машкова И. А., Новожилова К. С., Васькина В. А. Современное производство крекеров и галет // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2017. № 3–4. С. 24–29.
3. Коденцова В. М., Громова О. А., Макарова С. Г. Микронутриенты в питании детей и применение витаминно-минеральных комплексов // Педиатрическая фармакология. 2015. Т. 12. № 5. С. 6.
4. Skipping breakfast and a meal at school: its correlates in adiposity context. report from the ABC of healthy eating study of polish teenagers / L. Wadolowska et al. // Nutrients. 2019. N. 11 (7). P. 1563.
5. The effect of different levels of protein concentrate silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) to the profiles mineral production test breads / S. Ghaffari et al. // Journal of Food Science and Technology (Iran). 2021. N. 18 (111). P. 117–129.
6. Конкурентный потенциал функциональных обогащенных хлебобулочных изделий / Е. П. Викторова, О. В. Федосеева, Т. А. Шахрай, Н. Н. Корнен // Новые технологии. 2020. № 2. С. 28–39.
7. Догаева Л. А., Косухина О. В. Разработка мучных кондитерских изделий с использованием нетрадиционного сырья // IV межд. научно-практическая и научно-методическая конф. (15 марта 2020): материалы. Белгород, 2020. С. 17–22.
8. Кокорина Д. С. Влияние технологии производства обогащенного хлеба из пшеничной муки на его реологические характеристики // XXXIII Международные Плехановские чтения (8–10 июня 2020): сборник. Москва. 2020. С. 188–191.
9. Лукина С. И. Разработка технологии обогащенного хлеба из пшеничной муки с натуральными пищевыми ингредиентами // VIII отчетная науч. конф. преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2019 год (6–7 февраля 2020): материалы. Воронеж. 2020. С. 48.

10. Nizkiy S. E., Kodirova G. A., Kubankova G. V. Determining the amino acid composition of soybean proteins using IR scanners // International journal of pharmaceutical research and allied sciences. 2020. N. 9 (2). P. 45–49.
11. Способ производства хлебобулочных изделий, обладающих биологической активностью: пат. 2181543 Рос. Федерация. № 2000107498/13 / Шульгина Л. В., Эпштейн Л. М., Блинов Ю. Г., Гуляков М. Б., Загородная Г. И., Касьяненко Ю. И.; заявл. 27.03.2000; опубл. 27.04.2002. Бюл. № 12. 5 с.
12. Махнач Е. В., Бессмертная И. А. Разработка технологии функционального продукта из пшеничной муки, обогащенного рыбным белково-минеральным наполнителем // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-funktsionalnogo-produkta-iz-pshenichnoy-muki-obogaschennogo-rybnym-belkovo-mineralnym-napolnitelem> (дата обращения: 14.05.2023).
13. Xiaoqing R., Zhongkou L., Guang Zh. Minced fish nutritional steamed bread and preparation method thereof. China patent CN102273588 (A). 2011 Dec 14.
14. Черногорцев А. П. Переработка мелкой рыбы на основе ферментированного сырья. Москва: Пищевая промышленность. 1973. 152 с.
15. Ключко Н. Ю., Позднякова Д. А. Исследование по совершенствованию технологии хлебобулочного изделия, обогащенного рыбной белково-минеральной добавкой // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 103–111.

References

1. Chizhikova O. G. *Tekhnologiya proizvodstva khleba i khlebobulochnykh izdeliy* [Technology of production of bread and bakery products]. Moscow, Yurayt Publ., 2023, 252 p., available at: <https://urait.ru/bcode/510044> (Accessed 23 May 2023).
2. Mashkova I. A., Novozhilova K. S., Vas'kina V. A. Sovremennoe proizvodstvo krekerov i galet [Modern production of crackers and biscuits]. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo*, 2017, no. 3–4, pp. 24–29.
3. Kodentsova V. M., Gromova O. A., Makarova S. G. Mikronutrienty v pitanii detey i primenenie vitaminno-mineral'nykh kompleksov [Micronutrients in children's nutrition and the use of vitamin-mineral complexes]. *Pediatricheskaya farmakologiya*, 2015, vol. 12, no. 5, p. 6.
4. Wadolowska L. et al. Skipping breakfast and a meal at school: its correlates in adiposity context. report from the ABC of healthy eating study of polish teenagers. *Nutrients*, 2019, no. 11 (7), p. 1563.
5. Ghaffari S. et al. The effect of different levels of protein concentrate silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) to the profiles mineral production test breads. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 2021, no. 18 (111), pp. 117–129.

6. Viktorova E. P., Fedoseeva O. V., Shahray T. A., Kornen N. N. Konkurentnyy potentsial funktsional'nykh obogashchennykh khlebobulochnykh izdeliy [Competitive potential of functional enriched bakery products]. *Novye tekhnologii*, 2020, no. 2, pp. 28–39.
7. Dogaeva L. A., Kosukhina O. V. Razrabotka muchnykh konditerskikh izdeliy s ispol'zovaniem netraditsionnogo syr'ya [Development of flour confectionery products using non-traditional raw materials]. *Materialy IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy i nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Materials IVth Int. sci.-pract. and sci.-method. conf.]. Belgorod, 2020, pp. 17–22.
8. Kokorina D. S. Vliyanie tekhnologii proizvodstva obogashchennogo khleba iz pshenichnoy muki na ego reologicheskie kharakteristiki [Influence of the technology of production of enriched wheat flour bread on its rheological characteristics]. *XXXIII Mezhdunarodnye Plekhanovskie chteniya (8–10 iyunya 2020): sbornik*. [XXXIII International Plekhanov readings (8–10 June 2020): compilation]. Moscow, 2020, pp. 188–191.
9. Lukina S. I. Razrabotka tekhnologii obogashchennogo khleba iz pshe-nichnoy muki s natural'nymi pishchevymi ingredientami [Development of technology for enriched wheat flour bread with natural food ingredients]. *Materialy VIII otchetnoy nauchnoy konferentsii prepodavateley i nauchnykh sotrudnikov VGUIT za 2019 god* [Materials VIIIth reporting scientific conference of teachers and researchers of the VSUET for 2019]. Voronezh, 2020, p. 48.
10. Nizkiy S. E. Determining the Amino Acid Composition of Soybean Proteins Using IR Scanners. *International journal of pharmaceutical research and allied sciences*, 2020, no. 9 (2), pp. 45–49.
11. Shul'gina L. V., Epshteyn L. M., Blinov Yu. G., Gulyakov M. B., Zagorodnaya G. I., Kas'yanenko Yu. I. Sposob proizvodstva khlebobulochnykh izdeliy, ob-ladayushchikh biologicheskoy aktivnost'yu [Method for the production of bakery prod-ucts with biological activity]. Patent RF, no. 2000107498/13, 2002, 5 p.
12. Makhnach E. V., Bessmertnaya I. A. Razrabotka tekhnologii funktsio-nal'nogo produkta iz pshenichnoy muki, obogashchennogo rybnym belkovo-mineral'nym napolnitelem [Development of technology for a functional product from wheat flour enriched with fish protein-mineral filler]. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Ser. Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2014, no. 1, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-funktsionalnogo-produkta-iz-pshenichnoy-muki-obogaschennogo-rybnym-belkovo-mineralnym-napolnitelem> (Ac-cessed 14 May 2023).
13. Xiaoqing R., Zhongkou L., Guang Zh. Minced fish nutritional steamed bread and preparation method thereof. China patent CN102273588 (A). 2011 Dec 14.
14. Chernogortsev A. P. *Pererabotka melkoy ryby na osnove fermentirovan-nogo syr'ya* [Processing of small fish based on fermented raw materials]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1973, 152 p.

15. Klyuchko N. Yu., Pozdnyakova D. A. Issleovanie po sovershenstvovaniyu tekhnologii khlebobulochnogo izdeliya, obogashchennogo rybnoy belkovo-mineral'noy dobavkoy [Research on improving the technology of bakery products enriched with fish protein-mineral supplement]. *Izvestiya KGTU*, 2022, no. 66, pp. 103–111.

Информация об авторах

Н. Ю. Ключко – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии

Д. А. Позднякова – аспирант кафедры пищевой биотехнологии

Е. Д. Ковалева – магистрант кафедры пищевой биотехнологии

Information about the authors

N. Yu. Klyuchko – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of Food Biotechnology

D. A. Pozdnyakova – PhD Student of the Department of Food Biotechnology

E. D. Kovaleva – Master Student of the Department of Food Biotechnology

Статья поступила в редакцию 30.05.2023; одобрена после рецензирования 12.06.2023; принята к публикации 22.06.2023.

The article was submitted 30.05.2023; approved after reviewing 12.06.2023; accepted for publication 22.06.2023.

Научная статья

УДК 664.951.014: 639.55: 665.213.9

DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-103-114

Потенциал и перспективы использования жира из копченых рыбных отходов

Ольга Яковлевна Мезенова¹, Светлана Викторовна Агафонова², Наталья Юрьевна Романенко³, Наталья Сергеевна Калинина⁴, Владимир Владимирович Волков⁵, Леонид Васильевич Дамбарович⁶

^{1,2,3,4,5,6}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹mezenova@klgtu.ru

²svetlana.agafonova@klgtu.ru

³nataliya.mezenova@klgtu.ru

⁴natalya.kalinina@klgtu.ru

⁵vladimir.volkov@klgtu.ru

⁶leoneman2010@mail.ru

Аннотация. Повышенные объемы отходов от разделки рыбы, содержащие быстропортящиеся жиры, в настоящее время являются проблемой многих рыбоперерабатывающих производств. Данное сырье традиционно используется для изготовления кормовой рыбной муки и технического жира. Однако копченые рыбные отходы не перерабатываются по причине содержания копильных компонентов, токсичных для животных. Жировая фракция рыбных отходов содержит ценные жирные кислоты, в том числе полиненасыщенные (ПНЖК) и кислоты семейства омега-3, необходимые для нормализации многих функций организма. В работе исследован биопотенциал жира копченых рыбных отходов шпротных производств, проведена оптимизация теплового процесса его выделения, дана оценка качеству и безопасности шпротного жира, обоснованы рациональные направления использования. Исследованы химический состав голов кильки горячего копчения и жирнокислотный состав выделенного жира. Проведены эксперименты по оптимизации тепловой экстракции жира из рыбных отходов с применением математического планирования экспериментов. Получены кодированные и натуральные математические модели, связывающие количественный выход жира и показатели его безопасности с температурой и продолжительностью теплового воздействия. Жир шпротных отходов в эксперименте по показателям гидролитической и окислительной порчи (кислотное и перекисное числа) не всегда соответствовал требованиям стандарта для жира рыбного пищевого. Исследовано содержание в шпротном жире полициклических ароматических углеводородов (бенз(а)пирен;

бензо(б)флуорантен; бенз(а)антрацен; хризен), обладающих канцерогенными свойствами. Результаты свидетельствуют о критичности его использования для пищевых целей в виде жира-сырца. Рациональной областью применения жира из копченых рыбных отходов с повышенным содержанием опасных веществ и его использования в качестве источника углерода для синтеза белков одноклеточных и биоразлагаемых пластиков видится микробная биотехнология.

Ключевые слова: рыбные отходы, рыбный жир, тепловая экстракция, кислотное число, перекисное число, полициклические ароматические углеводороды, полигидроксиалканоаты.

Благодарности: Авторы благодарят директора Научно-исследовательской и консультационной лаборатории UBF, доктора наук Йорга-Томаса Мерзеля за помощь в аналитических исследованиях.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-64-10007 «Биотехнологический синтез белка одноклеточных и разрушаемых биопластиков с использованием в качестве нового углеродного субстрата жиросодержащих отходов технологий рыбопереработки: фундаментальное обоснование и реализация», <https://rscf.ru/project/23-64-10007/>

Для цитирования: Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В., Дамбарович Л. В. Потенциал и перспективы использования жира из копченых рыбных отходов // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 103–114. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-103-114.

Original article

Potential and perspectives of using fat from smoked fish waste

Ol'ga Ya. Mezenova¹, Svetlana V. Agafonova², Natalya Yu. Romanenko³, Natalya S. Kalinina⁴, Vladimir V. Volkov⁵, Leonid V. Dambarovich⁶

^{1,2,3,4,5,6}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹mezenova@klgtu.ru

²svetlana.agafonova@klgtu.ru

³nataliya.mezenova@klgtu.ru

⁴natalya.kalinina@klgtu.ru

⁵vladimir.volkov@klgtu.ru

⁶leoneman2010@mail.ru

Abstract. Increased volumes of waste from fish cutting containing rapidly perishable fats are currently a problem in many fish processing industries. This raw material is traditionally used for the manufacture of feed fishmeal and industrial fat. However, smoked fish waste is not processed due to the content of smoke components that are toxic to animals. The fatty fraction of fish waste contains valuable fatty acids, including polyunsaturated PUFAs and omega-3 acids, which are necessary for the normalization of many body functions. In the work, the biopotential of fat from smoked fish waste from sprat production was studied, the thermal process of its extraction was optimized, the quality and safety of sprat fat were assessed, and rational directions for use were substantiated. The chemical composition of hot-smoked sprat heads and the

fatty acid composition of the extracted fat were studied. Experiments were carried out to optimize the thermal extraction of fat from fish waste using mathematical planning of experiments. Coded and natural mathematical models have been obtained that relate the quantitative yield of fat and its safety indicators with the temperature and duration of thermal exposure. Sprat waste fat in the experiment in terms of hydrolytic and oxidative spoilage (acid and peroxide numbers) did not always meet the requirements of the standard for edible fish oil. The content of polycyclic aromatic hydrocarbons (benz(a)pyrene; benzo(b)fluoranthene; benzo(a)anthracene; chrysene) with carcinogenic properties in sprat fat was studied. The results indicate the criticality of its use for food purposes in the form of raw fat. Microbial biotechnology and its use as a carbon source for the synthesis of unicellular proteins and biodegradable plastics is seen as a rational area for the application of fat from smoked fish waste with a high content of hazardous substances.

Key words: fish waste, fish oil, thermal extraction, acid value, peroxide value, polycyclic aromatic hydrocarbons, polyhydroxyalkanoates.

Acknowledgments: The authors would like to thank the Director of the UBF Research and Consulting Laboratory, Dr. Jörg-Thomas Merzel, for his assistance in the analytical studies.

Funding: The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 23-64-10007 "Biotechnological protein synthesis of unicellular and degradable bioplastics using fat-containing waste from fish processing technologies as a new carbon substrate: fundamental justification and implementation", <https://rscf.en/project/23-64-10007/>

For citation: Mezenova O. Ya., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Kalinina N. S., Volkov V. V., Dambarovich L. V. Potential and perspectives of using fat from smoked fish waste. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; № 70. С. 103–114. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-103-114.

ВВЕДЕНИЕ

Рыба и другие морепродукты являются ценным источником уникальных жиров, которые используют на пищевые, кормовые, технические, ветеринарные, медицинские и другие цели. Из свежеполученных рыбных жиров изготавливают пищевые и биологически активные добавки, лекарственные и профилактические препараты, технические смазки, антиадгезионные смеси, биоэнергетики. С их применением получают пищевые соусы, заливки, эмульсии и другие жиросодержащие продукты. Качественный и безопасный рыбный жир используют в функциональных и специализированных продуктах питания, в составе фармацевтических препаратов. Жиры рыб и морепродуктов являются ценным источником полиненасыщенных жирных кислот, содержание которых составляет 40–50 % всех жирных кислот (ЖК), в состав которых входят уникальные эйкозапентаеновая (ЭПК) и докозагексаеновая (ДГК) жирные кислоты семейства омега-3, имеющие соответственно 5 и 6 двойных связей. В данных жирах также содержатся жирорастворимые витамины D, A и F, являющиеся ценными биологически активными веществами [1–3].

В настоящее время растет популярность биодобавок с омега-3 ЖК, что оказывает заметное влияние на мировой рынок рыбьего жира, особенно

предназначенного для медицинских целей. Рыбий жир – один из ключевых компонентов в составе кормов для рыбоводства, объектов аквакультуры, сельскохозяйственных и домашних животных [4–7].

Основным условием для использования рыбного жира в названных целях является его высокое качество в части содержания ПНЖК, а также безопасность в отношении токсичных продуктов, образующихся в результате гидролиза и окисления. К сожалению, основное достоинство рыбного жира – высокая полиненасыщенность – обуславливает и его основной недостаток – склонность к повышенной гидролитической и окислительной порче. В местах двойных связей ПНЖК чрезвычайно быстро образуются перекиси и гидроперекиси, которые необратимо подвергаются окислению. В результате данные ЖК теряют свою биологическую активность, при этом жир становится токсичным [1, 5, 6].

Источником рыбного жира являются многие виды рыб с повышенной жирностью. Жир в теле рыб может распределяться очень неравномерно, выделять рыбный жир из туловищного сырья (мышечной ткани) экономически нецелесообразно, обезжиренная рыбная масса при этом теряет товарный вид и не всегда может быть использована на пищевые цели. Получать рыбный жир рационально из жиросодержащих рыбных отходов – голов, костей, внутренностей. В основном рыбные отходы направляются на производство кормовой рыбной муки, при этом дополнительным продуктом является жир-сырец, который при соответствии требованиям стандарта используется как технический рыбный жир. Однако в жире из рыбных отходов, как правило, по причине их быстрой микробиальной и автолитической порчи интенсифицируются процессы гидролиза и окислительного прогоркания. Такой жир быстро становится не соответствующим стандартам по показателям кислотного и перекисного чисел и представляет проблему для использования [8].

Основные жиросодержащие отходы, накапливающиеся при рыбопереработке, можно классифицировать на следующие группы [1, 2]:

- рыбные отходы пищевых производств (стерилизованные консервы, соленая рыба и пресервы, копченая и вяленая рыба, кулинарные рыбные изделия); при этом образуется около 50 % массы вторичного сырья;
- некондиционная рыба (мятая, рваная, с наружными дефектами, не соответствующая по размерам, неправильно разделанная, с первыми признаками автолиза тканей, но без бактериальной порчи);
- прилов – рыба другого вида, не используемая для основного производства;
- жир-сырец, получаемый в процессе изготовления кормовой рыбной муки, белковых гидролизатов и концентратов [9].

Способы выделения жира из жиросодержащего рыбного сырья различны. В основном жир-сырец получают тепловым способом (традиционный), механическим измельчением, низкотемпературным воздействием, энзимологическим и химико-экстракционным методами [1, 2, 6, 10]. Наиболее распространен тепловой способ, при котором на измельченное сырье в водной среде воздействуют температурами около 100 °С, в результате чего происходит разрушение оболочек жировых клеток, из которых вытекает жир. При тепловой обработке жиросодержащих рыбных отходов с повышенным количеством коллагеновых белков может образовываться стойкая белково-жировая эмульсия, препятствующая разделению фракций и выделению свободного жира. Причиной этого является переход коллагена в

водорастворимый глютин, обладающий повышенной липкостью и адгезией. В итоге образуется стойкая клеевая масса, из которой трудно выделить свободный жир. Избежать этого можно, если воздействовать на сырье температурами, разрушающими коллагеновые белки, но не влияющими на качество жира [1, 5, 9].

В Калининградской области в настоящее время повышенное количество жиросодержащих отходов накапливается на рыбокомбинатах, производящих консервы «Шпроты в масле». В регионе из балтийской кильки (*Sprattus sprattus balticus*) выпускается около 80 % отечественных консервов данного вида. При этом жиросодержащие головы кильки, удаляемые после копчения, не перерабатываются по причине наличия копильных компонентов. Такие отходы, как правило, утилизируются на полигонах ТБО, несмотря на высокий органический биопотенциал. Головы кильки составляет 10–12 % от массы целой рыбы, ежесуточное аккумуляирование и утилизация данных отходов в Калининградской области достигает около 8–10 т [9]. При среднем содержании в таком сырье жира около 10 % и белка 15 % недоиспользуемый ценный органический ресурс составляет соответственно 1,0 т жира и 1,5 т белка.

Представляется актуальным оценить жировой биопотенциал копченых жиросодержащих рыбных отходов Калининградского региона путем исследования его химического состава, биологической ценности и безопасности выделяемого традиционным способом жира.

Цель работы – исследование биопотенциала жира, выделенного из шпротных рыбных отходов, оптимизация значений факторов его тепловой экстракции, оценка качества и безопасности жира, обоснование рациональных направлений использования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись головы балтийской кильки горячего копчения (отходы производства консервов «Шпроты в масле»), полученные от рыбоконсервного завода ООО «РосКон» (г. Пионерский, Калининградская область), а также образцы жиров, выделенных из данного сырья. Отбор средних проб, подготовку их к анализу проводили в соответствии с ГОСТ 31339-2006, ГОСТ 7631-85. Общий химический состав голов кильки, кислотное и перекисное числа жира определяли по ГОСТ 7636-85.

Исследование жирнокислотного состава копченого рыбного жира проводили хроматографическим методом в лаборатории UBF (Альтландсберг, Германия) с идентификацией жирных кислот спектрофотометрическим путем. Пробоподготовка заключалась в гидролизе триглицеридов жира триметилсульфонийгидроксидом с получением метиловых эфиров жирных кислот. Разделение эфиров осуществляли на газовом хроматографе «Hewlett Packard GC-System HP 6890 Series».

Обоснование оптимальных факторов процесса теплового выделения из шпротных отходов осуществляли с применением метода математического планирования эксперимента по ортогональному центральному композиционному плану второго порядка. Изменяемыми факторами в исследованиях выступали температура вытапливания (T ; 40–100 °С) и продолжительность тепловой обработки (τ ; 20–60 мин.). В качестве параметра оптимизации был выбран обобщенный отклик,

рассчитываемый с применением частных откликов (ВЖ – выход жира из сырья, КЧ – кислотное число, ПЧ – перекисное число) методом «приближения к идеалу» (КЧ – 10 мг КОН/г; ПЧ – 4 ммоль/кг акт. О; ВЖ – 30 г из 100 г сырья).

Определение содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в рыбных жирах осуществляли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии путем измерения флуоресценции при различных длинах волн возбуждения и эмиссии в Научно-исследовательской и консультационной лаборатории UBF (Альтландсберг, Германия).

Статистическую обработку данных проводили на 95 %-ном доверительном уровне методом регрессивного анализа с использованием пакетов прикладных программ «Microsoft Office».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общий химический состав голов копченой кильки, представленных для исследования, характеризовался содержанием воды, белка, жира и минеральных веществ соответственно на уровне (%): 65,2; 16,3; 15,4; 3,1. Жир, выделенный из сырья тепловым способом, имел светло-коричневый цвет, был непрозрачным, имел ярко выраженный аромат копченой рыбы.

Оценка жирнокислотного состава шпротного жира показала, что он не уступает жиру из свежей кильки и других сельдевых рыб [1, 5]. Установлены его сбалансированность по содержанию основных ЖК и высокая биологическая ценность по содержанию эссенциальных ЖК семейства омега-3. Соотношение насыщенных (НЖК), мононенасыщенных (МНЖК) и полиненасыщенных (ПНЖК) составляет 30 : 37,8 : 32,2, что близко рекомендуемому для питания человека (1 : 1 : 1). При этом доля ПНЖК составляет 37,8 % от суммы всех ЖК с очень значимым удельным весом в этой группе содержания ЭПК и ДГК (соответственно 10,3 % и 14,9 %). Полученные данные свидетельствуют о высокой степени сохранности ПНЖК, несмотря на критические факторы в переработке сырья при производстве консервов (повышенная влажность, высокие температуры и др.). Эффект высокой сохранности ПНЖК можно объяснить присутствием в жире копильных компонентов фенольной природы, являющихся эффективными антиоксидантами. Полученные данные свидетельствуют о высоком пищевом потенциале жира, содержащегося в шпротных отходах, и возможности его использования в качестве источника ценных биологически активных веществ.

