

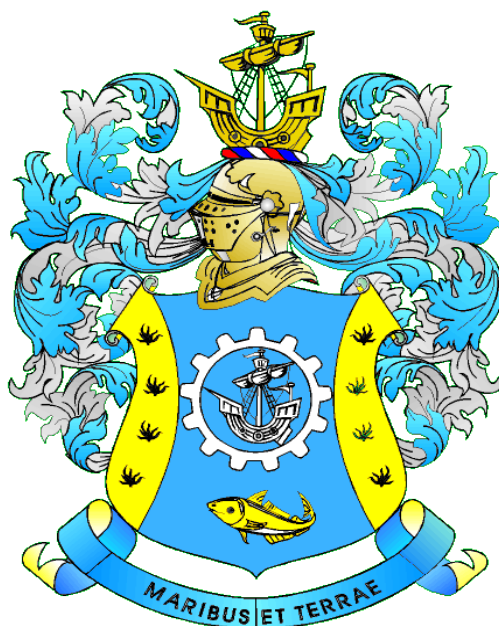
ИЗВЕСТИЯ КГТУ

2024

№ 74

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.

Редакционная коллегия:

Главный редактор: Н. А. Кострикова, канд. физ.-мат. наук, доц., проректор по научной работе;

Заместитель главного редактора: В. А. Наумов, д-р техн. наук, проф. кафедры техносферной безопасности и природообустройства.

Члены редакционной коллегии:

О. В. Агеев, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры инжиниринга технологического оборудования, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

И. С. Александров, д-р техн. наук, доц., директор Института морских технологий, энергетики и строительства, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

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

О. А. Анциферова, д-р с.-х. наук, доц., проф. кафедры агрономии и агроэкологии, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

А. Г. Архипов, д-р биол. наук, доц., научный координатор, Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), г. Калининград, Россия;

О. О. Бабич, д-р техн. наук, доц., директор Института живых систем, Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия;

А. С. Баркова, д-р вет. наук, доц., заведующая кафедрой производства и экспертизы качества сельскохозяйственной продукции, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

О. М. Бедарева, д-р биол. наук, проф., заведующая кафедрой агрономии и агроэкологии, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

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

В. В. Брюханов, д-р физ.-мат. наук, проф., ведущий научный сотрудник НОЦ «Фундаментальная и прикладная фотоника. Нанопотоника», Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия;

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

Н. Л. Великанов, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой судостроения, судоремонта и морской техники, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

В. В. Верхотуров, д-р биол. наук, проф., директор Института агроинженерии и пищевых систем, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

А. А. Герасимов, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры строительства, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

В. И. Гнатюк, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры энергетики, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

Е. М. Грамузов, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры кораблестроения и авиационной техники, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия;

В. В. Дорофеева, д-р экон. наук, проф., заведующая кафедрой менеджмента, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

Л. С. Дышлок, д-р техн. наук, доц., старший научный сотрудник, Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия;

С. В. Дятченко, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры судостроения, судоремонта и морской техники, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

А. В. Иванов, д-р экон. наук, проф., проф. кафедры менеджмента, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

И. П. Корнева, канд. техн. наук, доц., проф. кафедры физики, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

О. В. Кригер, д-р техн. наук, доц., проф. Института живых систем, Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия;

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

С. Н. Лябзина, д-р биол. наук, доц., проф. кафедры зоологии и экологии, Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия;

О. Я. Мезенова, д-р техн. наук, проф., заведующая кафедрой пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

А. Г. Мнацаканян, д-р экон. наук, проф., директор Института отраслевой экономики и управления, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

А. Б. Муромцев, д-р вет. наук, проф., Калининградский институт переподготовки кадров агробизнеса, г. Калининград, Россия;

Е. Н. Науменко, д-р биол. наук, доц., проф. кафедры водных биоресурсов и аквакультуры, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

Никитас Никитакос, проф., Морская академия, г. Шарджа, Объединенные Арабские Эмираты;

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

А. И. Притыкин, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры строительства, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

Л. И. Сергеев, д-р экон. наук, проф., заведующий кафедрой экономической теории и инструментальных методов, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

Н. Я. Синявский, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой физики, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

В. А. Слежкин, канд. хим. наук, доц., доц. кафедры химии, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

А. В. Снытников, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры прикладной информатики, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

Т. Е. Степанова, д-р экон. наук, проф., заведующая кафедрой экономической безопасности, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

С. В. Супрунова, выпускающий редактор;

В. И. Сутырин, д-р техн. наук, доц., проф. образовательно-научного кластера «Институт высоких технологий», Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия;

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

Е. В. Ульрих, д-р техн. наук, доц., заместитель директора Института агроинженерии и пищевых систем по научной и международной деятельности, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

С. В. Федоров, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой теории механизмов и машин и деталей машин, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

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

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», 2024



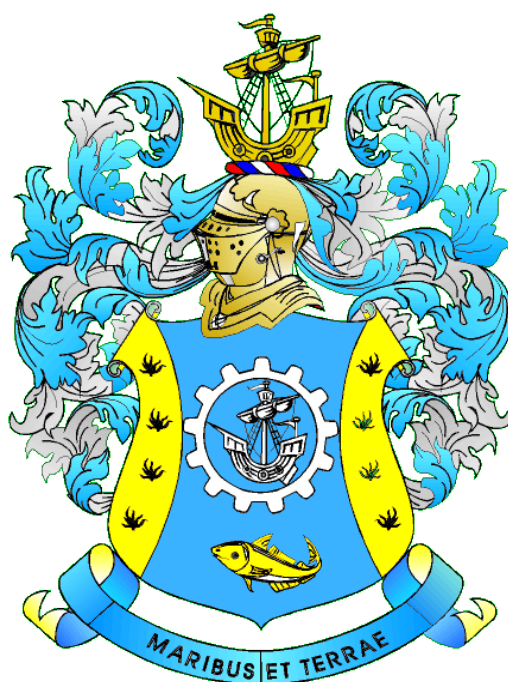
KSTU NEWS

2024

№ 74

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>Гвоздарева М. А., Мельникова А. В.</i> Характеристика планктонных и донных беспозвоночных Камского плеса Куйбышевского водохранилища	11
<i>Каньшина А. С., Белых О. А.</i> Перспективы применения сорбента на основе коллагенового волокна из гидробионтов	25
<i>Челядинова Т. В., Грибуст И. Р., Сагалаев В. А., Зорькина О. В.</i> Оценка разнообразия древесных растений и состояния преобладающих видов в городских овражно-балочных насаждениях г. Волгограда	35

Техника и технология пищевых производств

<i>Альшевский Д. Л., Альшевская М. Н.</i> Разработка рецептуры имитационного шпика на основе жиросодержащих компонентов утки для использования в технологии рийетов	51
<i>Ковалева Е. Д., Ключко Н. Ю., Позднякова Д. А.</i> Совершенствование рецептуры и установление срока годности специализированного хлебобулочного изделия пониженной влажности для детей школьного возраста	64
<i>Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В., Киселев Е. Г., Жила Н. О., Дамбарович Л. В.</i> Оценка потенциала липидов вторичного рыбного сырья в качестве биотехнологического субстрата для синтеза целевых продуктов	78
<i>Винокур М. Л., Андрюхин А. В., Галдукевич В. А., Морозов И. О., Шадрин Н. В.</i> Использование пищевых добавок для снижения потерь каротиноидов в рыбных полуфабрикатах, обогащенных крилевым жиром	92
<i>Чернега О. П., Воробьев В. И.</i> Перспективы применения рыбных коллагенсодержащих добавок при получении мясных полуфабрикатов в тестовой оболочке	106

Судостроение, машиностроение и энергетика

<i>Глушков А. Д., Синявский Н. Я., Кострикова Н. А.</i> Поверхностное натяжение свежих и отработанных судовых моторных масел	123
<i>Романюта Д. А., Ариенчук А. С.</i> К вопросу об определении прогибов гребных валов	136

CONTENT

Biology, ecology and fisheries

<i>Gvozdareva M. A., Melnikova A. V.</i> Characteristics of planktonic and benthic invertebrates of the Kama reach of the Kuibyshev reservoir	11
<i>Kanshina A. S., Belykh O. A.</i> Prospects for the use of a sorbent based on collagen fiber from hydrobionts	25
<i>Chelyadinova T. V., Gribust I. R., Sagalayev V. A., Zorkina O. V.</i> Assessment of the diversity of woody plants and the status of the prevailing species in urban ravine plantations of Volgograd	35

Processes and technology of food manufacturing

<i>Alshevskiy D. L., Alshevskaya M. N.</i> Development of a recipe for imitation lard based on fat-containing components of duck for use in rillettes technology	51
<i>Kovaleva E. D., Klyuchko N. Yu., Pozdnyakova D. A.</i> Improving the formulation and setting the shelf life of a specialized bakery product with low humidity for school-age children	64
<i>Mezenova O. Ya., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Kalinina N. S., Volkov V. V., Kiselev E. G., Zhila N. O., Dambarovich L. V.</i> Assessment of the potential of lipids of secondary fish raw materials as a biotechnological substrate for the synthesis of target products	78
<i>Vinokur M. L., Andryukhin A. V., Galdukevich V. A., Morozov I. O., Shadrina N. V.</i> The use of food supplements to reduce the loss of carotenoid in fish products enriched with krill oil	92
<i>Chernega O. P., Vorobev V. I.</i> Prospects for the use of fish collagen-containing additives in the preparation of meat semi-finished products in dough casings	106

Shipbuilding, machine manufacturing and power engineering

<i>Glushkov A. D., Sinyavsky N. Ya., Kostrikova N. A.</i> Surface tension of fresh and used marine motor oils	123
<i>Romanyuta D. A., Arienchuk A. S.</i> On the issue of determining propeller shaft deflections	136

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Научная статья

УДК 574.52

DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-11-24

Характеристика планктонных и донных беспозвоночных Камского плеса Куйбышевского водохранилища

Маргарита Андреевна Гвоздарева¹, Анна Валерьевна Мельникова²

^{1, 2} Татарский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Казань, Россия

¹ Rita_6878@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1483-1652>

² d.bugensis@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7915-5950>

Аннотация. В данной работе приводятся современные данные по таксономическому составу и количественным показателям зоопланктонного и зообентосного сообществ Камского плеса Куйбышевского водохранилища (в пределах Республики Татарстан) за период с 2017 по 2022 гг. По результатам проведенных исследований зоопланктон и зообентос на рассматриваемой акватории были представлены 127 и 124 таксономическими единицами, из которых к чужеродным относились 22 и 26 видов, соответственно. Среди планктонных беспозвоночных коловратки преобладали как по видовому разнообразию, так и по численности, а по биомассе – ветвистоусые ракообразные. Отряд Diptera вносил значительный вклад в формирование видового богатства зообентоса, по численности доминировали ракообразные, а по биомассе – моллюски. Структурообразующими видами на данной акватории выступали коловратки *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850) и *Brachionus angularis* (Gosse, 1851), ветвистоусые рачки *Bosmina (Bosmina) longirostris* (O.F. Müller, 1785) и *Daphnia galeata* (Sars, 1863), бокоплав *Chelicorophium sowinskyi* Martynov, 1924 и моллюск *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897). Роль чужеродных видов в количественных показателях зоопланктона была незначительна, тогда как в бентосе они преобладали над аборигенными. Анализ структурных показателей планктонных и донных сообществ выявил, что их видовое разнообразие характеризовалось сравнительно невысокими значениями как по численности, так и по биомассе. При этом компоненты сообществ в целом развивались равномерно, о чем свидетельствуют полученные значения индекса выравненности. Экологическое состояние по рассматриваемым группам гидробионтов оценивалось как переходное от благополучного к стрессовому.

Ключевые слова: зоопланктон, зообентос, таксономический состав, численность, биомасса, встречаемость, структурные показатели, чужеродные виды.

Для цитирования: Гвоздарева М. А., Мельникова А. В. Характеристика планктонных и донных беспозвоночных Камского плеса Куйбышевского водохранилища // Известия КГТУ. 2024. № 74. С. 11–24. DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-11-24.

Original article

Characteristics of planktonic and benthic invertebrates of the Kama reach of the Kuibyshev reservoir

Margarita A. Gvozdareva¹, Anna V. Mel'nikova²

^{1,2}Tatar branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography,
Kazan, Russia

¹ Rita_6878@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1483-1652>

² d.bugensis@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7915-5950>

Abstract. The work provides up-to-date data on the taxonomic composition and quantitative indicators of zooplankton and zoobenthos communities of the Kama Reach of the Kuibyshev reservoir (within the Republic of Tatarstan) for the period from 2017 to 2022. According to the results of the conducted studies, zooplankton and zoobenthos in the considered water area were represented by 127 and 124 taxonomic units, of which 22 and 26 species were alien, respectively. Among planktonic invertebrates, rotifers prevailed both in species diversity and in numbers, and branched crustaceans in biomass. Diptera made a significant contribution to the formation of the species richness of zoobenthos, crustaceans dominated in number, and mollusks dominated in biomass. The structure-forming species in this water area were Rotifera *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850) and *Brachionus angularis* (Gosse, 1851), Cladocera *Bosmina (Bosmina) longirostris* (O.F. Müller, 1785) and *Daphnia galeata* (Sars, 1863), Amphipoda *Chelicorophium sowinskyi* Martynov, 1924 and the mollusk *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897). The role of alien species in quantitative indicators of zooplankton was insignificant, whereas in benthos they prevailed over native ones. An analysis of the structural indicators of planktonic and bottom communities revealed that their species diversity was characterized by relatively low values, both in abundance and biomass. At the same time, the components of communities as a whole developed equally, as evidenced by the obtained values of the equalization index. The ecological state of the considered groups of aquatic organisms was assessed as transitional from prosperous to stressful.

Keywords: zooplankton, zoobenthos, taxonomic composition, abundance, biomass, occurrence, structural indicators, alien species.

For citation: Gvozdareva M. A., Melnikova A. V. Characteristics of planktonic and benthic invertebrates of the Kama reach of the Kuibyshev reservoir. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(74):11–24. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-11-24.

ВВЕДЕНИЕ

Куйбышевское водохранилище расположено в долинах рек Волги и Камы [1], представляет собой шестую ступень Волжского каскада, заполнение которого происходило с 1955 по 1957 гг. после перекрытия р. Волги плотиной Волжской ГЭС имени В. И. Ленина [2]. Акваторию водохранилища подразделяют на восемь плесов [1, 3], из которых в данной работе был рассмотрен Камский.

Камский плес включает предустьевой участок р. Камы, связывающий между собой Нижнекамское и Куйбышевское водохранилища. Рассматриваемая аква-

тория характеризуется широкой и разнообразной поймой, а на русловом участке частично сохраняется речной режим [4]. В верховье Камского плеса за счет поступления более холодных русловых водных масс р. Белой и Камы зоопланктон характеризуется реофильными чертами, где преобладают в основном коловратки [5]. Все вышеизложенное, несомненно, сказывается на формировании качественных и количественных показателей сообществ гидробионтов данного участка. Так, еще в 1970-х гг. было отмечено влияние зоопланктонных организмов р. Камы на структуру сообществ Волго-Камского плеса и нижележащих участков Куйбышевского водохранилища [6, 7].

Фауны донных и планктонных беспозвоночных Камского плеса мало изучены [3, 7, 8]. Представленные в литературе данные по зоопланктону основывались только на разовых исследованиях, проводимых в летний период 2017 г. научными сотрудниками Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (ИБВВ РАН) [7] и Института проблем экологии и недропользования (ИНЭП АН РТ) [8]. Информация по зообентосу ограничивалась лишь материалами по инвазионным видам [9, 10]. Результаты исследований авторов пополняют информацию о современном состоянии планктонных и бентосных сообществ Камского плеса Куйбышевского водохранилища и могут стать основой для прогноза продукционных возможностей и биоинвазионных процессов на данном участке акватории.

Цель работы – изучить качественные и количественные показатели зоопланктона и зообентоса, их распределение на мелководных и русловых участках Камского плеса Куйбышевского водохранилища по данным 2017–2022 гг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для публикации послужили данные комплексных гидробиологических работ, проведенных в период с 2017 по 2022 гг. на Камском плесе Куйбышевского водохранилища. Сбор проб осуществляли на прибрежных (левый и правый берега) и русловой станциях трех разрезов: 1) у нп Троицкий Урай, 2) у пристани нп Берсут, 3) у устья р. Вятки (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема расположения разрезов на Камском плесе Куйбышевского водохранилища

Fig. 1. A schematic map of the sections on the Kama Reach of the Kuibyshev reservoir

Выбор мест сбора обусловлен их абиотическими характеристиками. Акватория у нп Троицкий Урай расположена в нижней части Камского плеса, характеризуется илисто-песчаным типом грунта, глубина на прибрежных участках в среднем составляет 4,0 м, а на глубоководных – 13,6 м. Участок у пристани нп Берсут – практически центральная часть плеса, тип грунта песчаный с разной степенью заиленности, глубины у побережья в среднем 3,1 м, а на русле – 13,0 м. Разрез у устья р. Вятки является верхним участком Камского плеса, после которого заканчивается подпор Куйбышевского водохранилища на р. Каме. Он характеризуется песчаным типом грунта со средними глубинами на прибрежных участках 2,8 м и русле – 11,4 м.

Пробы зоопланктона отбирали тотально, путем облова сетью Джеди (диаметр верхнего кольца 12 см, мельничный газ № 76) от дна до поверхности. Фиксировали пробы 40 % раствором формалина. Сбор материала донной фауны осуществляли дночерпателем Петерсена и коробчатым автоматическим дночерпателем «ДАК» (площадь захвата которых $1/40 \text{ м}^2$) в двухкратной повторности на каждой станции. Отобранный грунт промывали через сито (размер ячеек 0,27–0,33 мм), пробы фиксировали 96 % раствором спирта. Всего было собрано и обработано около 65 проб зоопланктона и 160 – зообентоса.

Обработку материала выполняли в лабораторных условиях в соответствии с общепринятыми в гидробиологии методами [11–13]. Для оценки сходства видового состава сообществ по участкам применяли коэффициент Т. Сьеренсена. В работе были проанализированы индексы видового разнообразия Шеннона, рассчитанные по численности (H_N) и биомассе (H_B), видового богатства сообщества Менхиника (d), основанные на учете числа видов в отдельных пробах к количеству особей, и выравненности Пиелу (e) [14–17]. Для выявления комплекса доминирующих видов использовали индекс Палия–Ковнацки, согласно которому у доминантов значения находились в пределах $10 < Di < 100$, у субдоминантов – $1 < Di < 10$, у субдоминантов первого порядка – $0,1 < Di < 1,0$ и у второстепенных – $0,01 < Di < 0,1$ [14]. Дополнительно были рассчитаны индексы доминирования Id [15] и Арнольди в модификации Г. Х. Щербины (A), где k доминантным видам или таксонам относили тех, у которых значение $A > 10 \%$ [16].

Оценка общего экологического состояния (благополучия) сообществ осуществлялась по индексу преобладающей жизненной стратегии или экологического благополучия, предложенному С. Г. Денисенко (De) [18]. Его значения изменяются от -1 (состояние полного отсутствия стресса, выражающееся преобладанием в сообществе k -жизненной стратегии) до $+1$ (максимально-возможный уровень стресса, приводящий к полному преобладанию в сообществе видов с r -жизненной стратегией).

Достоверность распределения количественных показателей и значений рассматриваемых индексов по участкам определяли с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA & Tukey's HSD test) с преобразованием данных в нормальное распределение по формуле $\log_{10}(x+1)$ в программе STATISTICA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На исследуемом участке водохранилища было выявлено 127 таксонов зоопланктона (из них 117 идентифицированы рангом до вида), которые относились к

типам Rotifera (63) и Arthropoda (64). Фауна Rotifera включала 12 семейств (сем.), среди которых наиболее богато представлены Brachionidae (21), Synchaetidae (11), Lecanidae (7), Trichocercidae (6). Тип Членистоногие объединил представителей из групп Cladocera (40) и Copepoda (24). Ветвистоусые ракообразные были представлены десятью семействами, среди которых по составу доминировали Chydoridae (12), Daphniidae (8) и Bosminidae (6). К веслоногим ракообразным относились 2 отряда – Cyclopiformes (подсемейство (п/сем.) Eucyclopinae (2), Cyclopinae (13), Halicyclopinae (2)) и Calaniformes (п/сем. Diaptominae (1), сем. Pseudodiaptomidae (1) и Temoridae (5)).

Из выявленного состава зоопланктона 22 вида относились к чужеродным для данного водоема, т. е. находящимся за пределами своего исторического ареала [19]: *Brachionus budapestinensis* Daday, 1885, *B. diversicornis* (Daday, 1883), *Conochiloides coenobasis* Skorikov, 1914, *Conochilus unicornis* Rousselet, 1892, *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), *Polyarthra major* Skorikov, 1896, *Bosmina (Eubosmina) coregoni* (Baird, 1857), *B. (E.) crassicornis* Lilljeborg, 1887, *B. (E.) longispina* (Leydig, 1860), *Bytotrephes × hybridus* (род *Bytotrephes* широко распространен и образует популяции гибридных форм), *Cornigerius maoticus* (Pengo, 1879), *Daphnia cristata* Sars, 1862, *Limnospida frontosa* Sars, 1862), *Acantocyclops americanus* (Marsh, 1893), *Calanipeda aquaedulcis* Kritschagin, 1873, *Cyclops kolensis* Lilljeborg, 1901, *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863), *Eurytemora caspia* Sukhikh et Alekseev, 2013, *Halicyclops longispinosus* Monchenko, 1974, *H. neglectus* Kiefer, 1935, *Heterocope appendiculata* Sars, 1863, *H. caspia* Sars, 1897. Перечисленные виды являются представителями южной и северной фаун в равных долях.

Удельное разнообразие зоопланктона составило 15 ± 1 таксонов на пробу, основу которого формировали представители группы Rotifera (52 ± 4 % от состава). На долю Cladocera и Copepoda приходилось 30 ± 3 % и 15 ± 2 % соответственно. Высокая встречаемость в пробах отмечалась у *Bosmina (Bosmina) longirostris* (O. F. Müller, 1785) ($P=69$ %).

В августе 2016 г. зоопланктон камской части водохранилища включал 92 таксона с преобладанием в составе коловраток [7]. В нижнем течении Камы и в камском отроге водохранилища регистрировалось присутствие 61 таксона планктонных беспозвоночных, где также доминировали коловратки [8]. Таким образом, полученные нами данные подтверждают существенную роль Rotifera в формировании таксономического разнообразия.

Общая численность и биомасса планктонной фауны с 2017 по 2022 гг. составили $22,45 \pm 5,40$ тыс. экз./м³ и $0,15 \pm 0,03$ г/м³ соответственно. Значения плотности варьировали в диапазоне от 0,01 до 277,62 тыс. экз./м³, биомассы – от $2,21 \times 10^{-6}$ до 0,93 г/м³. Наибольший вклад в суммарные показатели численности вносили коловратки (49 %), а биомассы – крупные ветвистоусые (44 %). Роль вселенцев в формировании количественных характеристик зоопланктона была незначительной (<5 %). В планктонных пробах регистрировались велигеры моллюска *Dreissena* sp. и представители мейобентоса (далее обозначаются как «Прочие»), их доля в количественных показателях не превышала 9 %. Однако в летний период 2017 г. численность зоопланктона камской части водохранилища характеризовалась значением, равным $49,50 \pm 8,01$ тыс. экз./м³, а биомасса – $0,53 \pm 0,12$ г/м³, где доминировали коловратки (38 и 42 % общих значений) и копеподы (40 и 33 %) соответственно [8]. Возможно, выявленные различия в количественных показате-

лях зоопланктона между полученными и литературными данными обусловлены не только большой выборкой материала на протяжении шести лет, но и тем, что пробы были отобраны как на русловых, так и на прибрежных участках плеса.

В период проведения исследований комплекс доминирующих видов, которые играли значительную роль в формировании зоопланктона в камской части водохранилища, по плотности включал *B. (B.) longirostris* ($I_d=2,15$) и *Brachionus angularis* (Gosse, 1851) (2,00), по биомассе – *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850) (1,88) и *Daphnia galeata* (Sars, 1863) (2,11). Индекс Паляя-Ковнацки позволил выделить одного доминанта – *B. angularis* (12,23). Согласно индексу Арнольди в модификации Щербины [16] сообщество доминирующих видов было сформировано *A. priodonta*, *B. (B.) longirostris* (по 15 %) и *D. galeata* (16 %). Таким образом, основную роль в формировании количественных показателей зоопланктонного сообщества Камского плеса играли коловратки *A. priodonta* и *B. angularis* и ветвистоусые рачки *B. (B.) longirostris* и *D. galeata*.

Индекс Шеннона (H_N), рассчитанный по численности зоопланктона (без учета неполовозрелых особей Сорерода и группы «Прочие»), составил $1,98\pm 0,15$ бит/экз., по биомассе (H_B) – $1,74\pm 0,14$ бит/г. Полученные результаты указывают на невысокое разнообразие, что, во-первых, связано с неустойчивым экологическим состоянием рассматриваемого участка Куйбышевского водохранилища, во-вторых, обусловлено размерной структурой планктонных беспозвоночных. В пробах, где преобладали мелкие коловратки, значение индекса было выше, а где крупные ракообразных – ниже.

Индекс Менхиника в среднем составил $0,18\pm 0,02$, а для зоопланктона без учета неполовозрелых особей Сорерода и группы «Прочие» – $0,30\pm 0,03$, что подтверждает превалирование лишь нескольких видов, однако показатели индекса выравненности Пиелу ($0,66\pm 0,03$) указывают на равномерное распределение видов зоопланктона по обилию. Анализ экологического состояния по индексу Денисенко (De) характеризовался значением $-0,10\pm 0,03$, что свидетельствует о пограничном состоянии сообщества между благополучным и стрессовым. Полученные результаты в целом согласуются с другими исследованиями, проведенными на рассматриваемом участке водохранилища ранее. Так, значение H_N по зоопланктону в летний период в 2017 г. составил $2,5\pm 0,1$ бит/экз. и De – $-0,10\pm 0,04$ [8].

Анализ распределения качественных данных зоопланктона между мелководными (106 таксонов) и глубоководными (104) участками не выявил значительных различий. Состав чужеродной фауны также существенно не отличался (22 и 20 видов соответственно). Расчет коэффициента общности видового состава Т. Сьеренсена по биотопам, значение которого составило 3,78, подтверждает высокое сходство фаун обоих участков, однако вселенцы чаще встречались в пробах, отобранных на глубоководных станциях.

На прибрежных участках суммарная численность зоопланктеров характеризовалась большими значениями ($29,77\pm 8,84$ тыс. экз./м³), чем на русловых ($12,42\pm 3,51$ тыс. экз./м³). На участках с глубинами <5 м по численности доминировали представители группы Rotifera, где они были максимально зафиксированы. На русле основу данного показателя помимо коловраток формировали и неполовозрелые Сорерода. Средние значения биомассы планктонных беспозвоночных на обоих участках находились на одном уровне ($0,151\pm 0,037$ и $0,153\pm 0,052$ г/м³ соответственно), где доминировала группа Cladocera, однако на русле за

счет крупных особей *D. galeata* вклад ветвистоусых был несколько выше, чем на мелководье (рис. 2) и дисперсионный анализ выявил достоверное снижение суммарных количественных показателей общего зоопланктона и отдельно группы Rotifera с увеличением глубины (ANOVA: $p < 0,05$).

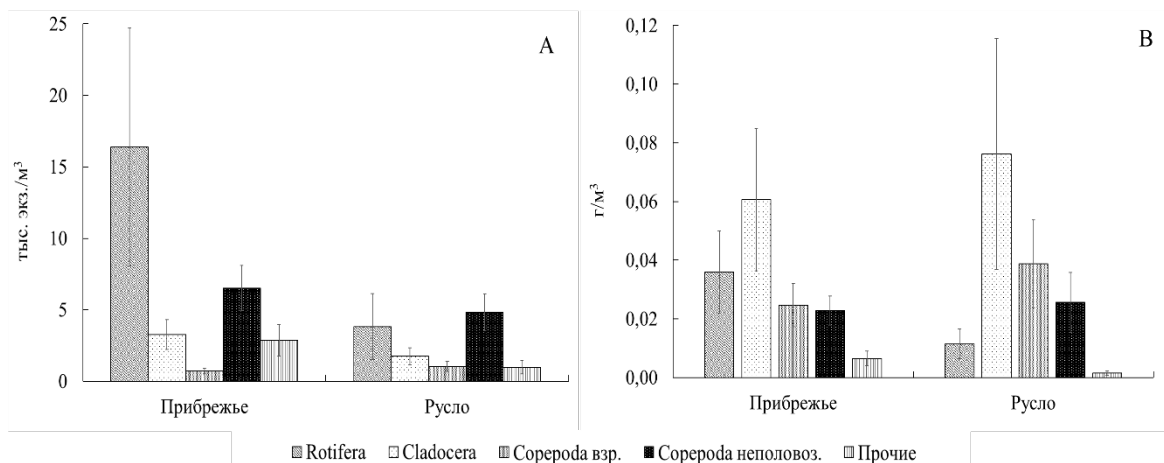


Рис. 2. Распределение средних значений численности (А) и биомассы (В) зоопланктона на прибрежных и русловых участках Камского плеса Куйбышевского водохранилища в 2017–2022 гг.