Эксперименты, проведенные в соответствии с матрицей ортогонального центрального композиционного плана 2-го порядка для 2-х факторов, позволили получить следующие показатели качества шпротного жира и уровня его выхода из сырья в зависимости от условий его выделения (табл. 1).

Таблица. План эксперимента по моделированию и оптимизации процесса экстракции жира из голов копченой кильки (шпротных отходов) в зависимости от времени и температуры

Table. Experimental plan for modeling and optimizing the process of extracting fat from the heads of smoked sprat (sprat waste) depending on time and temperature

№ опыта	Изменяемые факторы эксперимента – процесса экстракции жира		Частные отклики			Безразмерные отклики			Обобщенные параметры оптимизации, Y
	Температура, °C, T (X ₁)	Время, мин, τ (X ₂)	КЧ, мг КОН/г	ПЧ, ммоль/кг ½ О	Масса жира, %	S _{КЧ} ²	S _{ПЧ} ²	S _м ²	
1	100	60	11,25	3,98	29,1	0,0156	0,0000	0,0000	0,0157
2	40	60	9,31	15,02	21,7	0,0048	7,5900	0,0647	7,5948
3	100	20	10,77	4,94	24,8	0,0059	0,0552	0,0218	0,0612
4	40	20	9,01	16,42	23,7	0,0098	9,6410	0,0344	9,6508
5	100	40	11,06	4,37	26,8	0,0112	0,0086	0,0062	0,0198
6	40	40	9,41	15,93	18,3	0,0035	8,8953	0,1377	8,8988
7	70	60	10,63	6,49	19	0,0040	0,3875	0,1205	0,3915
8	70	20	10,1	7,5	19,9	0,0001	0,7656	0,1000	0,7657
9	70	40	10,34	6,95	18,8	0,0012	0,5439	0,1253	0,5451

После обработки данных по алгоритму ОЦКП была получена следующая модель процесса экстракции жира, связывающая обобщенный параметр оптимизации с факторами процесса:

$$Y = 0,841107 - 4,353501x_1 - 0,40209x_2 + 0,491593x_1x_2 + 3,683047x_1^2 - 0,15728x_2^2$$

Из анализа кодированной модели следует, что фактор температуры (x₁) гораздо более значимо влияет на выход жира и показатели его безопасности, чем продолжительность экстракции (x₂) в указанной области исследования.

Математическая модель процесса экстракции жира в натуральном выражении, которая может быть использована для прогнозирования частных откликов и обобщенного параметра оптимизации в зависимости от натуральных значений факторов процесса, имеет следующий вид:

$$Y = 33,520 - 0,751T - 0,046\tau + 0,0008T\tau + 0,004T^2 - 0,00\tau^2$$

Оптимизация процесса выделения жира методом Бокса-Уилсона позволила получить следующие расчетные оптимальные значения температуры и продолжительности экстракции жира:

$T = 88,4$ °С – температура экстракции;

$\tau = 34$ мин. – продолжительность экстракции.

Таким образом, получение рыбного жира из шпротных голов с показателями КЧ и ПЧ, регламентированными для пищевого жира, рекомендуется при температуре экстракции 88–89 °С в течение 34 мин. Такой жир имеет значения КЧ менее 4 мг КОН/г жира и ПЧ менее 10 ммоль активного кислорода/кг при выходе из сырья около 30 % от его массы и может быть использован на пищевые цели.

Однако, анализ данных табл. 1 показывает, что в большинстве опытов показатели ПЧ и КЧ превышали допустимые для пищевого жира значения, что свидетельствует о высокой неустойчивости жирных кислот к факторам гидролитической и окислительной порчи в диапазоне варьирования факторов. Отсюда следует, что необходимо учитывать высокую склонность рыбного жира к гидролитическим и окислительным изменениям. В случае превышения допустимых значений КЧ и ПЧ получаемый рыбный жир требует специального обоснования по применению. В данном случае его можно использовать в качестве биоэнергетического материала (биотоплива), основы для антиадгезионных материалов или технических смазок [11], а также в биотехнологии как источник углерода для микробного синтеза белка одноклеточных и биоразлагаемых пластиков типа полигидроксиалканоатов (ПГА) [12, 13, 14, 15].

Следует учитывать, что жир из шпротных отходов даже при соответствии значений КЧ и ПЧ показателям пищевого рыбного жира может быть не безопасным для здоровья человека. Причиной токсичности такого жира является содержание вредных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), обладающих канцерогенной и мутагенной опасностью. Они попадают в рыбу при копчении кильки из дыма, хорошо растворяются в жире, переходят вместе с ним при тепловой экстракции и подлежат обязательному контролю при сертификации копченой продукции.

Оценка содержания ПАУ в выделенном шпротном жире показала, что по суммарному содержанию 4 основных ПАУ (бенз(а)пирен; бензо(б)флуорантен; бенз(а)антрацен; хризен) на уровне 86,37 мкг/кг наибольшая концентрация приходится на бенз(а)антрацен (53,18 мкг/кг) и хризен (27,36 мкг/кг). При этом содержание бенз(а)пирена (4,56 мкг/кг) соответствует требованиям Технического регламента Таможенного Союза 021/2011 по допустимому уровню (не более 5 мкг/кг). Отсюда следует, что жир, выделяемый из голов копченой кильки тепловой экстракцией, может являться основой для создания копильного ароматизатора, ароматизированных масел и заливок для различной рыбной продукции. С учетом повышенного содержания других ПАУ (бенз(а)антрацена и хризена) применение его в качестве самостоятельного пищевого продукта нежелательно. В данном случае жир из копченых рыбных отходов рационально использовать в качестве источника углерода, биологически активных веществ (ПНЖК, ЭПК, ДГК) для микробного синтеза белка одноклеточных и разлагаемых биополимеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования потенциала жиросодержащих голов копченой кильки как отходов шпротного производства можно констатировать перспективность и рациональность получения рыбного жира тепловым методом. Выделяемый жир отличается сбалансированностью жирнокислотного состава по соотношению НЖК, МНЖК и ПНЖК, наличием уникальных жирных кислот семейства омега-3, в том числе с высоким содержанием ценных ЭПК и ДГК. Максимальный выход жира из шпротных отходов (до 30 % от массы сырья) может быть достигнут тепловой экстракцией при оптимальных значениях температуры (88–89 °С) и продолжительности экстракции (34 мин). При этом получаемый жир может соответствовать или не соответствовать по качеству требованиям, предъявляемым к пищевым рыбным жирам. При соответствии его можно рекомендовать к пищевому использованию, например, в составе ароматизаторов, биодобавок, компонентов соусов и заливок. При этом необходима оценка такого жира на содержание перекисей, гидроперекисей и полициклических ароматических углеводов.

При превышении показателей безопасности жира по значениям ПЧ, КЧ и ПАУ жир из шпротных отходов может быть применен в микробной биотехнологии в качестве источника углерода для синтеза белков одноклеточных и биоразлагаемых пластиков. Жиросодержащие отходы технологий переработки рыбного сырья потенциально являются рациональным и возобновляемым ресурсом для получения субстратов биотехнологии. Малая изученность этого источника обосновывает рациональность проведения специальных исследований. Комплексность использования шпротных отходов и замкнутость технологического цикла изготовления консервов «Шпроты в масле» повысят эффективность рыбоперерабатывающих производств путем получения продуктов биотехнологии с высокой добавленной стоимостью.

Список источников

1. Боева Н.П., Бредихина О.В., Петрова М.С., Баскакова Ю.А. Технология жиров из водных биологических ресурсов: монография. М.: Изд-во ВНИРО, 2016. 107 с.
2. Иванова Е.Е. Жирнокислотный состав липидов некоторых видов рыб, акклиматизированных на юге России // Известия вузов. Пищевая технология, 2003. № 4. С. 18–20.
3. Гаммель И. В., Запорожская Л. И., Магин Г. Ю. Получение и исследование осетрового рыбьего жира – источника омега-3 и омега-6 полиненасыщенных жирных кислот // Медицинский альманах, 2013. № 5. С. 182–187.
4. Muge E. K., Mbatia B. N., Mwaniki M. W. Development and Sensory Evaluation of Omega-3-Rich Nile Perch Fish Oil-Fortified Yogurt. International Journal of Food Science. 2021. Article ID 8838043. P. 7
5. Биотехнология рационального использования гидробионтов: учебник / Т. М. Сафронова, О. Я. Мезенова, Н. Т. Сергеева, Т. Н. Слуцкая, Л. С. Байдалинова, А. С. Лысова, Г. Е. Степанцова // Издательство «Лань», СПб. 2013. 412 с.
6. Дамбарович Л. В., Агафонова С. В. Ферментативная экстракция жира из вторичного сырья атлантической скумбрии и его использование в функциональном питании // Вестник Международной академии холода, 2022. № 2. С. 48–55.

7. Rincón-Cervera M.A. et al. Quantification and Distribution of Omega-3 Fatty Acids in South Pacific Fish and Shellfish Species. *Foods*. 2020. No 9. P. 233.
8. Исследование и рациональное применение пептидных и липидных композиций, получаемых при гидролизной переработке коллагенсодержащих тканей / О. Я. Мезенова, Д. Тишлер, С. В. Агафонова, Н. Ю. Мезенова, Д. А. Бараненко, Т. Гримм, С. Ридель // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 46–58.
9. Мезенова О. Я. Биотехнологические способы получения протеиновых и белково-минеральных добавок из вторичного рыбного сырья копильных производств // Известия вузов. Пищевая технология. 2019. № 2–3. С. 68–71.
10. Aitta E., Marsol-Vall A., Damerau A., Yang B. Enzyme-Assisted Extraction of Fish Oil from Whole Fish and by-Products of Baltic Herring (*Clupea harengus* membranes). *Foods*. 2021. N. 10 (8). P. 1811.
11. Петров Б. Ф., Вепринцев Р. А. Использование технических жиров в рыбной промышленности // Материалы Международной научно-практической конференции «Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития (28–29 марта 2023 г.)». ВГБНУ «ВНИРО», Москва, 2023. С. 327–332.
12. Мезенова О. Я. Современная пищевая биотехнология: основные проблемы и вызовы // Вестник Международной академии холода. 2023. № 1. С. 35–46. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-35-46.
13. Popa M. S., Frone A. N., Panaitescu D. M. Polyhydroxybutyrate blends: a solution for biodegradable packaging // *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022. N. 207. P. 263–277.
14. Volova T., Sapozhnikova K., Zhila N. *Cupriavidus necator* B-10646 growth and polyhydroxyalkanoates production on different plant oils // *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020. N. 164. P. 121–130.
15. Thuoc D. V., Anh V. T. M. Bioconversion of Crude Fish Oil Into Poly-3-hydroxybutyrate by *Ralstonia* Sp. M91// *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2021. V. 57. N. 2. P. 219–225. DOI : 10.1134/S0003683821020162.

References

1. Boeva N. P., Bredikhina O. V., Petrova M. S., Baskakova Yu. A. *Tekhnologiya zhиров iz vodnykh biologicheskikh resursov* [Technology of fats from aquatic biological resources]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2016, 107 p.
2. Ivanova E. E. Zhirnokislotty sostav lipidov nekotorykh vidov ryb, akklimatizirovannykh na yuge Rossii [Fatty acid composition of lipids in some fish species acclimatized in the south of Russia]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2003, no. 4, pp. 11–13
3. Gammel I. V., Zaporozhskaya L. I., Magin G. Yu. Polucheniye i issledovaniye osetrovogo ryb'yego zhira – istochnika omega-3 i omega-6 polinenasyshchennykh zhirnykh kislot [Preparation and study of sturgeon fish oil – a source of omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids]. *Meditinskiy al'manakh*, 2013, no. 5, pp. 182–187.
4. Muge E. K., Mbatia B. N., Mwaniki M. W. Development and Sensory Evaluation of Omega-3-Rich Nile Perch Fish Oil-Fortified Yogurt. *International Journal of Food Science*. 2021. Article ID 8838043. P.7

5. Safronova T. M., Mezenova O. Ya., Sergeeva N. T., Slutsкая T. N., Baidaliova L. S., Lysova A. S., Stepansova G. E. *Biotekhnologiya ratsional'nogo ispol'zovaniya gidrobiontov: uchebnik* [Biotechnology of the rational use of hydrobionts: textbook]. Saint-Petersburg, Publishing house "Lan", 2013, 412 p.
6. Dambarovich L. V., Agafonova S. V. Fermentativnaya ekstraktsiya zhira iz vtorichnogo syr'ya atlanticheskoy skumbrii i ego ispol'zovanie v funktsional'nom pitanii [Enzymatic extraction of fat from recycled Atlantic mackerel and its use in functional nutrition]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2022, no. 2, pp. 48–55.
7. Rincon-Cervera M. A. [et al.]. Quantification and Distribution of Omega-3 Fatty Acids in South Pacific Fish and Shellfish Species. *Foods*. 2020, no. 9, p. 233.
8. Mezenova O. Ya., Tishler D., Agafonova S. V., Mezenova N. Yu., Volkov V. V., Baranenko D. A., Grimm T., Ridel' S. Issledovaniye i ratsional'noye primeneniye peptidnykh i lipidnykh kompozitsiy, poluchayemykh pri gidroliznoy pererabotke kollagensoderzhashchikh tkaney [Research and rational application analysis of peptide and lipid compositions obtained by hydrolysis processing of collagen-containing tissues]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2021, no. 1, pp. 46–58.
9. Mezenova O. Ya. Biotekhnologicheskiye sposoby polucheniya proteinovykh i belkovo-mineral'nykh dobavok iz vtorichnogo rybnogo syr'ya koptil'nykh proizvodstv [Biotechnological methods for obtaining protein and protein-mineral additives from secondary fish raw materials of smoke production]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2019, no. 2–3, pp. 68–71.
10. Aitta E., Marsol-Vall A., Damerou A., Yang B. Enzyme-Assisted Extraction of Fish Oil from Whole Fish and by-Products of Baltic Herring (*Clupea harengus* membras). *Foods*. 2021, no. 10 (8), p. 1811.
11. Petrov B. F., Veprintsev R. A. Ispol'zovaniye tekhnicheskikh zhirov v rybnoy promyshlennosti [The use of technical fats in the fishing industry]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Rybokhozyaystvennyy kompleks Rossii: problemy i perspektivy razvitiya"* (28–29 марта 2023 г.). [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Fishery complex of Russia: problems and development prospects]. VGBNU «VNIRO», Moscow, 2023, pp. 327–332.
12. Mezenova O. Ya. Sovremennaya pishchevaya biotekhnologiya: osnovnyye problemy i vyzovy [Modern food biotechnology: main problems and challenges]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2023, no. 1, pp. 35–46. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-35-46.
13. Popa M. S., Frone A. N., Panaitescu D. M. Polyhydroxybutyrate blends: a solution for biodegradable packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022, no. 207, pp. 263–277.
14. Volova T., Sapozhnikova K., Zhila N. Cupriavidus necator B-10646 growth and polyhydroxyalkanoates production on different plant oils. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, no. 164, pp. 121–130.
15. Thuoc D. V., Anh V. T. M. Bioconversion of Crude Fish Oil Into Poly-3-hydroxybutyrate by *Ralstonia* Sp. M91. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2021, vol. 57, no. 2, pp. 219–225. DOI : 10.1134/S0003683821020162.

Информация об авторах

О. Я. Мезенова – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой пищевой биотехнологии

А. С. Агафонова – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии

Н. Ю. Романенко – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии

Н. С. Калинина – заведующая лабораториями кафедры пищевой биотехнологии

В. В. Волков – директор Центра передовых технологий использования белков кафедры пищевой биотехнологии

Л. В. Дамбарович – аспирант кафедры пищевой биотехнологии

Information about the authors

O. Ya. Mezenova – Doctor of Sciences in Engineering, Professor, Head of the Department of Food Biotechnology

A. S. Agafonova – PhD, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology

N. Yu. Romanenko – PhD, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology

N. S. Kalinina – Head of Laboratories, Department of Food Biotechnology

V. V. Volkov – Director of the Center for Advanced Technologies in the Use of Proteins, Department of Food Biotechnology

L. V. Dambarovich – PhD Student, Department of Food Biotechnology

Статья поступила в редакцию 05.07.2023; одобрена после рецензирования 11.07.2023; принята к публикации 12.07.2023.

The article was submitted 05.07.2023; approved after reviewing 11.07.2023; accepted for publication 12.07.2023.

Научная статья

УДК 664.782:579.67(06)

DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-115-132

Исследование процесса ферментации регионального косточкового плодового сырья (сливы) для расширения ассортимента продукции общественного питания

Ольга Павловна Чернега¹, Оксана Владимировна Казимирченко², Анна Александровна Костенко³

^{1,2,3}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹olga.chernega@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4150-2731>

²oksana.kazimirchenko@klgtu.ru // <https://orcid.org/0009-0005-7197-0287>

³anna.kostenko01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7909-7754>

Аннотация. В статье представлены результаты изучения процесса ферментации сливы, относящейся к региональному косточковому плодovому сырью. Проведен микробиологический анализ свежих слив по определению количественного и качественного состава исходной микрофлоры, играющей главную роль в процессе ферментации. Установлено, что основной микрофлорой свежих слив являются кокковые и палочковидные бактерии молочнокислого брожения. Изложена технология ферментации слив, осуществляемая самопроизвольным брожением без добавления рассола и внесения заквасочных культур микроорганизмов. Показаны результаты различных способов ферментации слив (в присутствии кислорода и без него). Выявлено, что бескислородная среда способствует размножению молочнокислых стрептококков и лактобацилл, отмечено снижение pH готового продукта до 3,18. Низкое значение pH позволило получить безопасный продукт с длительным сроком хранения, при этом лактоферментированная слива приобретала новые органолептические свойства – более яркий цвет, индивидуальный и неповторимый вкус, изменение текстуры. Показаны количественные и качественные изменения микрофлоры в процессе ферментации различными способами в течение 7 суток. Подтверждена микробиологическая безопасность исследуемых образцов лактоферментированной сливы. Образцы отличались стойкостью при хранении и микробиологической стабильностью в отношении санитарно-показательных бактерий кишечной группы и микробов порчи. На основе лактоферментированной сливы были получены следующие продукты: мякоть, сок, порошок (пудра) из кожуры плодов. Исследована их общая бактериальная обсемененность и состав микрофлоры. Обозначены и показаны пути практического применения разработанной продукции (в качестве закуски, гарнира к мясу, птице и рыбе, приправы для салатов, соуса к морепродуктам, ингредиентов для десерта).

Ключевые слова: слива, ферментация, лактоферментированная слива, молочнокислые бактерии, органолептические и микробиологические показатели.

Для цитирования: Чернега О. П., Казимирченко О. В., Костенко А. А. Исследование процесса ферментации регионального косточкового плодового сырья (сливы) для расширения ассортимента продукции общественного питания // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 115–132. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-115-132.

Original article

Study of the fermentation process of regional stone fruit raw materials (plums) to expand the range of catering products

Ol'ga P. Chernega¹, Oksana V. Kazimirchenko², Anna A. Kostenko³

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹olga.chernega@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4150-2731>

²oksana.kazimirchenko@klgtu.ru // <https://orcid.org/0009-0005-7197-0287>

³anna.kostenko01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7909-7754>

Abstract. The article presents the results of studying the process of plum fermentation, which belongs to the regional stone fruit raw material. A microbiological analysis of fresh plums was carried out to establish the quantitative and qualitative composition of the initial microflora, which plays a major role in the fermentation process. It has been established that the main composition of the microflora of fresh plums is coccal and rod-shaped bacteria of lactic acid fermentation. The technology of fermentation of plums, carried out by spontaneous fermentation without the addition of brine from the previous fermentation and without the introduction of starter cultures of microorganisms, is described. The results of various plum fermentation methods (in the presence of oxygen and without it) are shown. It was revealed that an oxygen-free environment promotes the reproduction of anaerobic lactic acid bacteria, lactobacilli convert sugar into lactic acid, the pH of the finished product decreases to 3.18, a low pH value contributes to obtaining a safe product with a long shelf life. At the same time, the lacto-fermented plum acquires new organoleptic properties – a brighter color, an individual and unique taste, sourness and a new depth appear, the texture changes. Showing quantitative and qualitative changes in the microflora during fermentation (7 marmots) in various ways. The microbiological safety of the studied samples of lacto-fermented plum was confirmed. They differed in storage stability and microbiological stability in relation to sanitary indicative bacteria of the intestinal group and spoilage microbes. On the basis of lacto-fermented plums, the following products were obtained: pulp, juice, powder (powder) from the peel of the fruit. Their total bacterial contamination and composition of microflora were studied. The ways of practical application of the developed products are indicated and shown: as an appetizer, garnish for meat, poultry and fish, salad dressing, sauce for seafood, ingredients for dessert.

Keywords: plum, fermentation, lacto-fermented plum, organoleptic and microbiological indicators.

For citation: Chernega O. P., Kazimirchenko O. V., Kostenko A. A. Study of the fermentation process of regional stone fruit raw materials (plums) to expand the range of catering products. // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (70) : 115-132. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-115-132.

ВВЕДЕНИЕ

Слива – одна из самых распространенных плодовых косточковых культур в России, в т. ч. в Калининградской области. Не зря говорят: «Слива себя не хвалит, а дорожка к ней всегда протоптана». Данная плодовая культура относится к растительному сырью с низкой калорийностью и высокой питательной ценностью. Особое значение для здоровья человека имеют биологически активные вещества, содержащиеся в плодах сливы, – фенольные соединения (флавоноиды), пектиновые вещества, фолиевая кислота (витамин B₉), токоферолы (витамин E), фитонциды, которые устраняют повышенную проницаемость и хрупкость кровеносных капилляров, благотворно влияют на организм при атеросклерозе, гипертонии, аллергических состояниях, улучшают состав крови, предупреждают дистрофию и дегенерацию тканей, обладают бактерицидными свойствами. В сливе также содержатся органические кислоты, включая лимонную и яблочную, пектин, дубильные и летучие вещества, ферменты [1, 2].

При многообразии сортов и количества произрастаемых в нашей стране плодовых растений на сегодняшний день пищевой промышленностью выпускается достаточно узкий ассортимент продукции, в том числе из слив. В основном сливу реализуют в свежем виде. Сохранить ее товарные свойства до конца сезона, не прибегая к различным способам консервирования, невозможно. В промышленных масштабах сливу сушат, получая чернослив, реже замораживают, производят соки, джемы, а также соусы на ее основе [3, 4].

Одним из видов консервирования растительного сырья с целью сохранения его без порчи является ферментация. В России традиционно ферментированные продукты пользуются большим спросом. Происходящие во время ферментации биохимические изменения повышают питательную ценность и усвояемость продукта, кроме того, они могут привести к выработке биоактивных метаболитов, обладающих целым рядом потенциальных полезных свойств для здоровья человека [5–7].

Способ производства ферментированных продуктов относительно недорогой и энергосберегающий, не требующий наличия сложного оборудования. Ферментированную плодоовощную продукцию отличает натуральность ее состава («живой продукт») при сохранении полезных свойств, в том числе за счет пробиотической микрофлоры, относительно невысокая цена на рынке. Кроме того, такому виду продукции можно придать любой вкус, изменить структуру, что позволит использовать ее в качестве ингредиента для приготовления блюд [8, 9].

Вопросам процессов ферментации растительного сырья для производства продуктов с определенными характеристиками посвящен ряд работ. Изучена биотрансформация плодовоовощного сырья (моркови, кабачков, тыквы, вишни, черной смородины, яблок) с целью получения растительного пюре, соков ферментными микробиологическими препаратами разной направленности [10], разработаны технологии производства лактоферментированных напитков на основе овощного и плодово-ягодного сырья [11], фруктово-овощных продуктов (напитков, десертов) с бифидогенными (пробиотическими) свойствами [12].

Слива может служить подходящим сырьем для ферментации, так как содержит достаточное количество углеводов, в том числе моносахариды глюкозу и

фруктозу, дисахарид сахарозу, которые принимают на себя роль основного субстрата для развития молочнокислых бактерий и их ферментативной активности при брожении. В результате ферментации сливы можно получить продукт с характерными органолептическими и функциональными свойствами, пролонгированным сроком хранения. Кроме того, из-за разнообразия сортов сливы получаемый ферментированный продукт будет иметь разнообразный вкус и текстуру.

Цель настоящей работы – изучение и анализ процесса ферментации слив для расширения ассортимента продукции, имеющей высокую пищевую ценность и длительный срок хранения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве сырья для ферментации были отобраны сливы домашние (*Prunus domestica*) сорта «Виктория». Плоды красно-фиолетовые, среднего размера, массой 40–45 г, внутри с овальной косточкой, которая легко отделяется от мякоти. Мякоть оранжево-желтая, обладают ярким приятным вкусом. Транспортабельность слив хорошая, их можно перевозить на длительные расстояния (до 8 дней пути) без потери товарных качеств и вкуса [13].

При проведении исследований использовали эмпирические методы операции (наблюдение, измерение, экспертные оценки, изучение научной и патентной литературы) и методы действия (опытная работа, эксперимент).

Для оценки качества полученных образцов продукции из сливы применяли физико-химические, микробиологические и органолептические методы исследования. Титруемую кислотность определяли по ГОСТ ISO 750-2013 «Продукты переработки фруктов и овощей, определение титруемой кислотности», массовую долю растворимых сухих веществ – по ГОСТ ISO 2173-2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ». Органолептическую оценку опытных образцов ферментированной продукции проводили по ГОСТ 31986-2012 «Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания».

Отбор проб на микробиологический анализ осуществляли по ГОСТ 31904-2012 «Продукты пищевые. Методы отбора проб для микробиологических испытаний». Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных бактерий (показатель КМАФАнМ) определяли по ГОСТ 10444.15-94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов», обсемененность плесневыми и дрожжевыми грибами – по ГОСТ 10444.12-2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов». Идентификацию микроорганизмов проводили по культуральным, морфологическим и физиолого-биохимическим признакам по ГОСТ 7218-2015 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям».

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории кафедры технологии продуктов питания и лаборатории микробиологии Калининградского государственного технического университета (КГТУ).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам анализа регионального рынка выявили относительно неширокий ассортимент продукции из слив: сливы свежие, в виде чернослива, сливовых джемов и соков. В России на сегодняшний момент функционирует лишь несколько компаний, которые выпускают сливу вяленую и маринованную. Ферментированная продукция из слив на региональном и российском рынках отечественного производства не представлена.

Известно, что молочнокислое брожение относится к основному процессу при получении ферментированных продуктов растительного происхождения. Образующиеся при ферментативной активности молочнокислых бактерий продукты брожения способствуют формированию органолептических свойств, обогащению продукции полезными питательными веществами, при этом сохраняется биобезопасность и увеличивается срок годности [14, 15].

Ферментация плодовоовощной продукции может осуществляться за счет самопроизвольного брожения, путем добавления рассола или внесения закваски [16]. Используемые для ферментации сливы сорта «Виктория» были спелыми, плотной консистенции, сладкими на вкус, с легко отделяющейся косточкой. Для установления количества исходной микрофлоры, ее качественного состава и определения роли в процессе ферментирования был проведен микробиологический анализ свежих слив (табл. 1).

Таблица 1. Результаты микробиологического анализа свежих слив сорта «Виктория»

Table 1. The results of microbiological analysis of fresh plums of the «Victoria» variety

Наименование показателя	Результаты испытаний
КМАФАнМ	$7,7 \times 10^4$ КОЕ/г
Состав бактериофлоры	молочнокислые кокки и палочки
Плесневые грибы	единично (споры плесеней рода <i>Aspergillus</i>)
Дрожжевые грибы	единично
pH	3,71

Основной состав бактериофлоры свежих слив формировали кокковые и палочковидные бактерии молочнокислого брожения. Кокковые бактерии на рыбопептонном агаре и агаре Сабуро образовывали колонии круглой формы, плоские или слегка выпуклые, слизистые, серо-белого или кремового цвета. При микроскопии окрашенных препаратов бактерии были представлены грамположительными микро- и диплококками. Палочковидные лактобактерии на питательных средах росли в виде правильной формы слизистых плоских колоний бежевого цвета, при пересеве колоний ощущался резкий кислый запах. Микроскопический анализ выявил грамположительные бесспорные палочки – моно- и диплобактерии.

Ферментированную сливу получали тремя способами по одной рецептуре [17]. По I способу ферментация происходила в емкости под грузом при незначительном доступе кислорода, по II – в пластиковых вакуумных пакетах с незначительным доступом кислорода, по III – в вакуумных пакетах в бескислородной среде (рис. 1). Процессы ферментации протекали при температуре 20–21 °С.



Рис. 1. Образцы слив в процессе ферментации: а – ферментация в емкости под грузом (I способ); б – в вакуумном пакете с незначительным доступом кислорода (II способ); в – в вакуумном пакете в бескислородной среде (III способ)

Fig. 1. Samples of plums in the fermentation process: a – fermentation in a container under load (method I); b – fermentation in a vacuum bag with little access to oxygen (method II); c – fermentation in a vacuum bag in an oxygen-free environment (method III)

В табл. 2 представлены рецептура и варианты процессов ферментации. На ферментацию по I способу сливы уложили в три емкости (полиэтиленовые ведра) под грузом, по II и III способу – в четыре вакуумных пакета.

Таблица 2. Рецепт ферментированной сливы
Table 2. Fermented plum recipe

Ингредиенты	Масса, г										
	Полиэтиленовые ведра с O ₂ (I способ)			Пакеты для вакуума с O ₂ (II способ)				Пакеты для вакуума без O ₂ (III способ)			
	№1	№2	№3	№ 1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
Сливы	494,0	500,0	500,0	199,4	191,0	200,0	200,0	178,9	195,6	200,0	185,9
Соль поваренная	9,88	10,0	10,0	3,9	3,8	4,0	4,0	3,5	3,9	4,0	3,7

Экспериментальный период ферментации составил 7 суток. Результаты наблюдения за ферментацией слив представлены на рис. 2–4.



Рис. 2. Процесс ферментации слив (I способ)
Fig. 2. Fermentation of plums (I method)



Рис. 3 Процесс ферментации слив (II способ)
Fig. 3. Fermentation of plums (II method)

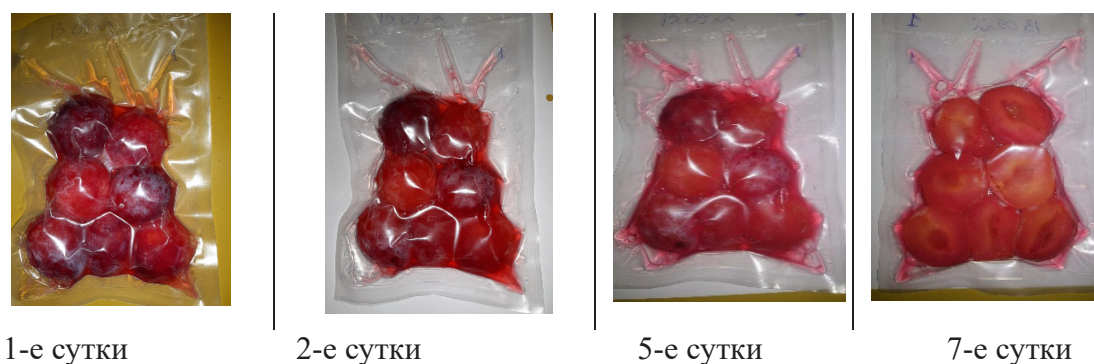


Рис. 4. Процесс ферментации слив (III способ)
Fig. 4. Fermentation of plums (III method)

На начальном этапе во всех опытных образцах процесс ферментации происходил одинаково. На 4-е сутки в пакетах с доступом кислорода появилось сильное вздутие, которое увеличивалось в процессе хранения. В ведрах также (как и в пакетах с доступом кислорода) на 4-е сутки отмечали интенсивное брожение с образованием углекислого газа. Шестикратный повтор эксперимента показал такую же направленность процесса для всех способов ферментации.

В результате наблюдений можно сделать вывод, что при температуре 20–21 °С в присутствии кислорода воздуха (ведра, пакеты) через 4–5 суток резко меняется направленность ферментации, процесс становится не контролируемым.

Слива на 5–6-е сутки имела характерный запах и вкус, свойственный брожению, которое происходило интенсивно с выделением углекислого газа, пакеты начинали вздуваться. Далее слива приобретала неприятный вкус и запах уксусной кислоты.

Слива, упакованная в вакуумные пакеты без доступа кислорода (III способ), на протяжении всего эксперимента не изменяла внешних характеристик. После окончания процесса ферментации лактоферментированные сливы, полученные по III способу, замораживали и направляли на хранение в морозильную камеру при температуре минус 18 °С. После размораживания слива не теряла своих органолептических свойств (вкуса, запаха, цвета), консистенция оставалась упругой.

Органолептические исследования образцов вели ежедневно на протяжении всего периода эксперимента. Результаты исследований проб слив после 7 суток ферментации представлены в табл. 3.

Таблица 3. Органолептические показатели ферментированной сливы после 7 суток ферментации

Table 3. Organoleptic characteristics of fermented plum after 7 days of fermentation

Показатели	I способ	II способ	III способ
Внешний вид	Наличие в жидкости большого количества пузырьков, на стенках ведра – небольших белых пленочек; сливы целые, однородные; сок мутный	Пакеты вздутые, наличие большого количества пузырьков; сливы целые, однородные; сок мутный	Пакеты не вздутые, небольшое количество пузырьков; сливы целые, однородные; сок прозрачный
Вкус	Кисло-соленый со слабым привкусом спирта	Кислый, солоноватый, с сильным привкусом спирта	Яркий, приятный кисло-сладкий, легкий солоноватый привкус
Запах	Спиртовой	Уксусной кислоты	Сливовый с кислоткой, приятный
Цвет	Оранжево-красный	От оранжевого до красного	От ярко-оранжевого до красного
Консистенция	Очень мягкая, волокнистая	Мягкая, слегка волокнистая	Упругая

Согласно полученным органолептическим показателям можно заключить, что лактоферментированную сливу с ярким, приятным кислосладким вкусом можно получить, используя способ ферментации в бескислородной среде.

В течение всего процесса ферментации проводили микробиологические исследования образцов. Пробы для анализов отбирали из партий, выработанных по II и III способам ферментации. I способ ферментации не исследовали, так как процесс шел аналогично II способу (с доступом кислорода).

Результаты микробиологических анализов образцов слив по суткам ферментации представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты микробиологического анализа образцов ферментированной сливы
 Table 4. Results of microbiological analysis of fermented plum samples

Наименование показателя	Результаты испытаний	
3-и сутки ферментации		
	III способ	II способ
КМАФАнМ	$1,9 \times 10^6$ КОЕ/г	$1,6 \times 10^6$ КОЕ/г
Состав бактериофлоры	молочнокислые кокки и палочки (доминирование)	молочнокислые кокки и палочки (доминирование)
Плесневые грибы	единично (споры плесеней рода <i>Aspergillus</i>)	единично (споры плесеней рода <i>Aspergillus</i>)
Дрожжевые грибы	$2,2 \times 10^3$ КОЕ/г	$2,9 \times 10^3$ КОЕ/г
pH	3,62	3,62
4-е сутки ферментации		
	III способ	II способ
КМАФАнМ	$5,5 \times 10^3$ КОЕ/г	$6,5 \times 10^3$ КОЕ/г
Состав бактериофлоры	молочкокислые палочки	молочкокислые палочки (доминирование), уксуснокислые палочки
Плесневые грибы	не обнаружены	не обнаружены
Дрожжевые грибы	$7,2 \times 10^3$ КОЕ/г	$7,9 \times 10^3$ КОЕ/г
pH	3,67	3,67
5-е сутки ферментации		
	III способ	II способ
КМАФАнМ	$1,2 \times 10^3$ КОЕ/г	$1,6 \times 10^5$ КОЕ/г
Состав бактериофлоры	молочкокислые палочки	уксуснокислые палочки (доминирование), молочкокислые палочки и кокки
Плесневые грибы	не обнаружены	не обнаружены
Дрожжевые грибы	$1,0 \times 10^4$ КОЕ/г	$1,0 \times 10^4$ КОЕ/г
pH	3,62	3,72
6-е сутки ферментации		
	III способ	II способ
КМАФАнМ	$1,7 \times 10^4$ КОЕ/г	$1,8 \times 10^4$ КОЕ/г
Состав бактериофлоры	молочкокислые палочки	молочкокислые палочки и кокки, уксуснокислые палочки
Плесневые грибы	не обнаружены	не обнаружены
Дрожжевые грибы	$5,8 \times 10^2$ КОЕ/г	$1,3 \times 10^3$ КОЕ/г
pH	3,41	3,78

7-е сутки ферментации		
	III способ	II способ
КМАФАнМ	$3,0 \times 10^4$ КОЕ/г	$2,1 \times 10^4$ КОЕ/г
Состав бактериофлоры	молочкокислые палочки	молочкокислые палочки и кокки, уксуснокислые палочки
Плесневые грибы	не обнаружены	не обнаружены
Дрожжевые грибы	единично	$1,9 \times 10^3$ КОЕ/г
pH	3,18	3,78

По результатам микробиологических анализов установили смешанный характер микрофлоры сливы в процессе ферментации с преобладанием бактерий молочнокислого брожения – грамположительных палочек и кокков. Бескислородная среда, снижение pH готового продукта на 7-е сутки ферментации до 3,18 в пробах слив, полученных по III способу, способствовали сохранению и развитию молочнокислых бактерий в течение всего периода наблюдений.

В составе микрофлоры также обнаруживали дрожжи-сахаромицеты спиртового брожения. В пробах слив, ферментированных по II способу, дрожжи присутствовали в течение всего периода исследований, причем их количество резко возросло на 5-е и 6-е сутки ферментации. В образцах сливы, ферментированной по III способу, количество дрожжей постепенно снижалось, к концу периода ферментации дрожжи в составе микрофлоры встречались как единичные клетки. На микроскопических препаратах дрожжи были представлены клетками округлой или вытянутой формы с вакуолизированной цитоплазмой, в стадии полярного или биполярного почкования.

Ферментативная сахаролитическая активность дрожжей способствовала росту и активности уксуснокислых бактерий на 4-й и 5-й дни эксперимента в пробах слив, ферментированных по II способу. Условиями для развития ацетобактерий послужили наличие кислорода в среде, образующийся этиловый спирт при спиртовом брожении, оптимальные значения pH среды. Полученные микробиологические данные по развитию групп микроорганизмов в процессе ферментации согласовываются с органолептическими анализами образцов.

Технологическая схема производства лактоферментированных слив представлена ниже (рис. 5). Основными операциями, формирующими свойства готового продукта, являлись: отделение косточки от мякоти плода, добавление соли, перемешивание компонентов, укладка в тару, выдержка в вакууме до готовности.

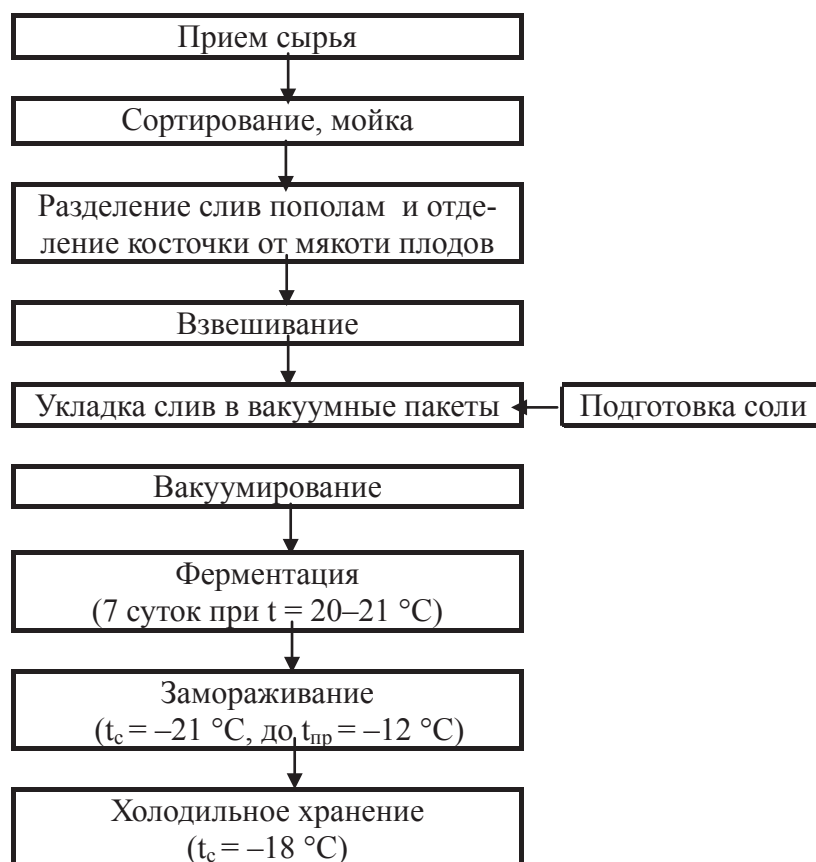


Рис. 5. Технологическая схема производства лактоферментированных слив
 Fig. 5. Technological scheme for the production of lacto-fermented plums

На конечном этапе ферментации образцы сливы дополнительно исследовали на группы микроорганизмов, определяющих процессы порчи. В изученных образцах отсутствовали гнилостные споровые бактерии рода *Bacillus* и плесневые грибы. Тестирование образцов на наличие санитарно-показательных бактерий кишечной группы (БГКП) было отрицательным.

Физико-химические показатели лактоферментированных слив после 7 суток ферментации представлены в табл. 5.

Таблица 5. Физико-химические показатели ферментированной сливы после 7 суток ферментации

Table 5. Physico-chemical parameters of fermented plum after 7 days of fermentation

Образец	Титруемая кислотность в пересчете на молочную кислоту, г/100 г	Массовая доля хлоридов, %
Слива ферментированная (I способ)	1,64±0,03	1,98±0,01
Слива ферментированная (II способ)	1,80±0,1	1,95±0,01
Слива ферментированная (III способ)	1,47±0,02	2,0±0,08

В соке от лактоферментированных слив определили содержание сухих веществ: в образцах сока от слив, ферментированных по I способу, их количество составляло 9,0 %, ферментированных по II способу – 9,5 %, по III способу – 11 %.

Из лактоферментированной сливы были получены следующие продукты (рис. 6–8): порошок (пудра) из кожуры, сок и мякоть.

Для получения порошка кожуру лактоферментированных слив отделяли от мякоти и высушивали при температуре 60 °С в течение 1,5 ч, затем измельчали (измельчитель «High Speed Multifunctional Grinder CE»), размер частиц варьировал от 0,2 до 0,01 мм.



Рис. 6. Порошок (пудра) из кожуры лактоферментированных слив
Fig. 6. Powder from the peel of lacto-fermented plums

Полученный сливовый порошок (пудра) был темно-бордового цвета, который определяется содержанием антоцианов, имел яркий фруктовый вкус с кислинкой. Известно, что фенольные соединения в коже сливы являются природными антиоксидантами [18].



Рис. 7. Сок от лактоферментированных слив
Fig. 7. Juice from lacto-fermented plums



Рис. 8. Мякоть лактоферментированных слив
Fig. 8. Pulp of lacto-fermented plums

Пробы порошка, сока и мякоти из ферментированных слив были отобраны на микробиологический анализ. Общая бактериальная обсемененность порошка составила $5,0 \times 10^5$ КОЕ/г, что превышало нормативный показатель согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (не более $5,0 \times 10^4$ КОЕ/г). В составе микрофлоры порошка преобладали молочнокислые грамположительные стрептококки, формирующие цепочки из 4–7 клеток, которые, вероятно, опреде-

ляли количественный показатель по бактериальной обсемененности. В незначительных количествах (менее $1,0 \times 10^2$ КОЕ/г) присутствовали дрожжи овальной формы, вакуолизированные, почкующиеся; плесневые грибы отсутствовали, что соответствовало нормативным критериям микробиологической безопасности.

Общая бактериальная обсемененность сока из ферментированных слив составила $1,1 \times 10^5$ КОЕ/см³, мякоти – $1,7 \times 10^3$ КОЕ/г. Согласно ТР ТС 023/2011 «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей» общая бактериальная обсемененность концентрированных соков из фруктов и фруктовых пюре не должны превышать $5,0 \times 10^3$ КОЕ/см³. Превышение по данному показателю установили для образцов сока из ферментированных слив, что могло быть связано с преобладанием в микрофлоре лактобактерий, которые формировали основной микробный фон. На окрашенных препаратах лактобактерии были представлены молочнокислыми кокками, располагающимися парами, в группах по 4–6 клеток или коротких цепочках.

Количество дрожжей в соке достигало $2,0 \times 10^3$ КОЕ/см³, в мякоти – $1,6 \times 10^3$ КОЕ/г, плесневые грибы отсутствовали, что соответствовало нормативным показателям (дрожжи – не более $2,0 \times 10^3$ КОЕ/см³ (г), плесневые грибы – не более $5,0 \times 10^2$ КОЕ/см³ (г)). Дрожжи в образцах были представлены клетками вытянутой формы, собранными в группы, почкующимися.

Полученные ферментированные продукты (мякоть, сок, порошок) из слив можно использовать в качестве гарнира к мясу и птице, приправы для салатов, соуса к морепродуктам. Их необычный вкус образует новые вкусо-ароматические комбинации в сочетании с другими ингредиентами блюда.

Также возможно применение продуктов лактоферментации сливы в качестве ингредиентов для десертов. Разработанная рецептура десерта «Калининградский трайфл» представлена в табл. 6 и на рис. 9.

Таблица 6. Рецептура десерта «Калининградский трайфл»

Table 6. Dessert recipe "Kaliningrad trifle"

Наименование ингредиентов	Масса, г
Сливки	80
Сыр творожный	80
Сахарная пудра	10
Ванильный сахар	2
Слива ферментированная	90
Печенье «Юбилейное»	50
Миндальные лепестки	4
Сливовая пудра	4
Выход	320



Рис. 9. Десерт «Калининградский трайфл»
Fig. 9. Dessert "Kaliningrad trifle"

Лактоферментированные сливы и продукты из нее (мякоть, сок) можно реализовать в розничной торговле и предложить предприятиям общественного питания в охлажденном и мороженом виде, порошок (пудру) – в сушеном.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К перспективному сырью для ферментации и получения новых, с необычным вкусом-ароматическим сочетанием, продуктов относится слива – распространенная плодовая косточковая культура в России, в т. ч. в Калининградской области.