Fig. 2. Distribution of the average values of the abundance (A) and biomass (B) of zooplankton in the coastal and channel areas of the Kama Reach of the Kuibyshev reservoir in 2017–2022

На русле индекс Шеннона, как по численности ($2,14 \pm 0,20$ бит/экз.), так и по биомассе ($1,89 \pm 0,19$ бит/г), характеризовался большими значениями, чем на прибрежье ($1,87 \pm 0,21$ бит/экз. и $1,62 \pm 0,19$ бит/г соответственно). Однако достоверных отличий однофакторный дисперсионный анализ не выявил (ANOVA: $p > 0,05$). Такой же характер распределения имел индекс Менхиника, на русле его значение в общем составило $0,26 \pm 0,03$ (без учета группы «Прочие» и неполовозрелых Copepoda – $0,47 \pm 0,05$), а на прибрежье – $0,12 \pm 0,01$ ($0,19 \pm 0,02$). Индекс Пиелу на обоих участках Камского плеса соответствовал $0,66 \pm 0,04$. Индекс Денисенко на прибрежье составил $-0,14 \pm 0,05$, а на русле – $-0,08 \pm 0,03$, а это указывает на то, что мелководные участки характеризуются более благоприятными условиями для развития планктонной фауны.

Фауна донных беспозвоночных на акватории Камского плеса Куйбышевского водохранилища в период с 2017 по 2022 гг. была представлена 124 таксонами (из них 99 рангом до вида), которые относились к четырем группам: Nematoda (1), Annelida (Polychaeta – 2, Oligochaeta – 14 и Hirudinea – 6), Mollusca (Bivalvia – 13 и Gastropoda – 8) и Arthropoda (Hydracarina – 1, Ostracoda – 1, Crustacea – 16 и Insecta – 63). Группа ракообразных включала представителей из отрядов Cumacea (3), Isopoda (1) и Amphipoda (11). Насекомые были представлены отрядами Ephemeroptera (4), Plecoptera (1), Odonata (2), Hemiptera (1), Coleoptera (1), Trichoptera (7) и Diptera (47). Основной вклад в таксономическое разнообразие зообентоса вносили двукрылые насекомые, в основном за счет сем. Chironomidae (34 % состава). Большинство обнаруженных таксонов – обычные представители Палеарктики и Голарктики.

Из выявленного состава бентосных беспозвоночных 26 видов относились к чужеродным: полихеты *Hypania invalida* (Grube, 1860) и *Hypaniola kowalewskii* (Grimm, 1877), олигохеты *Potamotheix heuscheri* (Bretscher, 1900) и *P. veidovskyi* Hrabe, 1941, пиявки *Archaeobdella esmonti* Grimm, 1876 и *Caspiobdella fadejewi* (Epstein, 1961), моллюски *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897), *D. polymorpha* (Pallas, 1771), *Lithoglyphus naticoides* (Preiffer, 1828), *Monodacna (Hypanis) colorata* Eichwald, 1829 и *Theodoxus pallasii* Lindholm, 1924, кумовые рачки *Pseudocuma cercaroides* Sars, 1894, *Pterocuma sowinskyi* (Sars, 1894) и *P. pectinata* (Sowinsky, 1893), равноногие ракообразные *Jaera sarsi* Valkanov, 1936, амфиподы *Chelicorophium curvispinum* Sars, 1895, *C. sowinskyi* Martynov, 1924, *Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald, 1841), *D. villosus* (Sowinsky, 1894), *Niphargoides macrurus* (Sars, 1894), *Obesogammarus obesus* (Sars, 1896), *O. crassus* (Sars, 1894), *Pandorites platycheir* (Sars, 1895), *Pontogammarus abbreviatus* (Sars, 1894), *P. robustoides* Sars, 1894 и *Shablogammarus chablensis* (Carausu, 1943). Большинство указанных видов-вселенцев – представители Понто-Каспийского комплекса фаун.

В среднем в одной пробе присутствовало 9 ± 0 таксонов донных беспозвоночных. К «основным» видам зообентоса, частота встречаемости (P) которых составила более 50 %, относились бокоплав *C. sowinskyi*, брюхоногий моллюск *L. naticoides*, олигохета *Limnodrilus* sp. и полихета *H. invalida*. Основная же часть выявленного состава зообентоса (89 %) формировала группу «случайные и редкие» виды.

Суммарная численность макрозообентоса на акватории Камского плеса составила в среднем 6815 ± 903 экз./м², где доминировали ракообразные за счет Amphipoda. Общая биомасса характеризовалась средним значением, равным $372,9 \pm 107,4$ г/м², основу ее формировали моллюски благодаря классу Bivalvia. Роль других групп была незначительной (табл. 1).

Таблица 1. Средние количественные показатели основных групп зообентоса на Камском плесе Куйбышевского водохранилища в 2017–2022 гг.

Table 1. Quantitative indicators of the main groups of zoobenthos on the Kama reach of the Kuibyshev reservoir in 2017–2022.

Группа	Численность		Биомасса	
	экз./м ²	%	г/м ²	%
Nematoda	28±8	0,4±0,1	<0,1	<0,1
Polychaeta	170±30	5,2±1,8	0,7±0,1	3,8±1,0
Oligochaeta	359±33	17,9±1,7	0,9±0,1	9,3±1,4
Hirudinea	17±4	1,8±0,8	0,3±0,1	2,7±1,1
Mollusca	1396±299	19,8±2,0	364,4±107,0	54,4±3,1
Crustacea	4431±733	41,7±3,0	5,2±0,9	24,0±2,7
Hydracarina	25±8	0,7±0,3	<0,1	0,1±0,1
Insecta	391±54	12,5±1,3	1,0±0,4	4,3±0,8

Значительную роль в формировании количественных показателей на данной акватории водохранилища играли чужеродные виды зообентоса, так, в среднем на их долю приходилось по плотности $67,3 \pm 3,2$ % суммарных значений и по биомассе – $80,2 \pm 2,2$ %.

Комплекс доминирующих видов по численности был представлен *C. sowinskyi* ($I_{\bar{d}}=4,92$) и *L. naticoides* (1,60), на долю которых приходилось 63 %

суммарных значений. По биомассе наибольший индекс доминирования наблюдался у *D. bugensis* (2,50) и *L. naticoides* (1,13), их вклад составил 80 % общих значений. Согласно индексу доминирования Паляя–Ковнацки к доминантам был отнесен *C. sowinskyi* ($D_i=36,75$), к субдоминантам – *L. naticoides* (4,15), *D. bugensis* (3,14), *Limnodrilus* sp. (1,35) и *H. invalida* (1,21). Наибольшие значения индекса плотности Арнольди в модификации Г. Х. Щербины [16] наблюдались у *D. bugensis* ($A=28,9$ %), *C. sowinskyi* (14,7) и *L. naticoides* (11,2). Таким образом, на акватории Камского плеса основополагающими видами в формировании количественных показателей зообентоса были *C. sowinskyi* и *D. bugensis*.

Проведя литературный анализ имеющихся источников, можно констатировать, что фауна зообентоса Камского плеса по нашим данным в 2017–2022 гг. представлена более разнообразно. Так, в период с 1958 по 2005 гг. регистрировалось 102 таксона донных беспозвоночных, где основу видового разнообразия формировали моллюски (37,3 % состава) и хирономиды (30,4 %) [2]. По результатам съемки 1998–2009 гг. на исследуемом плесе было выявлено 11 инвазионных видов, из них наиболее часто в пробах встречался моллюск *D. polymorpha* (45,5 %). Основу количественных показателей формировали аборигенные виды, доля вселенцев составляла < 49,0 % суммарных значений [9]. В 2016 г. для Волжско-Камского и Камского плесов описывалось присутствие уже 22 бентосных вселенцев, которые формировали биомассу донных беспозвоночных [10]. В пробах чаще регистрировался *C. curvispinum* (67 %), но в количественном отношении на глубоководных участках преобладал моллюск *D. bugensis*. В 2017 г. в летне-осенний период фауна донных беспозвоночных на Камском плесе насчитывала 27 таксонов, где разнообразно были представлены Diptera. Высокая встречаемость отмечалась для *L. naticoides* и *C. sowinskyi*. Общие показатели численности зообентоса составили 2160 ± 1039 экз./м² (за счет Crustacea), биомассы – $76,9 \pm 63,0$ г/м² (моллюсков и ракообразных) [20]. В последние годы возросла роль инвазионных видов донных беспозвоночных в формировании количественных показателей зообентоса (более 67 % суммарных показателей) по сравнению с началом 2000-х гг.

Среднее значение индекса Шеннона по численности составило $1,76 \pm 0,07$ бит/экз., а по биомассе – $1,20 \pm 0,06$ бит/г. Индекс благополучия Денисенко находился на уровне $-0,19 \pm 0,02$, индекс выравненности – $0,63 \pm 0,02$, индекс доминирования – $0,17 \pm 0,01$. Анализ структуры зообентоса акватории Камского плеса выявил невысокое видовое разнообразие ($H_N < 2$), что указывает на происходящий процесс дестабилизации исследуемого участка водохранилища. Невысокие значения индексов видового богатства, во-первых, объясняются тем, что по численности доминировали два вида – *C. sowinskyi* и *L. naticoides*. Помимо этого, снижение разнообразия обусловлено ухудшением условий обитания, которые связаны с увеличением концентраций загрязняющих веществ органического происхождения и вторичным загрязнением [21]. По данным индекса выравненности на рассматриваемой акватории водоема отмечено одинаковое развитие компонентов донного комплекса. Индекс Денисенко позволил оценить состояние донного сообщества как переходное от экологически благополучного к стрессовому.

Однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA & Tukey's HSD test) выявил достоверное снижение ($p < 0,05$) таксономического разнообразия зообентоса с глубиной (на мелководье – 111 таксонов, на русле – 59). Оценка сходства видового состава донных беспозвоночных по индексу Т. Сьеренсена между двумя уча-

стками соответствовала среднему значению – 1,50. Распределение количества вселенцев по участкам, как и в планктонных сообществах, было одинаковым – по 22 вида, что подтверждается исследованиями, проведенными в верховьях этого водоема [9]. На побережье чаще встречались виды-вселенцы из класса Crustacea (67 %), среди моллюсков – *D. bugensis* и *L. naticoides*, полихет – *H. kowalewskii*.

Численность зообентоса на мелководье (6972 ± 1022 экз./м²) была достоверно больше (ANOVA: $p=0,004$), чем на глубоководье (6551 ± 1718 экз./м²). На обоих участках основу данного показателя формировали преимущественно ракообразные (табл. 2).

Таблица 2. Распределение количественных показателей основных групп зообентоса на акватории Камского плеса Куйбышевского водохранилища в 2017–2022 гг. по участкам

Table 2. Distribution of quantitative indicators of the main groups of zoobenthos in the waters of the Kama reach of the Kuibyshev reservoir in 2017–2022 by site

Группы	Численность, экз./м ²		Биомасса, г/м ²	
	Прибрежье	Русло	Прибрежье	Русло
Nematoda	39±13	9±3	<0,1	<0,1
Polychaeta	147±35	208±55	0,5±0,1	1,1±0,3
Oligochaeta	391±45	303±48	0,8±0,1	1,0±0,2
Hirudinea	13±6	24±6	0,2±0,1	0,5±0,2
Bivalvia	698±272	1317±638	238,0±133,5	539,5±178,0
Gastropoda	721±115	39±10	21,5±4,3	1,5±0,6
Crustacea	4393±921	4495±1219	4,6±1,1	6,4±1,6
Hydracarina	39±12	–*	<0,1	–
Insecta	530±81	156±27	1,6±0,6	0,2±0,04

Примечание. *– не обнаружено.

Основу биомассы зообентоса везде формировали двустворчатые моллюски, однако общее среднее значение рассматриваемого показателя на русле ($550,1 \pm 179,1$ г/м²) было в 2 раза выше, чем на побережье ($267,7 \pm 133,8$ г/м²). Дисперсионный анализ не выявил достоверных отличий по участкам ($p > 0,05$), это связано с тем, что особи *Bivalvia* на мелководье отличались меньшими размерно-весовыми характеристиками.

Количественные показатели групп Nematoda, Gastropoda, Hydracarina и Insecta выше на побережье (ANOVA: $p < 0,05$), тогда как остальные характеризовались максимальным развитием на русле. Дисперсионный анализ показал, что с увеличением глубины значения численности и биомассы пиявок возрастали ($p < 0,02$).

Индексы видового богатства и благополучия донного сообщества на обоих участках изменялись в пределах ошибки и составили на побережье $0,17 \pm 0,01$ и $-0,20 \pm 0,03$ соответственно, на русле – $0,17 \pm 0,01$ и $-0,18 \pm 0,04$. Видовое разнообразие было выше на мелководье (по численности – $1,86 \pm 0,09$ бит/экз. и по биомассе – $1,25 \pm 0,07$ бит/г), чем на русле ($1,58 \pm 0,11$ бит/экз. и $1,12 \pm 0,10$ бит/г соответственно). Значение индекса Пиелу было несколько выше на глубоководном участке ($0,67 \pm 0,03$), чем на побережье ($0,61 \pm 0,02$). Однако дисперсионный анализ не выявил достоверных отличий ($p < 0,05$) значений рассматриваемых индексов по вы-

пеназванным участкам, что указывает на равномерное развитие донной фауны по всей акватории плеса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зоопланктон и зообентос на рассматриваемой акватории Камского плеса Куйбышевского водохранилища в 2017–2022 гг. были представлены 127 и 124 таксонами соответственно. Из общего таксономического списка к вселенцам среди планктонных беспозвоночных относились 22 вида, а среди зообентоса – 26.

Средние значения численности и биомассы по зоопланктону составили $22,45 \pm 5,40$ тыс. экз./м³ (доминировали Rotifera) и $0,15 \pm 0,03$ г/м³ (Cladocera), по бентосу – 6815 ± 903 экз./м² (Crustacea) и $372,9 \pm 107,4$ г/м² (Mollusca) соответственно.

Согласно анализу структурных показателей обоих сообществ видовое разнообразие характеризовалось сравнительно невысокими значениями, но при этом, согласно значениям индекса выравненности, компоненты в целом развивались равномерно. Экологическое состояние зоопланктона и зообентоса по индексу благополучия оценивалось как переходное от благополучного к стрессовому.

Фауна зообентоса на мелководье была представлена разнообразнее, тогда как для планктонных форм беспозвоночных такой особенности не выявлено. Видовое сходство между прибрежьем и руслом для обеих групп гидробионтов по индексу Т. Сьеренсена характеризовалось значениями выше среднего.

Численность зоопланктона была в 2,5 раза выше на мелководьях, чем на русле, тогда как биомасса на указанных участках находилась на одном уровне. Средняя численность зообентоса, как и у зоопланктона, максимальных значений достигала на мелководье, тогда как биомасса на русле была выше в 2 раза. Таким образом, участки с глубинами менее 5 м представляют собой своеобразный биотоп, где формируются благоприятные условия для развития бентосных беспозвоночных, в отличие от русловых участков, характеризующихся наличием больших глубин и течением.

Список источников

1. Куйбышевское водохранилище (Научно-информационный справочник). Тольятти: ИЭВБ РАН, 2008. 123 с.
2. Экология фитопланктона Куйбышевского водохранилища / Отв. ред. С. М. Коновалов, В. Н. Паутова. Л.: Наука, 1989. 304 с.
3. Куйбышевское водохранилище. Л.: Наука, 1983. 214 с.
4. Аристовская Г. В. Формирование бентоса Куйбышевского водохранилища в первые годы после полного затопления водоема // Тр. Тат. Отд. ГосНИОРХ, 1960. Вып. 9. С. 71–105.
5. Горшкова А. Т. Специфика структуры водных экосистем Нижнекамского водохранилища и ее роль в определении экологической ситуации // Сборник научных трудов «Актуальные проблемы гидроэкологии». Казань: Отечество, 2006. С. 174–189.
6. Волга и ее жизнь. Ленинград: Наука, 1978. 348 с.

7. Лазарева В. И. Многолетние изменения состава и обилия зоопланктона водохранилищ р. Камы // Биология внутренних вод. 2020. № 3. С. 260–275.
8. Любин П. А., Зиганшин И. И. Состав и структура зоопланктона как индикатора экологического состояния водной среды низовий р. Камы // Самарский научный вестник. 2020. Т. 9. № 1 (30). С. 66–75.
9. Яковлева А. В., Яковлев В. А. Чужеродные бентосные беспозвоночные в верховьях Куйбышевского водохранилища. Казань: Отечество, 2014. 199 с.
10. Kurina E. M., Seleznev D. G., Sherysheva N. G. Distribution of alien species of macrozoobenthos and the species cenotic complexes in the Kama reservoirs // Russian Journal of Biological Invasions. 2022. V. 13. N 1. P. 64–73.
11. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 239 с.
12. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л., 1982. 33 с.
13. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
14. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
15. Паньков Н. Н. Структурные и функциональные характеристики зообентоценозов р. Сылвы (бассейн Камы). Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2004. 161 с.
16. Щербина Г. Х. Изменение видового состава и структурно-функциональных характеристик макрозообентоса водных экосистем Северо-Запада России под влиянием природных и антропогенных факторов: автореф. дис. д-ра биол. наук. Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург. 2009. 50 с.
17. Pielou E. C. Ecological diversity. New York: Gordon and Breach Science Publisher, 1975. 165 p.
18. Денисенко С. Г. Информационная мера Шеннона и ее применение в оценках биоразнообразия (на примере морского зообентоса) // Морские беспозвоночные Арктики, Антарктики и Субантарктики. Сер. Исследования фауны морей. Вып. 56 (64). СПб, 2006. С. 35–46.
19. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2004. 436 с.
20. Мельникова А. В. Экологическое состояние Камского плеса Куйбышевского водохранилища по зообентосу по данным 2017 г. // Природа симбирского Поволжья. Сборник научных трудов XX межрегиональной научно-практической конференции «Естественнонаучные исследования в Симбирском – Ульяновском крае»: материалы. Ульяновск: Изд-во «Корпорация технологий продвижения», 2018. Вып. 19. С. 49–54.
21. Тимохина А. Ф. Зоопланктон как компонент экосистемы Куйбышевского водохранилища. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2000. 193 с.

References

1. *Kuybyshevskoe vodokhranilishche (Nauchno-informatsionnyy spravochnik)*. [Kuibyshev reservoir (Scientific and information directory)]. Tol'yatti, IEVB RAN Publ., 2008, 123 p.

2. *Ekologiya fitoplanktona Kuybyshevskogo vodokhranilishcha* [Ecology of phytoplankton of the Kuibyshev reservoir]. Otv. red. S. M. Konovalov, V. N. Pautova. L., Nauka Publ., 1989, 304 p.
3. *Kuybyshevskoe vodokhranilishche* [Kuibyshev reservoir]. L., Nauka Publ., 1983, 214 p.
4. Aristovskaya G. V. Formirovanie bentosa Kuybyshevskogo vodokhranilishcha v pervye gody posle polnogo zatopleniya vodoema [Formation of the benthos of the Kuibyshev reservoir in the first years after the complete flooding of the reservoir]. *Tr. Tat. Otd. GosNIORH* [Proc. of the Tat. Bran. of GosNIORH], Kazan', 1960, iss. 9, pp. 71–105.
5. Gorshkova A. T. Spetsifika struktury vodnykh ekosistem Nizhnekamskogo vodokhranilishcha i ee rol' v opredelenii ekologicheskoy situatsii [The specifics of the structure of the aquatic ecosystems of the Nizhnekamsk reservoir and its role in determining the ecological situation]. *Sbornik nauchnykh trudov "Aktual'nye problemy gidroekologii"* [Collection of scientific papers "Current problems of hydroecology"]. Kazan', Otechestvo Publ., 2006, pp. 174–189.
6. *Volga i ee zhizn'* [Volga and her life]. Leningrad, Nauka Publ., 1978, 348 p.
7. Lazareva V. I. Mnogoletnie izmeneniya sostava i obiliya zooplanktona vodokhranilishch r. Kamy [Long-term changes in the composition and abundance of zooplankton reservoirs of the Kama River]. *Biologiya vnutrennikh vod*, 2020, no. 3, pp. 260–275.
8. Lyubin P. A., Ziganshin I. I. Sostav i struktura zooplanktona kak indikatora ekologicheskogo sostoyaniya vodnoy sredy nizoviy r. Kamy [Composition and structure of zooplankton as an indicator of the ecological state of the aquatic environment of the lower reaches of the Kama River]. *Samarskiy nauchnyy vestnik*, 2020, vol. 9, no. 1 (30), pp. 66–75.
9. Yakovleva A. V., Yakovlev V. A. *Chuzherodnye bentosnye bespozvonochnye v verkhov'yakh Kuybyshevskogo vodokhranilishcha* [Alien benthic invertebrates in the upper reaches of the Kuibyshev reservoir]. Kazan', Otechestvo Publ., 2014, 199 p.
10. Kurina E. M., Seleznev D. G., Sherysheva N. G. Distribution of alien species of macrozoobenthos and the species cenotic complexes in the Kama reservoirs. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2022, V. 13, N 1, P. 64–73.
11. *Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov* [Methods of studying biogeocenoses of inland reservoirs]. M., Nauka Publ., 1975, 239 p.
12. *Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh. Zooplankton i ego produktsiya* [Methodological recommendations for the collection and processing of materials during hydrobiological studies in freshwater reservoirs. Zooplankton and its products]. L., 1982, 33 p.
13. *Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem* [Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. SPb., Gidrometeoizdat Publ., 1992, 318 p.
14. Shitikov V. K., Rosenberg G. S., Zinchenko T. D. *Kolichestvennaya gidroekologiya: metody sistemnoy identifikatsii* [Quantitative hydroecology: methods of system identification]. Tol'yatti, IEVB RAN Publ., 2003, 463 p.

15. Pan'kov N. N. *Strukturnye i funktsional'nye kharakteristiki zoobentotsenozov r. Sylva (basseyn Kamy)* [Structural and functional characteristics of zoobenthocenes of the Sylva River (Kama basin)]. Perm', Perm. Gos. Un-t. Publ., 2004, 161 p.
16. Shcherbina G. H. *Izmenenie vidovogo sostava i strukturno-funktsional'nykh kharakteristik makrozoobentosa vodnykh ekosistem Severo-Zapada Rossii pod vliyaniem prirodnykh i antropogennykh faktorov. Avtoreferat diss. dokt. biol. nauk* [Changes in the species composition and structural and functional characteristics of macrozoobenthos of aquatic ecosystems of the North-West of Russia under the influence of natural and anthropogenic factors. Abstract. of dis. dr. sci.]. Saint-Petersburg, 2009, 50 p.
17. Pielou E. C. *Ecological diversity*. New York: Gordon and Breach Science Publisher, 1975, 165 p.
18. Denisenko S. G. *Informatsionnaya mera Shennona i ee primeneniye v otsenках bioraznoobraziya (na primere morskogo zoobentosa)* [The Shannon information measure and its application in biodiversity assessments (on the example of marine zoobenthos)]. *Morskie bespozvonochnye Arktiki Antarktiki i Subantarktiki. Ser. Issledovaniya fauny morey*. SPb, 2006, iss. 56 (64), pp. 35–46.
19. *Biologicheskie invazii v vodnykh i nazemnykh ekosistemakh* [Biological invasions in aquatic and terrestrial ecosystems]. Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2004, 436 p.
20. Melnikova A. V. *Ekologicheskoe sostoyaniye Kamskogo plesa Kuybyshevskogo vodokhranilishcha po zoobentosu po dannym 2017 g.* [Ecological state of the Kama Reach of the Kuibyshev reservoir according to zoobenthos according to 2017 data]. *Priroda simbirskogo Povolzh'ya. Sbornik nauchnykh trudov XX mezhregional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Estestvenno-nauchnye issledovaniya v Simbirskom–Ul'yanovskom krae»*. Ul'yanovsk, Korporatsiya tekhnologii prodvizheniya Publ., 2018, iss. 19, pp. 49–54.
21. Timokhina A. F. *Zooplankton kak komponent ekosistemy Kuybyshevskogo vodokhranilishcha* [Zooplankton as a component of the ecosystem of the Kuibyshev reservoir]. Tol'yatti, IEVB RAN Publ., 2000, 193 p.

Информация об авторах

М. А. Гвоздарева – старший специалист
А. В. Мельникова – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией ихтиологии

Information about the author

M. A. Gvozdareva – laboratory assistant
A. V. Melnikova – PhD in Biology, Head of the Laboratory of Ichthyology

Статья поступила в редакцию 20.05.2024; одобрена после рецензирования 03.07.2024; принята к публикации 05.07.2024.

The article was submitted 20.05.2024; approved after reviewing 03.07.2024; accepted for publication 05.07.2024.

Научная статья
УДК 663.974.5.05(06)
DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-25-34

Перспективы применения сорбента на основе коллагенового волокна из гидробионтов

Алеся Сергеевна Каньшина¹, Ольга Александровна Белых²

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

²olga.belykh@kltgu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7274-1420>

Аннотация. Статья посвящена вопросу изучения перспектив применения в качестве сорбента биоразлагаемого коллагенового волокна. Вторичная переработка рыбьей чешуи выполнена на кафедре химии Калининградского государственного технического университета экономически доступным способом. Чешую отмывали водой с добавлением NaCl и Na₂CO₃ при нагревании. Центрифугирование при 2347 RCF, сушка и отсев на ситах позволили получить коллагеновое волокно разных фракций. Описан процесс получения коллагенового фильтра, указаны его характеристики. Приведены результаты полевого эксперимента по фильтрации воды из городского водотока Калининграда исследуемым сорбционным фильтром. Проведен сравнительный анализ органолептических и физико-химических показателей исследуемого образца воды до и после фильтрации. Адсорбционная способность оценивалась по нескольким параметрам. Анализ фильтрата показал, что происходит осаждение ионов Na⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, HCO₃⁻; биогенных элементов в молекулярном и ионном виде SiO₂, NH₄⁺, NO₃⁻, снижается общая минерализация более чем в 3 раза. Значительно улучшились органолептические показатели отфильтрованной воды – прозрачность, цвет и запах. Полученные данные приведены в сравнении с водной средой, взятой из водотока г. Калининграда. Выявлены селективные свойства коллагенового фильтра. Показано, что использование коллагенового волокна эффективно для очистки водных сред и может быть рекомендовано для создания биоразлагаемых фильтров жидких фракций. Методологическим успехом является обоснование возможности использования природного вторичного сырья для снижения экологических проблем хранения и переработки фибриллярных белков чешуи гидробионтов.

Ключевые слова: биоразлагаемое волокно, чешуя гидробионтов, фильтрующий элемент, сорбент, очистка воды.

Для цитирования: Каньшина А. С., Белых О. А. Перспективы применения сорбента на основе коллагенового волокна из гидробионтов // Известия КГТУ. 2024. № 74. С. 25–34. DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-25-34.

Original article

Prospects for the use of sorbent based on collagen fiber from hydrobionts

Alesya S. Kan'shina¹, Ol'ga A. Belykh²

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

²olga.belykh@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7274-1420>

Annotation. The article is devoted to the study of the prospects for using biodegradable collagen fiber as a sorbent. Recycling of fish scales has been carried out at the Department of Chemistry of Kaliningrad State Technical University, in an economically accessible way. The scales were washed with water with the addition of NaCl and Na₂CO₃ while heating. Centrifugation at 2347 RCF, drying and screening on sieves made it possible to obtain new collagen fiber of different fractions. The process of obtaining a collagen filter is described and its characteristics are indicated. The results of a field experiment on the filtration of water from an urban watercourse in Kaliningrad using the sorption filter under study are presented. A comparative analysis of the organoleptic and physicochemical parameters of the studied water sample before and after filtration has been carried out. Adsorption capacity has been assessed using several parameters. Analysis of the filtrate showed that precipitation of ions occurs Na⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, HCO₃⁻; biogenic elements in molecular and ionic form SiO₂, NH₄⁺, NO₃⁻, total mineralization decreases by more than 3 times. The organoleptic characteristics of filtered water have significantly improved: transparency, color and smell. The obtained data are presented in comparison with the aquatic environment taken from the Kaliningrad watercourse. The selective properties of the collagen filter have been revealed. It has been shown that the use of collagen fiber is effective for purifying aqueous media and can be recommended for creating biodegradable filters for liquid fractions. A methodological success is the substantiation of the possibility of using natural secondary raw materials to reduce the environmental problems of storing and processing fibrillar proteins of hydrobiont scales.

Key words: biodegradable fiber, scales of hydrobionts, filter element, sorbent, water purification.

For citation: Kanshina A. S., Belykh O. A. Prospects for the use of a sorbent based on collagen fiber from hydrobionts // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024; (74):25–34. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-25-34.