Были получены образцы ферментированной сливы сорта «Виктория», разработаны основные технологические операции (удаление косточки, добавление соли, перемешивание, вакуумирование и выдержка до готовности), позволяющие приготовить продукт с характерными свойствами.

Экспериментально отработаны способы ферментации слив: в емкости под грузом при незначительном доступе кислорода, в пластиковых вакуумных пакетах с незначительным доступом кислорода, в вакуумных пакетах в бескислородной среде. Добавленная поваренная соль при концентрации до 2 % не приводила к угнетению развития микрофлоры, что согласуется с данными исследований [19] по устойчивости молочнокислых бактерий к осмотическому стрессу.

Процессы ферментации протекали при температуре 20–21 °С. Установлено, что ферментация слив в вакуумных пакетах в бескислородной среде – наилучший способ получения продукта с ярким цветом, приятным кисло-сладким вкусом и сливовым ароматом с кислинкой при сохранении целостности и упругости плодов. Молочнокислое брожение, осуществляемое кокковыми и палочковидными лактобактериями, было основным микробиологическим процессом, протекающим при ферментации слив. В течение периода ферментации развивались также дрожжевые грибы спиртового брожения. В вакуумных пакетах в бескислородной среде к концу периода ферментации (7-е сутки) количество дрожжей становилось минимальным, тогда как при ферментации слив в емкости под грузом при незначительном доступе кислорода и в пластиковых вакуумных пакетах с незначительным доступом кислорода активность дрожжей сохранялась. Кроме того, в образцах ферментации слив с незначительным доступом кислорода сахаролитическая ак-

тивность дрожжей способствовала росту и активности уксуснокислых бактерий, что влияло на изменение органолептических свойств продукта (приобретение характерного запаха уксусной кислоты, размягчение плодов).

Образцы лактоферментированной сливы отличались стойкостью при хранении и микробиологической стабильностью в отношении санитарно-показательных бактерий кишечной группы и микробов порчи.

Лактоферментированная слива послужила основой для создания новых продуктов – сока, мякоти и порошка, приготовленного из кожуры плодов. Данные продукты можно использовать в качестве гарниров, соусов к мясным, рыбным блюдам и блюдам из мяса птицы, салатам, как ингредиенты разнообразных десертов, что позволит расширить ассортимент продукции общественного питания.

Ферментированные продукты питания должны входить в здоровый рацион человека, поскольку в процессе ферментации сохраняется биологическая ценность продукта, увеличиваются сроки хранения, изменяются и улучшаются органолептические свойства, что позволяет разнообразить ассортимент продукции [20, 21].

Список источников

1. Birwal P., Deshmukh G., Saurabh S. P. et al. Plums: a brief introduction // *J. Food Nutr Popul Health*, 2017. 1:1.
2. Walkowiak-Tomczak D. Characteristics of plums as a raw material with valuable nutritive and dietary properties – a review // *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2008. V. 58. P. 401–405.
3. Меретукова Ф. Н. Биологическая и технологическая характеристика новых сортов сливы русской в предгорной зоне Северо-Западного Кавказа: дис. ... канд. с.-х. наук: утв. 06.01.07. Краснодар, 2007. 123 с.
4. Лисина А. В. Изучение различных способов обработки сливы для увеличения срока хранения // *Вестник Хакасского государственного университета им. Н. Ф. Катанова*. 2017. № 20. С. 62–64.
5. Lavève L., Marasini D., Carbonero F. Microbial ecology of fermented vegetables and non-alcoholic drinks and current knowledge on their impact on human health // *Advances in Food and Nutrition Research*, 2019. V. 87. P. 147–185. DOI: 10.1016/bs.afnr.2018.09.001.
6. The effects of fermented vegetable consumption on the composition of the intestinal microbiota and levels of inflammatory markers in women: a pilot and feasibility study / Galena A. E. [et al] // *PLoS ONE* 17(10): e0275275, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275275>.
7. Iñaki D., Oihana J. A. Recent advances in Kombucha tea: microbial consortium, chemical parameters, health implications and biocellulose production // *International Journal of Food Microbiology*, 2022. V. 377. P. 109783. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109783.
8. Shrivastava S., Samuel J. Fermentation as a sustainable method of food preservation // *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 2019. V. 6. Iss. 1. P. 1445–1450.

9. Научно-обоснованные подходы к процессу ферментации овощей и преимущества использования бактериальных заквасочных культур / Н. Е. Посокина [и др.] // Овощи России, 2018. № 5. С. 77–80, <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-5-77-80>.
10. Гореликова Т. А., Просеков А. Д., Шебукова А. С. Ферментная переработка плодовоовощного сырья // Достижения науки и техники АПК, 2008. № 9. С. 54–56.
11. Кожемяко А. В., Кисилева Т. Ф., Вечтомова Е. А. Инновационные лактоферментированные напитки на основе овощного сырья // Вестник КрасГАУ, 2018. № 6 (141). С. 199–203.
12. Огнева О. А. Разработка технологий плодовоовощных пектинопродуктов с бифидогенными свойствами: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01. Краснодар, 2015. 159 с.
13. Фатьянов В. И. Слива. Москва: Вече, 2005. 50 с.
14. Джей Д. М., Лесснер М. Дж., Гольден Д. А. Современная пищевая микробиология. Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. С. 176–181.
15. Gupta R., Jeevaratnam K., Fatima A. Lactic Acid Bacteria: Probiotic Characteristic, Selection Criteria, and its Role in Human Health (a Review) // Journal of Emerging Technologies and Innovative Research, 2018. V. 5. Iss. 10, P. 411–424.
16. Настольная книга производителя и переработчика плодовоовощной продукции / под ред. Н. К. Синха, И. Г. Хью. СПб.: Профессия, 2017. 912 с.
17. Редзепи Р., Зильбер Д. Гид по ферментации от Noma / пер. с англ. под ред. Е. Черезовой. М.: КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2020. 456 с. [Rene Redzepi, David Zilber. The Noma Guide to Fermentation. USA: Artisan Publisher, 2018. 440 p.].
18. Toktam M., Firoozzare A., Kariminejad M. Black plum peel as a useful by-product for the production on new foods: chemical, textural, and sensory characteristics of Halva Masghati // International Journal of Food Properties, 2020. P. 2005–2019. DOI:10.1080/10942912.2020.1835953.
19. Никифорова А. П., Хазанова С. Н., Хамагаева И. С. Исследование устойчивости *Lactobacillus sakei* к осмотическому стрессу // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 574–583.
20. Саубенова М. Г., Олейникова Е. А., Амангелды А. А. Биологическая ценность ферментированных продуктов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 8. С. 124–129.
21. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond / Marco M. L. [et al] // Current Opinion in Biotechnology, 2017. V. 44. P. 94–102. DOI: 10.1016/j.copbio.2016.11.010.

References

1. Birwal P., Deshmukh G., Saurabh S.P. et al. Plums: a brief introduction. J. Food Nutr Popul Health, 2017. 1:1.
2. Walkowiak-Tomczak D. Characteristics of plums as a raw material with valuable nutritive and dietary properties – a review. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2008. Vol. 58, pp. 401–405.

3. Meretukova F. N. *Biologicheskaya i tekhnologicheskaya kharakteristika novykh sortov slivy russkoy v predgornoy zone Severo-Zapadnogo Kavkaza. Diss. kand. s.-kh. nauk* [Biological and technological characteristics of new varieties of Russian plum in the foothill zone of the North-West Caucasus. Dis. cand. agr. sci.]. Krasnodar, 2007, 123 p.
4. Lisina A. V. *Izuchenie razlichnykh sposobov obrabotki slivy dlya uvelicheniya sroka khraneniya* [Study of various methods of plum processing to increase the shelf life]. *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. F. Katanova*, 2017, no. 20, pp. 62–64.
5. Lavefve L., Marasini D., Carbonero F. Microbial ecology of fermented vegetables and non-alcoholic drinks and current knowledge on their impact on human health. *Advances in Food and Nutrition Research*, 2019. Vol. 87, pp. 147–185, DOI: 10.1016/bs.afnr.2018.09.001.
6. Galena A. E. [et al]. The effects of fermented vegetable consumption on the composition of the intestinal microbiota and levels of inflammatory markers in women: a pilot and feasibility study. *PLoS ONE* 17(10): e0275275, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275275>.
7. Iñaki D., Oihana J. A. Recent advances in Kombucha tea: microbial consortium, chemical parameters, health implications and biocellulose production. *International Journal of Food Microbiology*, 2022. Vol. 377, 109783 p., DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109783.
8. Shrivastava S., Samuel J. Fermentation as a sustainable method of food preservation. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 2019. Vol. 6, iss. 1, pp. 1445–1450.
9. Posokina N. E. [i dr.] *Nauchno-obosnovannye podkhody k protsessu fermentatsii ovoshchey i preimushchestva ispol'zovaniya bakterial'nykh zakvasochnykh kul'tur* [Scientifically-based approaches to the fermentation process of vegetables and the advantages of using bacterial starter cultures]. *Ovoshchi Rossii*, 2018, no. 5, pp. 77–80.
10. Gorelikova T. A., Prosekov A. D., Shebukova A. S. Fermentnaya pererabotka plodovoovoshchnogo syr'ya [Enzyme processing of fruit and vegetable raw materials]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2008, no. 9, pp. 54–56.
11. Kozhemyako A. V., Kisileva T. F., Vechtomova E. A. Innovatsionnye laktofermentirovannye napitki na osnove ovoshchnogo syr'ya [Innovative lacto-fermented beverages based on vegetable raw materials]. *Vestnik KrasGAU*, 2018, no. 6 (141), pp. 199–203.
12. Ogneva O. A. *Razrabotka tekhnologiy plodoovoshchnykh pektinoproduktov s bifidogennymi svoystvami. Dis. kand. tekhn. nauk* [Development of technologies of fruit and vegetable pectin products with bifidogenic properties. Dis. cand. tech. sci.]. Krasnodar, 2015, 159 p.
13. Fat'yanov V. I. *Sliva* [Plum]. Moscow, Veche Publ., 2005, 50 p.
14. Dzhei D. M., Lessner M. Dzh., Gol'den D. A. Molochnokislye bakterii [Lactic acid bacteria]. *Sovremennaya pishchevaya mikrobiologiya* [Modern food microbiology]. Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy Publ., 2011, pp. 176–181.
15. Gupta R., Jeevaratnam K., Fatima A. Lactic Acid Bacteria: Probiotic Characteristic, Selection Criteria, and its Role in Human Health (a Review). *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 2018, vol. 5, iss. 10, pp. 411–424.

16. *Nastol'naya kniga proizvoditelya i pererabotchika plodoovoshchnoy produktsii* [The table book of the producer and processor of fruit and vegetable products]. Pod red. N. K. Stnkha, I. G. Kh'yu. Saint-Petersburg, Professiya Publ., 2017, 912 p.
17. Redzepi R., Zilber D. *The Noma Guide to Fermentation*. USA: Artisan Publisher, 2018. 440 p. (Russ.: Redzepi R., Zilber D. *Gid po fermentatsii ot Noma*. Ed.: E. E. Cherezova. Moscow, CoLibri, Azbuka-Attikus Publ., 2020, 456 p.).
18. Toktam M., Firoozzare A., Kariminejad M. Black plum peel as a useful by-product for the production of new foods: chemical, textural, and sensory characteristics of Halva Masghati. *International Journal of Food Properties*, 2020, pp. 2005–2019, DOI:10.1080/10942912.2020.1835953.
19. Nikiforova A. P., Hazanova S. N., Hamagaeva I. S. Issledovanie ustoychivosti *Lactobacillus sakei* k osmoticheskomu stressu [Study of *Lactobacillus sakei* resistance to osmotic stress]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2021, vol. 51, no. 3, pp. 574–583.
20. Saubenova M. G., Oleynikova E. A., Amangeldy A. A. Biologicheskaya tsennost' fermentirovannykh produktov [Biological value of fermented foods]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2019, no. 8, pp. 124–129.
21. Marco M. L. [et al]. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 2017, vol. 44, pp. 94–102, DOI: 10.1016/j.copbio.2016.11.010.

Информация об авторах

- О. П. Чернега** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания
О. В. Казимирченко – кандидат биологических наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры
А. А. Костенко – бакалавр кафедры технологии продуктов питания

Information about the authors

- O. P. Chernega** – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Products Technology
O. V. Kazimirchenko – PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture
A. A. Kostenko – Bachelor student at the Department of Food Products Technology

Статья поступила в редакцию 30.05.2023; одобрена после рецензирования 10.06.2023; принята к публикации 20.06.2023.
The article was submitted 30.05.2023; approved after reviewing 10.06.2023; accepted for publication 20.06.2023.

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

Научная статья
УДК 621.436.2 (06)
DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-135-147

**Впрыск сжиженного природного газа в камеру сгорания двигателя
для работы по комбинированному циклу**

**Евгений Михайлович Ореховский¹, Александр Викторович Толмачев²,
Александр Георгиевич Филонов³**

^{1,2,3}Калининградский государственный технический университет, Калининград,
Россия

¹evgenij.orekhovskij@klgtu.ru

²avtol03071952@mail.ru

³alexandr.filonov@klgtu.ru, ORCID ID: 0009-0002-6977-8198

Аннотация. В статье приводятся теоретические и экспериментальные исследования для обоснования возможности управления подачей сжиженного природного газа (СПГ) в цилиндр двигателя. В настоящее время большинство двигателей, работающих на природном газе, имеют организацию рабочего цикла со сгоранием при постоянном объеме (цикл Н. Отто). Это объясняется трудностями подачи природного газа в районе верхней мертвой точки. Цикл Н. Отто существенно проигрывает в экономичности комбинированному циклу со сгоранием при постоянном объеме и постоянном давлении (цикл Г. Тринклера). Эксперимент проведен на стенде судового дизельного двигателя «NVD-24» (Ч 17,5/24) на смеси дизельного топлива и нефтяного газа в различных пропорциях, на холостом ходу и с частичной нагрузкой двигателя. Установлено, что сжиженный нефтяной газ под давлением смешивается с дизельным топливом в любых пропорциях, при этом смесь остается однородной жидкостью, без видимых осадков и расслоений. Выполнены расчеты теоретических циклов, показывающие преимущества впрыска горючей смеси в верхней мертвой точке (ВМТ) по сравнению с предварительным смесеобразованием. В процессе эксперимента было установлено, что двигатель с золотниковым топливным насосом высокого давления (ТНВД) и пружинной форсункой может устойчиво работать, используя в качестве топлива жидкую смесь без добавления присадок. При этом давление смеси должно быть больше критического давления газовой фракции. Получены формулы расчета угла опережения подачи топлива до ВМТ и угла подачи за ВМТ. Проведенные расчеты применительно к двигателю «NVD-24» показывают, что аккумуляторная система подачи топлива (Common Rail) с пьезокерамической форсункой может обеспечить работу двигателя по комбинированному циклу. Подобная организация рабочего процесса позволяет легко выполнить модернизацию как новых двигателей, так и находящихся в эксплуатации. При этом топливоподача может выполняться на всех двигателях, независимо от наличия газотурбинного наддува.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, цикл Н. Отто, цикл Г. Тринклера, дизельное топливо, сжиженный природный газ, аккумуляторная система впрыска (Common Rail).

Для цитирования: Ореховский Е. М., Толмачев А. В., Филонов А. Г. Впрыск сжиженного природного газа в камеру сгорания двигателя для работы по комбинированному циклу // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 135–147. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-70-135-147.

Original article

LNG injection into engine combustion chamber for combined cycle

Evgeniy M. Orekhovskiy¹, Aleksandr V. Tolmachyov², Aleksandr G. Filonov³

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹evgenij.orekhovskij@klgtu.ru

²avtol03071952@mail.ru

³alexandr.filonov@klgtu.ru, ORCID ID: 0009-0002-6977-8198

Abstract. The article presents theoretical and experimental studies to justify the possibility of controlling supply of liquefied natural gas (LNG) to the engine cylinder. At present, most gas engines have operating cycle with constant volume combustion (N. Otto cycle). This is due to difficulty of supplying natural gas in top dead center region. N. Otto cycle significantly loses in efficiency to combined cycle with combustion at constant volume and constant pressure (G. Trinkler cycle). The experiment was carried out on marine diesel engine “NVD-24” stand on a mixture of diesel fuel and petroleum gas in various proportions, at idle and with partial engine load. It has been established that liquefied petroleum gas under pressure is mixed with diesel fuel in any proportions, while mixture remains a homogeneous liquid, without visible precipitation and stratification. Calculations of theoretical cycles have been performed, showing the advantages of the injection of a combustible mixture at the top dead center, in comparison with preliminary carburetion. During the experiment, it was found that an engine with a spool injection pump and a spring nozzle, can operate stably using a liquid mixture as a fuel without adding additives. An increase in the effective efficiency of the engine with an increase in the concentration of LNG in the supplied fuel mixture has been established. In this case, fuel mixture pressure must be greater than critical pressure of the gas mixture. Formulas for calculating advance angle of fuel supply to the top dead center and angle of delivery behind the top dead center are obtained. The performed calculations in relation to “NVD-24” engine show that Common Rail fuel supply system with a piezoceramic injector can ensure the operation of the engine in a combined cycle. This organization of workflow makes it easy to upgrade both new engines and those in operation. In this case, fuel supply can be performed on all engines, regardless of presence of gas turbine pressurization.

Keywords: internal combustion engine, N. Otto cycle, G. Trinkler cycle, diesel fuel, liquefied natural gas, common rail injection system.

For citation: Orekhovskiy E. M., Tolmachiov A. V., Filonov A. G. LNG injection into engine combustion chamber for combined cycle. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (70) : 135-147. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-135-147.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционно двигателями внутреннего сгорания называют преимущественно поршневые двигатели. Особое место среди перспективных стационарных и транспортных энергоустановок занимает новое поколение поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС), работающих на природном газе по циклу Отто, – газовые двигатели с принудительным (искровым) зажиганием. Ведущие двигателестроительные фирмы («Vartsila», «MAN», «Deutz», «Nigata Caterpillar», «Cummins», «Waukesha Engine Dresser», «MWM», «MTU Onsite Energy GmbH», «GE Energy», «Mitsubishi», «Heavy Industries Ltd», «FGWilson», «Rolls Royce Power Engineering PIC») наряду с обычными дизельными двигателями выпускают двигатели, работающие на природном газе[1–10].

Существует три основных вида циклов поршневых двигателей внутреннего сгорания:

- цикл Р. Дизеля (сгорание топлива при постоянном давлении);
- цикл Н. Отто (сгорание топлива при постоянном объеме);
- цикл Г. Тринклера (сгорание топлива при постоянном объеме и постоянном давлении – комбинированный цикл), сочетающий особенности циклов Отто и Дизеля.

В настоящее время на газовых двигателях применяют следующие способы организации подачи горючего газа:

- топливо в газообразной (распыленной) фазе подается в воздушный ресивер;
- топливо в газообразной фазе подается в цилиндр в начале такта сжатия;
- топливо впрыскивается в сжатый воздух с высокой температурой.

Источником воспламенения топлива в цикле Отто служит электрическая свеча, в циклах Дизеля и Тринклера происходит самовоспламенение. В некоторых моделях для принудительного воспламенения газа используют комбинированный впрыск жидкого дизельного топлива или мазута.

Предварительная подготовка горючей смеси до верхней мертвой точки перед воспламенением приводит к интенсивному взрывному сгоранию. Давление и температура резко возрастают, затем начинается расширение (рабочий ход). Так как в цилиндре происходит предварительное смесеобразование, как в бензиновых двигателях, такой двигатель работает при сгорании при постоянном объеме, по циклу Отто. В то же время хорошо известно, что цикл Отто имеет повышенные температуры сгорания и меньший термодинамический КПД по сравнению с циклом Тринклера.

В этой связи, целью данного исследования являлась проверка устойчивой работы двигателя по комбинированному циклу на сжиженном газе (цикл работы дизельных двигателей) со сгоранием при постоянном объеме и постоянном давлении.

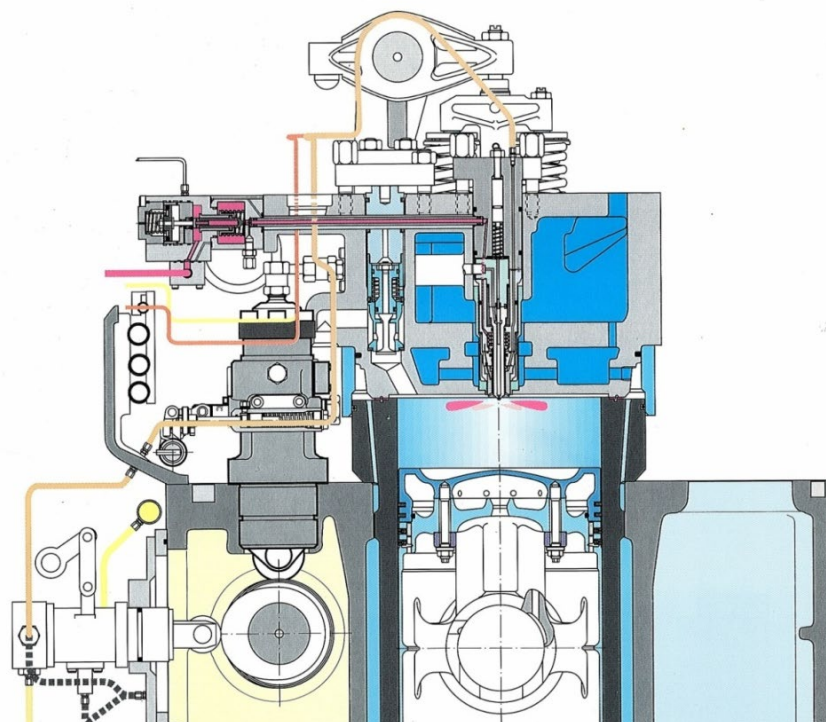


Рис. 1. Комбинированная форсунка подачи газа и жидкого топлива двигателя фирмы «Vartsila»
 Fig. 1. Combined gas and liquid fuel injector for "Vartsila" engine

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для сравнения эффективности циклов Отто и Тринклера были выполнены тепловые расчеты двигателя «NVD-24», работающего на природном газе [11–13] с подводом теплоты при постоянном объеме (цикл Отто), а также с подводом теплоты при постоянном объеме и постоянном давлении (комбинированный цикл Тринклера).

Результаты расчетов представлены в табл. 1 и на рис. 2, где: ε – степень сжатия, λ – степень повышения давления в цилиндре, ρ – степень предварительного расширения, α – коэффициент избытка воздуха при сгорании, T_c – температура в конце процесса сжатия, P_z – давление сгорания, P_i – среднее индикаторное давление, η_i – индикаторный КПД двигателя.