ВВЕДЕНИЕ

В современных производственных вызовах актуальность набирают исследования в области защиты окружающей среды путем утилизации промышленных отходов, а также их вторичная переработка [1]. Рост численности крупных предприятий и сосредоточение на них все большей части имеющихся в обществе средств производства сопровождается образованием значительного количества отходов. Развитие рыбоперерабатывающей деятельности указывает на увеличение потенциала образования жидких отходов. Для того чтобы рыбоперерабатывающая

промышленность в Калининградской области всегда была устойчивой и работала по принципу нулевых отходов, необходима структурированная информация.

Разнообразные химические вещества, применяемые в современном производстве, представляют серьезную экологическую угрозу. Нарастание производственных процессов спровоцировало изменение химического состава поверхностных вод, что привело к поиску и разработке новых методов очистки и сорбционных материалов. В водотоки частично попадают отходы рыбообработки, ремонта судов, строительной отрасли и др. Актуальным является анализ химического состава поверхностных вод, который определяет оптимальный подбор применения реагентов – коагулянтов и флокулянтов для их очистки [2]. В отработанной воде, возвращаемой после очистки с предприятий, все еще могут содержаться разнообразные загрязняющие вещества. В зависимости от используемых на производстве реагентов эти вещества могут быть как в растворенном, так и во взвешенном состоянии [3, 4]. Планирование очистных мероприятий требует индивидуального подхода, необходимо учитывать источники происхождения загрязнителей, природно-климатические особенности регионов, направленность производства предприятий, режим притока промышленных вод не только суточный, но и сезонный.

Водотоки Калининградской области содержат различные загрязнители – нерастворенные вещества (песок, глина, шлам, вызывающие мутность воды), растворенные (минеральные соли, пестициды, химические соединения и другие, влияющие на качество воды), биологические загрязнители (водоросли, бактерии и другие микроорганизмы), тяжелые металлы и прочие токсичные вещества (свинец, ртуть, кадмий и другие, вредные для окружающей среды и здоровья) [5].

Рыбные отходы частично используются для производства удобрений и рыбьего жира с низкой рентабельностью или как сырье для непосредственного скармливания в аквакультуре, некоторая часть отходов выбрасывается. Для решения экологических проблем и полного использования биомассы в целях получения высокой коммерческой ценности рыбные отходы исследовались как потенциальный ресурс для производства продуктов с добавленной стоимостью (т. е. белков, пептидов, коллагена, ферментов и масел). В последнее время отходы привлекают особое внимание в качестве источника хитина и производных с особым упором на рыбью чешую [6, 7]. Рыбья чешуя – уникальный природный биоматериал, состоящий в основном из коллагена I типа и гидроксиапатита. Высокоупорядоченная иерархическая микроструктура и состав чешуи обуславливают хорошую способность к разложению и превосходные механические свойства для потенциального применения, в том числе в тканевой инженерии, биологическом наполнении, переработке сточных вод и гибкой электронике [8]. Однако практическое использование чешуи ограничено из-за отсутствия коммерческой ценности, что приводит к загрязнению окружающей среды биологическими отходами. В данном контексте особенно важны переработка и повторное использование рыбьей чешуи. Чешуя состоит в основном из плотно упакованных коллагеновых волокон диаметром от 70 до 80 нм, окруженных гидроксиапатитом и другими соединениями кальция, которые могут обладать определенными адсорбционными свойствами. Недавние исследования показали, что некоторые виды чешуи могут действовать как недорогие и экологически чистые биосорбенты для удаления тяжелых металлов и красителей из растворов [9, 10].

Рыбья чешуя является наименее востребованным отходом, объем которого в зависимости от вида рыб колеблется 0,5 % до 10 % сырья, вовлекаемого во вторичную переработку. Статистические данные указывают, что в 2023 г. на океаническом промысле добывалось 240–260 тыс. т рыбы. В прибрежной части Балтийского моря и его заливах вылов рыбы составляет 25–28 тыс. т [4]. Если сопоставить эти объемы с количеством образуемой при обработке чешуи, то это составит примерно 16,5 т. Данную массу отходов можно эффективно перерабатывать.

В мировой литературе неоднократно зафиксированы случаи применения рыбьей чешуи для очистки природных и сточных вод от ионов металлов. Есть ряд публикаций, посвященных удалению органических соединений из водных растворов волокнами полученными из чешуи рыб [11]. В Калининградской области уже известно применение коллагенового волокна (КВ) в качестве фильтра для сигарет [12] и в рецептурах маршмеллоу [13]. Исследование применения КВ из гидробионтов в виде фильтрата для воды является лишь небольшой частью перспективных направлений использования этого ценного биоразлагаемого материала. Также можно спроецировать применение рыбьей чешуи в фильтрах для пылесосов (данные комплекующие из КВ будут экономически доступнее для потребителя), в качестве фильтров для кофе (что сейчас очень актуально из-за популярности кофемашин), воздушных фильтров для дополнительной очистки атмосферы городов.

В настоящем исследовании рыбья чешуя, переработанная до состояния коллагенсодержащего волокна [14], используется в качестве фильтра для очистки воды от поллютантов (катионов и анионов), биогенных элементов. Цель работы – проанализировать возможность применения КВ из чешуи в качестве биоразлагаемого компонента – фильтра (сорбента) для воды.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рабочая гипотеза эксперимента состоит в том, что КВ хорошо проницаемо для жидкостей и будет химически взаимодействовать во всем объеме с заряженными частицами и что удерживающие силы достаточно велики. Макромолекулы взаимодействуют между собой за счет сил Ван-Дер-Ваальса, образуя цепочки из агрегатов на сорбенте. Это явление наблюдается при течении гелеобразных растворов. Макромолекулы КВ находятся в фибриллярном состоянии, и такая конструкция способствует лучшей адсорбции электролитов. Электростатический фактор устойчивости присущ водным средам, создающим условия для диссоциации (поверхностная диссоциация вещества, адсорбция электролитов и ионогенных по-верхностно активных веществ).

В качестве опытного образца фильтрующего сорбента было использовано коллагенсодержащее волокно, полученное из чешуи судака в лабораторных условиях на кафедре химии КГТУ [14]. Оно имеет разную степень измельчения. В данной ситуации считаем целесообразным выбрать смесь короткого волокна «ваты» с размером фракции 0,1–2,5 мм. Для фильтрации использовалась фильтровальная бумага диаметром 90 мм, марки ФС, средней фильтрации, сложенная в виде конуса по размеру лабораторной воронки. В нее поместили коллагенсодержащее волокно слоем 3–4 см. Далее проводилась фильтрация воды стандартным способом.

Для эксперимента использовали образец воды из р. Преголи возле Старого порта (г. Калининград, Правая набережная, 21). Место отбора выбрано вблизи действующих Морского рыбного и Морского торгового портов. Остаточные продукты деятельности этих объектов в виде катионов, анионов и других химических элементов представляют интерес в данном исследовании. Внешний вид опытного образца фильтра показан на рис. 1.

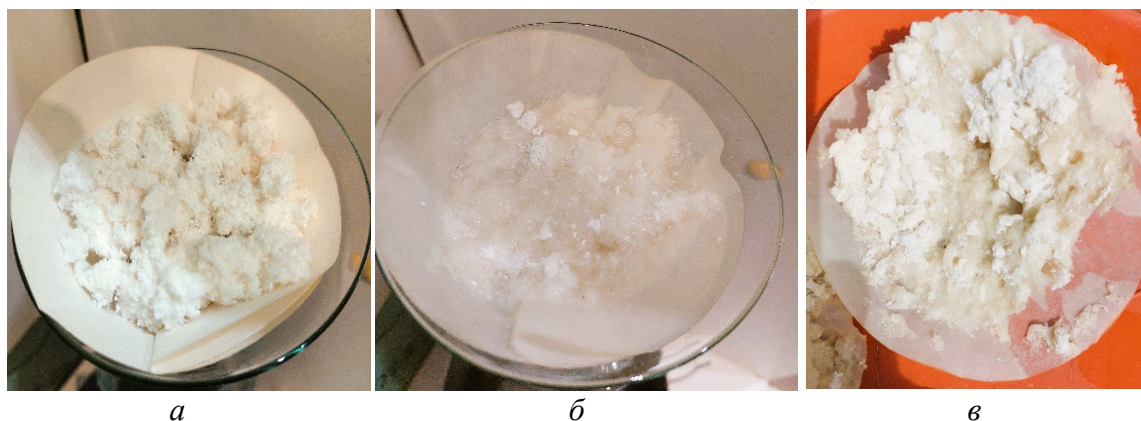


Рис. 1. Внешний вид опытного образца фильтра: а) до начала фильтрования; б) в процессе фильтрации; в) по окончании процесса на стадии сушки
Fig. 1. Appearance of a prototype filter: a) before filtration begins; b) during the filtration process; c) at the end of the process at the drying stage

Необходимо отметить, что коллагенсодержащее волокно при намокании значительно уменьшается в объеме (рис. 2б), для достижения большей степени очистки его нужно уплотнять, периодически добавляя адсорбент при усадке на фильтр. Результаты фильтрования приведены в табл. 1 и 2.

По химическому составу рыба чешуя образована фибриллярными белками, или коллагенами. Волокна коллагена представлены нитевидной структурой с плотностью $1,33 \text{ г/см}^3$. Вторым компонентом термогидролиза чешуи является гидроксиапатит кальция, который составляет основу костного скелета пластинки. Биоминерал находится в виде порошка с плотностью $3,12 \text{ г/см}^3$ [15]. Такая структура позволяет задерживать растворенные в воде заряженные частицы и биогенные элементы, попавшие в водоем из-за бытовых и промышленных выбросов.

По результатам табл. 1 и 2 видно, насколько эффективно применение адсорбента на основе рыбной чешуи в качестве фильтрата – количество ионов натрия и хлорид-ионов сократилось почти в 2 раза, содержание гидрокарбонатов уменьшилось на 0,06 г. Лучший эффект был достигнут при фильтрации биогенных элементов – количество кремния снизилось примерно в 2 раза, ионов аммония – в 15 раз, нитратов стало меньше в 42 раза. Биогенные элементы являются ключевыми компонентами для поддержания жизни и поставляются организмам из окружающей среды через пищу, воду и воздух.

Таблица 1. Органолептические показатели пробы воды до и после фильтрации
 Table 1. Organoleptic characteristics of water samples before and after filtration

Показатель, единица измерения	Результаты испытаний	
	до	после
Запах, балл	4	3
Цветность, градус	86	70
Мутность, ЕМФ	27	21

Таблица 2. Физико-химический состав пробы воды до и после фильтрации
 Table 2. Physicochemical composition of the water sample before and after filtration

Показатель	Массовая концентрация показателей, мг/дм ³	
	до	после
Катионы и анионы		
Na ⁺	136	77
SO ₄ ²⁻	46	47
Cl ⁻	123	70
HCO ₃ ⁻	299	238
Биогенные элементы		
SiO ₂	более 16,0	7,5
NH ₄ ⁺	35,0	2,3
NO ₃ ⁻	8,00	0,19
Общая минерализация	1245	455

Общая минерализация воды (рис. 2) в целом уменьшилась более чем в три раза. Эффективность адсорбции меди, мышьяка, хрома из стоков предприятий на фильтры, содержащие коллагеновые волокна, доказывают публикации ряда исследователей [16–18].

Сорбционный фильтр содержит много гидроксильных групп, что увеличивает активные центры удаления тяжелых металлов (хрома (VI), свинца, мышьяка, меди, ртути и др.). КВ продемонстрировало необходимые свойства в качестве фильтрующего сорбента, такие как высокая водопроницаемость и механическая прочность. После фильтрации оставшийся материал легко претерпевает естественный процесс разложения, что также находит подтверждение в литературе [19, 20]. КВ, используемое в экологических системах, может подвергаться механической и химической деструкции с помощью различных методов.

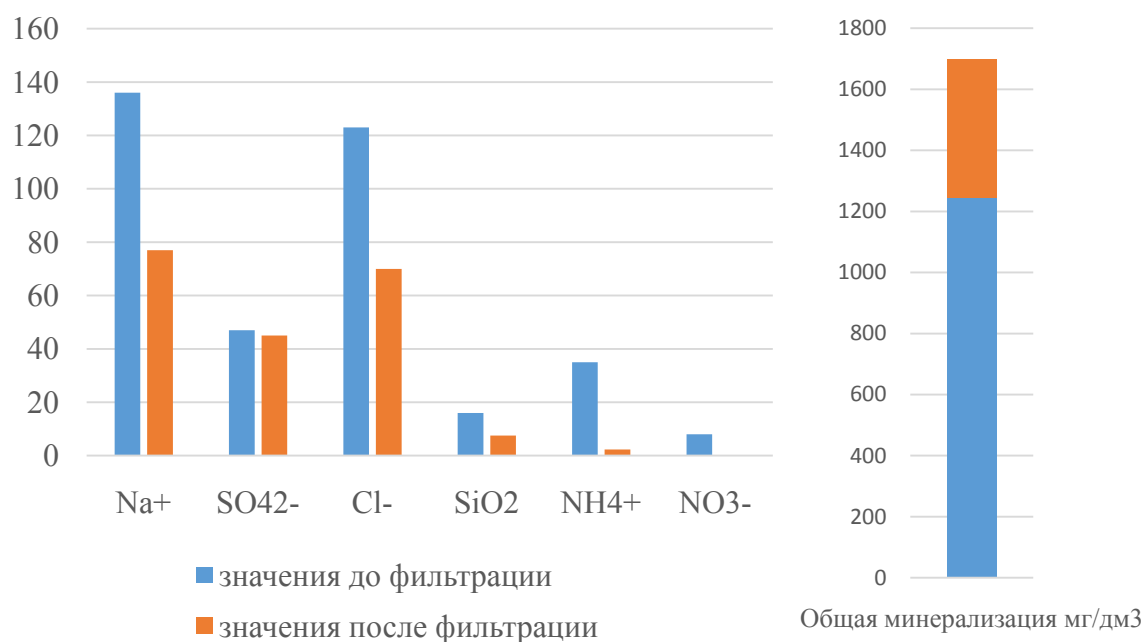


Рис. 2. Визуализация результатов испытания адсорбционной способности коллагенового волокна

Fig. 2. Visualization of the results of an experiment testing a sorbent material made from collagen fiber

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе впервые проведено исследование адсорбционных свойств коллагенового волокна, полученного методом термического гидролиза из чешуи гидробионтов. Подтверждена возможность его применения в качестве фильтрующего сорбента водных сред. Исследование доказывает потенциал использования КВ рыбьей чешуи в качестве биоразлагаемого материала для удаления загрязняющих веществ из растворов. Результаты органолептических и физико-химических анализов обосновывают перспективность применения изученного сорбента, обеспечивающего достоверное снижение загрязняющих веществ. Техническая информация, полученная об адсорбирующих свойствах КВ, для оптимального использования должна быть расширена за счет изучения реологических свойств взвесей и растворов, планируемых для очищения.

Список источников

1. Recycling and use fibrous waste in industrial production / B. Islamov, D. Mamaeva, M. Fattakhov, S. Tashpulatov // *Universum: technical sciences*. 2024. N 2–8(119). P. 14–20.
2. Studies on the efficiency of fish scale adsorbents for treatment of fish processing effluent / S. S. Devasena et al. // *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 2023. V. 42. N 6. DOI 10.1002/ep.14195.

3. Оценка экологической пригодности водотоков города Байкальска для развития туризма и рекреации / Л. В. Каницкая [и др.] // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 7. С. 463–467.
4. Ульрих Е. В., Баркова Л. С. Параметры флокуляции сточных вод с последующим фильтрованием на пресс-фильтрах // *Известия КГТУ*. 2022. № 66. С. 53–64. DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-53-64.
5. Государственный доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2022 году». Калининград, 2023. 174 С.
6. Малова М. Н. Рыбохозяйственный комплекс Калининградской области: настоящее и будущее // *Молодой ученый*. 2014. № 7. С. 55–57.
7. Wu D. Y., Wang S. S., Wu C. S. Antibacterial properties and cytocompatibility of biobased nanofibers of fish scale gelatine, modified polylactide, and freshwater clam shell // *Int. J. Biol. Macromol.* 2020. N 165. P. 1219–1228.
8. Fish scales as a biosorbent of pollutants from wastewaters and natural waters (a literature review) / I. G. Shaikhiev et al. // *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2020. V. 10. N 6. P. 6893–6905.
9. Damian G., Varvara S. Assessment of *Cyprinus carpio* Scales as a Low-Cost and Effective Biosorbent for the Removal of Heavy Metals from the Acidic Mine Drainage Generated at Rosia Montana Gold Mine (Romania) // *Water*. 2022. V. 14. N 22. P. 3734.
10. Using modified fish scale waste from *Sardinella brasiliensis* as a low-cost adsorbent to remove dyes from textile effluents / G. Niero et al. // *J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.* 2019. V. 54. N 11. P. 1083–1090
11. Structure and mechanical performance of a «modern» fish scale / D. Zhu et al. // *Advanced Engineering Materials*. 2012. V. 14. N 4. P. B185–B194.
12. Воробьев В. И., Чернышева Н. Л., Нижникова Н. Л. Фильтр для сигарет с коллагенсодержащей добавкой из гидробионтов // *Балтийский морской форум: Материалы XI Международного Балтийского морского форума*. Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. С. 36–41.
13. Воробьев В. И., Нижникова Н. Л., Чернега О. П. Применение коллагенсодержащей добавки из гидробионтов в рецептурах маршмеллоу // *Балтийский морской форум: Материалы XI Международного Балтийского морского форума*. Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, 2023. С. 31–35.
14. Воробьев В. И., Нижникова Е. В. Получение фракций коллагена и гидроксиапатита из рыбьей чешуи // *Известия КГТУ*. 2021. №. 62. С. 80–91. DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-80-91.
15. Comparison of the morphology, structures and mechanical properties of teleost fish scales collected from New Zealand / D. Zhu et al. // *J. Bionic Eng.* 2019. V. 16. N 2. P. 328–336.
16. Ahmadifar Z., Dadvand Koohi A. Characterization, preparation, and uses of nanomagnetic Fe₃O₄ impregnated onto fish scale as more efficient adsorbent for Cu (2+) ion adsorption. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2018. V. 25. N 20. P. 19687–19700.
17. Cerium supported on high porous carbon from fish scales carp, as a novel low cost adsorbent to remove As (V) ions from water / Z. S. Veličković et al. // *Mater. Methods Technol.* 2018. V. 12. N 1. P. 110–122.
18. Teshale F., Karthikeyan R., Sahu O. Synthesized bioadsorbent from fish scale for chromium (III) removal. 2020. V. 130. P. 102817.

19. Engineered fish scale gelatin: An alternative and suitable biomaterial for tissue engineering / A. Manikandan et al. // *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*. 2017. V. 33. N 3. P. 332–346.

20. Effect of fructose and ascorbic acid on the performance of cross-linked fish gelatin films / P. Guerrero // *Polymers (Basel)*. 2020. V. 12. N 3. P. 570.

References

1. Islamov B., Mamaeva D., Fattakhov M., Tashpulatov S. Recycling and use fibrous waste in industrial production. *Universum: technical sciences*. 2024, no. 2–8 (119), pp. 14–20.

2. Devasena S. S. [et al.]. Studies on the efficiency of fish scale adsorbents for treatment of fish processing effluent. *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 2023, vol. 42, no. 6, DOI 10.1002/ep.14195.

3. Kanitskaya L. V. [i dr.]. Otsenka ekologicheskoy prigodnosti vodotokov goroda Baykal'ska dlya razvitiya turizma i rekreatsii [Assessment of the ecological suitability of the watercourses of the city of Baikal'sk for the development of tourism and recreation]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015, no. 7, pp. 463–467.

4. Ul'rikh E. V., Barkova L. S. Parametry flokulyatsii stochnykh vod s posleduyushchim fil'trovaniem na press-fil'trakh [Parameters of wastewater flocculation followed by filtration using press filters]. *Izvestiya KGTU*, 2022, no. 66, pp. 53–64.

5. Gosudarstvennyy doklad "Ob ekologicheskoy ostanovke v Kaliningradskoy oblasti v 2022 godu" [State report "On the environmental shutdown in the Kaliningrad region in 2022"]. Kaliningrad, 2023, 174 p.

6. Malova M. N. Rybokhozyaystvennyy kompleks Kaliningradskoy oblasti: nastoyashchee i budushchee [Fisheries complex of the Kaliningrad region: present and future]. *Molodoy uchenyy*. 2014, no. 7, pp. 55–57.

7. Wu D. Y., Wang S. S., Wu C. S. Antibacterial properties and cytocompatibility of biobased nanofibers of fish scale gelatine, modified polylactide, and freshwater clam shell. *Int. J. Biol. Macromol.* 2020, no. 165, pp. 1219–1228.

8. Shaikhiev I. G. [et al.]. Fish scales as a biosorbent of pollutants from wastewaters and natural waters. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2020, vol. 10, no. 6, pp. 6893–6905.

9. Damian G., Varvara S. Assessment of *Cyprinus carpio* Scales as a Low-Cost and Effective Biosorbent for the Removal of Heavy Metals from the Acidic Mine Drainage Generated at Rosia Montana Gold Mine (Romania). *Water*. 2022, vol. 14, no. 22, pp. 3734.

10. Niero G. [et al.]. Using modified fish scale waste from *Sardinella brasiliensis* as a low-cost adsorbent to remove dyes from textile effluents. *J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.* 2019, vol. 54, no. 11, pp. 1083–1090.

11. Zhu D. [et al.]. Structure and mechanical performance of a «modern» fish scale. *Advanced Engineering Materials*. 2012, vol. 14, no. 4, pp. B185–B194.

12. Vorob'ev V. I., Chernyshova N. L., Nizhnikova N. L. Fil'tr dlya sigaret s kollagenosoderzhashchey dobavkoy iz gidrobiontov [Filter for cigarettes with collagen-containing additive from hydrobionts]. *Baltiyskiy morskoy forum: materialy XI Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma* [Baltic Maritime Forum: proceedings of

the XI International Baltic Maritime Forum]. Kaliningrad, BGARF FGBOU VO «KGTU» Publ., 2023, pp. 36–41.

13. Vorob'ev V. I., Nizhnikova N. L., Chernega O. P. Primenenie kollagenso-derzhashchey dobavki iz gidrobiontov v retsepturakh marshmellou [The use of collagen-containing additives from hydrobionts in marshmallow formulations]. *Baltiyskiy morskoy forum: materialy XI Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma* [Baltic Maritime Forum: proceedings of the XI International Baltic Maritime Forum]. Kaliningrad, BGARF FGBOU VO «KGTU» Publ., 2023, pp. 31–35.

14. Vorob'ev V. I., Nizhnikova E. V. Poluchenie fraktsiy kollagena i gidroksiapatita iz ryb'ey cheshui [Obtaining fractions of collagen and hydroxyapatite from fish scales]. *Izvestiya KGTU*, 2021, no. 62, pp. 80–91. DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-80-91.

15. Zhu D. [et al.]. Comparison of the morphology, structures and mechanical properties of teleost fish scales collected from New Zealand. *J. Bionic Eng.* 2019, vol. 16, no. 2, pp. 328–336.

16. Ahmadifar Z., Dadvand Koohi A. Characterization, preparation, and uses of nanomagnetic Fe₃O₄ impregnated onto fish scale as more efficient adsorbent for Cu (2+) ion adsorption. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2018, vol. 25, no. 20, pp. 19687–19700.

17. Veličković Z. S. [et al.]. Cerium supported on high porous carbon from fish scales carp, as a novel low cost adsorbent to remove As (V) ions from water. *Mater. Methods Technol.* 2018, vol. 12, no. 1, pp. 110–122.

18. Teshale F., Karthikeyan R., Sahu O. Synthesized bioadsorbent from fish scale for chromium (III) removal. 2020, vol. 130, pp. 102817.

19. Manikandan A. [et al.]. Engineered fish scale gelatin: An alternative and suitable biomaterial for tissue engineering. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers.* 2017, vol. 33, no. 3, pp. 332–346.

20. Guerrero P. [et al.]. Effect of fructose and ascorbic acid on the performance of cross-linked fish gelatin films. *Polymers (Basel).* 2020, vol. 12, no. 3, pp. 570.

Информация об авторах

А. С. Каньшина – преподаватель

О. А. Белых – доктор биологических наук, доцент

Information about the authors

A. S. Kanshina – lecturer

O. A. Belykh – Doctor of Science (Biology)

Статья поступила в редакцию 20.05.2024; одобрена после рецензирования 01.07.2024; принята к публикации 02.07.2024.

The article was submitted 20.05.2024; approved after reviewing 01.07.2024; accepted for publication 02.07.2024.

Научная статья

УДК 630*581.5:58.02:58.0009

DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-35-48

Оценка разнообразия древесных растений и состояния преобладающих видов в городских овражно-балочных насаждениях г. Волгограда

Татьяна Викторовна Челядинова¹, Ирина Ромувалдовна Грибуст², Вадим Александрович Сагалаев³, Ольга Владимировна Зорькина⁴

^{1,3,4}Волгоградский государственный университет, Волгоград, Россия

²ООО «Агро Эксперт Групп», Москва, Россия

¹bb-201_885319@volsu.ru

²giromuvaldovna@mail.ru

³sagalaev@volsu.ru

⁴ov.zorkina@volsu.ru

Аннотация. Функциональность городских насаждений в условиях засушливых малолесных регионах нуждается в постоянной поддержке. Проведение мониторинга посадок различной природы происхождения (естественные, искусственно созданные) позволяет своевременно выявлять нарушение устойчивости насаждений от ряда стресс-факторов. В этих условиях особый интерес представляет поиск путей сохранения существующего дендрологического разнообразия и оптимизации состояния посадок. Представленные данные иллюстрируют современное состояние природных насаждений в поймах малых рек и балок, входящих в городскую черту г. Волгограда. В пределах склоновых древостоев определены модельные участки площадью 0,01 км², на которых в перечень взяты все произрастающие деревья, общее количество которых составило 539 шт. Рекогносцировочными обследованиями посадок выявлен видовой состав, определена численность древесных растений, выделены преобладающие виды, произрастающие по склонам и дну овражно-балочных образований. Растения были классифицированы на две группы – аборигенные и инвазивные, инвазивные – проанализированы с присвоением каждому из них инвазионного статуса по методике Сагалаева В. А. (2013). Проведена экологическая экспертиза видового разнообразия и численного обилия древесных растений. В спектре разнообразия выделены основные древесные виды для оценки жизнеспособности деревьев. С учетом уровня антропогенного воздействия на модельные участки установлено состояние и жизнеспособность основных древесных видов. Выявлено, что естественные овражно-балочные насаждения в городских условиях не отличаются стабильной устойчивостью, в каждой посадке наличествует большое количество ослабленных видов деревьев, отдельные виды определены в группу сильно поврежденных. На жизненное состояние как посадки в целом, так и отдельных древесных видов оказывает влияние комплекс факторов, в числе которых и антропогенная трансформация территорий.

© Челядинова Т. В., Грибуст И. Р., Сагалаев В. А., Зорькина О. В., 2024

Ключевые слова: мониторинг, склоновые насаждения, разнообразие древесных растений, инвазивные виды, преобладающие виды, состояние, жизнеспособность древесных растений.

Для цитирования: Челябинова Т. В., Грибуст И. Р., Сагалаев В. А., Зорькина О. В. Оценка разнообразия древесных растений и состояния преобладающих видов в городских овражно-балочных насаждениях г. Волгограда // Известия КГТУ. 2024. № 74. С. 35–48. DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-35-48.

Original article

Assessment of the diversity of woody plants and the status of the prevailing species in urban ravine plantations of Volgograd

Tatyana V. Chelyadinova¹, Irina R. Gribust², Vadim A. Sagalaye³, Ol'ga V. Zor'kina⁴

^{1,3,4} Volgograd State University, Volgograd, Russia

² ООО "Agro Expert Group", Moscow, Russia

¹ bb-201_885319@volsu.ru

² giromuvaldovna@mail.ru

³ sagalae^v@volsu.ru

⁴ ov.zorkina@volsu.ru

Аннотация. In regions with extreme climates, plantings are the most important ecological element. The Volgograd region is characterized by low forest cover: with a total area of 113 thousand km, only 4.3% of the territory belongs to natural forests her. In the regional center, green zones are allocated no more than 15.0%. At the same time, natural plantings in the city are confined to ravines, gullies, small riverbeds, etc. The study of the diversity and assessment of the condition of woody plants in these conditions is becoming very relevant. The presented materials illustrate the current state of plantations in the floodplains of small rivers and gullies within the city limits of Volgograd. Model plots with an area of 0.01 km² were identified within these stands, the total number of examined plants was 539. During the observations, the species composition has been revealed, the number of woody plants has been determined, the predominant species are highlighted. The plants have been classified into two groups: indigenous and invasive to the research region. Invasive plant species have been evaluated with the assignment of an invasive status to each of them according to the method of Sagalae^v V. A. (2013). An ecological assessment of the species diversity and numerical abundance of woody plants has been carried out. The main tree species have been assessed according to the level of viability, taking into account the anthropogenic impact on the model sites. It has been revealed that natural ravine-girder plantings in urban conditions are not stable, there are a large number of weakened trees in each planting, individual species are classified as severely damaged by their condition. On the vital condition of both the planting as a whole and individual tree species are influenced by a complex of factors, including and anthropogenic transformation of territories. The results of the research indicate the need for preventive and sanitary forestry measures aiming at preservation of the diversity of stands and increasing the stability of both individual tree species and stands as a whole.