Таблица 1. Сравнительные расчетные показатели циклов Отто и Тринклера
 Table 1. Comparative calculated indicators of Otto and Trinkler

Цикл	ε	λ	ρ	α	$T_c, ^\circ C$	$P_z, бар$	$P_i, бар$	η_i
Отто	10,5	2,46	1,000	1,92	521	54,4	6,31	43,2
Тринклера	14,85	1,56	1,305	2,25	592	55,0	6,05	47,5

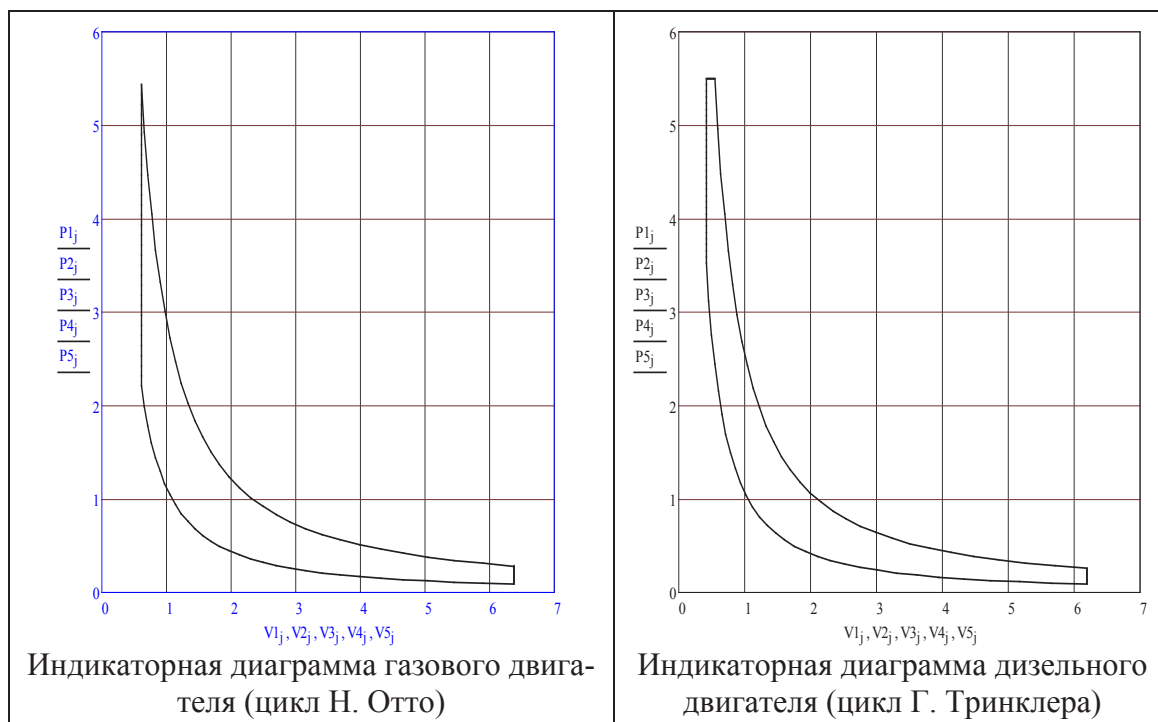


Рис. 2. Расчетные индикаторные диаграммы циклов Н. Отто и Г. Тринклера
Fig. 2. Calculated indicator diagrams of cycles by N. Otto and G. Trinkl

Из сопоставления результатов расчетов циклов Н. Отто и Г. Тринклера видно, что цикл с комбинированным подводом теплоты при равных давлениях сгорания и равных индикаторных давлениях имеет более высокий КПД. Кроме того, форсирование рабочего процесса с помощью наддува в первом варианте вообще невозможно, газообразная фаза не позволяет свежему воздуху заполнить весь рабочий объем цилиндра. Однако температура самовоспламенения газового топлива (метан, пропан, бутан) существенно выше, чем дизельного, поэтому при простом впрыске газа в камеру сгорания двигателя нет полной уверенности в том, что газ будет самовоспламеняться так же, как дизельное топливо, это ставит под сомнение возможность стабильной работы двигателя. Для решения этой проблемы предлагается растворить в сжиженном газе некоторое количество дизельного топлива, которое теоретически будет воспламеняться первым и впоследствии воспламенит газовую фазу топлива.

Задача подачи в цилиндр СПГ в области ВМТ до настоящего времени не решена, так как температура и давление существования СПГ должны соответствовать закритическим параметрам [14].

В настоящее время системы подачи и распыливания топлива дополнились аккумуляторной системой подачи с электроуправляемыми форсунками – Common Rail [15]. Давление в аккумуляторе таких систем составляет 200–300 МПа, что на порядок превышает критическое давление горючего газа. Система Common Rail позволяет осуществить впрыск сжиженного газа под высоким давлением в камеру сгорания, после чего жидкая фаза превращается в газообразную, перемешивается с воздухом и под воздействием высокой температуры самовоспламеняется. Конструкция пьезокерамической форсунки приведена на рис. 3 [10].

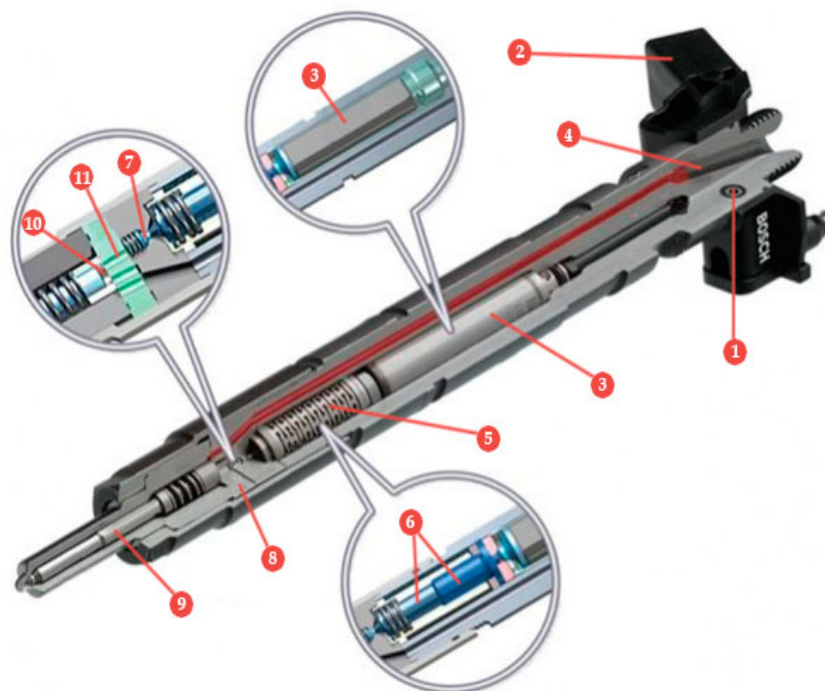


Рис. 3. Устройство (разрез) пьезо-керамической форсунки:

1 – сливная магистраль; 2 – электрический разъем; 3 – пьезоэлемент; 4 – канал высокого давления; 5 – гидравлический цилиндр; 6 – сопряженные поршни; 7 – переключающий клапан (мультипликатор); 8 – дроссельная пластина; 9 – игла распылителя; 10 – надигольная камера; 11 – выпускной дроссель

Fig. 3. The device (section) of piezo-ceramic nozzle:

1 – drain line; 2 – electrical connector; 3 – piezoelectric element; 4 – high pressure channel; 5 – hydraulic cylinder; 6 – coupled pistons; 7 – switching valve (multiplier); 8 – throttle plate; 9 – spray needle; 10 – needle chamber; 11 – exhaust throttle

Температура самовоспламенения и другие физико-химические свойства топлив приведены в табл. 2.

Таблица 2. Физико-химические свойства горючих газов и дизельного топлива
 Table 2. Physical and chemical properties of combustible gases and diesel fuel

Вид топлива	Давление жидкой фазы, бар	Плотность жидкой фазы, кг/м ³	Температура самовоспламенения, °С
Дизельное топливо	1	860	230
Бутан	1,5	580	429
Пропан	16	505	466
Этан	38	560	515
Метан	46,3	416	537

Быстродействие пьезокерамических форсунок позволяет реализовать различные законы подачи топлива, некоторые из них приведены на рис. 4 [10].

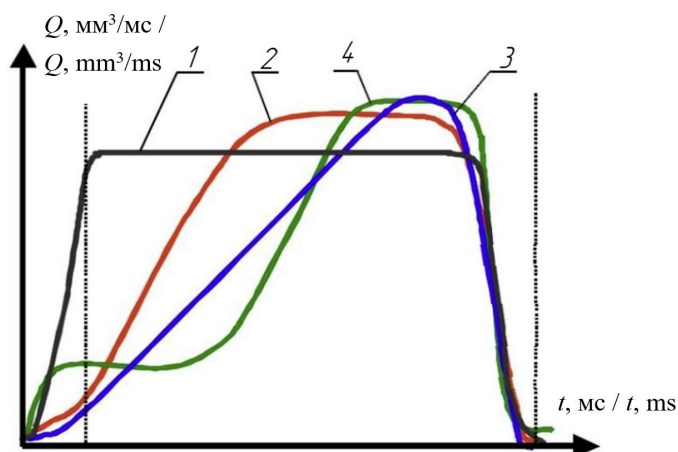


Рис. 4. Законы подачи топлива, реализуемые аккумуляторной системой впрыска Common Rail:

- 1 – постоянная скорость подачи; 2 – подача с нарастающей и постоянной скоростью; 3 – подача с нарастающей скоростью; 4 – подача со ступенчатым впрыском
- Fig. 4. Fuel supply laws implemented Common Rail injection system:
 1 – constant feed rate; 2 – feed with increasing and constant speed; 3 – supply with increasing speed; 4 – supply with staged injection

На рис. 5 приведена диаграмма раздела фаз метана, где имеется область с закритическим давлением и обычной температурой [14]. В этой области вещество (сверхкритическая жидкость) обладает специфическими характеристиками: при снижении давления жидкость мгновенно превращается в газ.

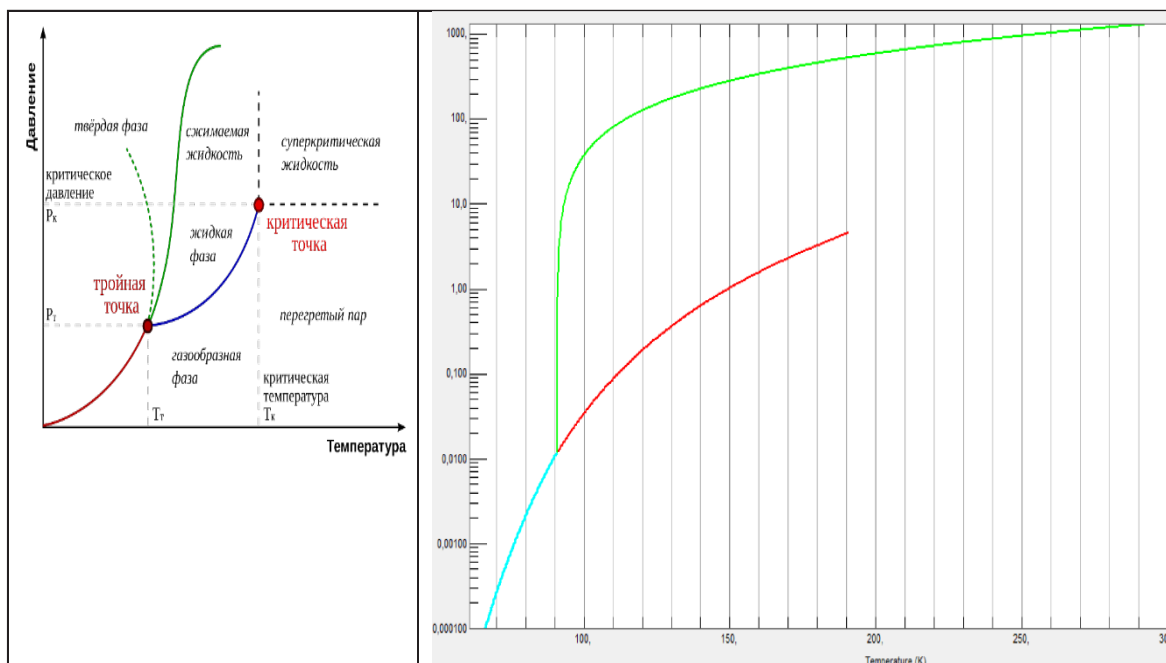


Рис. 5. Диаграмма раздела фаз метана
 Fig. 5. Metanphase diagram

Для надежного самовоспламенения предлагается растворить в сжиженном газе некоторое количество дизельного топлива, которое будет воспламеняться в первую очередь и в дальнейшем воспламенит газовую фазу топлива.

Подобная идея затрагивалась в статье [10], где была разработана топливная система для тепловозных дизелей, позволяющая работать на смеси дизельного топлива и сжиженного нефтяного газа (СНГ). Авторами установлено, что при равных пропорциях смешения дизельного топлива и СНГ (примерно 1:1) для лучшей самовоспламеняемости такой смеси необходимо добавлять 1–2 % специальных присадок (бутилнитрат или гидроперекись кумола).

Описание экспериментальной установки. Для проверки реализации предлагаемой идеи в лаборатории судовых и стационарных энергетических установок кафедры энергетике КГТУ был собран экспериментальный стенд на базе дизельного двигателя «NVD-24», который дополнительно оснащался системой смешивания жидкого нефтяного газа (пропан-бутана) с дизельным топливом в различных пропорциях. Сам двигатель остался без конструктивных изменений.

Принципиальная схема, а также фотография смесительного узла жидкого газа и дизельного топлива показаны на рис. 6, 7.

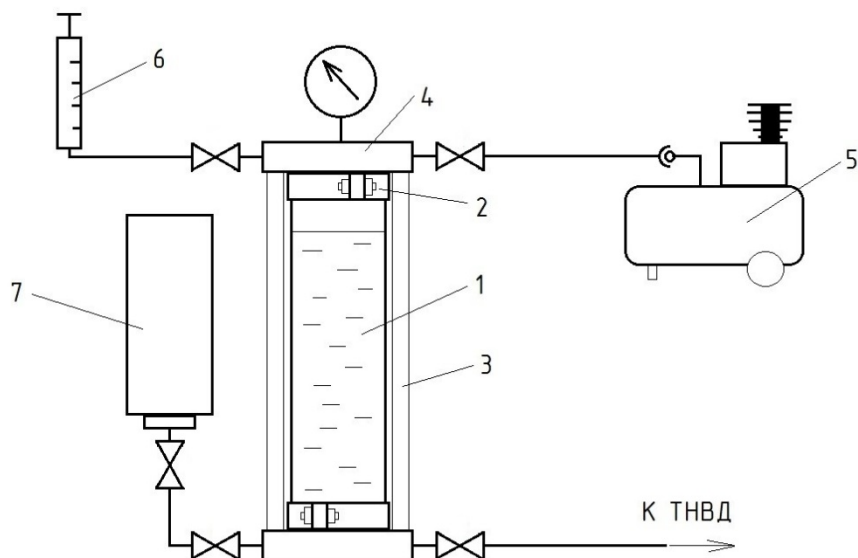


Рис. 6. Принципиальная схема смесителя жидкого газа и дизельного топлива:
1 – смесительный аккумулятор (700 мл); 2 – стяжной хомут; 3 – резьбовая шпилька; 4 – фланец-крышка; 5 – воздушный компрессор с ресивером;
6 – поршневой дозатор дизельного топлива (150 мл); 7 – газовый баллон

Fig. 6. Schematic diagram of a liquid gas and diesel fuel mixer:
1 – mixing accumulator (700 ml); 2 – coupling collar; 3 – threaded stud;
4 – flange cover; 5 – air compressor with receiver;
6 – piston dispenser of diesel fuel (150 ml); 7 – gas cylinder

Система позволяет заполнять смесительную камеру 1 дизельным топливом и сжиженным газом в необходимой пропорции. Чтобы сжиженный газ не вскипал, давление в смесительной камере создается воздушным компрессором 5 и контролируется манометром на распределительной крышке 4. Результаты эксперимента представлены в табл. 3.

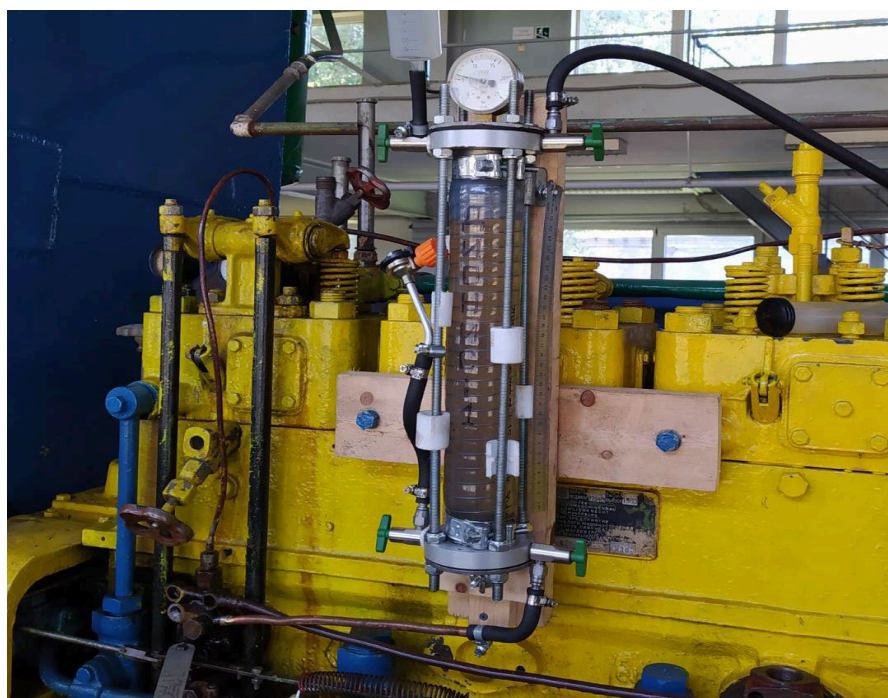


Рис. 7. Монтаж смесительного устройства на двигателе «NVD-24»
 Fig. 7. Mounting the mixing device on “NVD-24” engine

Таблица 3. Результаты экспериментальных исследований при различных пропорциях смешения дизельного топлива и сжиженного нефтяного газа

Table 3. Results of experimental studies at various proportions of mixing diesel fuel and liquefied petroleum gas

Параметры	ДТ	ДТ	ДТ+СНГ 1/1	ДТ+СНГ 1/1	ДТ+СНГ 1/2	ДТ+СНГ 1/2	ДТ+СНГ 1/2
Номер испытания	1	2	3	4	5	6	7
Плотность топлива ρ , кг/м ³	0,86	0,86	0,686	0,686	0,628	0,628	0,628
Крутящий момент M , Н·м	7,09	85,09	7,09	78,00	7,09	49,64	81,54
Эффективная мощность N_e , кВт	0,42	5,08	0,42	4,65	0,42	2,96	4,86
Расход топлива G , кг/ч	1,91	2,05	1,05	1,812	1,145	1,45	1,60
Удельный расход топлива g_e , г/кВт·ч	4513,9	404,3	2484,1	389,5	2706,8	490,2	329,6
Эффективный КПД, η_e , %	1,89	21,2	3,3	21,3	3,0	16,7	24,8

Крутящий момент двигателя измерялся штатным гидротормозом. Работа двигателя на горючей смеси проходила на холостом ходу и под нагрузкой без каких-либо нарушений, стабильно и устойчиво, без посторонних шумов.

Для проверки возможности организации впрыска СПГ системой Common Rail по циклу Тринклера необходимо рассчитать углы подачи топлива до ВМТ и после ВМТ.

Впрыск, обеспечивающий работу двигателя по циклу Тринклера, можно условно разделить на две фазы: 1 – впрыск и сгорание при постоянном объеме, 2 – впрыск и сгорание при постоянном давлении. В первой и во второй фазах впрыска соответственно подводится теплота:

$$q_v = C_v(T_y - T_c) \text{ кДж/кг}, \quad (1)$$

$$q_p = C_v(T_z - T_y) \text{ кДж/кг}. \quad (2)$$

Доля теплоты, подводимая в первой и второй фазах горения, соответственно составляют:

$$X_v = q_v/(q_v + q_p), \quad X_p = q_p/(q_v + q_p). \quad (3)$$

Используя безразмерные параметры цикла (табл. 1), можно привести соотношения (3) к выражениям (4), (5) и выполнить расчеты для цикла Тринклера применительно к двигателю «NVD-24»:

$$X_v = \frac{\lambda - 1}{k \cdot \lambda \cdot (\rho - 1) + \lambda - 1} = 0,419, \quad (4)$$

$$X_p = \frac{k \cdot \lambda \cdot (\rho - 1)}{k \cdot \lambda \cdot (\rho - 1) + \lambda - 1} = 0,581. \quad (5)$$

Угол поворота коленчатого вала φ_z , соответствующий окончанию горения смеси по изобаре, может быть определен из решения системы уравнений движения поршня от ВМТ (6), (7):

$$\cos(\varphi_z) + \frac{1}{\lambda_s} \cos(\psi_z) = 1 + \frac{1}{\lambda_s} - 2 \frac{\rho - 1}{\varepsilon - 1}, \quad (6)$$

$$\sin(\psi_z) = \lambda_s \cdot \sin(\varphi_z), \quad (7)$$

где: $\lambda_s = 0,25$ – постоянная кривошипно-шатунного механизма; ψ_z – угол поворота шатуна от ВМТ.

Система уравнений (6), (7) решается методом последовательных приближений. Для расчетного цикла Тринклера (рис. 2) угол подачи топливной смеси при постоянном давлении составит $\varphi_z = 14,701$ градусов поворота коленчатого вала.

В соответствии с законом пропорциональной подачи топлива от времени (рис. 4, кривая 1) получим угол подачи топлива при постоянном объеме (угол опережения подачи топливной смеси до ВМТ):

$$\varphi_y = \varphi_z \frac{X_v}{X_p} = 10,62 \text{ градусов поворота коленчатого вала}. \quad (8)$$

Полный угол опережения подачи топлива составит:

$$\varphi_{yz} = \varphi_y + \varphi_z = 25,321 \text{ градусов поворота коленчатого вала}. \quad (9)$$

Время организации впрыска СПГ системой Common Rail с учетом частоты вращения двигателя $n = 650$ об./мин:

$$\tau = \frac{\varphi_{yz}}{6 \cdot n} = 0,005627 \text{ с}. \quad (10)$$

Площадь необходимого сечения сопловых отверстий распылителя определяется из уравнения расхода:

$$f_c = \frac{g_c}{\mu_c \cdot i_c \cdot \sqrt{2 \cdot (P_m - P_z)} \cdot 10^5 \cdot \rho_m \cdot \tau} = 5,591 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2, \quad (11)$$

где g_c – цикловая подача топлива, кг; $\mu_c = 0,6$ – коэффициент расхода соплового отверстия; $i_c = 6$ – число сопловых отверстий распылителя двигателя «NVD-24»; $P_m = 2000$ бар – среднее давление впрыска топлива; $\rho_m = 416$ кг/м³ – плотность СПГ.

Зная площадь сопловых отверстий, легко определить их диаметр $d_c = 0,344$ мм. Представленная методика расчета вполне может быть реализована на топливной аппаратуре дизельных двигателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенное исследование показывает, что в дизельном двигателе возможно организовать сгорание смеси горючего газа в жидкой фазе с дизельным топливом по циклу Тринклера с КПД не менее, чем на дизельном топливе.

2. Двигатель на смеси ДТ и СНГ работает устойчиво, без пропусков вспышек и без использования дополнительных присадок.

3. Для реализации цикла Тринклера целесообразно применить для подачи горючей смеси аккумуляторную систему с пьезокерамическими форсунками типа Common Rail. При этом двигатель имеет минимальные изменения в конструкции.

4. Приведенная методика позволяет реализовать впрыск СПГ во всех существующих дизельных двигателях при их модернизации независимо от наличия газтурбинного наддува.

Список источников

1. Вершина Г. А., Быстренков О. С. Способы организации рабочего процесса газодизельного двигателя // Наука и техника. 2017. № 5. С. 383-390.

2. Хачиян А. С., Шишлов И. Г., Карпов Д. М. Сравнительный анализ циклов газового и газодизельного двигателей большой размерности // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 2 (32). С. 30–33.

3. Семенов Б. Н. Применение сжиженного газа в судовых дизелях. Ленинград: Судостроение, 1969. 176 с.

4. Слепнева Н. П., Комина Г. П., Нефедова М. А. Метан как перспективное топливо // Вестник науки и образования. 2019. № 21. С. 22–24.

5. Международная Морская Организация. Предотвращение загрязнения воздуха с судов. URL: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/-PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx> (дата обращения: 10.09.2020).

6. Газпром Нефть. Бункеровка судов. URL: <https://www.gazprom-neft.ru/company/retail/bunkering> (дата обращения: 12.09.2020).

7. Sea News. 60 % судов на СПГ к 2025 году. URL: <https://seanews.ru/2019/04/30/ru-60-sudov-na-spg-k-2025-godu> (дата обращения: 15.05.2019).

8. Матвейчук А. А. Газовая развилка // Сибирская нефть: электронный научный журнал. 2016. № 128. URL: <https://www.Gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2016-february/1111828> (дата обращения: 18.09.2020).

9. Новицкий И. Россия переходит на газомоторное топливо. Коллективный блог «Конт». 23.07.2015. URL: <http://cont.ws/post/103554> (дата обращения: 26.09.2020).

10. Об использовании сжиженного нефтяного газа в качестве топлива для тепловозных дизелей / В. Р. Ведрученко, А. И. Володин, В. Т. Данковцев, В. В. Крайнов, Е. В. Панькин // Омский научный вестник. 2001. С. 78–81.
11. Ваншейдт В. А. Дизели: справочник. Ленинград: Машиностроение, 1977. 490 с.
12. Рогалев Н. Д., Дудолин А. А., Олейникова Е. Н. Тепловые электрические станции: учебник. Москва: МЭИ, 2022. 768 с.
13. Гольдинер А. Я., Цыркин М. И., Бондаренко В. В. Газопоршневые электроагрегаты. Санкт-Петербург: Галерея Принт, 2006. 240 с.
14. Термодинамические свойства метана / В. В. Сычев, А. А. Вассерман, В. А. Загорученко, А. Д. Козлов. Москва: Издательство стандартов, 1979. 348 с.
15. Габитов И. И., Неговора А. В., Сафин Ф. Р. Оценка технического состояния электроуправляемых форсунок дизелей по характеристике топливоподачи // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31, № 2. С. 207–226.

References

1. Vershina G. A., Bystrenkov O. S. Sposoby organizatsii rabochego protsessa gazodizel'nogo dvigatelya [Ways to organize gas-diesel engine working process]. *Nauka i tekhnika*, 2017, no. 5, pp. 383–390.
2. Hachiyani A. S., Shishlov I. G., Karpov D. M. Sravnitel'nyy analiz tsiklov gazovogo i gazodizel'nogo dvigateley bol'shoy razmernosti [Comparative analysis of cycles of gas and gas-diesel large dimension engines]. *Transport na al'ternativnom toplive*, 2013, no. 2 (32), pp. 30–33.
3. Semenov B. N. *Primenenie szhizhennogo gaza v sudovykh dizelyakh* [The use of liquefied gas in marine diesel engines]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1969. 176 p.
4. Slepneva N. P., Komina G. P., Nefedova M. A. Metan kak perspektivnoe toplivo [Methane as a promising fuel]. *Vestnik nauki i obrazovaniya*, 2019, no. 21, pp. 22–24.
5. International Maritime Organization. Air Pollution Prevention from Ships, available at: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/-Pollution Prevention/ Air-Pollution/Pages/Air-Pollution.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/-Pollution%20Prevention/Air-Pollution/Pages/Air-Pollution.aspx) (Accessed 10 September 2020).
6. Gazprom Neft. Ship bunkering, available at: <https://www.gazprom-neft.ru/company/retail/bunkering> (Accessed 12 September 2020).
7. Sea news. 60 % LNG-powered ships by 2025, available at: <https://seanews.ru/2019/04/30/ru-60-sudov-na-spg-k-2025-godu> (Accessed 15 May 2019).
8. Matveychuk A. A. Gazovaya razvilka [Gas fork]. *Sibirskaya neft'*, 2016, no. 128, available at: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2016-february/1111828> (Accessed 18 September 2020).
9. Novitskiy I. Russia is switching to gas motor fuel. Collective blog "Kont". 23.07.2015, available at: <http://cont.ws/post/103554> (Accessed 26 September 2020).
10. Vedruchenko V. R. [i dr.]. Ob ispol'zovanii szhizhennogo neftyanogo gaza v kachestve topliva dlya teplovoznnykh dizeley [On the use of liquefied petroleum gas as a fuel for locomotive diesels]. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2001, pp. 78–81.
11. Vansheydt V. A. *Dizeli: spravochnik* [Diesels: directory]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1977, 490 p.

12. Rogalev N. D., Dudolin A. A., Oleynikova E. N. *Teplovye elektricheskie stantsii: uchebnyk* [Thermal power stations: textbook]. Moscow, MEI Publ., 2022, 768 p.

13. Gol'diner A. Ya., Tsyarkin M. I., Bondarenko V. V. *Gazoporshnevye elektroagregaty* [Gas piston electric units]. Saint-Petersburg, Galereya Print Publ., 2006, 240 p.

14. Sychev V. V., Vasserman A. A., Zagoruchenko V. A., Kozlov A. D. *Termodinamicheskie svoystva metana* [Thermodynamic properties of methane]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1979, 348 p.

15. Gabitov I. I., Negovora A. V., Safin F. R. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya elektroupravlyaemykh forsunok dizeley po kharakteristike toplivopodachi [Evaluation of the technical condition of electrically controlled diesel injectors according to the fuel supply characteristics]. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy*, 2021, vol. 31, no. 2, pp. 207–226.

Информация об авторах

Е. М. Ореховский – аспирант кафедры энергетики

А. В. Толмачев – кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики

А. Г. Филонов – кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики

Information about the authors

E. M. Orekhovskiy – postgraduate student of Energy Department

A. V. Tolmachiov – PhD in engineering, Associate Professor of Energy Department

A. G. Filonov – PhD in engineering, Associate Professor of Energy Department

Статья поступила в редакцию 13.06.2023; одобрена после рецензирования 23.06.2023; принята к публикации 06.07.2023.

The article was submitted 13.06.2023; approved after reviewing 23.06.2023; accepted for publication 06.07.2023.

Научная статья

УДК 629.5

DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-148-159

К вопросу о модернизации современных малых промысловых судов

Евгений Андреевич Чуреев¹, Олег Павлович Орлов²

¹ Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия,

² Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург, Россия

¹e.chureev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3504-4957>

Аннотация. Промысел рыбы в прибрежной морской зоне Российской Федерации в настоящее время ведется малыми рыболовными судами отечественной и иностранной постройки. Абсолютное большинство судов выработали свой ресурс и требуют замены, при этом суда иностранной постройки показывают более эффективную работу по сравнению с отечественными аналогами. Мероприятия по модернизации советских и российских судов не дают требуемого эффекта, информация по современным иностранным промысловым судам носит закрытый или весьма ограниченный характер. Из-за этого перед проектантами стоит задача модернизации существующих проектов судов и/или создания проекта нового конкурентоспособного промыслового судна для эффективной работы. Анализ информации по современным иностранным судам показывает, что все малые промысловые суда, в основном, имеют два типа корпуса – исландский и норвежский, характеризующиеся увеличенной полнотой обводов. Исследования современных малых промысловых судов с большой полнотой корпуса путем испытаний физических моделей в опытовом бассейне позволили определить основные элементы судов, в значительной мере влияющие на мореходные качества. В настоящей работе описан ряд испытаний физических моделей судов в опытовом бассейне. По результатам данных испытаний определены основные элементы малых промысловых судов с большой полнотой корпуса, в значительной степени влияющие на определенные мореходные качества. На основании полученных результатов сформированы и представлены рекомендации для использования при модернизации проектов малых промысловых судов и/или создания новых проектов судов.

Ключевые слова: малое рыболовное судно, траулер, мореходные качества судна, модельные испытания, опытовый бассейн.

Для цитирования: Чуреев Е. А., Орлов О. П. К вопросу о модернизации современных малых промысловых судов // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 148–159. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-70-148-159.

Original article

On the issue of modern small fishing vessels modernization

Evgeniy A. Chureev¹, Oleg P. Orlov²

¹ Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

² Krylov State Research Center, St-Petersburg, Russia

¹ e.chureev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3504-4957>

Abstract. Fishing in the coastal marine zone in the Russian Federation is currently carried out by small fishing vessels of domestic and foreign construction. The vast majority of vessels have exhausted their resources and require replacement, while foreign-built vessels show more efficient operation compared to domestic counterparts. Measures to modernize Soviet and Russian vessels do not give the desired effect. Information on modern foreign fishing vessels is classified or very limited. Because of this, the designers are faced with the task of modernizing existing vessel designs and / or creating a design for a new competitive fishing vessel for efficient operation. An analysis of modern foreign vessels information shows that all small fishing vessels basically have two types of hull – "Icelandic" and "Norwegian", characterized by an increased completeness of contours. Studies of modern small fishing vessels with a large hull density, by testing physical models in the towing tank, made it possible to determine the main elements of vessels that significantly affect seaworthiness. This paper describes a series of tests of physical models of ships in the towing tank. Based on the results of these tests, the main elements of small fishing vessels with a large hull density, which largely affect certain seaworthiness, were identified. Based on the results obtained, recommendations were formed and presented for use in the modernization of projects of small fishing vessels and / or the creation of new vessel designs.

Keywords: small fishing vessel, trawler, seaworthiness of the vessel, model testing, towing tank.

For citation: Chureev E. A., Orlov O. P. On the issue of modern small fishing vessels modernization. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (70) : 148-159. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-148-159.

ВВЕДЕНИЕ

Рыбопромысловый флот в современных реалиях сталкивается со значительными трудностями. Состояние его основных фондов в настоящее время характеризуется высокой степенью изношенности и морального старения [1]. С 2016 года рыбопромышленная отрасль перешла на аукционный принцип распределения квот, в рамках которого участники рынка обязаны строить новые суда в России, чтобы получить часть квот на вылов биологических ресурсов [2]. На данный момент построено 16 судов, сдача всех 105 судов по программе ожидается к 2026 году. Под данную программу, в основном, попадают крупнотоннажные и средние промысловые суда. Малый добывающий флот, призванный обеспечить страну свежей охлажденной рыбной продукцией и составляющий основу прибрежного рыболовства, в Российской Федерации практически не стимулируется. Исторически сложилось, что основу прибрежного рыбодобывающего флота со-

ставляют суда типа «Балтика» (пр. 1328), «Селга» (пр. 728А) и др. [3]. Также присутствуют и суда иностранной постройки, такие как «Римфорс» (Нидерланды) или «За Родину» (Латвия) [4, 5]. Подавляющее большинство существующих судов имеют значительный возраст, превышающий расчетный срок в 25 лет, однако тенденции к обновлению флота не наблюдается.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ПРОМЫСЛОВОГО ФЛОТА

Исследования работы промыслового флота на примере Калининградской области показали, что суда иностранной постройки более чем в 2 раза эффективнее отечественных судов при работе в одинаковых условиях (рис. 1).

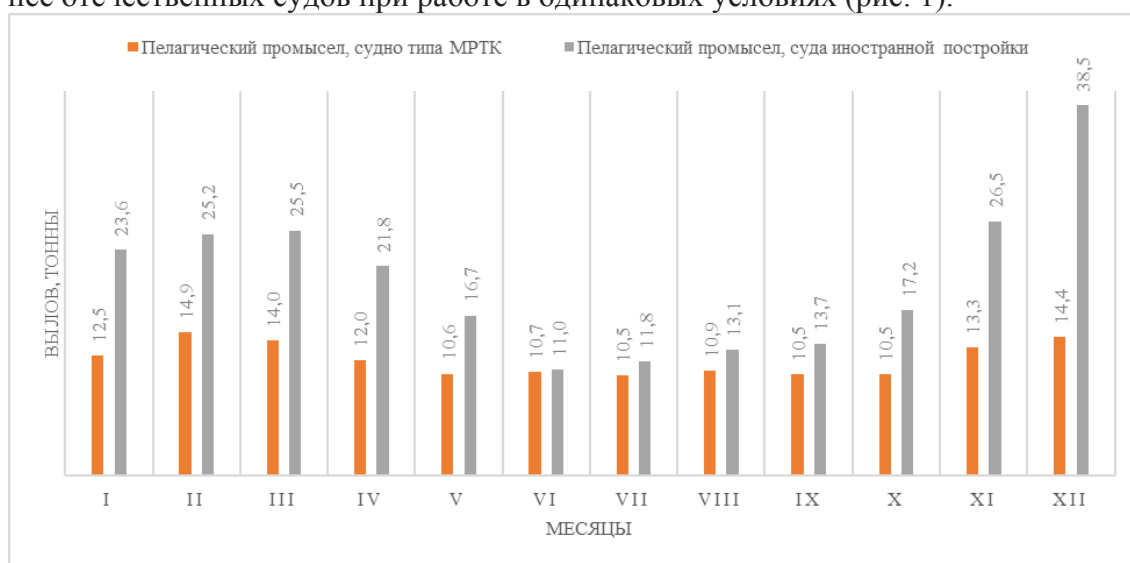


Рис. 1. Данные по выловам судов типа МРТК и судов иностранной постройки в Балтийском море

Fig. 1. Data on catches of vessels of the MRTK type and vessels of foreign construction in the Baltic Sea

Причиной этому являются следующие факторы:

- малая энерговооруженность судов типа МРТК (малый рыболовный траулер кормовой), не позволяющая работать с высокоуловистыми тралями;
- относительно небольшой дедвейт, не дающий принимать на борт достаточное количество улова. В совокупности с транспортировкой улова в ящиках со льдом на судах типа МРТК, в отличие от перевозки рыбы наливом на судах иностранной постройки, значительно увеличиваются временные потери на погрузку пойманной рыбы в трюм;
- форма корпуса судов типа МРТК, которая не дает возможности эффективно работать в сезон штормов (с декабря по март), совпадающий с путиной.

Для выхода из сложившейся ситуации судовладельцы модернизируют суда типа МРТК – переоборудуют рыбный трюм под перевозку улова наливом, а также заменяют главный двигатель (ГД) на более мощный (с 220 кВт на 368 кВт). Указанные мероприятия позволили увеличить дедвейт с 30 до 54 т и повысить эффек-

тивность отечественных судов, однако, они по-прежнему уступают судам иностранной постройки с объемом трюмов 80–150 м³. Стоит отдельно отметить, что эксплуатируемые отечественные промысловые суда исчерпали свой модернизационный ресурс в силу возраста, технического состояния и заложенных проектных решений.

ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ СУДОВ

Исходя из вышеуказанного, при проектировании новых малых промысловых судов целесообразно изучить опыт иностранного судостроения, однако имеющиеся данные по проектам иностранных судов из открытых источников носят информационный характер и не позволяют выполнить полноценный технический анализ либо использовать суда в качестве прототипов при проектировании новых. В то же время опубликованная информация достаточна для получения представления о форме корпуса современных малых промысловых судов.

Анализ формы рыболовных судов иностранной постройки показал, что в мире используются две основные формы корпуса – по исландскому типу (рис. 2) и по норвежскому (рис. 3).

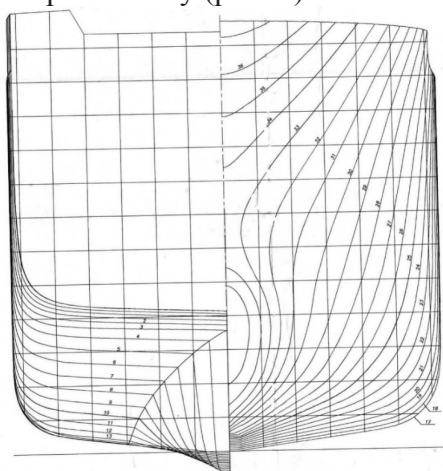


Рис. 2. Проекция корпуса с бульбовыми обводами по исландскому типу

Fig. 2. Projection body with bulbous contours according to the Icelandic type

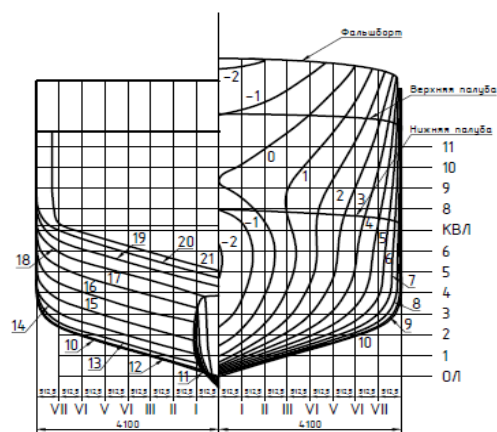


Рис. 3. Проекция корпуса с бульбовыми обводами по норвежскому типу

Fig. 3. Projection body with bulbous contours according to the Norwegian type

Данные формы корпуса обуславливаются достаточно большими значениями коэффициентов полноты, не характерными для отечественных судов. Это позволяет обеспечить размещение вместительных рыбных трюмов, установку относительно мощных главных и вспомогательных дизелей, а также обеспечить комфортное размещение судовой команды.

На рис. 4 представлен продольный разрез и строевая по шпангоутам мало-го наливного рыболовного траулера, разработанного сотрудниками Калининградского государственного технического университета (КГТУ) в рамках выполнения

составной части опытно-конструкторской работы (шифр «Балтика – КГТУ») [6]. С точки зрения мореходных качеств, в первую очередь – ходкости, данная форма корпуса далеко не оптимальна. Факторами, влияющими на ходкость судна, являются погруженная часть транца в воду и носовой бульб. Также следует обратить внимание на резкое уменьшение объемов подводной части от 30 до 40 шпангоута судна, что в свою очередь может привести к срыву потока, идущего по линиям батоксов, и, следовательно, увеличению сопротивления.

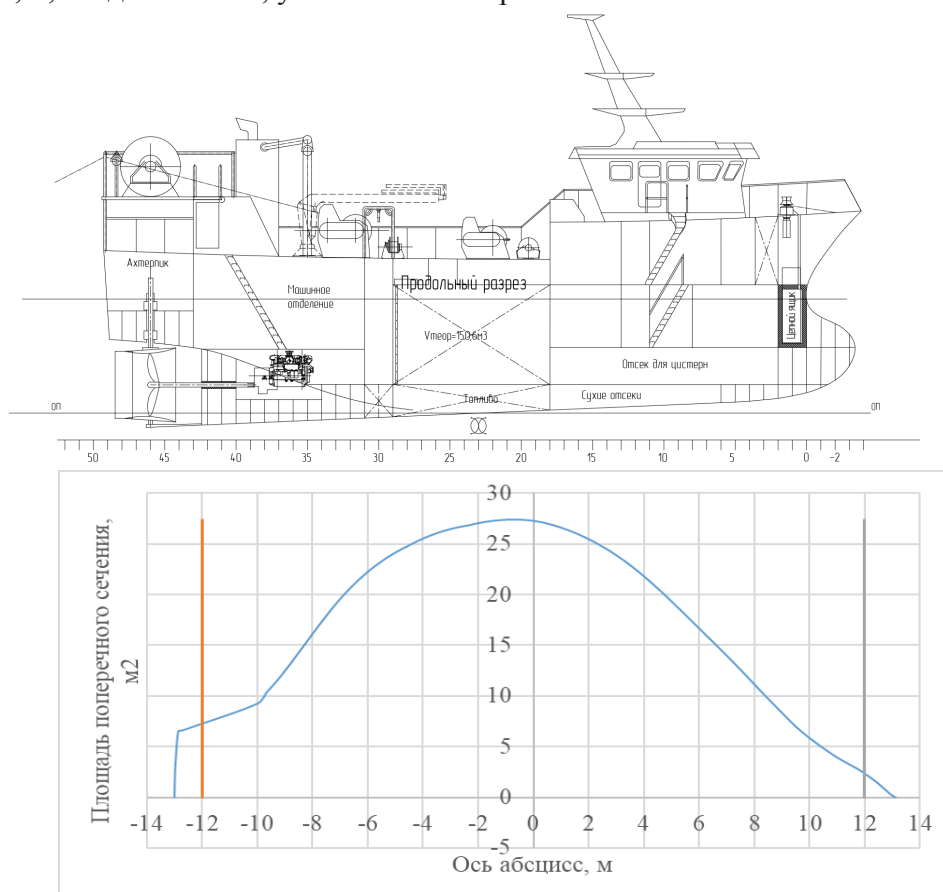


Рис. 4. Продольный разрез и строевая по шпангоутам
Fig. 4. Longitudinal section and drill along the frames

Предварительным решением данной проблемы может стать разработка теоретического чертежа судна со строительным дифферентом на корму. Это позволит обеспечить более плавное направление линий тока по корпусу и минимизировать отрыв потока. Однако, эксперименты с физическими моделями в опытовом бассейне показали, что у судов данного типа наблюдается значительное изменение посадки в процессе набора скорости – появляется ходовой дифферент на нос. Наглядно это явление можно наблюдать на примере испытания физической модели МРТК «Адомат» в опытовом бассейне КГТУ (в соответствии с [7]), теоретический чертеж которого представлен на рис. 5.

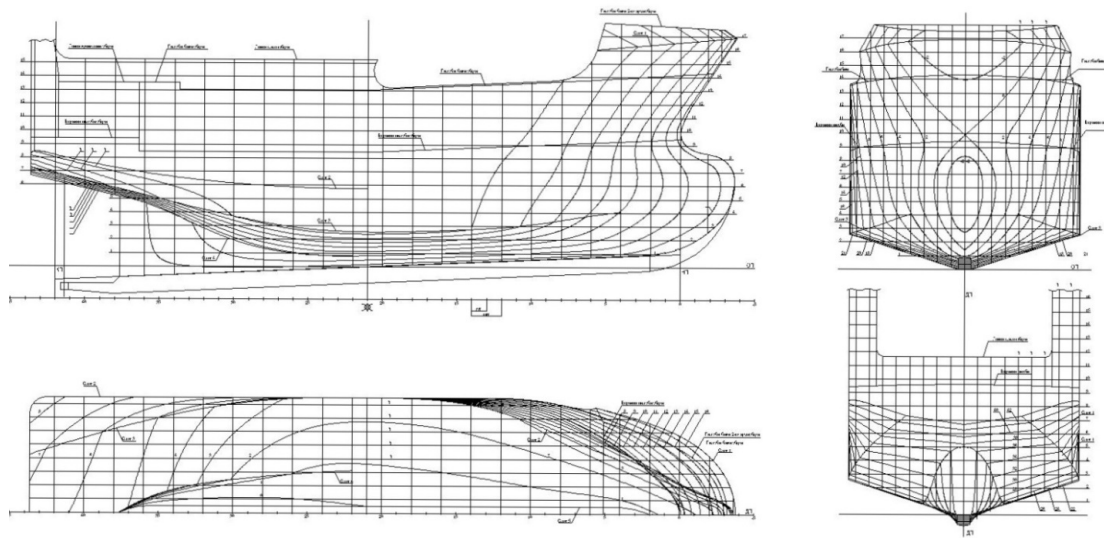


Рис. 5. Теоретический чертеж МРТК «Адомат»
Fig. 5. Lines drawing MRTK «Adomat»

В процессе испытаний модели данного судна были исследованы мореходные качества на тихой воде в различных случаях нагрузки. При нагрузке с осадкой 3,80 м (случай нагрузки 1) на ровный киль с повышением скорости хода изменялась ходовая посадка судна – увеличивался дифферент на нос. На расчетной скорости свободного хода натурального судна 11 узлов ($F_r = 0,39$) зафиксирована максимальная просадка носовой оконечности судна, обеспечивающая дифферент на нос 2,5 градуса. Визуально данное явление можно наблюдать на рис. 6.