Keywords: monitoring, slope plantings, variety of woody plants, invasive species, predominant species, condition, viability of woody plants.

For citation: Chelyadinova T. V., Gribust I. R., Sagalayev V. A., Zorkina O. V. Assessment of the diversity of woody plants and the status of the prevailing species in urban ravine plantations of Volgograd. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024; (74):35–48. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-35-48.

ВВЕДЕНИЕ

Насаждения в условиях прогрессирующей урбанизации – основной экологический элемент, выполняющий важнейшие санитарно-гигиенические и эстетические функции, оптимизирующий ландшафт и способствующий созданию комфортной среды для человека [1–4]. В регионах с экстремальным климатом они противостоят пылевым бурям, поглощают пыль и газы из воздуха [1–5].

В условиях городской среды древесные растения приспосабливаются к антропогенному влиянию, но именно под прессом антропогенной нагрузки (выбросы промышленных предприятий, выхлопы автотранспорта, рекреационная нагрузка и пр.) они сами нуждаются в защите, базисом которой в этих условиях становится постоянный мониторинг насаждений [1–3, 5–9].

Засушливые регионы, к которым относится Волгоградская область, бедны древесной растительностью: при общей площади 113 тыс. км природным лесам здесь принадлежит лишь 4,3 % территории [1–4, 8]. В областном центре зеленым зонам отводится не более 15,0 % от общей площади города, естественные насаждения приурочены к таким ландшафтным элементам, как овраги, балки, русла малых рек и пр. [5, 6]. Дендрологическое разнообразие региональных городских насаждений обеспечивается с помощью интродукции древесных растений, однако процесс неконтролируемого обогащения может привести к инвазиям [8].

Поскольку разнообразие древесно-кустарниковой растительности в городе является важным биоиндикационным показателем [1, 2, 5, 8], необходима своевременная оценка не только видового разнообразия посадок, но и качества жизненного состояния древостоя [6, 9]. В связи с этим изучение разнообразия древесных растений в городских насаждениях различного происхождения и оценка их жизнеспособности представляет острый научный интерес.

Цель работы – изучение разнообразия и оценка состояния древесных растений в городских насаждениях на склонах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рекогносцировочными обследованиями оценивали разнообразие древесных растений овражно-балочных посадок в границах городской агломерации. Наблюдения проводили в насаждениях балки Григорова (Советский р-н), поймах рек Ельшанки (Советский р-н) и Царицы (Центральный р-н) с учетом специфики антропогенного влияния (табл. 1). Для каждой склоновой посадки определили модельные участки площадью 0,01 км². На этих площадках при обследовании в пересчет были взяты все произрастающие в ее пределах древесные виды [10, 11]. Общее число зарегистрированных экземпляров составило 539 шт. древесных растений. Разнообразие древесной растительности на модельных участках оценива-

лось с использованием экологических индексов, отражающих качественные и количественные характеристики растительных сообществ [12].

Таблица 1. Основные экологические особенности овражно-балочных насаждений
Table 1. The main environmental factors of the environment in ravine plantations

Параметры	Насаждения		
	Пойма реки		Балка Григорова
	Ельшанка	Царица	
Индекс загрязнения	5,0–6,0	10,7	4,5
Рекреационная нагрузка	средняя	очень высокая	низкая
Число машин в час	менее 100	3374	менее 100

В процессе работ было определено ядро растительного сообщества, в число которого вошли и нетипичные для условий г. Волгограда виды. Оценку инвазивности растений проводили с использованием методики Сагалаева В. А. [13].

Состояние древесных видов оценивали по комплексу признаков с выделением трех основных категорий: здоровые, ослабленные и усыхающие деревья [14–16]. Жизненное состояние определяли методом Алексеева В. А. [17].

Математическая обработка полученных данных проводилась при помощи программного обеспечения Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате обследований городских склоновых насаждений нами были зафиксированы древесные растения, принадлежащие к 2 классам, 10 порядкам, 10 семействам, 15 родам и 20 видам (табл. 2). Выявленные древесные виды составляют ядро растительного сообщества.

Наименьшим разнообразием характеризуется класс Pinaceae, представленный порядком Pinales и семейством Pinaceae, ярким представителем которого в древостоях на склонах является сосна крымская *Pinus pallasiana* D. Don., 1824.

Таксономическое разнообразие представителей класса Magnoliopsida гораздо выше – 19 видов из 14 родов, 9 семейств и 9 порядков, каждый порядок включает в состав по одному семейству.

Среди семейств в видовом отношении наиболее богато представлены Rosaceae (3 рода, 5 видов) и Ulmaceae (1 род, 3 вида). Древесные виды Ulmaceae – типичные обитатели дендрологических сообществ Волгоградской области.

Разнообразие семейств Fabaceae (2 рода, 2 вида), Salicaceae (2 рода, 2 вида), Aseraceae (1 род, 2 вида) несколько ниже, их представители произрастают как на склонах русел малых рек, балок, так и в городских насаждениях разных экологических категорий [8, 15].

В спектре разнообразия выделяются семейства, представленные единично: Elaeagnaceae, Fagaceae, Oleaceae, Bignoniaceae. Видовое богатство составили лох серебристый (*Elaeagnus commutata* Bernh. ex Rydb., 1917), дуб черешчатый (*Quercus robur* L., 1753), ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall, 1785) и катальпа бигнониевидная (*Catalpa bignonioides* Walter, 1788) соответственно.

Благоприятные условия для произрастания на территории Волгоградской агломерации нашли и инвазивные древесные виды. Представляет интерес природа

онтогенеза и инвазионный статус растений [13]. Анализ состава склоновых дендросообществ позволил определить три инвазивных вида: аморфа кустарниковая (*Amorpha fruticosa* L., 1753), клен ясенелистный (*Acer negundo* L., 1753) и ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh., 1785). Данные виды встречаются на разных модельных участках.

Таблица 2. Видовой состав основных древесных видов в насаждениях на склонах
 Table 2. Taxonomic composition of the main tree species in plantations on slopes

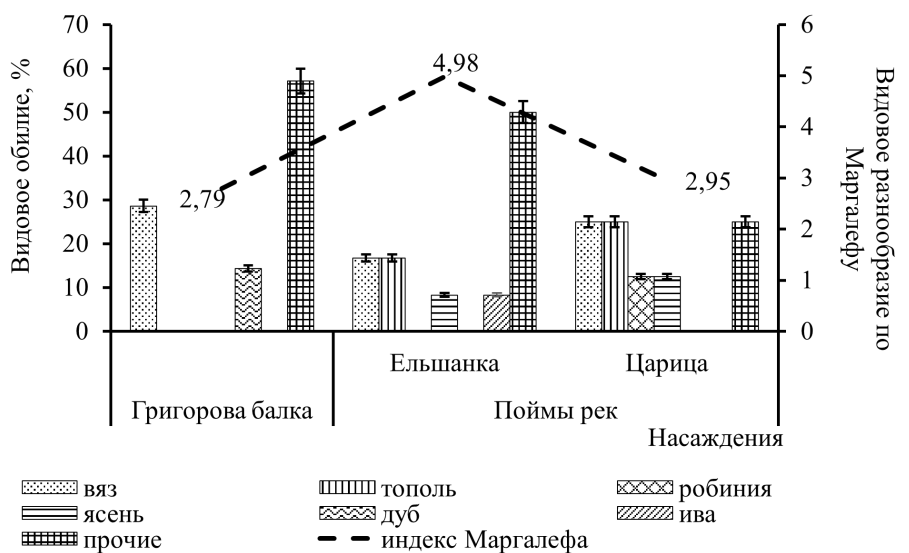
Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид
Pinaceae	Pinales	Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus pallasiana</i>
Magnoliopsida	Elaeagnales	Elaeagnaceae	<i>Elaeagnus</i>	<i>Elaeagnus commutata</i>
	Fabales	Fabaceae	<i>Amorpha</i>	<i>Amorpha fruticosa</i>
			<i>Robinia</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>
	Fagales	Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus robur</i>
	Oleales	Oleaceae	<i>Fraxinus</i>	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>
	Rosales	Rosaceae	<i>Padus</i>	<i>Padus virginiana</i>
			<i>Prunus</i>	<i>Prunus armeniaca</i>
				<i>Prunus sogdiana</i>
			<i>Crataegus</i>	<i>Crataegus sp.</i>
	Salicales	Salicaceae	<i>Rosa</i>	<i>Rosa sp.</i>
			<i>Salix</i>	<i>Salix alba</i>
			<i>Populus</i>	<i>Populus alba</i>
	<i>Populus nigra</i>			
	Sapindales	Aceraceae	<i>Acer</i>	<i>Acer negundo</i>
				<i>Acer tataricum</i>
Scrophulariales	Bignoniaceae	<i>Catalpa</i>	<i>Catalpa bignonioides</i>	
Urticales	Ulmaceae	<i>Ulmus</i>	<i>Ulmus parvifolia</i>	
			<i>Ulmus minor</i>	
			<i>Ulmus laevis</i>	
Всего: 2	10	10	15	20

На участке поймы р. Ельшанки нами зафиксированы аморфа кустарниковая *Amorpha fruticosa* и клен ясенелистный *Acer negundo*. Оценка видов показала, что оба они имеют статус 1 [13], это виды-трансформеры, которые в пределах модельного участка сконцентрированы в небольшие островки одновидовых зарослей, активно внедрены в устоявшийся биоценоз и ограничивают возобновление типичной растительности.

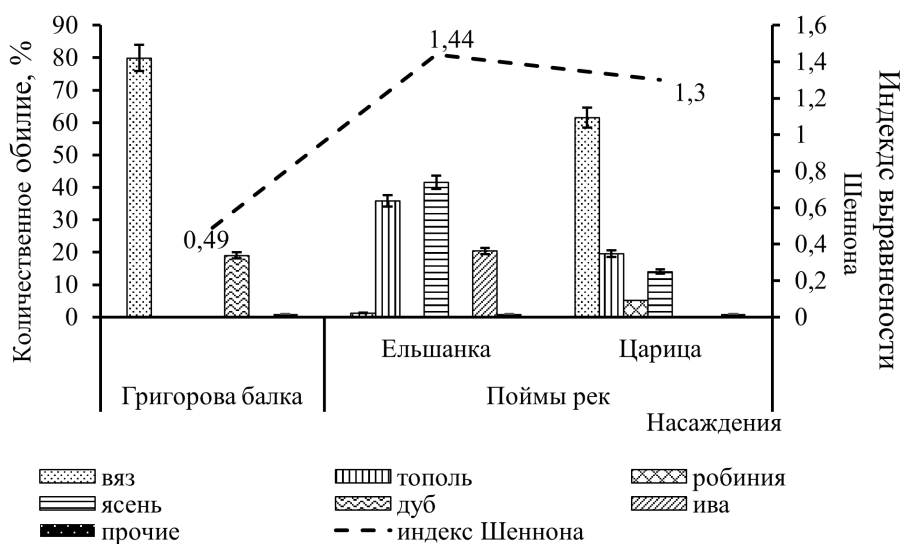
Третий инвазивный вид – ясень пенсильванский *Fraxinus pennsylvanica*, встреченный нами на участке в пойме р. Царицы. Он отнесен ко 2-му инвазионному статусу, так как данный вид активно расселяется и впоследствии может оказать значительное влияние на разнообразие видов деревьев и их численность, что обусловит изменение его положения до 1-го инвазионного статуса.

Остальные выделенные в ходе обследования древесные виды относятся к группе аборигенов и не имеют негативного влияния на растительные сообщества.

Оценка биотопического распределения растительных сообществ показала, что наиболее разнообразно сообщество на модельной площадке в пойме р. Ельшанки (рис. 1, 2). Здесь зафиксировано 12 видов деревьев, среди которых преобладали вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall., 1784), берест (*Ulmus minor* Mill., 1768), тополь черный (*Populus nigra* L., 1753) и ива белая (*Salix alba* L., 1753).



А)



Б)

Рис. 1. Изменение видового (А) и количественного (Б) обилия древесных растений на модельных участках
 Fig. 1. Changes in species (A) and quantitative (B) abundance woody plants on model plots

Соотношение количества каждого выделенного вида на опытной площадке варьирует (рис. 1 Б). Так, наиболее обильно в условиях поймы р. Ельшанки представлен ясень пенсильванский – 69 шт. (42,59 % от общего числа встреченных деревьев). При этом долевое участие данного вида в общем разнообразии древесных растений невелико – 8,3 % от общего числа видов (рис. 1 А). На этом же участке единично зафиксированы аморфа кустарниковая *Amorpha fruticosa*, клен ясенелистный *Acer negundo*, черемуха виргинская *Padus virginiana* (L.) Borkh., 1797), абрикос обыкновенный (*Prunus armeniaca* L., 1953), катальпа бигнониевидная, тополь белый (*Populus alba* L., 1953), сосна крымская *Pinus pallasiana*.



Пойма р. Ельшанки



Пойма р. Царицы



Балка Григорова

Рис. 2. Модельные участки. Общий вид
Fig. 2. Model plots. General view

Наименьшим разнообразием произрастающих древесных растений (7 видов) характеризуется участок в Григоровой балке. Здесь преобладающей породой

является дуб черешчатый и отмеченные ранее в пойме р. Ельшанки типичные для региона берест и вяз гладкий [5, 8]. Численность других видов незначительна, встречены единично клен татарский (*Acer tataricum* L., 1953), боярышник (*Crataegus* sp.), алыча (*Prunus sogdiana* Vassilcz., 1947), шиповник (*Rosa* sp.).

Общее количество зафиксированных деревьев здесь составило 115 экз., что соответствует 80,99 % всех обследованных деревьев и 28,6 % видового разнообразия. Дуб черешчатый отмечен в меньшем количестве – 27 экз. (19,01 % от числа обследованных деревьев). Доля вида в общем видовом разнообразии локального сообщества варьирует на уровне 14,3 %.

Отличительной чертой модельного участка в пойме р. Ельшанки стало количественное преобладание ясеня пенсильванского (41,59 % от общей численности деревьев) и древесных растений рода *Populus* (35,8 %). Типичные для региональных озеленительных посадок вяз гладкий и берест (40,0 % от всего видового разнообразия) [5, 8] на склонах р. Ельшанки характеризуются самой низкой численностью на участке – по 0,62 % (всего 1,24 %), что соответствует 2 экземплярам деревьев. Примечательно, что доленое участие ивы белой в видовом разнообразии локального сообщества невелико (8,3 %), а ее количественное обилие соответствует 20,37 % от общей численности деревьев.

Следует выделить древесные виды, не входящие в приоритет исследований. На их долю приходится 57,1 % от общего разнообразия деревьев на модельной площадке, они объединены в группу «остальные».

Для дендросообщества поймы р. Царицы характерно наличие таких видов, как робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L., 1753) и вяз мелколистный (*Ulmus parvifolia* Jacq., 1798), а также уже встреченные на других опытных участках склоновых посадок вяз гладкий, тополя белый и черный, ясень пенсильванский, ива белая. Всего здесь было зафиксировано 8 основных древесных видов.

Обилие древесных растений в этих условиях неравнозначно, самый многочисленный – это вяз мелколистный (134 шт., или 57,02 % от общего числа обследованных деревьев). Гораздо меньшим количеством растений характеризуется тополь черный – 41 шт., или 17,45 % от общего числа зарегистрированных экземпляров. Еще меньше число ясеня пенсильванского (12,5 % от видового разнообразия и 14,04 % от общего числа зарегистрированных экземпляров). В пойме р. Царицы наименьшим численным обилием характеризуются робиния лжеакация, вяз гладкий и тополь белый, доля которых составила 5,11 %, 4,26 % и 2,13 % соответственно.

Анализ сообществ овражно-балочных насаждений позволил определить вариации разнообразия (рис. 1 А). Видовое богатство растительных сообществ согласно экологической оценке по Маргалёфу (D_{Mg}) на модельных участках изменяется в широких пределах. Выделяются насаждения с наибольшим числом зафиксированных видов деревьев в составе на участке в пойме р. Ельшанки ($D_{Mg} = 4,98$). Следует отметить, что именно этот участок, дельта р. Ельшанки, характеризуется особым микроклиматом в связи с ежегодным паводком р. Волги, способствующим укоренению порослевых побегов древесных растений. Кроме того, близость жилых кварталов обуславливает привнесение в насаждения новых видов древесно-кустарниковой растительности. Данные факты обеспечивают сохранение пойменного разнообразия флоры в экстремальных климатических условиях региона и постоянного антропогенного прессинга.

Другие модельные участки характеризуются обедненным составом насаж-

дений: видовое богатство древесных культур в пойме р. Царицы составило 2,95, в Григоровой балке чуть меньше – 2,79. Это обстоятельство объясняется удалением этих участков от русла Волги, некоторой обособленностью. В Григоровой балке преобладают остепненные участки разнотравья, в пойме р. Царицы насаждения близко соседствуют с объектами городской инфраструктуры.

Вариабельность численности локальных дендросообществ отражает индекс Шеннона. Для растительной группы поймы р. Ельшанки этот показатель наиболее высок ($H = 1,44$). Здесь произрастает максимально разнообразный, многочисленный и плотно сконцентрированный дендрологический комплекс.

Немного меньше количество зарегистрированных деревьев и их ассортимент на модельном участке в пойме р. Царицы ($H = 1,30$). Следует отметить, что как отдельные деревья, так и мелкие дендрогруппы здесь рассредоточены по модельному участку, что влияет на выравненность данного древесного сообщества и обуславливает снижение показателя.

Дендросообщество балки Григорова, для которого индекс Шеннона имеет самое низкое значение – 0,49, состоит в основном из аборигенных древесных видов, что и обуславливает их низкую численность.

По результатам оценки состояния преобладающих видов на модельных участках (табл. 3) выявлено, что наименее подверженный антропогенному влиянию участок Григорова балка характеризуется наличием 49,6 % здоровых деревьев и наименьшей долей (13,0 %) усыхающих растений среди *Ulmus*. Вязы здесь обладают наивысшими показателями жизненного состояния среди всех обследованных деревьев – 77,04 %, что определяет их как группу с высоким уровнем жизненного состояния (здоровый древостой – 80,0 %). Остальные растения отнесены к категории ослабленных (37,4 %).

Таблица 3. Состояние преобладающих видов в разных склоновых посадках
 Table 3. The state of the prevailing species in different slope plantings

Древесный вид	Категория состояния, %			Жизненное состояние, % (по Алексееву)
	Здоровые	Ослабленные	Усыхающие	
Григорова балка				
Дуб	18,52	59,26	22,22	62,22
Вяз	49,57	37,39	13,04	77,04
Пойма р. Ельшанки				
Тополь черный	1,72	34,48	63,79	32,24
Ива	–	27,27	72,73	26,36
Ясень пенсильванский	–	62,50	37,50	47,50
Ясень пенсильванский, подрост	100	–	–	100
Пойма р. Царицы				
Вяз мелколистный	16,42	58,21	25,37	59,70
Ясень пенсильванский	9,09	84,85	6,06	69,09
Робиния	16,67	66,67	16,67	65,00
Вяз гладкий	30	60	10,0	73,00
Тополь черный	17,07	75,61	7,32	70,73
Тополь белый	–	100	–	70,00

Растительное сообщество *Quercus* на модельном участке в Григоровой балке, напротив, характеризуется минимальной долей жизнеспособных деревьев, доля здоровых деревьев составила 18,5 %. Немногим выше количество усыхающих деревьев – 22,2 %, доля ослабленных деревьев здесь максимальна (59,3 %). Жизненное состояние локальной группы оценивается в 62,22 %, что определяет ее как поврежденный древостой. Основными определяющими факторами на участке выступают не столько антропогенные, сколько биогенные, что подтверждается минимальной техногенной, рекреационной нагрузками и наличием выраженных биотических и биоценотических влияний.

Модельный участок в пойме р. Ельшанки испытывает максимальную рекреационную нагрузку. Рядом располагаются жилые комплексы с развитой инфраструктурой, а также одно из популярных мест отдыха – пляж р. Волги, что обуславливает высокую рекреационную нагрузку и захламленность территории.

В спектре древесных растений на участке в пойме р. Ельшанки в худшем состоянии находится ива белая, здоровых растений зафиксировано не было. Наибольшая доля среди них принадлежит усыхающим деревьям (72,7 %), участие ослабленных – 27,3 %. Жизненное состояние данной породы в растительном сообществе оценивается в 26,36 % и характеризуется как сильно ослабленное.

Состояние тополя черного в устье р. Ельшанки немногим лучше. Здоровых деревьев здесь насчитывается лишь 1,7 % от общего числа обследованных тополей. При этом сохраняется преобладание усыхающих растений – 63,8 %, а доля ослабленных колеблется на уровне 34,5 %. При наличии большого числа не способных поддерживать жизненный тонус деревьев *Populus nigra* их жизненное состояние характеризуется как сильно поврежденное (32,24 %).

К этой же группе жизненного состояния относится и ясень пенсильванский, аналогично иве белой для данного вида здоровых растений зафиксировано не было. Преобладали ослабленные (62,5 %) и усыхающие (37,5 %) деревья, что обусловило жизненное состояние (47,50 %) группы как сильно поврежденное. Однако на этой территории имелся обильный жизнеспособный подрост ясеня.

Сильное антропогенное влияние и воздействие автомобильного транспорта испытывает древостой на участке в пойме р. Царицы. Некоторая удаленность (1,3 км) от русла Волги и отсутствие выраженного затопления в весенний паводок, в отличие от модельного участка в устье р. Ельшанки, обеспечивают насаждениям удовлетворительные условия произрастания. Так, вяз мелколистный здесь характеризуется наименьшим значением жизненного состояния (59,70 %) для посадки, что дает основание отнести данный древесный вид в категорию ослабленных.

Для вяза гладкого, при преобладании ослабленных растений (60,0 %) в пойме р. Царицы, здоровых деревьев насчитывается уже 30,0 % от общего числа обследованных растений данного вида, усыхающих – не более 10,0 %. Жизненное состояние вяза гладкого составило 73,0 %, что в 1,2 раза больше такового для вяза мелколистного, при этом оба вида относятся к категории «ослабленные».

Оценка жизненного состояния растений робиния, тополь и ясень показала, что они также являются ослабленными (по Алексееву – 65,0 % для робинии и по 70,0 % для тополя и ясеня). При этом у робинии псевдоакалии доля здоровых и усыхающих растений не превышала 16,7%, участие ослабленных деревьев в растительном сообществе робинии поймы р. Царицы варьировало в пределах 66,7 %. Преобладающая доля ослабленных растений зафиксирована также и для ясеня

пенсильванского (84,8 %). В то же время здоровых деревьев данного вида нами было встречено лишь 9,1 %, а усыхающих – 6,1 %.

Древесные виды рода *Populus* здесь принадлежат к ослабленным, при этом распределение количества деревьев по категориям состояния значительно различается. Среди представителей вида «тополь белый» данный показатель составляет 100,0 %, для растений вида «тополь черный» он варьирует на уровне 75,61 % (доля здоровых деревьев 17,07 % от общего числа обследованных).

В целом состояние древостоев на модельных площадках не отличается устойчивостью, в каждой посадке наличествует большое количество ослабленных видов деревьев, что определяет жизнеспособность насаждений. На жизненное состояние посадки и отдельных древесных видов оказывает влияние комплекс факторов, в числе которых и антропогенная трансформация территорий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обследований городских склоновых насаждений было выявлено 20 видов древесных растений, относящихся к 15 родам, 10 семействам из 10 порядков и 2-х классов. Из них три вида – инвазивные: аморфа кустарниковая (*Amorpha fruticosa* L., 1753), клен ясенелистный (*Acer negundo* L., 1753) и ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh., 1785), остальные выявленные виды относятся к группе аборигенных растений.

Наиболее разнообразен в видовом отношении древостой на участке в пойме р. Ельшанка. Состав посадок на модельных участках в пойме р. Царица и в Григоровой балке несколько беднее (в среднем в 1,6 раза). При этом высокое количественное обилие присуще насаждению на склонах поймы р. Царица, а минимальная численность дендросообщества – на участке в Григоровой балке.

Общее состояние древостоев на модельных площадках не отличается устойчивостью, в каждой посадке наличествует большое количество ослабленных деревьев, что и определяет жизнеспособность насаждений. На жизненное состояние как посадки в целом, так и отдельных древесных видов оказывает влияние комплекс факторов, в числе которых и антропогенная трансформация территорий.

Список источников

1. Токарева Т. Г., Леонтьев Р. В. Шумозащитные свойства древесных растений и их использование в озеленении // Грани познания. 2018. № 4(57). С. 63–66.
2. Токарева Т. Г. Ветрозащитные древесные насаждения в урбанизированной среде // Грани познания. 2021. № 6(77). С. 92–95.
3. Гиясова И. В. Влияние урбанизации на микроклимат города // Инженерный вестник Дона. 2021. № 2(74). С. 201–210.
4. Мониторинг состояния насаждений Санкт-Петербурга: современные и традиционные подходы / Н. А. Цуварева, Буй Динь Дык, И. А. Мельничук, А. В. Селиховкин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. С. 6–21.
5. К вопросу о состоянии защитного лесоразведения в Волгоградской области / К. Н. Кулик, А. С. Манаенков, А. Н. Салугин, А. Н. Кузенко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1(57). С. 23–33. DOI: 10.32786/2071-9485-2020- 01-02.

6. Gribust I. R., Belitskaya M. N., Yudaev I. V., Ivushkin D. S., Spivak M. E., Nefedjeva E. E., Drevin V. E. Forest pathological monitoring of different types protective planting in Lower Volga region / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "Advances in Science for Agriculture "Achievements of Science for the Agro-Industrial Complex"", 2021, Novoivanovskoe, Virtual, 19–20 November 2020. V. 843. P. 012055.

7. Нгуен М. Т., Иванцова Е. А. К вопросу о прогнозной оценке техногенной нагрузки на атмосферный воздух урбоэкосистем // Природные системы и ресурсы. 2022. Т. 12. № 4. С. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.4.1>.

8. Мобилизация дендрологических ресурсов и пути сохранения их биоразнообразия в малолесных регионах: монография / А. В. Семенютина, И. П. Свицков, А. Ш. Хужахметова, В. А. Семенютина, С. Е. Лазарев. Волгоград: Изд-во «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», 2021. 288 с.

9. Bednova O. V., Kuznetsov V. A. Effect of atmospheric air pollution on local nitrogen cycles in the urban forest ecosystem / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IV scientific-technical conference "Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education". St.-Petersburg, 22–24 May 2019. 2019. V. 316. P. 012076.

10. Руководство по проектированию, организации и ведению лесопатологического мониторинга: утв. Приказом Министерства природных ресурсов России от 09.07.2007. № 174 // Приложение 1 к Приказу Рослесхоза от 29.12.2007. № 523. Москва, 2007. 98 с.

11. Муллаярова П. И. О модернизации существующей методики инвентаризации зеленых насаждений с учетом современных достижений аэрокосмических исследований и ГИС-технологий // Вестник СГУТиТ, 2018. Т. 23. № 1. С. 132–141.

12. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 184 с.

13. Сагалаев В. А. К инвентаризации инвазивных видов флоры Волгоградской области // Вестник ТвГУ. 2013. № 32. С. 102–105.

14. Мозолевская Е. Г. Оценка состояния и устойчивости насаждений // Технология защиты леса / под ред. А. И. Воронцова, Е. Г. Мозолевской, Э. С. Соколовой. М.: Экология, 1991. С. 234–237.

15. Мозолевская Е. Г., Куликова Е. Г. Экологические категории городских насаждений // Экология, мониторинг и рациональное природопользование: науч. тр. М.: МГУЛ, 2000. Вып. 302(1). С. 5–12.

16. Фурменкова Е. С., Кочергина М. В. Методы диагностики состояния древесных растений по внешним патологическим признакам // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В. Р. Филиппова. 2021. № 4(65). С. 164–171. DOI: 10.34655/bgsha.2021.65.4.022.

17. Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древесностоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.

References

1. Tokareva T. G., Leont'yev R. V. Shumozashchitnye svoystva drevesnykh rasteniy i ikh ispol'zovanie v ozelenenii [Noise-protective properties of woody plants and their use in landscaping]. *Grani poznaniya*, 2018, no. 4 (57), pp. 63–66.