В другом случае нагрузки с начальным дифферентом на корму ($T_n = 2,71$ м; $T_k = 3,91$ м) (случай нагрузки 3) и аналогичным водоизмещением посадка судна на полном ходу была значительно лучше – дифферент на скорости 11 узлов натурального судна составлял около 1 градуса на нос. Визуально посадка модели судна представлена на рис. 7.

В результате проведенного анализа поведения модели судна с начальным дифферентом на корму авторы пришли к выводу, что в данном случае дифферентующий момент на нос появляется не только за счет областей пониженного давления, образующихся под полным корпусом, но и за счет гидродинамической силы, появляющейся во время обтекания носового бульба.



Рис. 6. Испытания МРКТ «Адомат». Ровный киль, скорость 11 узлов

Fig. 6. Tests of MRTK "Adomat". Even keel, speed 11 knots



Рис. 7. Испытания МРКТ «Адомат». Начальный дифферент на корму, скорость 11 узлов

Fig. 7. Tests of MRTK "Adomat". The initial trim to the stern, speed 11 knots

С точки зрения влияния изменения ходовой посадки судна на мореходные качества целесообразно обратиться к результатам вышеуказанных испытаний [8]. Зависимость коэффициента остаточного сопротивления от числа Фруда показана на рис. 8, а зависимость изменения дифферента от числа Фруда – на рис. 9.

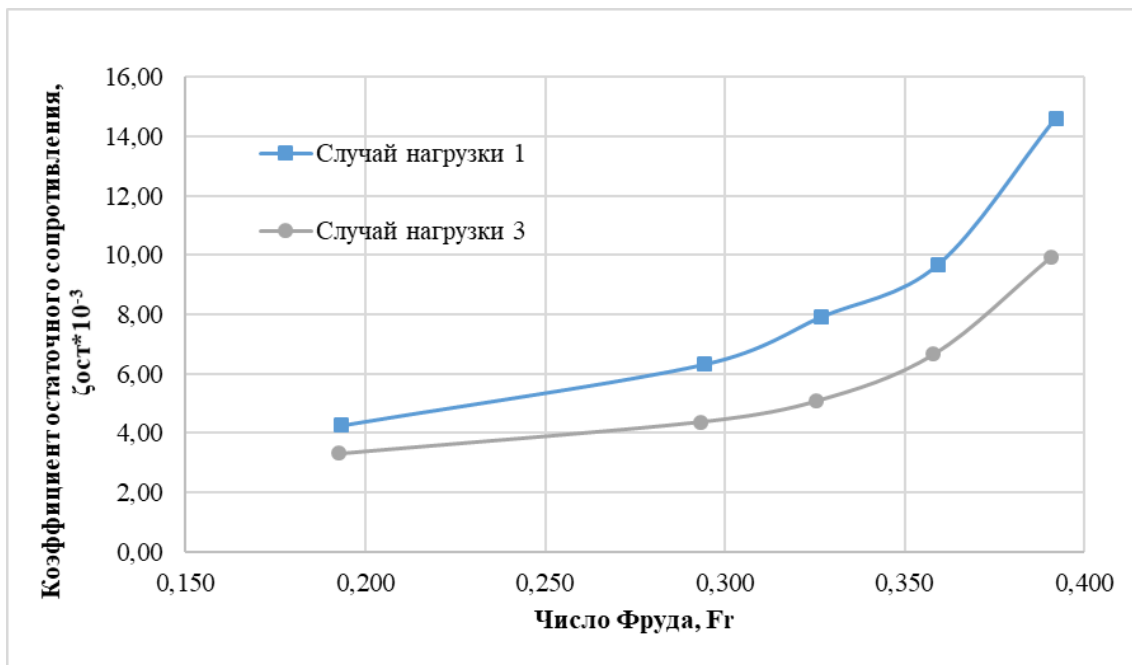


Рис. 8. Зависимость коэффициента остаточного сопротивления от числа Фруда
Fig. 8. The dependence of the coefficient of residual resistance on the Froude number

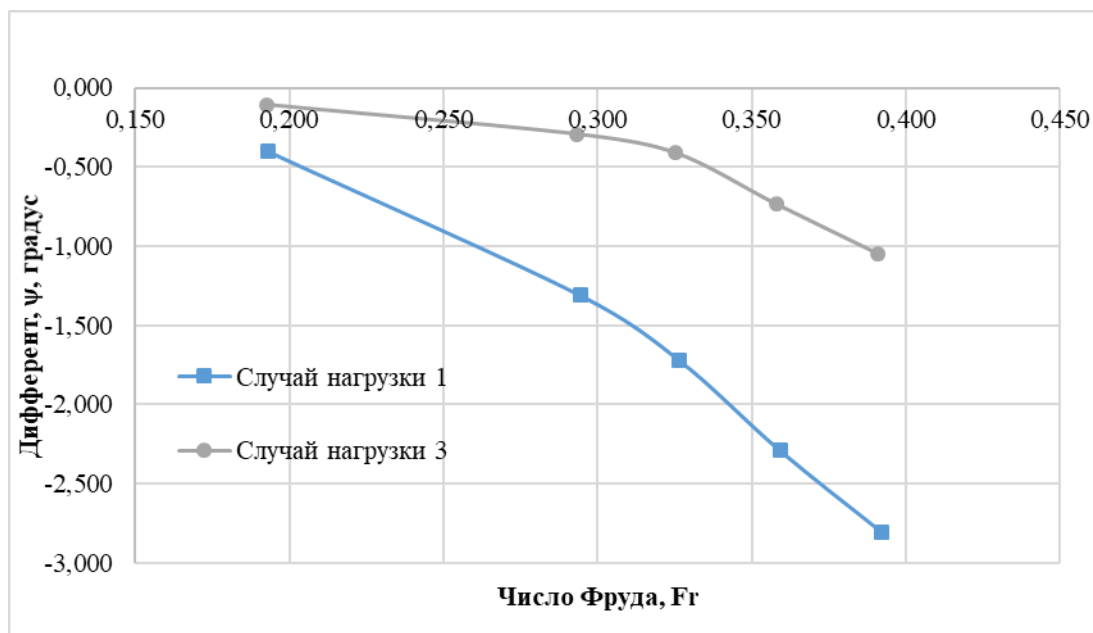


Рис. 9. Зависимость изменения дифферента судна от числа Фруда
Fig. 9. The dependence of the change in the trim of the vessel on the Froude number

Из представленных материалов можно сделать вывод, что при одинаковом водоизмещении на расчетной скорости свободного хода судна за счет строительного (начального) дифферента на нос можно получить выигрыш по коэффициенту остаточного сопротивления до 40 %.

Дальнейшие исследования данного вопроса подтолкнули авторов на проведение дополнительных испытаний, направленных на поиск оптимальной начальной посадки судна и оптимизации ходкости по коэффициенту остаточного сопротивления, результаты которого были опубликованы в [9]. По итогам исследований сделан вывод, что коэффициент остаточного сопротивления корпуса судна минимальный при условии, если судно движется на расчетной скорости на ровный киль, оптимальный угол начального дифферента составляет порядка 1,0–2,5 градуса на корму.

Еще одним важным элементом формы корпуса, влияющей на мореходные качества, является носовой бульб. Ряд проведенных исследований с другими моделями судов показал возможность появления негативного эффекта из-за обтекания бульба, пример тому – результат испытаний малого рыболовного судна «Марлин» (зависимость коэффициента остаточного сопротивления от числа Фруда) (рис. 10) [10].

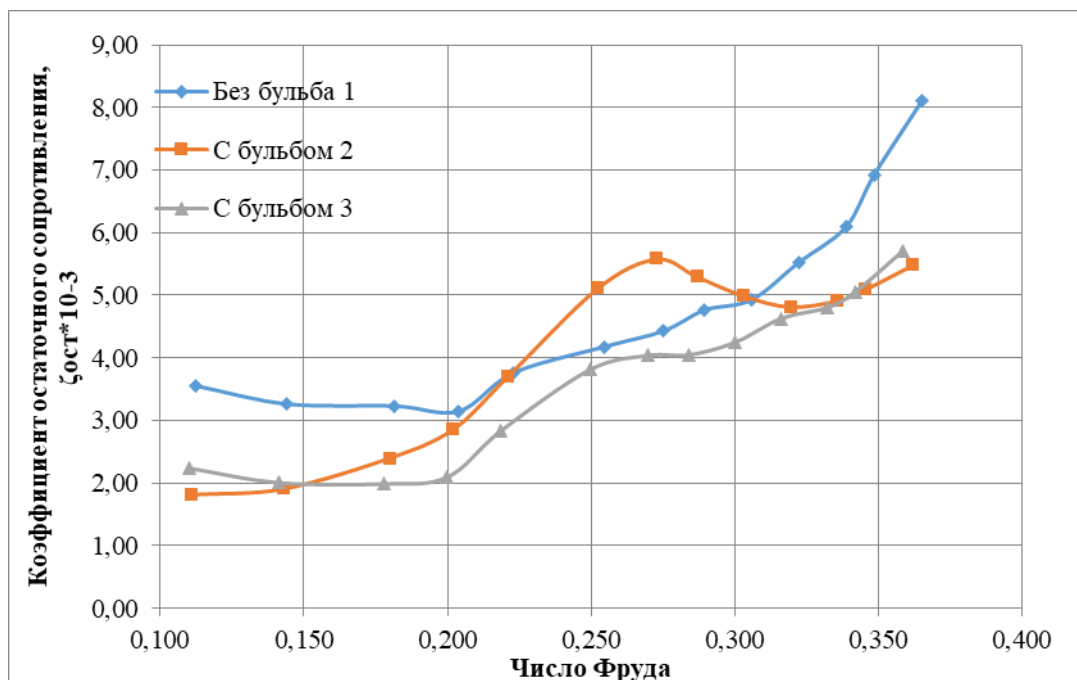


Рис. 10. Результат испытаний модели судна «Марлин»
Fig. 10. The result of testing the model of the ship "Marlin"

Анализ результатов испытаний показывает, что в районе числа Фруда 0,25–0,28 резко возрастает на 10–15 % коэффициент остаточного сопротивления (случай нагрузки – «с бульбом 2»), именно за счет обтекания носового бульба. Данный негативный эффект необходимо устранять на стадии проектирования формы корпуса судна путем проведения экспериментальных исследований физических моделей судов в гидроканале с обращенным движением воды на всем диапазоне расчетных скоростей хода судна, а также в диапазоне изменений его эксплуатационных посадок.

Малые промысловые суда по сравнению с крупными в большей мере подвержены явлению заливаемости открытых участков палубы, особенно в носовой части. Исследования данного явления в опытовом бассейне на примере нескольких проектов судов показали в целом положительное влияние носового бульба на заливаемость носовой оконечности судна, а также на интенсивность данного процесса. Вместе с этим, исследователи отмечают, что решающую роль играет величина надводного борта судна, особенно в носовой части.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отечественные малые промысловые суда в основной своей массе уступают судам иностранной постройки в эффективности, причем модернизационный потенциал данных судов исчерпан. Лучшим решением в данной ситуации является модернизация проектов судов. По сути это – создание новых проектов отечественных промысловых судов, способных конкурировать с судами иностранной постройки.

В процессе модернизации существующих проектов судов необходимо обращать внимание на следующие факторы:

– новые суда должны быть оборудованы носовыми бульбами для лучшей удифферентовки. Форма носового бульба должна быть отработана в гидроканалах и опытовых бассейнах на всех эксплуатационных режимах. Данное решение позволит исключить образование локального негативного обтекания носовой оконечности судна и, следовательно, увеличение буксировочного сопротивления;

– новые суда должны разрабатываться со строительным дифферентом на корму, причем ходовая посадка судна на расчетной скорости полного хода должна быть на ровный киль. Это решение позволит минимизировать буксировочную мощность судна на свободном ходу;

– новые суда должны быть оборудованы главным двигателем достаточной мощности для возможности буксировки современных высокоуловистых тралов, а также для обеспечения требуемой скорости свободного хода;

– новые суда должны иметь достаточный надводный борт для минимизации явления заливаемости участков палубы судна.

Предлагаемые решения будут способствовать созданию современного конкурентоспособного промыслового флота Российской Федерации.

Список источников

1. Колончин К. В. Состояние, проблемы и перспективы развития рыбопромыслового флота России. Часть I // Пищевая промышленность. 2019. № 11. С. 35–39.

2. Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие рыбохозяйственного комплекса": Постановление Правительства РФ № 314 от 15 апреля 2014 г. // URL: <http://government.ru/docs/all/91156/> (Дата обращения: 14.06.23)

3. Флот рыбной промышленности: справочник типовых судов / под ред. Б. А. Антипова. М.: Транспорт, 1990. 384 с.

4. Регистровая книга Российского морского регистра судоходства. URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/regbookVessel?ln=ru/> (Дата обращения: 14.06.23).

5. Регистровая книга Российского классификационного общества. URL: <https://rfclass.ru/activities/class/reg-book/?s=8150/> (Дата обращения: 14.06.23).

6. Разработка концептуального проекта модернизации маломерного рыболовного траулера по типу пр. 1328 («Балтика») для Северо-Западного региона России с возможностью использования функции прохождения промысловой практики и обучения будущих специалистов отраслевых учебных заведений [текст]: технический отчет // ФГБОУ ВО «КГТУ»; рук. Злыгостев Д. В.; исполн.: Маслюк Е. В. [и др.]. Калининград, 2016. 121 с. (на правах рукописи).

7. 204-ЛМКС.000.001-МИ «Буксировочные испытания моделей судов. Методика». Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. 48 с.

8. Подготовка и проведение комплекса испытаний моделей судна МРТК нового типа [текст]: технический отчет // ФГБОУ ВО «КГТУ»; рук. Злыгостев Д. В.; исполн.: Чуреев Е. А. [и др.]. Калининград, 2018. 23 с. (на правах рукописи).

9. Чуреев Е. А., Орлов О. П., Якута И. В. Исследование влияния строительного дифферента малых промысловых судов с большой полнотой корпуса на мореходные качества // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: морская техника и технология. 2019. № 4. С. 30–38.

10. Сравнительные испытания модели т/х «Марлин» без носового бульба и с носовым бульбом на заливаемость на встречном волнении и сопротивление движению судна на тихой воде [текст]: технический отчет: // ФГБОУ ВО «КГТУ»; рук. Батуев А. Д.; исполн.: Чуреев Е. А. [и др.]. Калининград, 2017. 48 с. (на правах рукописи).

References

1. Kolonchin K. V. Sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya rybo-promyslovogo flota Rossii. Chast' I [The state, problems and prospects of development of the fishing fleet of Russia. Part I]. *Pishchевaya promyshlennost'*, 2019, no. 11, pp. 35–39.

2. Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii "Razvitiye rybokhozyaystvennogo kompleksa": Postanovlenie Pravitel'stva RF № 314 от 15 aprelya 2014 g. [On approval of the State program of the Russian Federation "Development of the fisheries complex": Decree of the Government of the Russian Federation No. 314 of April 15, 2014], available at: <http://government.ru/docs/all/91156/> (Accessed 14 June 2023).

3. *Flot rybnoy promyshlennosti: spravochnik tipovykh sudov* [Fishing industry fleet: reference book of standard vessels], pod red. B. A. Antipova, Moscow, Transport Publ., 1990, 384 p.

4. Registrovaya kniga Rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva [Register of ships Russian Maritime Register of Shipping], available at: <https://lk.rs-class.org/regbook/regbookVessel?ln=ru/> (Accessed 14 June 2023).

5. Registrovaya kniga Rossiyskogo klassifikatsionnogo obshchestva [Register of ships Russian Classification Society], available at: <https://rfclass.ru/activities/class/regbook/?s=8150/> (Accessed 14 June 2023).

6. Razrabotka kontseptual'nogo proekta modernizatsii malomernogo rybolovnogo traulera po tipu pr. 1328 ("Baltika") dlya Severo-Zapadnogo regiona Rossii s vozmozhnost'yu ispol'zovaniya funktsii prokhozheniya promyslovoy praktiki i obucheniya budushchikh spetsialistov otraslevykh uchebnykh zavedeniy [tekst]: tekhnicheskii otchet [Development of a conceptual project for the modernization of a small-size fishing trawler of the type 1328 Ave. ("Baltika") for the North-Western region of Russia with the possibility of using the function of passing fishing practice and training future specialists of industry educational institutions: technical report]. Director Zlygostev D. V., executor Maslyuk E. V. FGBOU VO "KGTU", Kaliningrad, 2016, 121 p.

7. 204-LMKS.000.001-MI "Buksirovochnye ispytaniya modeley sudov. Metodika" [204-LMKS.000.001-MI "Towing tests of ship models. Methodology"]. FGBOU VO "KGTU", Kaliningrad, 2019, 48 p.

8. Podgotovka i provedenie kompleksa ispytaniy modeley sudna MRTK novogo tipa [tekst]: tekhnicheskii otchet [Preparation and conduct of a complex of tests of models of a new type of SFT vessel: technical report]. Director Zlygostev D. V., executor Chureev E. A. Kaliningrad, 2018, 23 p.

9. Chureev E. A., Orlov O. P., Yakuta I. V. Issledovanie vliyaniya stroitel'nogo differenta malykh promyslovykh sudov s bol'shoy polnotoy korpusa na morekhodnye kachestva [Investigation of the influence of the construction trim of small fishing vessels with a large hull completeness on seaworthiness]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2019, no. 4, pp. 30–38.

10. Sravnitel'nye ispytaniya modeli t/kh "Marlin" bez nosovogo bul'ba i s nosovym bul'bom na zalivaemost' na vstrechnom volnenii i soprotivlenie dvizheniyu sudna na tikhoy vode [tekst]: tekhnicheskii otchet [Comparative tests of the model of ship "Marlin" without a bow bulb and with a bow bulb for floodability in oncoming waves and resistance to the movement of the vessel in calm water: technical report]. Director Zlygostev D. V., executor Chureev E. A. Kaliningrad, 2017, 48 p.

Информация об авторах

Е. А. Чуреев – заместитель директора по науке Научно-исследовательского центра судостроения

О. П. Орлов – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник

Information about the authors

E. A. Chureev – Deputy Director for Science of the Shipbuilding Research Center

O. P. Orlov – Doctor of Science (Technical), Professor, Chief Scientific Officer

Статья поступила в редакцию 12.07.2023; одобрена после рецензирования 19.07.2023; принята к публикации 21.07.2023.

The article was submitted 12.07.2023; approved after reviewing 19.07.2023; accepted for publication 21.07.2023.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

Общие требования

Журнал бесплатно публикует оригинальные неопубликованные ранее статьи, удовлетворяющие критериям высокого научного качества по научным направлениям: естественно-научные и математические, биологические и сельскохозяйственные, технические, экономические науки, промышленное рыболовство. Автор (авторы) несет ответственность за достоверность результатов исследования и гарантирует, что им не нарушены авторские права третьих лиц, что в тексте статьи нет некорректных или незаконных заимствований.

Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи. Научные статьи принимаются в редакцию в течение всего года, публикуются в порядке живой очереди по мере наполнения портфеля редакции. Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи. Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.

В редакцию журнала авторы представляют:

– **распечатку рукописи**, подписанную всеми авторами, и ее электронную версию. Текст рукописи должен полностью соответствовать тексту электронного варианта, страницы не нумеруют;

– **внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук** (на стандартном бланке), заверенную в установленном порядке. Бланк рецензии можно скачать на сайте университета в разделе «Наука и инновации – Научные журналы – Известия КГТУ». Рецензент должен являться признанным специалистом по тематике рецензируемого материала и иметь в течение последних трех лет публикации по тематике рецензируемой статьи;

– **экспертное заключение** о возможности открытого опубликования статьи (иногородние могут выслать электронной почтой).

В дальнейшем с автором заключается **Лицензионный договор** и оформляется **Акт передачи – приемки рукописи**.

Объем статьи

Составляет от восьми до четырнадцати страниц текста, включая рисунки, таблицы, список литературы и информацию об авторах.

Компьютерный набор статьи

Должен удовлетворять следующим требованиям: формат бумаги – А4, гарнитура шрифта – Times New Roman, кегль 12, ориентация – книжная, поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см; абзац с отступом Tab. 1,27; межстрочный интервал –

одинарный. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла *.doc).

При наборе текста не допускается применять стили при формировании текста, вносить изменения в шаблон или создавать свой для формирования текста, ставить пробелы перед знаками препинания, применять любые разрядки слов. Необходимо слова внутри абзаца разделять одним пробелом, набирать текст без принудительных переносов, установить автоматическую расстановку переносов.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа, при этом нумеруют арабскими цифрами графы и строки первой части таблицы. Слово «Таблица» указывают один раз слева (без отступа) над первой частью таблицы, после номера ставят точку, следом с прописной идет название таблицы, точку в конце не ставят. Таблица должна быть вставлена автоматически (через «Таблица: Добавить таблицу»). Название таблицы дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Таблица 1. Table 1.).

Рисунки. Допускаются черно-белые и цветные четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные. Рисунки могут быть введены в текст статьи или выполнены в виде отдельных графических файлов. В последнем случае необходимо указать место расположения рисунка, написав на полях рукописи после абзаца, в котором он впервые упоминается: Рис. 1. и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1. и т. д.) и иметь подрисуночные подписи. Номер рисунка и подрисуночная подпись располагаются под рисунком. Название рисунка дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Рис. 1. Fig. 1.). Точка в конце подрисуночной подписи не ставится.

Все обозначения на рисунке должны соответствовать обозначениям в тексте. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны. Ширина рисунка не должна быть больше ширины полосы набора текста.

Если в статье один рисунок или одна таблица, они не нумеруются.

Не допускается заканчивать статью рисунком или таблицей.

Все рисунки и таблицы должны быть читаемы и расположены по центру полосы набора.

Формулы. Все формулы набираются в формульном редакторе, нумеруются, на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой после ссылки с отступом два Тав. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо. При наборе формул рекомендуется использовать следующие кегли шрифтов: основной – 11; крупный индекс – 7; мелкий индекс – 5; крупный символ – 14; мелкий символ – 10. Гарнитура шрифта Times New Roman. Для набора математических формул используют буквы латинского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом (m_i – масса i -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом (l_p – длина разбега; $V_{\text{пос}}$ посадочная скорость). Сокращенные

обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det, exp и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой: e не \bar{e} . Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках (=, », <, > и др.), во вторую очередь – на отточии (...), на знаках сложения и вычитания (+, –), в последнюю – на знаке умножения в виде крестика (×). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида $\frac{a}{b}$ рекомендуется писать a/b. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

Химические символы (Ag, Cu) набирают прямым шрифтом. Для набора рекомендуется использовать редактор Chem Window.

Единицы физических величин следует приводить в международной системе СИ по ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин.

Все аббревиатуры в тексте должны быть расшифрованы. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин.

Структура статьи

ВВЕДЕНИЕ (состояние проблемы, задачи исследования) по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, далее через один интервал текст.