2. Tokareva T. G. Vetrozashchitnye drevesnye nasazhdeniya v urbanizirovannoy srede [Wind-protective tree plantings in an urbanized environment]. *Grani poznaniya*, 2021, no. 6 (77), pp. 92–95.
3. Giyasova I. V. Vliyaniye urbanizatsii na mikroklimat goroda [The influence of urbanization on the microclimate of the city]. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2021, no. 2(74), pp. 201–210.
4. Tsuvareva N. A., Buy Din' Dyk, Melnichuk I. A., Selikhovkin A. V. Monitoring sostoyaniya nasazhdeniy Sankt-Peterburga: sovremennyye i traditsionnyye podkhody [Monitoring the state of plantings in St. Petersburg: modern and traditional approaches]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2021, is. 235, pp. 6–21.
5. Kulik K. N., Manaenkov A. S., Salugin A. N., Kuzenko A. N. K voprosu o sostoyanii zashchitnogo lesorazvedeniya v Volgogradskoy oblasti [On the issue of the state of protective afforestation in the Volgograd region]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie*, 2020, no. 1(57), pp. 23–33. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-02.
6. Gribust I. R., Belitskaya M. N., Yudaev I. V., Ivushkin D. S., Spivak M. E., Nefedjeva E. E., Drevin V. E. Forest pathological monitoring of different types protective planting in Lower Volga region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. «Advances in Science for Agriculture "Achievements of Science for the Agro-Industrial Complex"», 2021, Novoivanovskoe, Virtual, 19–20 November 2020. 2020, vol. 843, p. 012055.
7. Nguyen M. T., Ivantsova E. A. K voprosu o prognoznoy otsenke tekhnogennoy nagruzki na atmosfernyy vozdukh urboekosistem [On the issue of predictive assessment of technogenic load on the atmospheric air of urban ecosystems]. *Prirodnye sistemy i resursy*. 2022, vol. 12, no. 4. pp. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.4.1>.
8. Semenyutina A. V., Svintsov I. P., Khuzhakhmetova A. Sh., Semenyutina V. A., Lazarev S. E. *Mobilizatsiya dendrologicheskikh resursov i puti sokhraneniya ikh bioraznoobraziya v malolesnykh regionakh* [Mobilization of dendrological resources and ways to preserve their biodiversity in sparsely forested regions]. Volgograd. Federalnyy nauchnyy tsentr agroekologii, kompleksnykh melioratsii i zashchitnogo lesorazvedeniya Rossiyskoy akademii nauk Publ., 2021, 288 p.
9. Bednova O. V. Kuznetsov V. A. Effect of atmospheric air pollution on local nitrogen cycles in the urban forest ecosystem. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IV scientific-technical conference "Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education". Saint-Petersburg, May 22–24, 2019. Saint-Petersburg, 2019, vol. 316, P. 012076.
10. Guide for the design, organization and management of forest pathology monitoring. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation from 07.09.2007 no. 174. Application no. 1 to the Order of the Russian Forestry Agency from 29.12.2007. no. 523. Moscow Publ., 2007. 98 p. (In Russian).
11. Mullayarova P. I. O modernizatsii sushchestvuyushchey metodiki inventarizatsii zelenykh nasazhdeniy s uchetom sovremennykh dostizheniy aerokosmicheskikh issledovaniy i GIS-tekhnologiy [On the modernization of the existing methodology for inventorying green spaces, taking into account modern achievements of aerospace research and GIS technologies]. *Vestnik SGUTiT*, 2018, vol. 23, no. 1, pp. 132–141.

12. Megarran E. *Ekologicheskoe raznoobraziye i ego izmerenie* [Ecological diversity and its measurement]. Moscow, Mir Publ., 1992, 184 p.
13. Sagalayev V. A. K inventarizatsii invazivnykh vidov flory Volgogradskoy oblasti [On the inventory of invasive species of flora of the Volgograd region]. *Vestnik TvGU*, 2013, no. 32, pp. 102–105.
14. Mozolevskaya Ye. G. Otsenka sostoyaniya i ustoychivosti nasazhdeniy [Assessment of the condition and sustainability of plantings]. *Tekhnologiya zashchity lesa* [Technology of forest protection], edited by A. I. Vorontsova, E. G. Mozolevskaya, E. S. Sokolova. Moscow, Ekologiya Publ., 1991, pp. 234–237.
15. Mozolevskaya E. G., Kulikova E. G. Ekologicheskiye kategorii gorodskikh nasazhdeniy [Ecological categories of urban plantings]. *Ekologiya, monitoring i rational'noye prirodopol'zovaniye: nauch. tr.* [Ecology, monitoring and rational environmental management: scientific. tr.]. Moscow, MGUL Publ., 2000, is. 302(1), pp. 5–12.
16. Furmenkova E. S., Kochergina M. V. Metody diagnostiki sostoyaniya drevnykh rasteniy po vneshnim patologicheskim priznakam [Methods for diagnosing the condition of woody plants based on external pathological signs]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii imeni V. R. Filippova*, 2021, no. 4(65), pp. 164–171. DOI: 10.34655/bgsha.2021.65.4.022.
17. Alekseyev V. A. Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derev'yev i drevostoyev [Diagnostics of the vital state of trees and forest stands]. *Lesovedenie*. 1989, no. 4, pp. 51–57.

Информация об авторах

Т. В. Челядинова – студентка кафедры биологии и биоинженерии
И. Р. Грибуст – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий инженер
В. А. Сагалаев – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры биологии и биоинженерии
О. В. Зорькина – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой биологии и биоинженерии

Information about the authors

T. V. Chelyadinova – student of the Department of Biology and bioengineering
I. R. Gribust – PhD in Agriculture, leading biological engineer
V. A. Sagalayev – Doctor of Biology, Professor of the Department of Biology and bioengineering
O. V. Zorkina – PhD in Engineering, Assistant Professor, head of the Department of Biology and bioengineering

Статья поступила в редакцию 20.05.2024; одобрена после рецензирования 03.07.2024; принята к публикации 05.07.2024.

The article was submitted 20.05.2024; approved after reviewing 03.07.2024; accepted for publication 05.07.2024.

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Научная статья
УДК 636.597.83
DOI 10.46845/1997-3071-2024-74- 51-63

Разработка рецептуры имитационного шпика на основе жиросодержащих компонентов утки для использования в технологии рийетов

Дмитрий Леонидович Альшевский¹, Марина Николаевна Альшевская²

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

¹alshevsky@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-2998>

²marina.alshevskaya@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0632-9013>

Аннотация. В Калининградской области динамично совершенствуется агропромышленный комплекс по выращиванию и переработке сельхозсырья животного происхождения, в том числе и птицы. Активно развивающимся предприятием по производству утки породы мулард и дальнейшей ее переработке является бренд «ЭКОФЕРМЕР». Одно из перспективных направлений улучшения технологий – разработка и широкое внедрение способов, предусматривающих комплексную переработку сырья с целью получения высокодоходных и высокотехнологичных пищевых продуктов, максимально готовых к употреблению. К ним относится разновидность паштета, называемого «рийет» («риет»), который изготавливается из мяса и жира и имеет в текстуре готового продукта мясные волокна. Проведенные исследования показали возможность использования жировой утиной обрести с включением кожи, полученной после разделки тушек, в рецептуре рийета, что придает продукту уникальные вкусовые и текстурные характеристики. Важной составляющей разработанной рецептуры является многофункциональная добавка МИТПРО, которая играет ключевую роль в формировании прочности готового продукта и позволяет реструктурировать жиросодержащие компоненты в плотный полуфабрикат. Обоснован рецептурный состав имитационного шпика, включающий 5 % от общей массы многофункциональной добавки МИТПРО, 30–40 % – жировой утиной обрести с кожей, 70–60 % – водной части. Разработана структурно-технологическая схема получения рийетов с имитационным шпиком, изучены его органолептические показатели, показано, что внесение его в рецептуру не снижает балльной оценки готового продукта и улучшает консистенцию. Предлагаемое технологическое решение позволяет экономически эффективно применять в производстве недоиспользуемое сырье, сокращая пищевые отходы за счет их рациональной переработки.

Ключевые слова: имитационный шпик, рийет из утки, утиная обресть, многофункциональная добавка МИТПРО.

Благодарности: Коллектив авторов выражает благодарность руководству бренда «ЭКОФЕРМЕР» за оказание поддержки при проведении научных исследований с рийетами из утки с добавлением имитационного шпика.

Для цитирования: Альшевский Д. Л., Альшевская М. Н. Разработка рецептуры имитационного шпика на основе жиросодержащих компонентов утки для использования в технологии рийетов // Известия КГТУ. 2024. № 74. С. 51–63. DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-51-63.

Original article

Development of a recipe for imitation lard based on fat-containing components of duck for use in rillettes technology

Dmitriy L. Al'shevskiy¹, Marina N. Al'shevskaya²

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹alshevsky@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-2998>

²marina.alshevskaya@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0632-9013>

Abstract. In the Kaliningrad region, the agro-industrial complex for the cultivation and processing of agricultural raw materials of animal origin, including poultry, is actively developing. One of such fast developing enterprises for growing Mulard ducks and its further processing is the ECOFARMER brand. One of the promising areas of technology development is the development and widespread implementation of technologies that provide for complex processing of raw materials in order to obtain highly profitable and high-tech food products that are as ready for consumption as possible. These products include a type of pate called rillettes, which is made from meat and fat and has meat fibers in the texture of the finished product. Studies have shown the possibility of using fatty duck trimmings with the inclusion of skin obtained after cutting the carcasses into the rillettes recipe, giving the product unique taste and texture characteristics. An important component of the developed formulation is the multifunctional additive MITPRO, which plays a key role in shaping the strength of the finished product and allows the restructuring of fat-containing components into a dense semi-finished product. The recipe composition of imitation lard has been substantiated, including 5% of the total mass of the multifunctional additive MITPRO, 30 - 40% fatty duck trimmings with the inclusion of skin, 70 - 60% of the water part. A structural and technological scheme for producing rillettes with imitation lard has been developed, its organoleptic characteristics have been studied, and it has been shown that adding it to the recipe does not reduce the score of the finished product, improving its consistency. The proposed technological solution allows for the cost-effective use of underutilized raw materials in technology, reducing food waste through their rational use.

Keywords: imitation lard, duck rillettes, duck trim, multifunctional additive MITPRO.

Acknowledgments: The authors express their gratitude to the management of the ECOFARMER brand for providing support during scientific research with duck rillettes with the addition of imitation lard.

For citation: Al'shevskiy D. L., Al'shevskaya M. N. Development of a recipe for imitation lard based on fat-containing components of duck for use in rillettes technology // *Izvestiya KGTU=KSTU News*. 2024;(74):51–63. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-51-63.

ВВЕДЕНИЕ

Калининградская область, расположенная на Балтийском побережье России, имеет высокий потенциал развития пищевой промышленности. Климатические условия обеспечивают возможности для сельского хозяйства, в том числе для производства различных видов сельскохозяйственной продукции [1].

В области на данный момент производятся молочные продукты, зерновые, овощи и фрукты, стоит также упомянуть переработку рыбы, учитывая близость с морем, однако наибольшее распространение получило производство мясных изделий. На территории области насчитывается значительное количество мясных предприятий, которые производят продукцию из мяса крупного рогатого скота, свинины, птицы, в том числе утки. Благодаря своей особенной текстуре и вкусовым характеристикам утка становится ключевым компонентом в производстве рийета, обогащая этот деликатес утонченными нюансами. Мясные предприятия области, в свою очередь, активно интегрируют утку в производственный процесс, расширяя ассортимент и улучшая качество предлагаемых мясных изделий.

Рийет (риет, от французского *rillettes*) в готовом виде представляет собой пластичную массу из тушеных в жире со специями мяса или рыбы неоднородной консистенции. Это разновидность паштета, который готовится главным образом из мяса и жира посредством долгой варки. Основное отличие от тонкой и однородной текстуры классического паштета состоит в том, что в рийете представлены мясные волокна, и они делают его более грубым [2].

Основой для производства рийетов является сырье животного происхождения (мясо и его обрезь, субпродукты сельхозживотных и птицы). Также в рецептуру входят и разнообразные растительные компоненты, формирующие вкусоароматические свойства и пищевую ценность готового продукта [3].

На рис. 1 представлены образцы рийетов бренда «ЭКОФЕРМЕР», выпущенных в Калининградской области в экологически чистом районе, произведенных из мяса утки породы мулард без ГМО, добавок и консервантов [4].



Рис. 1. Образцы рийетов из утки бренда «ЭКОФЕРМЕР»
Fig. 1. Samples of duck rillettes from the ECOFARMER brand

После разделки утки остаются малоценные отходы, такие как кожа и жир, которые традиционно рассматриваются как побочные продукты. В некоторых случаях их используют для производства кулинарных деликатесов (хрустящих закусок). Жир утки является ценным компонентом, его можно использовать в качестве добавки в пищевой промышленности и подвергнуть переработке для получения утиного сала, которое применяется при приготовлении различных блюд или в качестве добавки к продуктам [5].

Важно отметить, что в современных подходах к вторичной переработке отходов становится актуальным использование инновационных технологий, таких как биотехнологии и рециклинг, для максимального извлечения ценности из этих материалов и снижения экологического воздействия производства.

На рис. 2 представлена обрезь, состоящая из утиного жира с включениями кожи, полученная после переработки тушек утки.



Рис. 2. Кусочки утиной обрезки, состоящей из утиного жира с включениями кожи

Fig. 2. Pieces of duck trim consisting of duck fat with skin inclusions

Использование мелких обрезков и отдельных, не цельных, кусков жира для производства качественных паштетов и рийетов, в том числе из утки, с точки зрения ресурсосбережения является актуальной задачей.

Формирование приемлемой структуры и формы полуфабриката в производстве пищевых продуктов – ключевая задача в области пищевой технологии. Существует несколько подходов к созданию необходимой структуры продукта, в том числе использование пищевых структурообразователей.

Структурообразователи на основе пищевого альгината натрия становятся все более популярными и обладают следующими преимуществами при их использовании в технологии пищевых продуктов: снижают их себестоимость в результате экономии исходного сырья; обладают хорошими эмульгирующими свойствами; позволяют использовать «холодный» способ изготовления полуфабриката; термостабильны и сохраняют плотную структуру при нагревании (варке) и замораживании [6–9].

Структурообразователи на основе альгината натрия широко используются в пищевой промышленности, например, многофункциональная пищевая добавка

МИТПРО российских производителей, целью добавления которой является в том числе и реструктурирование пищевых жиросодержащих компонентов в плотный полуфабрикат – имитационный шпик или «мясные гранулы» [10–12]. На его конечную структуру влияет ряд факторов: массовая доля МИТПРО, природа жировой части и ее количество в рецептуре. В научной литературе представлены публикации по использованию МИТПРО в пищевой технологии [7, 13, 14].

Разработаны рецептуры и обоснованы технологические решения по производству имитационного шпика с использованием различных жиросодержащих компонентов из растительного и животного сырья, в том числе из водных биологических ресурсов. Однако данные об использовании в рецептуре утиной обрезки и ее влиянии на структуру имитационного шпика в научной литературе отсутствуют.

Целью работы является научное обоснование рецептуры имитационного шпика из жиросодержащих компонентов утки и изучение качественных характеристик утинового рийета с его включением.

Для достижения цели был поставлен ряд задач:

- обоснование приемлемого соотношения жировой и водной части в рецептуре имитационного шпика на основе жиросодержащих компонентов утки, обеспечивающего характерную для него консистенцию;
- определение качественных характеристик утинового рийета, приготовленного с добавлением имитационного шпика на основе утиных жиросодержащих компонентов;
- разработка структурно-технологической схемы производства рийета из утки с применением имитационного шпика.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований являлись утиная обрезь, состоящая из утинового жира с включениями кожи, полученная после переработки тушек утки породы мулард, а также многофункциональная добавка МИТПРО, изготовленная на основе альгината натрия, и вода питьевая. Все используемое сырье, материалы и образцы, полученные в ходе проведения эксперимента, соответствовали нормативной документации по требованиям качества и безопасности (ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ЕАЭС 051/2021 «О безопасности мяса птицы и продукции его переработки», ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств»).

Для изучения влияния соотношения жиросодержащих компонентов утиной обрезки и воды на прочность имитационного шпика были изготовлены образцы с внесением в него в процессе замешивания многофункциональной добавки МИТПРО. Массовая доля добавки во всех рецептурах образцов была определена предварительно на основании рекомендуемого производителями диапазона и экспериментальных данных и составила 5 % от общей массы образца. Опытные образцы имитационного шпика из жиросодержащих компонентов утки, включающего утиный жир с кожей, изготавливались по рецептуре, представленной в табл. 1.

Таблица 1. Рецептурный состав утинового имитационного шпика
Table 1. Recipe composition of the imitation duck lard

Содержание, %	Образцы				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Жиродержащая утиная обрезь с включением кожи	70	60	50	40	30
Вода	30	40	50	60	70

Для получения экспериментальных образцов обрезь жира-сырца утки с включениями кожи измельчали на мясорубке (размер не более 2–3 мм), полученный фарш гомогенизировали с помощью блендера. Многофункциональную смесь МИТПРО вносили в воду и перемешивали на низких оборотах до ее полного растворения, далее добавляли гомогенизированную утиную обрезь. Смесь перемешивали 2–3 минуты до получения стойкой эмульсии, которую затем разливали по формам и выдерживали при температуре 2 ± 2 °С в течение часа для формирования структуры.

Показатели прочности изготовленного имитационного шпика из жиродержащей утиной обрезки определяли по методике, прописанной в п. 4.4.2 ГОСТ 26185-84 «Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа».

Прочность изготовленного имитационного шпика из утиной обрезки рассчитывали по разработанной на кафедре технологии продуктов питания ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» методике, в основе которой лежит нахождение величины упругости. Упругость вычисляли по формуле [15]:

$$Y = \frac{\xi_0}{\xi_m} * 100,$$

где ξ_0 – значение мгновенной деформации, 10^{-3} м; ξ_m – величина максимальной деформации, 10^{-3} м (через 3 мин.).

Математическая обработка полученных результатов проводилась при помощи программного пакета Microsoft Office 2016.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 3 и в табл. 2 представлен внешний вид и характеристики текстуры полученных образцов.

Органолептическая оценка образцов показала, что образец № 1 с соотношением массовой доли жира-сырца утинового к массовой доле воды 70:30 имеет мажеобразную, маслянистую, липкую консистенцию и структуру, что является неприемлемым для его дальнейшего использования в изготовлении рийетов с добавлением имитационного шпика.

Образцы № 2 имели более плотную и студенистую текстуру по сравнению с образцом № 1, тем не менее их консистенция оставалась мажущей, густой, немного липкой и умеренно вязкой, что также делает образец недостаточно приемлемым для изготовления рийетов с использованием имитационного шпика.



Рис. 3. Образцы имитационного шпика с соотношением массовой доли утиной обрезки с включениями кожи к массовой доле воды 70:30 (№ 1), 60:40 (№ 2), 50:50 (№ 3), 40:60 (№ 4), 30:70 (№ 5) соответственно
 Fig. 3. Samples of imitation lard with the ratio of the mass fraction of duck trimming to the mass fraction of water 70:30 (№ 1), 60:40 (№ 2), 50:50 (№ 3), 40:60 (№ 4), 30:70 (№ 5) respectively

Таблица 2. Изменение показателей прочности и упругости, а также органолептическое описание текстуры имитационного шпика на основе жиросодержащей утиной обрезки

Table 2. Changes in strength, elasticity, as well as organoleptic description of the finished imitation lard depending on the ratio of duck trim and water

Образцы	Прочность, г	Упругость	Органолептическое описание текстуры имитационного шпика на основе жиросодержащей утиной обрезки
№ 1	–	–	Консистенция мажущая, густая, липкая
№ 2	–	–	Консистенция мажущая, густая, липкая, более плотная
№ 3	402±20	0,76±0,04	Консистенция пластичная, однородная, удовлетворительно держит форму
№ 4	430±21	0,10±0,01	Консистенция плотная, твердая, хорошо держит форму
№ 5	443±22	0,07±0,01	Консистенция плотная, сухая, твердая, хорошо держит форму

Наибольшей плотностью обладали образцы № 4 и № 5 с соотношением массовой доли жира-сырца утиного к массовой доле воды 40:60 (образец № 4) и 30:70 (образец № 5). Они имели плотную и твердую консистенцию, которая максимально приемлема для разрабатываемого вида продукции. По результатам проведенных исследований показатель плотности имитационного шпика на основе жиродержащей утиной обрезки должен быть не менее 430 ± 21 г.

На основании полученных данных рекомендуемое соотношение жиродержащей и водной части в рецептуре имитационного шпика для производства рийета составляет 30–40 % к 70–60 % соответственно.

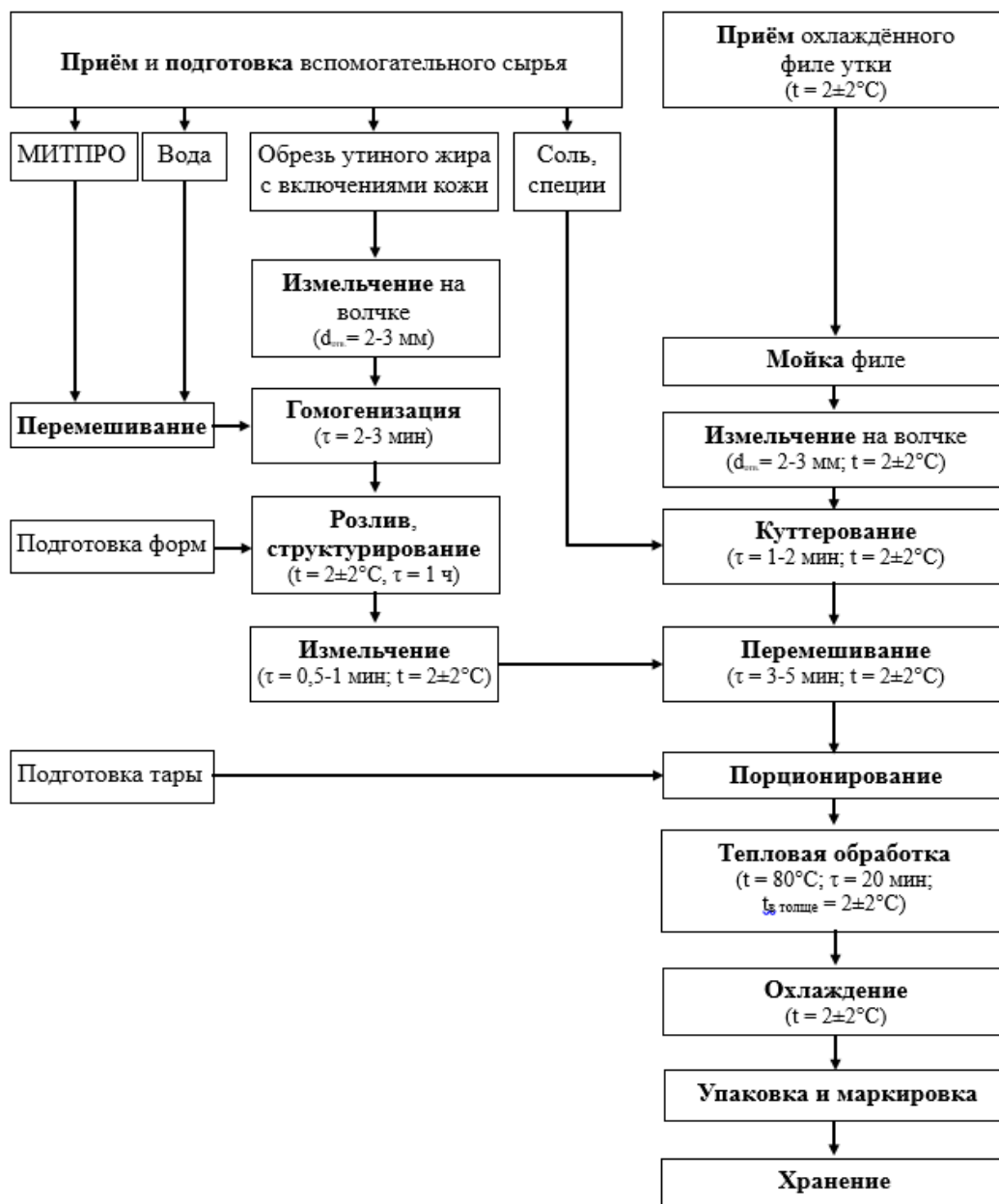


Рис. 4. Структурная технологическая схема производства рийета из утки с применением имитационного шпика

Fig. 4. Structural technological scheme for the production of duck rillettes using imitation lard

На втором этапе исследований была отработана рецептура образцов рийета из утки с содержанием имитационного шпика по разработанной рецептуре. Структурно-технологическая схема представлена на рис. 4.

Для определения влияния имитационного шпика по разработанной рецептуре на органолептические показатели рийета были приготовлены его модельные образцы с имитационным шпиком (5, 10 и 15 % от общей массы). Дегустационный анализ показал, что в образце с массовой долей жира 15 % дегустаторы отметили излишнее его количество (общая оценка 4,1 балла), общие балльные оценки образцов с массовой долей 5 и 10 % находились в пределах экспериментальной погрешности (4,7 и 4,8 балла соответственно). На основании полученных данных была выбрана массовая доля шпика в рецептуре рийета 10 % от общей массы.

На втором этапе исследований была отработана рецептура образцов рийета из утки с содержанием имитационного шпика 10 % от общей массы филе утки со специями. На рис. 5 и в табл. 3 представлены внешний вид и органолептические характеристики образцов рийета с использованием имитационного шпика на основе утиного жира с включениями кожи и без них (контрольный образец).

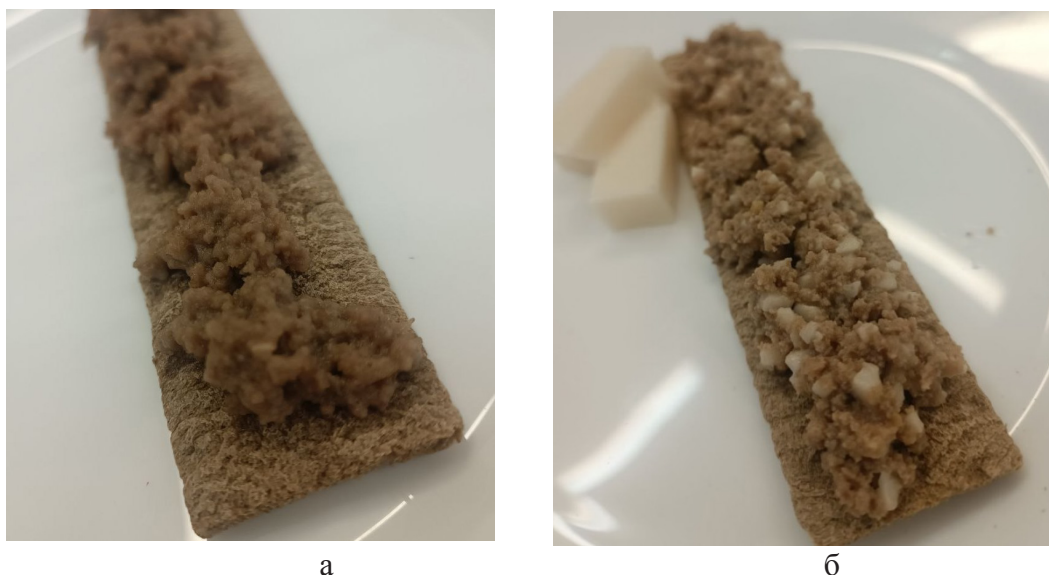


Рис. 5. Внешний вид образцов рийета из утки: а) контрольный образец; б) образец с добавлением имитационного шпика
Fig. 5. Appearance of duck rillette samples: a) control sample; b) sample with the addition of imitation bacon

Из представленных в табл. 3 данных видно, что и контрольный, и с добавлением шпика на основе утиного жира образцы получили высокие оценки дегустаторов, это говорит о возможности его включения в рецептуру рийета. Дегустаторы отметили, что добавление шпика делает консистенцию более нежной и оригинальной. Также использование имитационного шпика (массовая доля составляет 10%) в рецептуре рийета позволяет уменьшить его себестоимость, обеспечить комплексную переработку утки и расширить ассортиментную линейку за счет применения недоиспользованных сырьевых ресурсов.

Таблица 3. Органолептическая оценка полученных образцов рийета
Table 3. Organoleptic evaluation of the obtained rillette samples

Показатель	Характеристика	
	контроль	образец рийета с добавлением имитационного шпика
Внешний вид	Чистая, сухая, равномерно запеченная поверхность	
Консистенция	Мажущая, нежная, однородная, с включение волокон мышечной ткани	Мажущая, нежная, с включением волокон мышечной ткани и небольших кусочков шпика
Запах и вкус	Свойственные данному виду продукта, в меру соленый, без посторонних привкуса и запаха, с выраженным ароматом пряностей	
Общая оценка, балл	4,7	4,8

ВЫВОДЫ

1. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод, что приемлемым соотношением жировой (на основе обрезки утиного жира с включениями кожи) и водной части в рецептуре имитационного шпика является 30–40 % к 70–60 % соответственно, с массовой долей многофункциональной добавки МИТПРО 5 %.

2. Показано, что внесение в состав рийета имитационного шпика по разработанной рецептуре не влияет отрицательно на его органолептическую оценку и придает консистенции нежность и мягкость.

3. Разработана структурно-технологическая схема производства рийета из утки с применением имитационного шпика, позволяющая расширить ассортимент рийетов и ассортиментную линейку.

Список источников

1. Айрапетян А. А., Манжесов В. И., Чурикова С. Ю. Разработка технологии мясного паштета функционального назначения // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 4. С. 126–131.

2. Разработка технологии паштетов функционального назначения с использованием мяса уток мулард / А. А. Айрапетян, И. В. Максимов, В. И. Манжесов, С. Ш. Мамаев // Научные исследования: фундаментальные и прикладные аспекты. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет им. Петра I». 2023. С. 64–69.

3. Продуктивные качества уток разных кроссов / О. Ю. Ежова, А. Я. Сенько, С. А. Хакимова, Л. В. Сычева // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 6 (86) С. 336–340.

4. ЭКОФЕРМЕР: интернет-магазин. Калининград, 2017. URL: <http://ecofermer39.ru> (дата обращения: 28.02.2024).

5. Андреев М. П., Морозов И. О. Влияние структурообразователей различной природы на реологические свойства желейных пищевых продуктов на основе

вторичного рыбного сырья // Известия Калининградского государственного технического университета. 2020. № 57. С. 89–98.

6. Меньшикова Л. Новые функциональные смеси – рецепт вашего успеха // Всё о мясе. 2007. № 5. С. 26–27.

7. Альшевский Д. Л., Аюпова Т. М. Разработка рецептуры имитационного шпика на основе жиросодержащих компонентов конины // Научно-практический журнал «Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов» ОГУ им. И. С. Тургенева. 2023. № 6 (83). С. 8–12.

8. Разработка технологии быстрорастворимой формы альгината натрия / В. В. Ковалев, Р. Ю. Хотимченко, Е. А. Подкорытова, Е. В. Хожаенко // Тихоокеанский медицинский журнал. 2014. № 2. С. 88–92.

9. Запорожец Е. Ю., Нугманов А. Х. Перспективы получения альгината натрия из бурых водорослей Каспийского моря // Вестник АГТУ. 2022. № 2 (74). С. 48–53.

10. Recent advances in fabrication of food grade oleogels: structuring methods, functional properties and technical feasibility in food products / R. Paper, et al. // Journal of Food Measurement and Characterization. 2022. V. 16. P. 4687–4702.

11. Exploitation of Seaweed Functionality for the Development of Food Products / A. Kumar, et al. // Food and Bioprocess Technology. 2023. V. 16. P. 1873–1903.

12. Штенина Д. В. Обзор функционально-технологических добавок, применяемых при производстве формованных изделий из гидробионтов // Вестник науки и образования. 2022. № 1 (121). Ч. 2. С. 34–37.

13. Регрессионная модель плотности имитационного шпика / В. А. Наумов, Ю. Н. Коржавина, А. Г. Шибeko, В. И. Сингаев, Д. Л. Альшевский // Известия Калининградского государственного технического университета. 2020. № 58. С. 94–102.

14. Scientific substantiation of the use of imitation fat in the production of semi-finished fish products / Yu. N. Korzhavina, et al. // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry. 2022. N. 3. P. 66–73.

15. Альшевская М. Н., Кочина А. А., Пирожкова К. А. Влияние технологических факторов на процесс сферификации сока облепихи в молекулярной гастрономии // Journal of Agriculture and Environment. 2024. № 2 (42). URL: <https://jae.cifra.science/archive/2-42-2024-february/10.23649/JAE.2024.42.11> (дата обращения: 28.02.2024). DOI: 10.23649/JAE.2024.42.11.

References

1. Ayrapetyan A. A., Manzhesov V. I., Churikova S. Yu. Razrabotka tekhnologii myasnogo pashteta funktsional'nogo naznacheniya [Development of technology for functional meat pate]. *Vestnik VGUIT*. 2020, vol. 82, no. 4. pp. 126–131.

2. Ayrapetyan A. A., Maksimov I. V., Manzhesov V. I., Mamaev S. Sh. Razrabotka tekhnologii pashtetov funktsional'nogo naznacheniya s ispol'zovaniem myasa utok mulard [Development of technology for functional pates using mulard duck meat]. *Nauchnye issledovaniya: fundamental'nye i prikladnye aspekty* [Scientific research: fundamental and applied aspects]. Voronezh, FGBOU VO "Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet im. Petra I". 2023, pp. 64–69.

3. Ezhova O. Yu., Sen'ko A. Ya., Khakimova S. A., Sycheva L. V. Produktivnyye kachestva utok raznykh krossov [Productive qualities of ducks of different crosses]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020, no. 6 (86), pp. 336–340.
4. EKOFORMER. internet-magazin. Kaliningrad, 2017, available at: <http://ecoformer39.ru> (Accessed 28 February 2024).
5. Andreev M. P., Morozov I. O. Vliyanie strukturoobrazovatelye razlichnoy prirody na reologicheskie svoystva zheleynykh pishchevykh produktov na osnove vtorichnogo rybnogo syr'ya [The influence of structure formers of various natures on the rheological properties of jelly food products based on secondary fish raw materials]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2020, no. 57, pp. 89–98.
6. Men'shikova L. Novye funktsional'nye smesi – retsept vashego uspekha [New functional mixtures – a recipe for your success]. *Vsyo o myase*. 2007, no. 5, pp. 26–27.
7. Al'shevskiy D. L., Ayupova T. M. Razrabotka retseptury imitatsionnogo shpika na osnove zhirosoderzhashchikh komponentov konini [Development of a recipe for imitation lard based on fat-containing components of horse meat]. *Nauchno-prakticheskiy zhurnal «Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov» OGU im. I. S. Turgeneva*. 2023, no. 6 (83), pp. 8–12.
8. Kovalev V. V., Khotimchenko R. Yu., Podkorytova E. A., Khozhaenko E. V. Razrabotka tekhnologii bystrorastvorimoy formy al'ginata natriya [Development of technology for a rapidly soluble form of sodium alginate]. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2014, no. 2, pp. 88–92.
9. Zaporozhets E. Yu., Nugmanov A. Kh. Perspektivy polucheniya al'ginata natriya iz burykh vodorosley Kaspiyskogo moraya [Prospects for obtaining sodium alginate from brown algae of the Caspian Sea]. *Vestnik AGTU*. 2022, no. 2 (74), pp. 48–53.
10. Paper R., et al. Recent advances in fabrication of food grade oleogels: structuring methods, functional properties and technical feasibility in food products. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2022, vol. 16, pp. 4687–4702.
11. Kumar A., et al. Exploitation of Seaweed Functionality for the Development of Food Products. *Food and Bioprocess Technology*. 2023, vol. 16, pp. 1873–1903.
12. Shtenina D. V. Obzor funktsional'no-tekhnologicheskikh dobavok, primenyaemykh pri proizvodstve formovannykh izdeliy iz gidrobiontov [Review of functional and technological additives used in the production of molded products from aquatic organisms]. *Vestnik nauki i obrazovaniya*. 2022, no. 1 (121), part 2, pp. 34–37.
13. Naumov V. A., Korzhavina Yu. N., Shibeko A. G., Singaev V. I., Al'shevskiy D. L. Regressionnaya model' plotnosti imitatsionnogo shpika [Regression model of simulated backfat density]. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2020, no. 58, pp. 94–102.

14. Korzhavina Yu. N., et al. Scientific substantiation of the use of imitation fat in the production of semifinished fish products. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2022, no. 3, pp. 66–73.

15. Al'shevskaya M. N., Kochina A. A., Pirozhkova K. A. Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na protsess sferifikatsii soka oblepikhi v molekulyarnoy gastronomii [The influence of technological factors on the process of spherification of sea buckthorn juice in molecular gastronomy]. *Journal of Agriculture and Environment*. 2024, no. 2 (42), available at: <https://jae.cifra.science/archive/2-42-2024-february/10.23649/JAE.2024.42.11> (Accessed 28 February 2024). DOI: 10.23649/JAE.2024.42.11.

Информация об авторах

Д. Л. Альшевский – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания»

М.Н. Альшевская – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания»

Information about the authors

D. L. Al'shevskiy – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Technology

M. N. Alshevskaya – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Technology

Статья поступила в редакцию 20.04.2024; одобрена после рецензирования 15.05.2024; принята к публикации 03.06.2024.

The article was submitted 20.04.2024; approved after reviewing 15.05.2024; accepted for publication 03.06.2024.

Научная статья
УДК 664.66.022.39
DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-64-77

**Совершенствование рецептуры и установление срока годности
специализированного хлебобулочного изделия пониженной влажности
для детей школьного возраста**

Екатерина Дмитриевна Ковалева¹, Наталия Юрьевна Ключко², Дарья Александровна Позднякова³

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

¹ kovaleva_k_30@mail.ru

² natalya.kluchko@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6708-9674>

³ dakrup1202@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9868-0133>

Аннотация. В работе представлены результаты анкетирования школьников 6–17 лет г. Калининграда по выявлению их предпочтений при выборе продуктов для перекуса, в том числе на основе рыбных компонентов. В ходе проведения исследований установлено, что основная часть опрошенных респондентов – 49,4 % – прибегает к перекусам вне дома 1–2 раза в день, 27,5 % – 3 и более раз в день. Среди продуктов для перекуса преобладают шоколад и конфеты (21,7 %), бутерброды, хот-доги и гамбургеры (21,7 %), печенье, соломка и крекеры (21,3 %), сухарики, чипсы и соленые орешки (20,6 %). Данные изделия нельзя отнести к продуктам «здорового питания». Также установлено, что 55 % детей не употребляют рыбные изделия из-за специфического вкуса, запаха и наличия костей, однако опрашиваемые готовы попробовать обогащенную снековую продукцию. Анализ результатов анкетирования позволил предложить расширение ассортимента таких изделий за счет совершенствования рецептуры соломки пшеничной путем введения в ее состав промытого рыбного фарша из трески балтийской (*Gadus morhuas*). В работе приводятся результаты исследований по обоснованию режимов подготовки рыбного полуфабриката, результаты органолептических и физико-химических показателей обогащенной соломки, рекомендации по употреблению, определенные исследователями ранее. Установлено, что введение рыбного фарша не снижает хрусткость изделий пониженной влажности. С помощью реологических методов показано, что применение в качестве разрыхлителя дрожжей позволяет получить изделия более воздушные, чем при использовании химических разрыхлителей. Проведены микробиологические испытания хранимоспособности готового продукта. Установлен срок хранения для соломки с добавлением рыбного белка, названной «Морская», – 3 месяца при температуре плюс 23±2 °С и относительной влажности воздуха не более 65 %.

Ключевые слова: специализированная продукция, школьники, школьный возраст, обогащенные продукты, хлебобулочные изделия пониженной влажности, соломка, снеки, треска балтийская, рыбный белок.

Для цитирования: Ковалева Е. Д., Ключко Н. Ю., Позднякова Д. А. Совершенствование рецептуры и установление срока годности специализированного хлебобулочного изделия пониженной влажности для детей школьного возраста // Известия КГТУ // Известия КГТУ. 2024. № 74. С. 64–77. DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-64-77.

Original article

Improving the formulation and setting the shelf life of a specialized bakery product with low humidity for school-age children

Ekaterina D. Kovaleva¹, Nataliya Yu. Kl'yuchko², Dar'ya A. Pozdnyakova³,

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

¹kovaleva_k_30@mail.ru

²natalya.kluchko@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6708-9674>

³dakrup1202@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9868-0133>

Abstract. The paper presents the results of a survey of schoolchildren aged 6–17 years to identify their preferences when choosing products for a snack, including those based on fish components. During the research, it has been found that the majority of respondents – 49.4% – resort to snacks outside the house 1–2 times a day, 27.5% – 3 or more times a day. Among the snack foods that predominate in the diet of children are chocolate and sweets (21.7%), sandwiches, hot dogs and hamburgers (21.7%), biscuits, straws and crackers (21.3%), chips and salted nuts (20.6%). These products cannot be classified as "healthy food" products. It has also been found that 55% of children do not consume fish products due to the specific taste, smell and presence of bones. However, the respondents are ready to try enriched snack products. The analysis of the survey results allowed us to propose an expansion of the range of such products by improving the formulation of wheat straw by introducing washed minced fish obtained from Baltic cod (*Gadus morhua*) into its composition. The paper presents the results of research to substantiate the modes of preparation of fish semi-finished products, the results of organoleptic and physico-chemical parameters of enriched straws, recommendations for use determined by researchers earlier. It has been found that introduction of minced fish does not reduce the crispness of products characteristic of products with low humidity. Using rheological methods, it has been shown that the use of yeast as a leavening agent makes it possible to obtain products more airy than when using chemical leavening agents. Microbiological tests of the storage capacity of the finished product have also been carried out. The shelf life for straws with the addition of fish protein, called "Marine", is 3 months at a temperature of plus $23 \pm ^\circ\text{C}$ with and relative humidity of not more than 65%.

Keywords: specialized products, schoolchildren, school age, fortified products, bakery products of low humidity, straws, snacks, Baltic cod, fish protein.

For citation: Kovaleva E. D., Klyuchko N. Yu., Pozdnyakova D. A. Improving the formulation and setting the shelf life of a specialized bakery product with low humidity for school-age children // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(74):64–77. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-64-77.

ВВЕДЕНИЕ

Период жизни человека от 6 до 17 лет, приходящийся на обучение в школе, является ключевым в развитии его организма, когда завершается формирование органов и систем, происходит резкая гормональная перестройка, возникают качественные изменения в нервно-психической сфере [1]. Для формирования и сохранения здоровья школьника необходимо грамотно организовать его питание [2, 3]. В течение дня дети часто отдают предпочтение перекусам, среди которых большой популярностью пользуется такая группа продуктов, как снеки [2, 4]. Пищевая промышленность, следуя за этой тенденцией, все больше расширяет ассортимент. Среди хлебобулочных изделий (ХБИ) к снекам относится соломка – углеводный продукт хрупкой структуры с содержанием массовой доли влаги не более 11 % – в виде палочек диаметром 5–8 мм, длиной 10–28 см, золотисто-желтого цвета, с глянцевой поверхностью [5]. Ассортимент соломки, представленный на прилавках торговых сетей Калининградской области, невелик и в большинстве не приемлем для питания детей школьного возраста. Полученные нами ранее данные говорят о целесообразности расширения рынка специализированной пищевой продукции для детей школьного возраста, в том числе за счет разработки хлебобулочных изделий пониженной влажности, обогащенных белком [6].

В последнее время в качестве основных источников белка при обогащении хлебобулочных изделий ученые предлагают использовать как добавки растительного происхождения (шрот масличных культур (подсолнечных, хлопковых, льняных, конопляных, виноградных, абрикосовых, миндальных семян, сафлора, люпина), концентраты и изоляты белков семян сои, подсолнечника, хлопчатника, арахиса, кунжута, фасоли, рапса, картофелепродукты), так и добавки животного происхождения (молоки лососевых видов рыб, сурими, кефирную закваску, молочную сыворотку) [7–11]. Особый интерес в качестве полноценного белка представляет рыбный белок. Известны работы отечественных и зарубежных ученых (Черногорцева А. П., Разумовской Р. Г., Лысовой А. С., Бессмертной И. А., Цибиновой М. Е., Воробьева В. И., Мезеновой О. Я., Kumar A., Krishanmoorthy E., Xiangyang G., Ruyi Zh., Qiuzhu G., Fengwei G., Yingying W. и др.) по использованию промытого или ферментированного рыбного фарша в технологии мучных кондитерских, хлебобулочных изделий, а также разработке снековой продукции [5, 6, 11–18]. Однако при производстве специализированных хлебобулочных изделий пониженной влажности для детей школьного возраста ранее не использовался способ введения в состав теста рыбного белка.

Цель настоящей работы заключалась в обосновании необходимости разработки и совершенствовании рецептуры соломки пшеничной для детей школьного возраста путем введения в ее состав рыбного фарша.

Для решения поставленной цели решались следующие задачи:

- провести анкетирование детей школьного возраста для изучения рациона их питания и выявления предпочтений в области перекусов;
- исследовать влияние различных разрыхлителей на хрупкость изделий с применением реологических методов исследования;
- провести оценку хранимоспособности готовой продукции – соломки пшеничной, обогащенной рыбным белком, по микробиологическим показателям.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты при проведении маркетинговых исследований – потребительские предпочтения детей школьного возраста от 6 до 17 лет, при проведении экспериментальных исследований – соломка пшеничная, обогащенная рыбным белком.

Для изучения потребительских предпочтений была разработана анкета, позволяющая провести одномоментный поперечный анализ у респондентов. Анкетирование проводили с использованием программы Google-формы. Обработка данных произведена в приложениях MS Excel, Google-таблицы с применением сводных таблиц.

Для получения соломки использовались следующие рецептурные компоненты: треска балтийская (*Gadus morhua*), соответствующая ГОСТ 814-2019 «Рыба охлажденная. Технические условия», мука пшеничная высшего сорта (ГОСТ 26574-2017 «Мука пшеничная хлебопекарная»), маргарин 60 % (ГОСТ 32188-2013 «Маргарины. Общие технические условия»), сахар белый (ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия») и соль поваренная пищевая (ГОСТ Р 51574-2018 «Соль пищевая. Общие технические условия»). В качестве разрыхлителя использовали смесь карбоната и гидрокарбоната натрия (ГОСТ 32802-2014), а также дрожжи хлебопекарные сушеные (ГОСТ Р 54845-2011 «Дрожжи хлебопекарные сушеные. Технические условия»). По показателям безопасности все сырье соответствовало требованиям ТР ЕАЭС 040/2016 и ТР ТС 021/2011 [19, 20].

В работе применяли 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). Исследование реологических характеристик проводили на текстурном анализаторе СТ-3 «Brookfield». Сущность метода заключается в тензометрическом измерении нагрузки, необходимой для разрушения образцов соломки при заданных условиях. Использование цилиндрического индентора позволяет имитировать процесс разламывания, характеризуя хрупкость изделия.

Микробиологическая безопасность образцов оценивалась по стандартной методике определения величины количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), количеству единиц (КОЕ/г) плесневых грибов, количеству единиц (КОЕ/г) дрожжей, наличию патогенных и условно-патогенных микроорганизмов – бактерий группы кишечной палочки (БГКП). Определение общего количества аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов проводили по ГОСТ 10444.15-94, выявление и определение количества плесневых грибов и дрожжей – по ГОСТ 10444.12-2013, бактерий группы кишечной палочки (БГКП) – по ГОСТ 31747-2012.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При изучении ассортимента для перекусов проводили анализ спроса и качества употребляемых изделий, оценивали необходимость расширения отечественного диапазона, интерес школьников к хлебобулочной продукции пониженной влажности. Поставленная задача достигалась путем анкетирования детей школьного возраста в количестве 330 человек (57 % женского пола, 43 % – мужского), среди них 22,7 % были в возрасте 6–8 лет, 30,9 % – 9–11 лет, 28,2 % – 12–14 лет и 18,2 % – 15–17 лет. Опрос школьников показал, что у большинства респондентов (65,9 %) 3 полноценных приема пищи в течение дня, 4 раза принимают пищу 28,2 %, а 2 и менее раз – 5,2 %, при этом перекусывают в школе больше половины респондентов – 72,4 % (рис. 1).

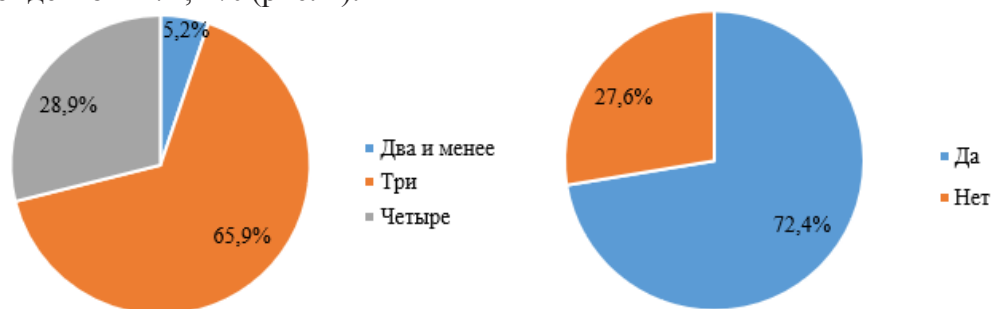


Рис. 1. Распределение респондентов по количеству полноценных приемов пищи в течение дня и наличию перекусов в школе, %

Fig. 1. Distribution of respondents by the number of full meals during the day and availability of snacks at school, %

На рис. 2 представлены данные о предпочтениях продуктов для перекуса у детей школьного возраста. Основным перекусом опрашиваемых являются шоколад и конфеты – 21,7 %, а также бутерброды, хот-доги и гамбургеры – 21,7 %, печенье, соломка и крекеры предпочитает 21,3 % школьников, сухарики, чипсы и соленые орешки – 20,6 %. Наименьший интерес в качестве продуктов для перекуса представляют пироги и булочки (5,8 %), фрукты и овощи (4,3 %), орехи и сухофрукты (2,7 %), кисломолочные продукты – йогурт, творожок, кефир и др. (1,9 %).

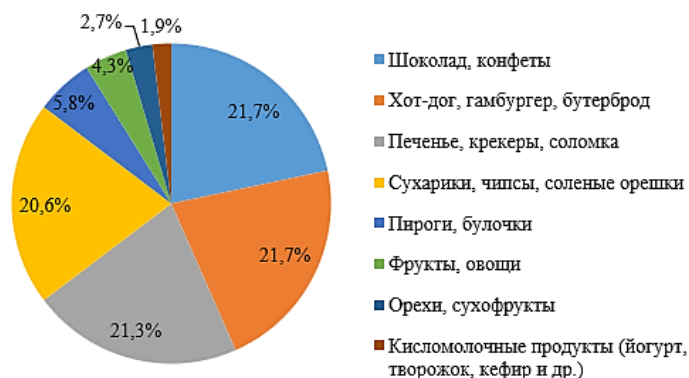


Рис. 2. Распределение респондентов по предпочтениям продуктов для перекуса, %

Fig. 2. Distribution of respondents by snack food preferences, %

Основными факторами при выборе продуктов для перекуса у опрошенных являются вкус и запах (32,5 %), внешний вид (23,7 %), цена (17,9 %) и свежесть (14,3 %). Такие факторы, как состав (7,7 %) и благоприятное воздействие на организм (3,9 %), оказались менее актуальными (рис. 3).

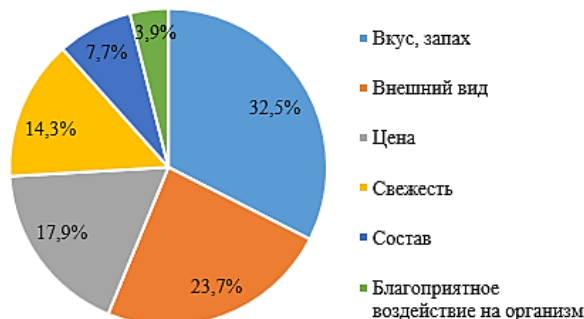


Рис. 3. Распределение респондентов по основным факторам, влияющим на выбор продуктов для перекуса, %

Fig. 3. Distribution of respondents by the main factors influencing the choice of snacks, %

На рис. 4 видно, что основная масса респондентов (49,4 %) к перекусам прибегает 1–2 раза в день; 27,5 % – 3 и более раз в день; 23,1 % – 1–2 раза в неделю. Выбор продуктов для перекуса школьники в основном делают сами (55,8 %), родители выбирают перекус для ребенка среди 34,9 % обучающихся, а еда зависит от предпочтения одноклассников у 9,3 % учащихся.

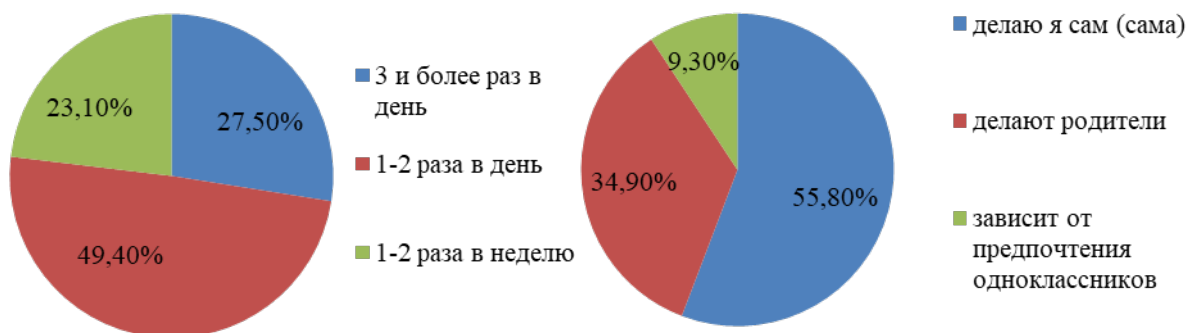


Рис. 4. Распределение респондентов по частоте употребления перекусов и о том, кто влияет на выбор перекусов, %

Fig. 4. Distribution of respondents by the frequency of snacking and who influences the choice of snacks, %

К вопросу об отношении к расширению ассортимента продуктов для перекуса за счет обогащения полезными компонентами положительно относятся 58,1 % обучающихся, нейтрально – 39,3 %, а отрицательно – 2,6 %. Среди опрошиваемых 76,7 % школьников хотели бы попробовать «здоровый» перекус, в частности, соломку, обогащенную белком (рис. 5).

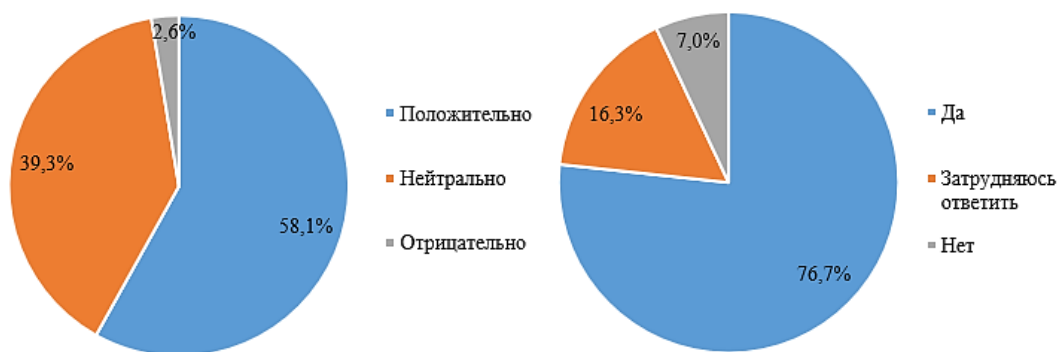


Рис. 5. Распределение респондентов по отношению к расширению ассортимента продуктов для перекуса за счет обогащения полезными компонентами и о желании попробовать «здоровый перекус», в частности соломку, обогащенную белком, %
 Fig. 5. Distribution of respondents in relation to the expansion of the range of products for snacking due to the enrichment of useful components and the desire to try a «healthy snack», in particular straws enriched with protein, %

На вопрос о частоте употребления рыбных продуктов 55 % респондентов ответили, что очень редко употребляют их, 5 % – 1–2 раза в неделю, лишь 20 % школьников хотя бы 1–2 раза в месяц едят данный вид изделий, а 20 % вообще не употребляют рыбные продукты. Основная причина отказа от рыбной продукции среди опрашиваемых – не нравится вкус, запах (58,8 %), также отказываются от употребления из-за страха подавиться косточками (23,5 %). У 8,5 % опрашиваемых рыбные изделия не готовят дома, а у 8 % – аллергия на рыбный белок (рис. 6).

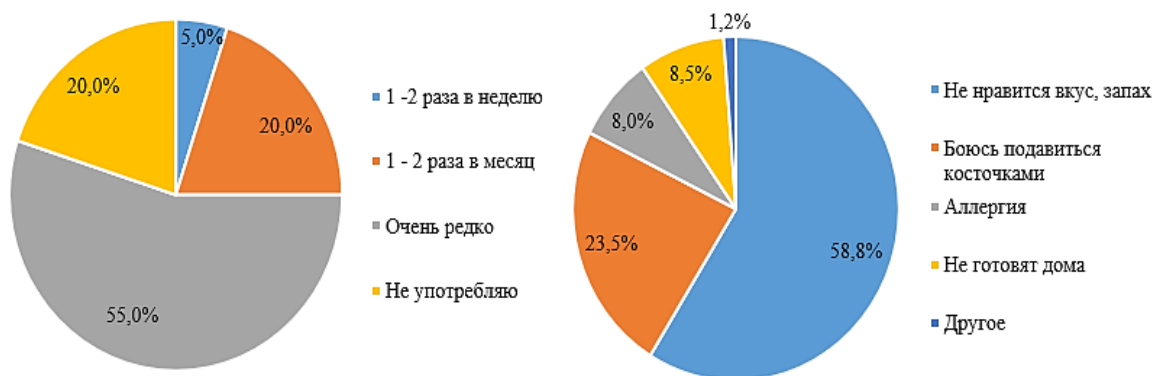


Рис. 6. Распределение респондентов по частоте употребления рыбных продуктов и причинам их неупотребления, %
 Fig. 6. Distribution of respondents according to the frequency of consumption of fish products and the reasons for their disuse, %

Исходя из данных рис. 1–6, можно сделать следующие выводы: 1) предпочтения детей школьного возраста при выборе продуктов для перекусов свидетельствуют о низкой популярности рыбной продукции; 2) отмечено при этом положительное отношение респондентов к расширению ассортимента снековой продукции за счет обогащения полезными компонентами, в частности, соломки с добавлением в ее состав рыбного белка. Таким образом, совершенствование

рецептуры хлебобулочных изделий пониженной влажности путем введения натурального животного сырья является актуальным.