Через один интервал **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ** (постановка задачи, методы и результаты исследования, их обсуждение – по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, через один интервал текст). Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание.

Через один интервал **ЗАКЛЮЧЕНИЕ** (выводы – по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый), далее через один интервал текст

Составные части статьи и порядок их следования

1. Научная статья (слева без отступа, с прописной буквы, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

2. С новой строки индекс по универсальной десятичной классификации (УДК) слева без отступа (прописными буквами, шрифт прямой, светлый, без двоеточия после букв, точка в конце не ставится).

3. С новой строки DOI (слева без отступа, прописными буквами, шрифт прямой, светлый точка в конце не ставится).

4. Через один интервал по центру **Название статьи** на русском языке (с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится).

При публикации статьи частями в нескольких выпусках издания части должны быть пронумерованы, у всех частей следует указывать общее заглавие статьи. Если части имеют, помимо общего, частное заглавие, то его приводят после обозначения и номера части. Пример:

Изучение закономерностей кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия из солянокислых растворов. Часть 2. Параметры кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия

5. Через один интервал основные сведения об авторе (авторах) без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т. п. (слева без отступа, см. в образце оформления статьи ниже).

6. Через один интервал с отступом приводят слово *Аннотация* (полужирный курсив, в конце ставят точку). Текст аннотации дается в подбор, рекомендуемый объем 200–250 слов.

Представляет собой краткую характеристику текста с точки зрения его назначения, содержания, вида, формы и других особенностей. Она передает главную, ключевую идею текста до ознакомления с его полным содержанием. Научная аннотация условно делится на три части: 1. Презентация вопроса или проблемы, которым посвящена статья. 2. Описание хода исследования. 3. Выводы: итоги, которых удалось достичь в результате проведенного исследования.

Запрещается использовать дословный текст из статьи во избежание повторов, название работы, а также таблицы, графики и внутритекстовые ссылки.

В начале не повторяется название статьи, аннотация не разбивается на абзацы. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Следует избегать использования вводных слов и оборотов, лишних вводных фраз, например, «автор статьи рассматривает...», не нужно подчеркивать личный вклад автора. Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения, в аннотации не приводятся. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи, избегать сложных грамматических конструкций. Вводная часть минимальна, место исследования уточняется до области (края). Изложение результатов содержит конкретные сведения (выводы, рекомендации и т. п.). Допускается введение сокращений в

пределах аннотации (понятие из 2–3 слов заменяют на аббревиатуру из соответствующего количества букв, в 1-й раз дается полностью, сокращение – в скобках, далее используется только сокращение). Числительные, если не являются первым словом, передаются цифрами. Нельзя использовать аббревиатуры (например, названий учреждений) без расшифровки и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы). Категорически не допускаются вставки через меню «Символ», знак разрыва строки, знак мягкого переноса, автоматический перенос слов. Значения t° в английском варианте обозначают как «deg C».

7. С новой строки с отступом приводят **Ключевые слова** (полужирный курсив, в конце двоеточие), они должны максимально точно отражать предметную область статьи (даются в подбор, разделяются запятой, буквы строчные, шрифт прямой, светлый).

8. С новой строки с отступом **Благодарности** (если есть) организациям (учреждениям), научным руководителям и другим лицам, оказавшим помощь в подготовке статьи, сведения о грантах, финансировании подготовки и публикации статьи, проектах, научно-исследовательских работах, в рамках или по результатам которых опубликована статья (см. в образце оформления статьи ниже).

9. С новой строки с отступом могут быть приведены сведения о финансировании исследования, подготовки и публикации статьи с предшествующим словом **Финансирование:** (после слова ставят двоеточие).

10. С новой строки с отступом приводят библиографическую запись на статью **Для цитирования:** (см. в образце оформления статьи ниже).

Далее все сведения должны быть представлены на английском языке:

11. Original article (через один интервал, слева без отступа, с прописной буквы, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

12. Через один интервал по центру **Название статьи** на английском языке (с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится).

13. Через один интервал основные сведения об авторе (авторах) – имя и фамилию приводят в транслитерированной форме на латинице полностью, отчество сокращают до одной буквы (в отдельных случаях, обусловленных особенностями транслитерации, до двух букв), см. в образце оформления статьи ниже.

14. Через один интервал с отступом **Abstract**. Недопустимо использование машинного перевода, вместо десятичной запятой используется точка. Все русские аббревиатуры передаются в расшифрованном виде, если у них нет устойчивых аналогов в английском языке (допускается: ВТО – WTO, ФАО – FAO и т. п.). Безличные конструкции переводятся с использованием пассива.

15. С новой строки с отступом **Keywords:** (полужирный курсив, в конце двоеточие), ключевые слова даются в подбор, разделяются запятой, буквы строчные, шрифт прямой).

16. С новой строки с отступом **Acknowledgments** (если есть), после слова ставят двоеточие.

17. С новой строки с отступом **Funding** (если есть), после слова ставят двоеточие.

18. С новой строки с отступом **For citation**: см. в образце оформления статьи ниже.

19. Через один интервал с отступом текст статьи, включающий в себя обязательные структурные элементы (см. структуру статьи).

Нельзя использовать в текстах формулы-картинки и прочие искусственно вставленные символы. Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7] (здесь тире), [1, 18, 25]. Если в тексте есть прямая цитата, заключенная в кавычки, то обязательно должна быть указана страница, на которой эта цитата находится в цитируемом источнике. Например: [7, с. 28]. Ссылки на неопубликованные работы и работы, находящиеся в печати, не допускаются.

20. Через один интервал после текста статьи **Список источников** (по центру с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится). Оформляется по ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в статье. Источники в списке литературы нумеруют и располагают в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования).

Требования к источникам:

- Не менее 15 источников, из них половина давностью менее 5 лет
- Процент самоцитирования не выше 10–20 %
- Зарубежные публикации, изданные в течение последних 5 лет

Рекомендуется включать ссылки на научные статьи, монографии, сборники статей, сборники конференций, электронные ресурсы с указанием даты обращения, патенты.

Не рекомендуется включать ссылки на учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, ГОСТы и др. нормативные документы, на законы и постановления, а также на архивные документы (если все же необходимо указать такие источники, то они оформляются в виде сносок).

Нежелательны ссылки на диссертации и авторефераты диссертаций (такие ссылки допускаются, если результаты исследований еще не опубликованы, или не представлены достаточно подробно).

21. Через один интервал после списка источников **References** (по центру с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится). Нумерация записей должна совпадать с нумерацией в основном перечне затекстовых библиографических ссылок.

References представляет собой транслитерированный список литературы. Транслитерируются только источники, написанные кириллицей; французские, немецкие, итальянские, польские и прочие источники не переводятся, а остаются в references неизменными.

Для выполнения транслитерации необходимо зайти на сайт <http://translit-online.ru/> и настроить перевод: *ë* → *yo*; *й* → *y*; *х* → *всегда kh*; *ц* → *ts*; *щ* → *shch*; *э* → *e*. Транслитерированный текст в списке References необходимо отредактировать и добавить переводы на английский язык; заменить знаки «:», «/» и «//» на точку или запятую; после транслитерации названия издательства добавить Publ.; вместо *Москва* указать *Moscow*, вместо *Санкт-Петербург* – *Saint-Petersburg*; исправить обозначение страниц: вместо 235 s. – 235 p., вместо S. 45–47 – pp. 45–47; курсивом выделить название источника и название журнала (образец оформления см. ниже).

22. Через один интервал дополнительные сведения об авторе (авторах), инициалы разделяют пробелом (слева без отступа, дублируют на английском языке: ученая степень, звание, должность и др. (см. в образце оформления статьи ниже).

23. Сведения о дате поступления рукописи в редакцию, дате одобрения после рецензирования и дате принятия статьи к опубликованию.

24. Знак охраны авторского права приводят по ГОСТ Р 7.0.1 внизу первой полосы статьи с указанием фамилии и инициалов автора (авторов) или других правообладателей и года публикации статьи.

Образцы оформления списка источников

Монография

1. Агеев В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: монография. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. 106 с.

2. Ториков В. Е., Мельникова О. В., Ториков В. В. Выращивание ярового ячменя на крупяные, пивоваренные и кормовые цели на юго-западе Центрального региона России: монография. Брянск: Изд-во БГСХА, 2014. 90 с.

Книга

Книга одного – трех авторов

1. Новикова А. М. Универсальный экономический словарь. Москва: Экономика, 1995. 135 с.

2. Сидоркина А. Н., Сидоркин В. Г. Биохимические аспекты травматической болезни и ее осложнений. Москва: ЭкоТрендз, 2010. 315 с.

3. Тарасевич Л. С., Гребенников П. И., Леусский А. И. Макроэкономика: учебник. Москва: Высш. образование, 2011. 658 с.

4. Максименко В. Н., Афанасьев В. В., Волков Н. В. Защита информации в сетях сотовой подвижной связи / под ред. О. Б. Макаревича. Москва: Горячая линия-Телеком, 2009. 360 с.

Книга четырех и более авторов

Описание начинается с основного заглавия. В сведениях об ответственности указываются либо все авторы, либо первый автор с добавлением в квадратных скобках сокращения [и др.].

1. Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др.]. Санкт-Петербург: Эксмо, 1996. 496 с.

2. История России в новейшее время: учебник / А. Б. Безбородов, Н. В. Елисеева, Т. Ю. Красовицкая, О. В. Павленко. Москва: Проспект, 2014. 440 с.

Книги, не имеющие индивидуальных авторов

1. Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. 2-е изд., доп. Москва: Высшая школа, 1995. 347 с.

2. Правильное питание: справочник. Москва: Эксмо, 2008. 704 с.

3. Кормопроизводство в России: всероссийский сб. науч. ст. Вып. 3. Казань; Санкт-Петербург, 2007. 268 с.

Отдельный том многотомного издания под общим заголовком

1. Пальцев М. А., Аничков М. Н. Патологическая анатомия: в 2 т. Москва: Медицина, 2001. Т. 2, ч. 1. 736 с.

Глава из книги (сборника)

1. Макушин В. Д., Волокитина Е. А. Причины неудач и осложнений при выполнении опорных остеотомий с применением аппарата Илизарова // Лечение врожденного вывиха бедра у взрослых / под ред. В. И. Шевцова, В. Д. Макушина. Курган, 2004. Гл. 8. С. 372–402.

2. Белоус Н. М. Храня теплую память о прошлом // Великая Отечественная война 1941–1945 гг. в истории моей семьи: сборник статей / под общей редакцией Р. В. Новожеева. Брянск: Изд-во БГАУ, 2015. С. 4–5.

Книги в интернете

Книги одного – трех авторов

1. Карпенков С. Х. Экология: учебник. Электрон. текстовые данные. Москва: Логос, 2014. 400 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/21892>. ЭБС «IPRbooks» (дата обращения: 15.12.2007).

Книги четырех и более авторов

1. Сборник задач по аналитической геометрии и линейной алгебре: учеб. пособие / Л. А. Беклемишева [и др.]; под ред. Д. В. Беклемишева. Электрон. текстовые данные. Изд. 3-е, испр. Санкт-Петербург: Лань, 2008. URL: <http://e.lanbook.com/view/book/76/> (дата обращения: 15.12.2007).

Статья в журнале

Статья одного – трех авторов

1. Толкачева О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов // Рыбная промышленность. 2006. № 2. С. 14–16.

2. Байдалинова Л. С., Андропова С. В. Перспективы использования растительных антиокислителей для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот // Известия Калининградского государственного технического университета. 2013. № 29. С. 74–80.

Статья четырех и более авторов

Описание начинается с основного заглавия. В сведениях об ответственности указываются либо все авторы, либо первый автор с добавлением в квадратных скобках сокращения [и др.]

1. Сверхширокополосные сигналы для беспроводной связи / Ю. В. Андреев, А. С. Дмитриев, Л. В. Кузьмин, Т. И. Мохсени // Радиотехника. 2011. № 8. С. 83–90.

2. Клинико-физиологические составляющие врожденной косолапости / Ю. И. Клычкова [и др.] // Травматология и ортопедия России. 2008. № 3. С. 35–38.

Статья в электронном журнале

1. Белоус Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электронный

научный журнал. 2006. № 4. URL:
http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров

1. Авдеева Е. В., Евдокимова Е. Б., Заостровцева С. К. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. Казань, 2013. С. 52–56.
2. Александров Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов // Инновации в науке, образовании и бизнесе-2013: XI Междунар. научн. конф. (25–27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО «КГТУ». Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. Ч. 2. С. 29–32.

Статья на английском или немецком языке

Для иностранных журналов том обозначается *V.* (англ.) или *Bd.* (нем.), страницы – *P.* или *S.*

1. Neurology control of locomotion in *C.Elegans* in modified by a dominant mutation in the GLR-1 ionotropic glutamate receptor / Yi Zheng et al. // *Neuron*. 1999. V. 24. N 2. P. 347–361.
2. Mank R., Kala H., Strube M. Darstellung und Testung von Polymerpharmaka // *Die Pharmazie*. Bd. 43. N 10. S. 692–693.

Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10: утв. 15.07.02. Москва, 1999. 138 с.
2. Назаров И. Г. Развитие коммуникативной компетентности социальных педагогов села в процессе дополнительного профессионального образования: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08 . Москва, 2002. 24 с.

Переводная книга

1. Себехей В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / пер. с англ. под ред. Г. Н. Дубошина. М.: Наука, 1982. 656 с. [Victor G. Szebehely. *Theory of Orbits: the Restricted Problem of Three Bodies*. New York: Academic Press, 1967].

2. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных / пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. 1024 p.].

Электронный ресурс локального доступа

1. Смирнов А. И. Информационная глобализация и Россия [Электронный ресурс]: вызовы и возможности. Москва, 2005. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

2. Техника спинальной анестезии [Электронный ресурс] / под ред. Е. М. Шифмана. Москва: ИнтелТек, 2005. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Патентные документы

1. Трехфазный асинхронный электрический двигатель: пат. 2128021 Рос. Федерация. № 2011138279/07 / Беляев Е. Ф., Ташкинов А. А., Цылев П. Н.; заявл. 16.09.11; опубл. 27.03.13. Бюл. № 9. 10 с.

Нормативные документы

1. ГОСТ 7.80-2000. Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления. Введ. 2001-07-01. Москва, 2000. 7 с.

2. Типовая инструкция по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике: РД 153-34.0-03.298-2001. Введ. с 01.05.2001. Москва, 2002. 91 с.

Официальные документы

1. О лицензировании отдельных видов деятельности: Федер. закон [принят Гос. Думой 13. 07.2001] // Собрание законодательств РФ. 2001. № 33 (ч. 1). Ст. 3430. С. 127–143.

2. О программе государственных гарантий оказания гражданам Российской Федерации бесплатной медицинской помощи на 2009 год: постановление Правительства Рос. Федерации от 31.12.2008 № 10407-ТГ // Заместитель гл. врача. 2009. № 2. С. 98–105.

3. Инструкция о санитарно-противоэпидемическом режиме больниц: утв. Минздравом СССР от 23.03.76 № 288 // Справочник старшей (главной) медицинской сестры. Изд. 6-е, Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. С. 378–387.

4. Вопросы системы и структуры федеральных органов исполнительной власти (извлечения): указ Президента РФ от 12.05.2008 № 724 // Здравоохранение. 2008. № 7. С. 135–137.

Образцы оформления References

Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniya ryb Kaspiyskogo morya* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.
2. Latyshev V. N. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting]. Ivanovo, Ivanovskiy Gos. Univ., 2009.

Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2008, no. 11, pp. 54–57.
2. Sokolov L. I. Pitanie sibirskogo osetra *Acipenser baerii* Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

1. Ivanova A. E. Problemy smertnosti v regionakh Tsentral'nogo federal'nogo okruga [Problems of mortality in regions of the Central Federal Okrug]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2008, no. 2, available at: <http://sotsial'nye.aspekty.ru/content/view/27/50/> (Accessed 19 September 2008).
2. Antipova L. V., Storublevtsev S. A., Getmanova A. A. Kollagensoderzhashchie napitki dlya funktsional'nogo pitaniya [Collagen drinks for functional nutrition]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2018, vol. 80, no. 3 (77), available at: <http://vestnik.voronezh.ru/content/view/54/30/> (Accessed 19 September 2008).

Статья, опубликованная в материалах конференций

1. Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Диссертация и автореферат

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy ochistki stochnykh vod i prirodnykh ob"ektov ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i nefteproduktov. Diss. dokt. biol. nauk* [Biological and technical aspects of microbial purification of sewage and nature objects from surface-active substances and oil products. Dis. dr. biol. sci.]. Saint-Petersburg, 2000, 360 p.

2. Dolganova N. V. *Razrabotka ekologicheskii chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

Переводная книга

1. Timoshenko S. P., Yound D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenerenom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

Патентные документы

1. Belyaev E. F., Tashkinov A. A., Tsylev P. N. *Trekhfaznyy asinkhronnyy elektricheskiy dvigatel'* [Three-phase asynchronous electric motor]. Patent RF, no. 2011138279/07, 2013.

Нормативные документы

1. State Standard 8.586.5–2005. *Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices*. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ С ОДНИМ АВТОРОМ

Научная статья

УДК

DOI (далее вписывает редакция)

Экология и региональная политика энергосбережения

Сергей Юрьевич Глазьев

Аграрный научный центр «Донской», Ростовская область, Зерноград, Россия, serg1784@mail.ru, ORCID (при наличии)

В случае, когда автор работает (учится) в нескольких организациях (учреждениях), сведения о каждом месте работы (учебы) указывают после имени автора на разных строках и связывают с именем с помощью цифр:

Александр Васильевич Попов^{1,2}

¹Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамалеи, Москва, Россия, popov@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-1288-7561>

²Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, Москва, Россия

Аннотация. В статье представлена динамика урожайности зерна кукурузы в России и Ростовской области. Определено, что наибольшее количество гибридов кукурузы возделывалось...

Ключевые слова: кукуруза, урожайность, сортовая структура, сортосемена

Благодарности (если есть): автор выражает благодарность Алексею Вадимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом море (или: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 17-77-3019).

Финансирование (если есть):

Для цитирования: Глазьев С. Ю. Экология и региональная политика энергосбережения // Известия КГТУ (далее вписывает редакция)

Original article

Ecology and regional energy conservation policy

Sergey Yu. Glaz'ev (транслитерация, см. п. 18 выше)

Agricultural Research Center "Donskoy", Rostov region, Zernograd, Russia (на английском языке), serg1784@mail.ru, ORCID (при наличии)

Abstract.

Keywords:

Acknowledgments: the author is grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea (or: the work was carried out within the framework of project Nr 17-77-30019 supported by Russian Science Foundation).

Funding (если есть):

For citation: Glaz'ev S. Yu. Ecology and regional energy conservation policy. *Izvestiya KGTU = KSTU News* (далее вписывает редакция).

ТЕКСТ СТАТЬИ

Список источников

References

Информация об авторе

С. Ю. Глазьев – доктор экономических наук, профессор, академик Российской академии наук

Information about the author

S. Yu. Glaz'ev – Doctor of Science (Economy), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences

Статья поступила в редакцию; одобрена после рецензирования; принята к публикации (дату вписывает редакция)

The article was submitted; approved after reviewing; accepted for publication

В конце указывают номер телефона автора, с которым можно снять вопросы по тексту. Телефон не будет опубликован.

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ С НЕСКОЛЬКИМИ АВТОРАМИ

Научная статья

УДК

DOI (далее вписывает редакция)

Дистанционное высшее образование в условиях самоизоляции и проблема институциональных ловушек

Владимир Викторович Вольчик¹, Игорь Михайлович Ширяев²

^{1, 2}Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

¹volchik@sfedu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

²shiryaev@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1820-8710> (если есть)

Возможно приведение электронного адреса только одного автора, с которым планируется переписка. В этом случае электронные адреса других авторов приводят в дополнительных сведениях об авторах в конце статьи.

Аннотация. В целях определения основных закономерностей возникновения и усиления институциональных ловушек, возникающих в условиях режима самоизоляции в системе высшего образования, авторами были проанализированы нарративы и глубинные интервью основных акторов. Дистанционное образование не является полноценной заменой образования в традиционной форме, затрудняет передачу неявного знания, контроль и обратную связь при обучении, неоднозначно влияет на издержки образовательной деятельности, не позволяет полагаться на надежность информационно-коммуникационных технологий...

Ключевые слова: экономика, управление народным хозяйством, институциональная экономика, дистанционное образование, цифровизация образования, высшее образование, самоизоляция, институциональные ловушки

Благодарности (если есть): авторы выражают благодарность Алексею Вадимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом море (или: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 17-77-3019).

Финансирование (если есть):

Для цитирования: Вольчик В. В., Ширяев И. М. Дистанционное высшее образование в условиях самоизоляции и проблема институциональных ловушек // Известия КГТУ (далее вписывает редакция)

Original article

Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps

Vladimir V. Volchik¹, Igor' M. Shiryaev² (транслитерация, см. п. 18 выше)

^{1,2}Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

¹volchik@sfn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

²shiryaev@sfn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1820-8710> (если есть)

Abstract. To determine the main patterns of emergence and strengthening of institutional traps that arise under self-isolation in the higher education system, the authors analyzed the narratives and in-depth interviews of the main actors. Distance education is not a full-fledged substitute for the traditional education, as it impedes the transfer of implicit knowledge, control and feedback during training, ambiguously influences the costs of educational activities, and does not allow relying on the reliability of information and communication technologies. Transition to distant education can be interpreted as a new stage of evolution of the institutional trap of electronization and digitalization.

Keywords: economics, national economy management, institutional economics, distance education, digitalization of education, higher education, self-isolation, institutional traps

For citation: Volchik V. V., Shiryaev I. M. Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps. *Current Problems of Economics and Law*. 2020;14(2):236-248. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.2.235-248>.

Acknowledgments: the author is grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea (or: the work was carried out within the framework of project Nr 17-77-30019 supported by Russian Science Foundation).

Funding (если есть):

For citation: Volchik V. V., Shiryaev I. M. Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps. *Izvestiya KGTU = KSTU News* (далее вписывает редакция).

ТЕКСТ СТАТЬИ

Список источников

References

Информация об авторах

В. В. Вольчик – доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Политология»

И. М. Ширяев – доктор социологических наук, профессор

Information about the authors

V. V. Volchik – Doctor of Science (Sociology), Professor, Head of the Department of Politology

I. M. Shiryaev – Doctor of Science (Sociology), Professor

Статья поступила в редакцию; одобрена после рецензирования; принята к публикации (дату вписывает редакция)

The article was submitted; approved after reviewing; accepted for publication

В конце указывают номер телефона автора, с которым можно снять вопросы по тексту. Телефон не будет опубликован.

Адрес редакции:

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,
Калининградский государственный технический университет

Тел. (4012) 99-59-74

E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru

<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915
от 22.12.2011 г.

Подписной индекс 83871 в Объединенном каталоге «Пресса России»,
цена свободная

Редактор С. В. Супрунова

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Лицензия № 05609 от 14.08.2001
Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Подписано в печать 28.07.2023. Выход в свет 01.08.2023. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 22,5. Уч.-изд. л. 15,2. Тираж 1000 экз. Заказ № 37.

В № 68 на стр. 128 (статья «Динамика отражения оксида тулия в комплексе с оксидами иттербия и висмута в видимом диапазоне длин волн», авторы Артамонов Д. А., Цибульникова А. В., Слежкин В. А.) пропущено:

Благодарности: Данное исследование было поддержано из средств программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» БФУ им. И. Канта.