Определение оптимальных параметров процесса подготовки рыбного белка осуществляли с использованием математического планирования эксперимента [6, 13, 14]. В результате экспериментальных данных, полученных нами ранее, было установлено, что время промывания фарша трески балтийской в воде температурой 22 ± 3 °С при гидромодуле 1 : 2 должно составлять 18–20 мин. При данной продолжительности промывания фарш приобретает необходимые реологические показатели, благодаря которым консистенция мышечных волокон становится более эластичной [6, 13, 14].

Для определения вкусовых предпочтений наиболее распространенных рецептов соломки были произведены пробные выпечки изделий на основе химического разрыхлителя и дрожжей. Путем органолептической оценки, а также исследования реологических характеристик готовой продукции остановились на рецептуре соломки «Соленая» с применением дрожжей. Варьирование количества вносимых дрожжей и рыбного белка позволило определить оптимальные параметры рецептуры и получить обогащенный продукт с заданными характеристиками [6, 13, 14].

Органолептические показатели качества обогащенной соломки «Морская» показали, 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, с приятным вкусом и запахом, свойственным данному виду изделий, с неуловимым или очень слабым ароматом рыбы [6, 13, 14]. Исследования физико-химических показателей качества соломки «Морская» свидетельствуют, что содержание белка в обогащенной продукции увеличилось на 66 %, минеральных веществ – на 11 %, содержание углеводов снизилось на 5,7 % [6, 13, 14]. Расчет биологической ценности продукции и коэффициента утилитарности аминокислотного состава показал их увеличение в обогащенной продукции соответственно на 11,3 % и 0,17 дол. ед.

Согласно МР 2.3.1.2432-08 физиологические потребности в белке детей старше 1 года составляют от 36 до 87 г в сутки. Если школьники будут употреблять в сутки 100 г соломки, обогащенной рыбным белком, то они удовлетворят суточную потребность в белке на 12 %.

В связи с добавлением в рецептуру соломки рыбного белка важной задачей являлось сохранение хрупкости готовой продукции. Для оценки этого реологического свойства на текстурном анализаторе СТ-3 «Brookfield» проводили тензометрическое измерение нагрузки, необходимое для разрушения образцов соломки. На рис. 7, 8 показаны результаты измерения усилия нагружения во времени при фиксации положения индентора цилиндрической формы после его внедрения в образцы соломки (образец № 1 с использованием химического разрыхлителя, образец № 2 – разрыхлителя и рыбного белка, образец № 3 с добавлением дрожжей, образец № 4 – дрожжей и рыбного белка).

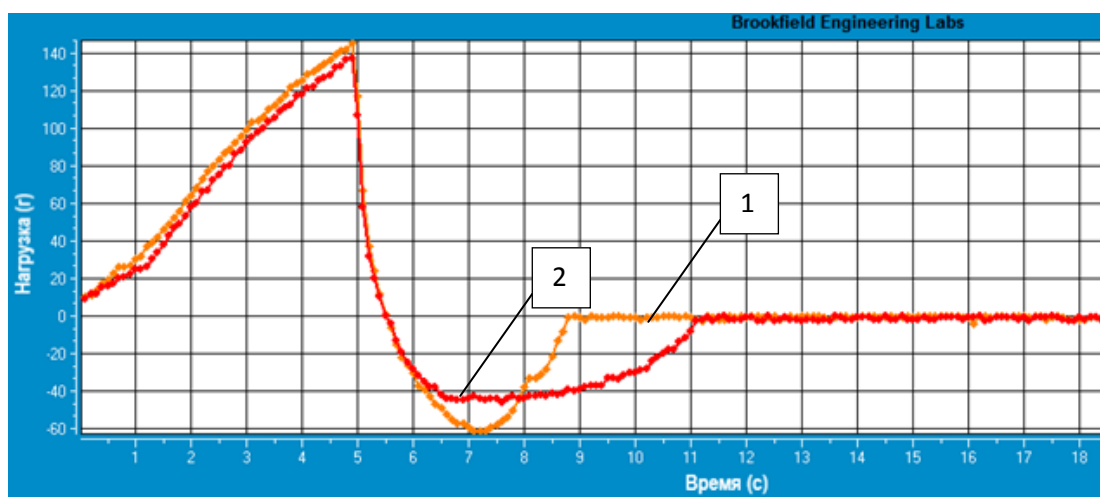


Рис. 7. Изменение усилия нагружения во времени при фиксации положения индентора цилиндрической формы после его внедрения в образцы соломки, изготовленные с использованием химического разрыхлителя (образец № 1) и с использованием химического разрыхлителя и добавлением рыбного белка (образец № 2)

Fig. 7. The change in the loading force over time when fixing the position of the cylindrical-shaped indenter after its introduction into straw samples prepared using chemical baking powder (sample No. 1) and using chemical baking powder and addition of fish protein (sample No. 2)

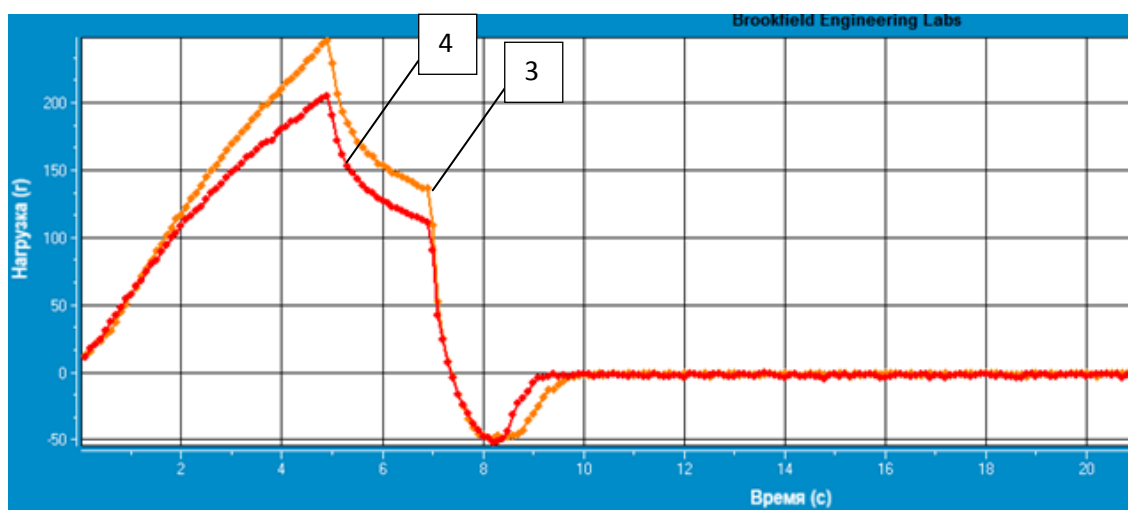


Рис. 8. Изменение усилия нагружения во времени при фиксации положения индентора цилиндрической формы после его внедрения в образцы соломки, изготовленные с использованием дрожжей (образец № 3) и с использованием дрожжей и добавлением рыбного белка (образец № 4)

Fig. 8. The change in the loading force over time when fixing the position of the cylindrical-shaped indenter after its introduction into straw samples prepared using yeast (sample No. 3) and using yeast and the addition of fish protein (sample No. 4)

Исследование реологических характеристик соломки показало, что в процессе определения нагрузки, приложенная для разрушения структуры изделий до образования заметных остаточных деформаций при равном времени, больше у образцов соломки с дрожжами и значительно меньше у образцов соломки с химическим разрыхлителем. Это свидетельствует о более воздушной структуре готовых изделий и их хрупкости, которая сохраняется после добавления в рецептуру промытого рыбного фарша.

Анализ микробиологических критериев безопасности сырья, ингредиентов, готового продукта показал их соответствие нормативным требованиям. Для установления срока хранения обогащенной соломки, названной «Морская», в качестве вариативных условий хранения были выбраны оптимальные (температура хранения плюс 23°C при относительной влажности воздуха 45–50 %) и экстремальные условия (температура хранения плюс 4 °C при относительной влажности воздуха 45–50 %). Предполагаемый срок хранения ХБИ пониженной влажности составляет 3 мес, поэтому были установлены следующие контрольные точки для исследования в процессе хранения: 0, 7, 14 сут; 1, 2, 3 мес и 3 мес 7 дней. Установлено, что при хранении как в оптимальных, так и экстремальных условиях соломки «Морская» количественный состав микрофлоры (КМАФАнМ) увеличивался только к 30-ым суткам, но не превышал нормативное значение, равное $1 \cdot 10^3$ КОЕ/г в соответствии с ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», органолептические показатели при этом были охарактеризованы как «отличные». Тенденция к увеличению роста плесневых грибов при оптимальных и экстремальных условиях хранения не наблюдалась.

Данные по установленному сроку хранения для соломки «Морская» (3 месяца при температуре 23 ± 2 °C и относительной влажности воздуха не более 65 %) незначительно отличаются от данных анализа аналоговых продуктов (соломка соленая Lorenz Saltlets классическая (производитель ООО «Лоренц Снэк-Уорлд Продакшн Кириши», Россия); соломка соленая «Печки-лавочки» (производитель ООО «МОК-производство», Россия; производитель «365 дней», Россия; производитель Кондитерская фабрика «Тимоша», Россия), соломка «Тимашевская» соленая (производитель Кондитерский комбинат «Кубань», Россия). Для аналоговых продуктов установлен срок годности от 3 до 9 мес при условии хранения не выше плюс 25 °C и относительной влажности воздуха 65–75 %. Соломка «Морская» содержит исключительно натуральные компоненты. В отличие от исследованных аналоговых продуктов с классической рецептурой, в составе обогащенной соломки промытый фарш из обесшкуренного филе трески. В связи с этим существует вероятность более быстрой подверженности продукта микробиологической порче, поэтому установленный срок хранения для соломки «Морская» – 3 мес – является наиболее оптимальным и позволит обеспечить микробиологическую и органолептическую стабильность хранимого продукта при температуре плюс 23 ± 2 °C и относительной влажности воздуха не более 65 %.

Важно подчеркнуть, что большая часть аналоговых продуктов, исследованных в работе, отличается от нового продукта – ХБИ пониженной влажности – соломки «Морская» по рецептурным компонентам. В большинстве случаев применяются стандартные рецептуры, которые содержат воду питьевую, дрожжи хлебопекарные прессованные, соль поваренную пищевую, маргарин (масла растительные рафинированные дезодорированные, эмульгаторы E471, E475, соль,

ароматизатор, краситель каротин, регулятор кислотности лимонная кислота), муку пшеничную хлебопекарную 1-го сорта. Хлебобулочные изделия являются высокоуглеводными продуктами, сбалансированных по белковому составу на отечественном рынке лишь единицы, ввиду чего можно предположить, что новая продукция повышенной пищевой ценности «Морская» займет достойную нишу в данной группе товаров и привлечет внимание потребителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам опроса школьников 6–17 лет установлено, что в качестве перекуса наиболее часто они используют конфеты, бутерброды, печенье, сухарики, чипсы, орешки. В связи с этим есть необходимость расширения ассортимента «полезной продукции». Анкетирование показало, что 55 % школьников не употребляет, а 20 % – употребляет редко рыбные продукты. Авторский способ введения в состав соломки рыбного белка позволяет предложить детям продукт повышенной биологической ценности, при этом органолептические показатели (рыбных вкусы, запах, наличие косточек и пр.) не будут отталкивать их.

Установлено, что введение в состав теста промытого рыбного фарша не снижает хрупкость изделия. При этом показано, что применение дрожжей в качестве разрыхлителя позволяет получить изделия с более воздушной структурой, чем при использовании химических разрыхлителей.

Проведены микробиологические испытания хранимоспособности готового продукта. Установлен срок хранения для соломки «Морская» – 3 месяца при температуре плюс 23 ± 2 °C и относительной влажности воздуха не более 65 %.

Список источников

1. Kleinman R. F., Greer F. R. Pediatric nutrition. USA: American Academy of Pediatrics, 2013. 1477 p.
2. Особенности питания детей школьного возраста в Сибирском федеральном округе / И. Ю. Тармаева [и др.] // Медицинский совет. 2021. № 17. С. 264–271.
3. 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. 1563–1566.
4. Петьш Я. С. Снеки – это актуально // Кондит. и хлебопек. произво. 2017. № 3–4. С. 46–49.
5. ГОСТ 11270-88 Изделия хлебобулочные. Соломка. Введ. 1989-01-01. Москва, 2009. 6 с.
6. Использование рыбного белка в технологии инновационных хлебобулочных и мучных кондитерских изделий / Н. Ю. Ключко, Д. А. Позднякова, И. Р. Ромазяева, Е. Д. Ковалева // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2022. № 3. С. 98–105.
7. Благонравова М. В., Самохин А. В. Разработка технологии хлебобулочных изделий пониженной влажности с добавлением в качестве обогатителя кальмара // Вестник КамчатГТУ. 2020. № 54. С. 36–47.

8. Ерофеева А. В. Тенденции развития хлебопекарного производства в России // Молодой ученый. 2020. № 27 (317). С. 181–182.
9. Чижикова О. Г., Коршенко Л. О. Технология производства хлеба и хлебобулочных изделий: учебник для среднего профессионального образования. Москва: Издательство Юрайт, 2023. 252 с.
10. Шмалько Н. А., Росляков Ю. Ф. Амарант в пищевой промышленности. Краснодар: Просвещение-Юг, 2011. С. 281–283.
11. 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.
12. Валуйская К. Б., Воробьев В. И. Исследование показателей качества поликомпонентного продукта функционального назначения рыборастворительных снеков // Вестник молодежной науки. 2016. № 4 (6) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-pokazateley-kachestva-polikomponentnogo-produkta-funktsionalnogo-naznacheniya-ryborastitelnyh-snekov> (дата обращения: 14.04.24).
13. Ключко Н. Ю., Позднякова Д. А., Ковалева Е. Д. О возможности использования рыбной белковой и белково-минеральной добавок в технологии хлебобулочных изделий // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 88–102.
14. Ключко Н. Ю., Позднякова Д. А. Исследование по совершенствованию технологии хлебобулочного изделия, обогащенного рыбной белково-минеральной добавкой // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 103–111.
15. 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. С. 8–11.
16. Обоснование рецептуры и технологии сушеных рыборастворительных снеков на основе термомодифицированных тканей балтийского леща / О. Я. Мезенова, М. А. Баротова, О. М. Бедарева, В. И. Шендерюк // Вестник Международной академии холода. 2020. № 1. С. 52–59.
17. Цибизова М. Е., Аверьянова Н. Д. Рыбная белковая масса – основной компонент зерновых биокрипов // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. 2009. № 2. С. 114–120.
18. Xiaoqing R., Zhongkou L., Guang Zh. Minced fish nutritional steamed bread and preparation method thereof. Patent China, no. CN102273588, 2011.
19. ТР ЕАЭС 040/2016. Технический регламент Евразийского экономического союза 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции». Утвержден Решением Совета Евразийской экономической комиссии. Введ. 2017.09.01. Москва, 2016. 138 с.
20. ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (с изменениями на 25 ноября 2022 года). Введ. 2013.07.01. Москва, 2011. 242 с.

References

1. Kleinman R. F., Greer F. R. *Pediatric nutrition*. USA., American Academy of Pediatrics, 2013. 1477 p.

2. Tarmaeva I. Yu. [et al]. Osobennosti pitaniya detey shkol'nogo vozrasta v Sibirskom federal'nom okruge [Features of nutrition of school-age children in the Siberian Federal District]. *Meditsinskiy sovet*, 2021, no. 17, pp. 264-271.
3. Wadolowska L. [et al]. Skipping breakfast and a meal at school: its correlates in adiposity con-text. report from the ABC of healthy eating study of polish teenagers. *Nutrients*. 2019, no. 11 (7), pp. 1563–1566.
4. Petysh Ya. S. Sneki – eto aktual'no [Snacks are relevant]. *Kondit. i khlebopek. Proizvvo*, 2017, no. 3–4, pp. 46–49.
5. State Standart 11270-88 Bakery products. Straw. Moscow, 2009. 6 p. (In Russian).
6. Klyuchko N. Yu., Pozdnyakova D. A., Romazyayeva I. R., Kovaleva E. D. Ispol'zovanie rybnogo belka v tekhnologii innovatsionnykh khlebobulochnykh i muchnykh konditerskikh izdeliy [Use of fish protein in the technology of innovative bakery and flour confectionery products]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo*, 2022, no. 3, pp. 98–105.
7. Blagonravova M. V., Samokhin A. V. Razrabotka tekhnologii khlebobulochnykh izdeliy ponizhennoy vlazhnosti s dobavleniem v kachestve obogatitelya kal'mara [Development of technology for low-humidity bakery products with the addition of squid as an enricher]. *Vestnik KamchatGTU*, 2020, no. 54, pp. 36–47.
8. Erofeeva A. V. Tendentsii razvitiya khlebopekarnogo proizvodstva v Rossii [Trends in the development of bakery production in Russia]. *Molodoy uchenyy*, 2020, no. 27 (317), pp. 181–182.
9. Chizhikova O. G., Korshenko L. O. *Tekhnologiya proizvodstva khleba i khlebobulochnykh izdeliy: uchebnyk dlya srednego professional'nogo obrazovaniya*. Moscow, Yurayt Publ., 2023, 252 p.
10. Shmal'ko N. A., Roslyakov Yu. F. *Amarant v pishchevoy promyshlennosti* [Amaranth in the food industry]. Krasnodar, Prosveshchenie-Yug. Publ., 2011, pp. 281–283.
11. 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.
12. Valuyskaya K. B., Vorob'ev V. I. Issledovanie pokazateley kachestva polikomponentnogo produkta funktsional'nogo naznacheniya ryborastitel'nykh snekov [Study of quality indicators of a multicomponent functional product of fish and vegetable snacks]. *Vestnik molodezhnoy nauki*, 2016. no. 4 (6), available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-pokazateley-kachestva-polikomponentnogo-produktafunktsionalnogo-naznacheniya-ryborastitelnykh-snekov> (Accessed 14 April 2024).
13. Klyuchko N. Yu., Pozdnyakova D. A., Kovalyova E. D. O vozmozhnosti is-pol'zovaniya rybnoy belkovoy i belkovo-mineral'noy dobavok v tekhnologii khlebobulochnykh izdeliy [On the possibility of using fish protein and protein-mineral additives in the technology of bakery products]. *Izvestiya KGTU*, 2023, no. 70, pp. 88–102.
14. Klyuchko N. Yu., Pozdnyakova D. A. Issledovanie po sovershenstvovaniyu tekhnologii khlebobulochnogo izdeliya, obogashchennogo rybnoy belkovo-mineral'noy dobavkoy [Research on improving the technology of bakery products enriched with fish protein-mineral additive]. *Izvestiya KGTU*, 2022, no. 66, pp. 103–111.

15. Mahnach E. V., Bessmertnaya I. A. Razrabotka tekhnologii funktsional'nogo produkta iz pshenichnoy muki, obogashchennogo rybnym belkovo-mineral'nyim napolnitelem [Development of a functional product technology made from wheat flour, enriched with fish protein-mineral filler]. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Ser. Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2014, no. 1, pp. 8–11.

16. Mezenova O. Ya., Barotova M. A., Bedareva O. M., Shenderyuk V. I. Obosnovanie retseptury i tekhnologii sushenykh ryborastitel'nykh snekov na osnove termomodifitsirovannykh tkaney baltiyskogo leshcha [Justification of the recipe and technology of dried fish-vegetable snacks based on thermally modified tissues of Baltic bream]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2020, no. 1, pp. 52–59.

17. Tsbizova M. E., Aver'yanova N. D. Rybnaya belkovaya massa – osnovnoy komponent zernovykh biokripsov [Fish protein mass is the main component of grain biocrystals]. *Vestnik AGTU. Ser.: Rybnoe khozyaystvo*, 2009, no. 2, pp. 114–120.

18. Xiaoqing R., Zhongkou L., Guang Zh. Minced fish nutritional steamed bread and preparation method thereof. Patent China, no. CN102273588, 2011.

19. TR EAES 040/2016. Technical Regulations of the Eurasian Economic Union. On the safety of fish and fish products. Approved by the Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission. Moscow, 2016. 138 p. (In Russian).

20. TR TS 021/2011. Technical Regulations of the Customs Union “On Food Safety” (as amended on November 25, 2022). Moscow, 2011. 242 p. (In Russian).

Информация об авторах

Е. Д. Ковалева – магистрант кафедры пищевой биотехнологии

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

Д. А. Позднякова – аспирант кафедры пищевой биотехнологии

Information about the authors

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

N. Yu. Klyuchko – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology

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

Статья поступила в редакцию 20.05.2024; одобрена после рецензирования 20.06.2024; принята к публикации 24.06.2024.

The article was submitted 20.05.2024; approved after reviewing 20.06.2024; accepted for publication 24.06.2024.

Научная статья

УДК 796/799

DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-78-91

**Оценка потенциала липидов вторичного рыбного сырья
в качестве биотехнологического субстрата для синтеза целевых продуктов**

Ольга Яковлевна Мезенова¹, Светлана Викторовна Агафонова², Наталья Юрьевна Романенко³, Наталья Сергеевна Калинина⁴, Владимир Владимирович Волков⁵, Евгений Геннадьевич Киселев⁶, Наталья Олеговна Жила⁷, Леонид Васильевич Дамбарович⁸

^{1,2,3,4,5,8}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

^{6,7}Институт биофизики Сибирского отделения РАН, Красноярск, Россия

¹ mezenova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-4716-2571

² svetlana.agafonova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-5992-414X

³ nataliya.mezenova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-7433-7189

⁴ natalya.kalinina@klgtu.ru, ORCID 0000-0003-0942-5411

⁵ vladimir.volkov@klgtu.ru, ORCID 0000-0001-5560-7131

⁶ evgeniygek@gmail.com, ORCID 0000-0003-4472-7087

⁷ nzhila@mail.ru, ORCID 0000-0002-6256-0025

⁸ leodambarovich@yandex.ru, ORCID 0000-0002-6015-1869

Аннотация. Актуальность использования жира вторичного рыбного сырья обусловлена его высокой биологической ценностью. Проблемой применения такого жира в пищевых и кормовых целях является нестойкость в хранении в результате гидролитических и окислительных процессов. Новое направление – использование жиросодержащих отходов рыбопереработки в качестве источника углерода для микробного синтеза продуктов с высокой добавленной стоимостью. Цель работы – изучение качества и биологической ценности жира, выделенного термическим способом из голов копченой кильки и свежей скумбрии, внутренностей судака. В рыбных жирах установлены: кислотное число (7,6–12,3 мг КОН/г жира), перекисное число (5,1–25,7 ммоль активного кислорода / кг), йодное число (129,2–148,7 г йода / 100 г жира), число омыления (185,1–201,3 мг КОН / г жира), содержание неомыляемых веществ (0,91–3,12 %) и примесей нежирового характера (0,77–2,12 %), анизидиновое число (2,8–15,4 у.е.), тиобарбитуровое число (0,26–1,61 ед. опт. пл.), массовая доля влаги (0,28–0,81 %). В липидах определен состав жирных кислот (ЖК) и показано содержание ненасыщенных кислот (66,25–73,69 %), полиненасыщенных (21,72–38,45 %), длинноцепочечных (17,87–47,27 %), длинноцепочечных полиненасыщенных ЖК группы омега-3 (ЭПК 6,26–12,31 % и ДГК 6,67–25,02 %). Результаты свидетельствуют о благоприятном составе ЖК липидов исследованных жиров в качестве нового углеродного субстрата для биотехнологического синтеза целевых продуктов.

© Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В., Киселев Е. Г., Жила Н. О., Дамбарович Л. В., 2024

Ключевые слова: биопотенциал, рыбный жир, жирнокислотный состав, кислотное число, перекисное число, тиобарбитуровое число, анизидиновое число, йодное число, число омыления, неомыляемые вещества, примеси нежирового характера.

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-64-10007.

Для цитирования: Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В., Киселев Е. Г., Жила Н. О., Дамбарович Л. В. Оценка потенциала липидов вторичного рыбного сырья в качестве биотехнологического субстрата для синтеза целевых продуктов // Известия КГТУ. 2024. № 74. С. 78–91. DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-78-91.

Original article

Assessment of the potential of lipids of secondary fish raw materials as a biotechnological substrate for the synthesis of target products

Ol'ga Ya. Mezenova¹, Svetlana V. Agafonova², Natalya Yu. Romanenko³, Natalya S. Kalinina⁴, Vladimir V. Volkov⁵, Evgeniy G. Kiselev⁶, Natalya O. Zhila⁷, Leonid V. Dambarovich⁸

^{1,2,3,4,5,8}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

^{6,7}The Institute of Biophysics of the Siberian Branch of the RAS, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. The relevance of using secondary fish oil is stipulated by its high biological value. Fish waste is a promising source of valuable biologically active substances contained in lipids. The problem with using such oil for food and feed purposes is instability in storage as a result of hydrolytic and oxidative processes. A new direction in the use of oil-containing fish processing waste is its use as a carbon source for the microbial synthesis of products with high added value. The purpose of the work is to study the chemical composition of the quality and biological value of oil isolated by thermal method from large-scale fish processing waste of the Kaliningrad region - smoked sprat heads and fresh mackerel, pike perch entrails. The following values have been established in fish oils: acid value (7.6–12.3 mg KOH / g oil), peroxide value (5.1–25.7 peroxide oxygen / kg oil), iodine value (129.2–148.7 g I / 100 g oil), saponification value (185.1–201.3 mg KOH / g oil), content of unsaponifiable matter (0.91–3.12%) and non-fat impurities (0.77–2.12%), anisidine value (2.8–15.4 units), thiobarbituric acid value (0.26–1.61 optical unit); mass fraction of moisture (0.28–0.81%). The composition of fatty acids (FA) in the composition of lipids has been determined and it has been shown that the content of unsaturated acids is 66.25–73.69%; polyunsaturated 21.72–38.45%; long-chain 17.87–47.27%; long-chain polyunsaturated fatty acids of the omega 3 class (EPA 6.26–12.31% and DHA 6.67–25.02%). The results indicate a favorable composition of FA lipids of the studied fats as a new carbon substrate for the biotechnological synthesis of target products.

Keywords: biopotential, fish oil, fatty acid composition, acid value, peroxide value, thiobarbituric acid value, anisidine value, iodine value, saponification value, unsaponifiable matter, non-fat impurities.

Funding: The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-64-10007.

For citation: Mezenova O. Ya., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Kalinina N. S., Volkov V. V., Kiselev E. G., Zhila N. O., Dambarovich L. V. Assessment of the potential of lipids of secondary fish raw materials as a biotechnological substrate for the synthesis of target products // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(74):78–91. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-78-91.

ВВЕДЕНИЕ

Использование потенциала микроорганизмов позволяет получать в процессах биотехнологии разнообразные продукты пищевого, кормового, медицинского и технического назначения. Ключевой вопрос биотехнологии – это наращивание объемов производства и повышение доступности получаемых продуктов за счет привлечения новых источников сырья, включая отходы. Возможность привлечения отходов становится значимым вкладом биотехнологии в решении проблемы снижения объемов накопления отходов в биосфере, а также в повышении эффективности промышленных производств. Для этого необходимо совершенствование существующих промышленных технологий при более эффективном использовании сырьевых ресурсов.

Новым перспективным субстратом для биотехнологии в настоящее время являются жиросодержащие отходы. Связано это с тем, что в пищевой промышленности отсутствуют рациональные технологии переработки накапливающихся в больших количествах жиросодержащих отходов. Так, количество генерируемого ежегодно в мире отработанного жира составляет около 29 млн. т [1]. Вовлечение отходов в качестве сырья для синтеза целевых продуктов способствует комплексному и более полному использованию жиросодержащих сырьевых ресурсов, среди которых жирные кислоты, низкосортные масла растительного и животного происхождения и образуемые при их переработке отходы.

Проблема утилизации жиросодержащих отходов актуальна и для рыбоперерабатывающей промышленности в связи с тем, что в процессе переработки рыбного сырья до 50 % и более идет в отходы, значительная часть которых не перерабатывается. Это оказывает существенное влияние на характеристику сточных вод и создает экологические проблемы. В России ежегодно вылавливают от 4,8 до 5,0 млн. т рыбы и морепродуктов, однако при производстве пищевой продукции из этого сырья в виде отходов от разделки остается от 50 % и выше массы сырья, биопотенциал которого недоиспользуется [2].

Особенностью рыбных отходов является их высокий органический потенциал, обусловленный наличием ценных белков и жиров, а также быстрая порча по причине активных гидролитических и окислительных процессов в жирах, идущих параллельно с автолитическими и микробиологическими изменениями в белковых тканях [3, 4].

Жиры, содержащиеся в рыбных отходах, обладают высокой биологической ценностью. Они являются источником физиологически активных полиненасы-

ценных жирных кислот (ПНЖК), в том числе уникальных эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозагексаеновой жирной кислоты (ДГК) группы омега-3, благотворно влияющих на здоровье человека и животных [5, 6, 7], однако из-за быстрого прогоркания их применение в составе пищевых и кормовых продуктов ограничено.

В настоящее время рыбоперерабатывающие предприятия Калининградской области в основном ориентируются на местное сырье, вылавливаемое в Балтийском море, Куршском и Калининградском заливах. Промысловыми объектами лова являются балтийская килька (шпрот), балтийская сельдь (салака), лещ, судак, треска, корюшка и др. Особенно много вылавливается балтийской кильки. Уловы колеблются в зависимости от текущей промысловой обстановки. Из кильки в основном вырабатывают стерилизованные консервы, пользующиеся повышенным спросом. Особую популярность имеют консервы «Шпроты в масле», изготавливаемые из кильки горячего копчения. В Калининградском регионе только на двух основных крупных рыбзаводах (СПК «За Родину» и ООО «РосКон») ежедневно остается более 15 т жиросодержащих рыбных отходов. По статистике, в среднем в сутки накапливается около 10–12 т голов копченой кильки, 2–3 т голов скумбрии и примерно 500 кг внутренностей судака. При этом отходы шпротного производства СПК «За Родину» (головы копченой балтийской кильки) ежедневно в количестве 6–8 т вывозятся на мусорные полигоны, а предприятия несут финансовые затраты. Таким образом, безвозвратно уничтожаются уникальные природные белки и жиры рыб, загрязняется окружающая среда. По данным статистики, ежедневно утилизируются 1–1,5 т натурального рыбного жира и 1,6–1,8 т полноценного протеина [8, 9].

В отходах из данных видов рыб содержание жира колеблется от 12–22 % (головы копченой балтийской кильки и атлантической скумбрии) до 45–52 % (внутренности судака). Этот жир обладает высокой биологической ценностью, так как содержит 37–43 % ПНЖК, при этом до 30–35 % массы всех ПНЖК приходится на высоконепредельные длинноцепочечные ЭПК и ДГК жирные кислоты. В нем также содержатся жирорастворимые витамины (D, F, K, A). Из-за высокой ненасыщенности рыбный жир быстро подвергается гидролитической и окислительной порче, что делает его непригодным для использования в пищевых и кормовых целях [6, 10–12].

Мировая ситуация с рыбными отходами несколько отличается от отечественной. Основное количество рыбных отходов без задержки направляют на выработку рыбной муки и жира. Из жировой фракции рыбных отходов успешно получают CO₂-экстракты и стабилизированные композиции полиненасыщенных жирных кислот, концентраты омега-3 и омега-6 жирных кислот. Жир отходов лососевых рыб используется для получения антимикробных препаратов, противодействующих инфекционным заболеваниям [13–16]. Рыбный жир некондиционного качества путем переэтерификации триглицеридов успешно применяют для получения биодизельного топлива – энергоносителя нового поколения [17]. Возможно использование жиров пониженного качества для изготовления смазочных материалов с антиадгезионными свойствами [18], однако из-за невысоких количественных резервов организация таких производств является нерентабельной.

Важным фактором для качества жира, извлекаемого из рыбных отходов, является способ его выделения. Традиционный способ – тепловое вытапливание, основанное на нагревании сырья в водной среде до температуры 60–100 °C [13].

Среди инновационных способов получения рыбного жира известны обработка сырья токами высокой частоты, метод сухого отжима, выделение жира замораживанием, химическая и CO₂-экстракция, гидромеханический, электрохимический и ультразвуковой способы, щелочной гидролиз сырья, ферментативный способ, а также их различные комбинации [15].

Термический способ выделения жира, как самый простой и экологически безопасный, позволяет достаточно эффективно извлекать жир из рыбных отходов, являющихся высокоминерализованным коллагенсодержащим сырьем [19]. При этом оставшаяся обезжиренная масса представляет собой ценный протеиновый материал для изготовления различной полезной продукции.

В настоящее время рыбный жир рассматривают как источник углерода для биотехнологического синтеза востребованных продуктов, например, белков и биоразлагаемых пластиков – полигидроксиалканоев. Данные биополимеры обладают высокими технологическими свойствами, а их получение на основе нового углеродного субстрата (рыбного жира) может стать эффективным путем создания востребованного продукта и способом утилизации данных отходов.

Имеющиеся публикации свидетельствуют о возможности микробиологической биоконверсии жиров с помощью микроорганизмов. Так, показан способ эффективного синтеза микробных биопластиков на растительных маслах (пальмовом, подсолнечном и рыжиковом) [20] и отдельных жирных кислотах [21, 22].

Цель настоящей работы – исследование химического состава наиболее массовых рыбных отходов предприятий Калининградской области, качества и биологической ценности жиров, выделенных из них. Для достижения поставленной цели исследовали показатели качества и физико-химические характеристики жиров из шпротных отходов, голов скумбрии и внутренностей судака, отражающие их природу, состав и количество жирных кислот, а также потенциальную пригодность для микробного синтеза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении экспериментов использовали рыбные отходы рыбконсервных заводов ООО «РосКон» и АО «Калининградский тарный комбинат» – головы копченой кильки, атлантической скумбрии и внутренности судака.

В отходах определяли массовые доли воды, белка, жира и минеральных веществ по методикам, регламентированным ГОСТ-7636.

Жир из рыбных отходов выделяли термическим способом в регулируемых условиях при температуре 68–83 °С, продолжительности экстракции 43 мин – 1 ч 22 минуты в зависимости от вида рыбного сырья [19]. Разделение смеси проводили центрифугированием при 3500 об./мин и температуре 40 °С.

Характеристики жира определяли по следующим методикам: кислотное число (КЧ), перекисное число (ПЧ), йодное число (ЙЧ), число омыления (ЧО), содержание неомыляемых веществ (СНВ), содержание примесей нежирового характера (СПНХ) – по ГОСТ-7636, анизидиновое число (АЧ) – по ГОСТ-31756, тиобарбитуровое число (ТБЧ) – по ГОСТ-Р 55810-2013, содержание массовой доли влаги (В) – по ГОСТ-11812.

Жирнокислотный состав жира определяли общепринятыми методами липидологии, реализуя следующие процедуры: к капле жира добавляли 1 мл смеси

метанола и серной кислоты (50:1 по объему). Метанолиз проводили при температуре 90 °С в течение 2 ч. Затем добавляли 2 мл дистиллированной воды и метиловые эфиры жирных кислот трижды экстрагировали гексаном. Полученные экстракты пропускали через безводный Na₂SO₄. Растворитель удаляли на вакуумном роторном испарителе. Метиловые эфиры жирных кислот анализировали на хромато-масс-спектрометре Agilent Technologies 7890А с масс-детектором Agilent Technologies 5975С (Agilent, США) [23].

Полученные количественные данные по химическому составу рыбного сырья и показателям его качества обрабатывали общепринятыми методами статистического анализа на 95 %-м доверительном уровне с использованием критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав исследованных рыбных отходов приведен в табл. 1.

Таблица 1. Общий химический состав рыбных отходов
Table 1. General chemical composition of fish waste

Вторичное рыбное сырье	Содержание компонентов, %			
	вода	липиды	протеин	минеральные вещества
Головы скумбрии	56,4±3,5	24,9±1,9	14,6±1,9	4,1±0,2
Головы копченой кильки	55,6±2,2	20,3±1,1	18,3±1,6	5,8±0,35
Внутренности судака	39,2±2,1	42,1±1,2	17,3±1,9	1,2±0,2

Из табл. 1 следует, что использованные рыбные отходы содержат достаточно много жира (20,3–42,1 %), являются хорошими источниками белка (14,6–18,3 %). При этом в головах копченой кильки и скумбрии содержится повышенное количество минеральных веществ (4,1–5,8 %).

Основные характеристики качества и безопасности полученного жира, установленные по уровню накопления нежелательных веществ в результате гидролитических и окислительных процессов, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели качества жира из отходов рыбопереработки
Table 2. Quality indicators of oil from fish processing waste

Показатели	Головы скумбрии	Головы копченой кильки	Внутренности судака
Кислотное число, мг КОН / г	12,3±0,4	9,8±0,2	7,6±0,2
Перекисное число, ммоль активного кислорода / кг	25,7±1,1	5,1±0,6	8,6±0,3
Тиобарбитуровое число, ед. опт. плотности	1,61±0,02	0,26±0,02	0,48±0,04
Анизидиновое число, у.е.	15,4±0,1	12,3±0,2	2,8±0,2
Йодное число, г йода / 100 г	181,6±5,5	148,7±4,3	129,2±4,1
Число омыления, мг КОН / г	197,1±2,8	185,1±3,8	201,3±2,7
Неомыляемые вещества, %	2,81±0,04	3,12±0,06	0,91±0,02

Содержание влаги, %	0,81±0,01	0,28±0,01	0,37±0,01
Содержание примесей нежирового характера, %	2,12±0,03	0,77±0,02	1,08±0,03

Из табл. 2 следует, что полученные жиры нельзя считать пригодными для пищевого и кормового использования. В триацилглицеридах уже начались процессы гидролиза (КЧ=7,6–12,3 мг КОН/г жира) и первичного перекисного окисления (ПЧ=5,1–25,7 ммоль активного кислорода/кг), образовались некоторые продукты вторичного окисления (ТБЧ=0,26–1,61 ед. опт. пл.; АЧ=2,8–15,4 у.е.). Но данные процессы не глубинные и не повлияли существенно на качественные изменения с полиненасыщенными жирными кислотами, о чем свидетельствуют достаточно высокие значения йодного числа (ЙЧ=129,2–148,7 г йода/100 г жира), свойственные природным жирам данных рыб, а также показатели числа омыления (ЧО=185,1–201,3 мг КОН/г жира), характерные для жиров с незначительной деградацией жирных кислот. При этом полученные жиры можно считать достаточно чистыми, т. к. содержание нежелательных примесей (воды, неомыляемых веществ, компонентов нежирового характера) было невелико (НВ=0,91–3,12; СВ=0,28–0,81 %; СПНХ=0,77–2,12 %). Такие жиры вполне могут быть использованы в биотехнологическом синтезе востребованных продуктов (белков и биополимеров) в качестве источника углерода.

О биологической ценности жира, выделенного при оптимальных режимах термического воздействия из трех видов жиросодержащих рыбных отходов, судили по составу его жирных кислот (табл. 3).

Таблица 3. Жирнокислотный состав жиров, извлеченных из рыбных отходов, % от суммы жирных кислот

Table 3. Fatty acid composition of oil extracted from fish waste, % of the amount of fatty acids

Жирная кислота (ЖК)	Названия	Головы скумбрии	Головы копченой кильки	Внутренности судака
12:0	лауриновая	0,06	0,02	0,04
13:0	тридекановая	0,06	0,02	0,03
i-13:0	изо-тридекановая	нпо	0,03	0,07
14:0	миристиновая	4,53	2,35	3,18
i-14:0	изо-миристиновая	нпо	0,23	0,45
ai-14:0	антиизо-миристиновая	нпо	нпо	0,20
15:0	пентадекановая	0,71	0,27	0,57
15:0-i	изо-пентадекановая	0,11	нпо	0,20
16:0	пальмитиновая	19,04	18,23	16,59
i-16:0	изо-пальмитиновая	0,27	0,19	0,34
ai-16:0	антиизо-пальмитиновая	нпо	0,28	0,37
16:1ω7	пальмитолеиновая	4,06	10,24	21,50
16:2 ω6	гексадекадиеновая	нпо	0,48	0,68
17:0	маргариновая	0,82	0,36	0,78

18:0	стеариновая	5,88	4,26	4,49
i-18:0	изо-стеариновая	0,22	нпо	нпо
18:1 ω 9	олеиновая	11,42	28,83	25,28
18:1 ω 7	вакценовая	3,71	4,95	3,88
18:3 ω 3	линоленовая	0,89	4,80	3,31
20:0	арахиновая	0,78	нпо	нпо
20:1 ω 9	эйкозеновая	4,54	нпо	нпо
20:2 ω 6	эйкозациеновая	0,23	нпо	нпо
20:3 ω 3	эйкозатриеновая	нпо	0,14	0,14
20:4 ω 6	эйкозатетраеновая	нпо	2,68	4,66
20:5 ω 3	эйкозапентаеновая	12,31	7,27	6,26
22:0	бегеновая	0,32	0,07	нпо
22:1 ω 9	докозеновая	3,75	нпо	нпо
22:6 ω 3	докозагексаеновая	25,02	13,84	6,67
24:1 ω 9	нервоновая	0,32	0,46	0,14
Неидентифицированные ЖК		нпо	0,95	0,17
Σ насыщенных ЖК		26,31	32,8	27,31
Σ ненасыщенных ЖК		73,69	66,25	72,52
Σ насыщенных ЖК / Σ ненасыщенных ЖК		0,36	0,50	0,38
Σ моноеновые ЖК		44,48	27,8	50,8
Σ полиеновые ЖК		29,21	38,45	21,72
Σ длинноцепочечные ЖК (свыше 18 атомов углерода)		24,46	47,27	17,87

Примечание: нпо – ниже предела обнаружения.

Анализ жирнокислотного состава полученных рыбных жиров свидетельствует об их высокой биологической ценности, независимо от вида сырьевого источника. Все жиры содержат более 60 % ненасыщенных жирных кислот, в том числе основную олеиновую ЖК (11,4–28,8 %), при этом максимальное количество ПНЖК приходится на жир из голов копченой кильки (73,69 %). Преобладающей насыщенной жирной кислотой во всех жирах является пальмитиновая ЖК, что соответствует литературным данным [6, 13, 15]. Содержание пальмитиновой ЖК в килечном, судачном и скумбриевом жире соответственно составляет 18,23 %; 16,59 %; 19,04 %. Из МНЖК в наибольшем количестве найдена пальмитолеиновая кислота (10,24 %; 21,50 %; 4,06 %), что характерно для жиров морских рыб [4]. Во всех жирах соотношение насыщенных и ненасыщенных ЖК менее 0,5 (кроме скумбриевого жира – 0,5), что подтверждает его высокую биологическую эффективность по этому признаку. Во всех жирах установлено достаточно высокое содержание ПНЖК группы ω -3 (29,21 %; 21,72 %; 38,45 %), что свидетельствует об их метаболической эффективности и выгодно отличает от жиров теплокровных животных и растений [6]. Во всех рыбных жирах присутствуют в достаточно высоком количестве две редкие длинноцепочечные ЖК – эйкозапентаеновая (20:5 ω -3) и докозагексаеновая (22:6 ω -3), в сумме дающие 13–27 % всех жирных кислот. Данные ЖК обуславливают специфичность и уникальность рыбных

жиров, их высокую физиологическую значимость для многих биотехнологических процессов [5, 7].

Имеющиеся различия в жирнокислотном составе исследованных жиров свидетельствуют об их индивидуальной природе. Они обусловлены видом рыбы, средой обитания, характером питания, возрастом, местом аккумуляции в теле рыбы для выполнения соответствующих физиологических функций и другими факторами. Например, следует отметить, что у океанических рыб, обитающих в соленой воде (скумбрия), больше содержание ДГК (25,02 %) и ЭПК (12,31 %), чем у рыб солоноватых водоемов (килька, содержание ДГК и ЭПК соответственно 13,84 % и 7,27 %) или у пресноводных рыб (судак, содержание ДГК и ЭПК соответственно 6,67 % и 6,26 %).

Другой особенностью жиров рыб, предпочитающих пресноводные водоемы, является повышенное содержание линоленовой кислоты (18:3 ω 3) в жире кильки, судака и скумбрии (соответственно 4,80 %, 3,31 % и 0,89 %) и эйкозатетраеновой кислоты (20:4 ω 6), количество которой составляет соответственно в жире кильки и судака 2,68 % и 4,66 % и отсутствует в жире скумбрии.

Из приведенных данных по составу жирных кислот липидных фракций, выделенных из жиросодержащих отходов рыбопереработки, видно, что все жиры, несмотря на присутствие нежелательных веществ (табл. 2), свидетельствующих об изменении качества, представляют собой концентраты ценных жирных кислот, в том числе ненасыщенных ЖК (66,25–73,69 %), полиненасыщенных ЖК (21,72–38,45 %), длинноцепочечных ПНЖК (17,87–47,27%) и уникальных длинноцепочечных ПНЖК группы омега-3 (ЭПК 6,26–12,31 % и ДГК 6,67–25,02 %). Полученные данные свидетельствуют о высоком метаболическом биопотенциале данных рыбных жиров.

Установленный качественный и количественный состав жирных кислот исследованных отходов рыбопереработки позволяет сделать вывод об их потенциальной пригодности для микробиологического синтеза в качестве углеродного субстрата. Так, первичная оценка жира, полученного термическим извлечением из отходов производства шпротных консервов из прибалтийской кильки при варьировании режимов выращивания бактерий и изменении соотношения C/N в среде, показала возможность синтеза белковой биомассы бактерий *Cupriavidus necator* или «зеленых» биопластиков – микробных полигидроксиалканоатов. На полной среде синтезирована высокобелковая биомасса с содержанием «сырого» белка и белка не менее 70 и 50 % соответственно с полным набором аминокислот, включая незаменимые. При лимитированном росте бактерий по азоту получены высокие (до 60–70 %) выходы полимеров [24, 25].

Получение жира с такими показателями качества и биологической ценности возможно только при извлечении жира из вторичного рыбного сырья термическим способом при температуре 90–100 °С. Способ основан на тепловом разрушении оболочек жировых клеток рыбы и их комплексов с белками, что позволяет жиру свободно вытекать без изменения химической природы. При этом инактивируются не только ферменты сырья, влияющие на гидролитические процессы в жире, но и микроорганизмы, содержащиеся в рыбных отходах в повышенном количестве и ухудшающие качество и биологическую ценность жира. Следует отметить достаточно высокие показатели выхода жира при термическом способе воздействия (9–21 % массы сырья) [19], что соответствует общепринятым

показателям жировых технологий рыбопереработки [15]. Полученные жиры содержат минимальные количества нежелательных веществ, в них мало изменена степень непредельности жирных кислот, все показатели находятся в диапазоне, свойственном жирам данных видов рыб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на протекающие процессы гидролиза и перекисного окисления липидов, в рыбных жирах, выделенных термическим способом из вторичного рыбного сырья, содержатся в повышенном количестве ценные полиненасыщенные жирные кислоты.

Все исследованные жиры содержат более 60 % ненасыщенных жирных кислот, основной жирной кислотой является олеиновая (11,4–28,8 %); максимальное количество ПНЖК приходится на жир из голов копченой кильки (73,69 %); преобладающая насыщенная жирная кислота – пальмитиновая (16,6–19,0 %); среди МНЖК в наибольшем количестве содержится пальмитолеиновая ЖК (4,1–21,5 %). Во всех жирах установлено достаточно высокое содержание ПНЖК группы $\omega 3$ (21,7– 38,5 %) при значительном количестве длинноцепочечных жирных кислот – эйкозапентаеновой (20:5 $\omega 3$) и докозагексаеновой (22:6 $\omega 3$), в сумме дающих 13–27 % от содержания всех жирных кислот.

Выделенные жиры можно считать источниками повышенного количества ценных длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот, которые могут служить новым и эффективным углеродным субстратом для микробного синтеза целевых продуктов – белковой массы и полигидроксиалканоатов.

Список источников

1. Maddikeri G. L., Pandit A. B., Gogate P. R. Adsorptive Removal of Saturated and Unsaturated Fatty Acids Using Ion-Exchange Resins // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2012. V. 51. N 19. P. 6869–6876.
2. Биотехнология рационального использования гидробионтов / Т. М. Сафронова [и др.]. СПб: Лань, 2013. 412 с.
3. Advantages of techniques to fortify food products with the benefits of fish oil / A. Jamshidi, H. Cao, J. Xiao, J. Simal-Gandara // *Food Research International*. 2020. V. 137. P. 109353.
4. Биотехнология морепродуктов / О. Я. Мезенова [и др.]. М.: Мир, 2006. 560 с.
5. Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: Bridging the gap between supply and demand / D. R. Tocher et al. // *Nutrients*. 2019. V. 11. P. 89.
6. Технология жиров из водных биологических ресурсов: монография / Н. П. Боева, О. В. Бредихина, М. С. Петрова, Ю. А. Баскакова. М.: Изд-во ВНИРО, 2016. 107 с.
7. De Carvalho C. C., Caramujo M. J. The various roles of fatty acids // *Molecules*. 2018. V. 23. N 10. P. 2583.
8. Мезенова О. Я. Потенциал вторичного рыбного сырья // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2018. № 1. С. 11–18.

9. 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 [и др.] // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 46–58.
10. 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.
11. Новые подходы к технологии рыбьего жира из голов лососевых рыб / Н. П. Боева, М. С. Петрова, А. Г. Артемова, Ю. А. Баскакова // Труды ВНИРО. Технология переработки водных биоресурсов. 2015. Т. 158. С. 162–166.
12. Альраджаб М., Касьянов С. П., Шульгина Л. В. Пищевой жир из сардины иваси, характеристика качества и безопасности // Международная научная конференция «Наука. Исследования. Практика» (25 апр. 2020 г.): материалы. СПб, 2020. С. 212–217.
13. Разработка технологии получения жира из жиросодержащих отходов переработки промысловых рыб Волжско-Каспийского бассейна / М. Д. Мукатова, Н. А. Киричко, М. С. Моисеенко, С. А. Соколов // Известия ТИНРО. 2018. Т. 193. С. 211–222.
14. Соколов А. В. Современное состояние и тенденции развития рыбохозяйственного комплекса России // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2019. № 4. С. 36–48.
15. Пищевые технологии. Технологии рыбной промышленности: энциклопедия. В 2-х ч. Ч. 2 / под ред. Л. С. Абрамовой. М.: Изд-во ВНИРО, 2019. 468 с.
16. Sc-CO₂ extraction of fish and fish by-products in the production of fish oil and enzyme / N. A. Jamalluddin, N. Ismail, S. R. Mutalib, A. M. Sikin // Bioresources and Bioprocessing. 2022. 9:21.
17. Мезенова О. Я., Максимова С. Н. Получение биодизеля из жира вторичного крабового сырья // Известия ТИНРО. 2023. Т. 203. № 3. С. 686–694.
18. Петров Б. Ф. Антифрикционная смазка на основе жировых отходов рыбообработывающих предприятий // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 7. С. 49–51.
19. Обоснование рациональных режимов термического выделения липидов из жиросодержащих рыбных отходов / О. Я. Мезенова, С. В. Агафонова, Н. Ю. Романенко, Н. С. Калинина [и др.] // Рыбное хозяйство. 2023. № 4. С. 103–110.
20. Volova T., Sapozhnikova K., Zhila N. *Cupriavidus necator* B-10646 growth and polyhydroxyalkanoates production on different plant oils // Int. Journal Biol Macromol. 2020. V. 164. P. 121–130.
21. Synthesis of Polyhydroxyalkanoates from Oleic Acid by *Cupriavidus necator* B-10646 / N. O. Zhila, G. S. Kalacheva, E. G. Kiselev, T. G. Volova // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2020. V. 13. N 2. P. 208–217.
22. Biosynthesis of Poly(3-Hydroxybutyrate-co-3-Hydroxyvalerate) by *Cupriavidus necator* B-10646 from Mixtures of Oleic Acid and 3-Hydroxyvalerate Precursors / N. O. Zhila, G. S. Kalacheva, V. V. Fokht, S. S. Bubnova et al. // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2020. V. 13. N 3. P. 1–11.

23. Zhila N., Kalacheva G., Volova T. Fatty acid composition and polyhydroxyalkanoates production by *Cupriavidus eutrophus* B-10646 cells grown on different carbon sources // *Process Biochemistry*. 2015. V. 50. P. 69–78.

24. Properties of degradable polyhydroxyalkanoates synthesized from new water fish oils (WFO) / N. O. Zhila, E. G. Kiselev, V. V. Volkov, O. Ya. Mezenova et al. // *Int. J. Mol. Sci.* 2023. V. 24. N 16. P. 1–18.

25. Waste Fish Oil is a Promising Substrate for the Synthesis of Target Products of Biotechnology / N. O. Zhila, V. V. Volkov, O. Ya. Mezenova, E. G. Kiselev et al. // *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2023. V. 16. N 3. P. 386–397.

References

1. Maddikeri G. L., Pandit A. B., Gogate P. R. Adsorptive Removal of Saturated and Unsaturated Fatty Acids Using Ion-Exchange Resins. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2012, vol. 51, no. 19, pp. 6869–6876.

2. Safronova T. M. [i dr.]. *Biotekhnologiya ratsional'nogo ispol'zovaniya gidrobiontov* [Biotechnology of rational use of hydrobionts]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2013, 412 p.

3. Jamshidi A., Cao H., Xiao J., Simal-Gandara J. Advantages of techniques to fortify food products with the benefits of fish oil. *Food Research International*. 2020, vol. 137, p. 109353.

4. Mezenova O. Ya. [i dr.]. *Biotekhnologiya moreproduktov* [Seafood biotechnology]. Moscow, Mir Publ., 2006, 560 p.

5. Tocher D. R. [et al.] Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: Bridging the gap between supply and demand. *Nutrients*, 2019, vol. 11, pp. 89.

6. Boeva N. P., Bredikhina O. V., Petrova M. S., Baskakova Yu. A. *Tekhnologiya zhirov iz vodnykh biologicheskikh resursov* [Technology of fats from aquatic biological resources]. Moscow, VNIRO Publ., 2016, 107 p.

7. De Carvalho C. C., Caramujo M. J. The various roles of fatty acids. *Molecules*, 2018, vol. 23, no. 10, p. 2583.

8. Mezenova O. Ya. Potentsial vtorichnogo rybnogo syr'ya [Secondary fish raw materials potential]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya*, 2018, no. 1, pp. 11–18.

9. Mezenova O. Ya., Tishler D., Agafonova S. V., Mezenova N. Yu. [i dr.] Issledovanie i ratsional'noe primeneniye peptidnykh i lipidnykh kompozitsiy, poluchayemykh pri gidroliznoy pererabotke kollagensoderzhashchikh tkaney [Research and rational use of peptide and lipid compositions obtained by hydrolysis processing of collagen-containing tissues]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2021, no. 1, pp. 46–58.

10. 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 oil from Atlantic mackerel waste and its use in functional nutrition]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2022, no. 2, pp. 48–55.

11. Boeva N. P., Petrova M. S., Artemova A. G., Baskakova Yu. A. Novye podkhody k tekhnologii ryb'ego zhira iz golov lososevykh ryb [New approaches to the

technology of fish oil from salmon heads]. *Trudy VNIRO. Tekhnologiya pererabotki vodnykh bioresursov*, 2015, vol. 2, pp. 48–55.

12. Al'radzhab M., Kas'yanov S. P., Shul'gina L. V. Pishchevoy zhir iz sardiny ivasi, kharakteristika kachestva i bezopasnosti [Edible oil from sardine ivasi, quality and safety characteristics]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Nauka. Issledovaniya. Praktika»* [Materials of the International Scientific Conference "Science. Researches. Practice"]. Saint-Petersburg, 2020, pp. 212–217.

13. Mukatova M. D., Kirichko N. A., Moiseenko M. S., Sokolov S. A. Razrabotka tekhnologii polucheniya zhira iz zhirosoderzhashchikh otkhodov pererabotki promyslovykh ryb Volzhsko-Kaspiyskogo basseyna [Development of technology for the production of oil from oil-containing waste from the processing of commercial fish in the Volga-Caspian basin]. *Izvestiya TINRO*, 2018, vol. 193, pp. 211–222.

14. Sokolov A. V. Sovremennoe sostoyanie i tendentsii razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa Rossii [The current state and trends in the development of the Russian fisheries sector]. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*, 2019, no. 4, pp. 36–48.

15. Abramova L. S. (ed.) *Pishchevye tekhnologii. Tekhnologii rybnoj promyshlennosti* [Food technology. Fishing industry technologies]. Moscow, VNIRO Publ., 2019, 468 p.

16. Jamalluddin N. A., Ismail N., Mutalib S. R., Sikin A. M. Sc-CO₂ extraction of fish and fish by-products in the production of fish oil and enzyme. *Bioresources and Bioprocessing*, 2022, 9:21.

17. Mezenova O. Ya., Maksimova S. N. Poluchenie biodizelya iz zhira vtorichnogo krabovogo syr'ya [Production of biodiesel from the oil of secondary crab raw materials]. *Izvestiya TINRO*, 2023, vol. 203, no. 3, pp. 686–694.

18. Petrov B. F. Antifriktsionnaya smazka na osnove zhirovyykh otkhodov ryboobrabatyvayushchikh predpriyatiy [Antifriction lubricant based on fatty waste from fish processing enterprises]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*, 2012, no. 7, pp. 49–51.

19. Mezenova O. Ya., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Kalinina N. S. [i dr.]. Obosnovanie ratsional'nykh rezhimov termicheskogo vydeleniya lipidov iz zhirosoderzhashchikh rybnykh otkhodov [Substantiation of rational modes of thermal isolation of lipids from fatty fish waste]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2023, no. 4, pp. 103–110.

20. Volova T., Sapozhnikova K., Zhila N. *Cupriavidus necator* B-10646 growth and polyhydroxyalkanoates production on different plant oils. *Int. Journal Biol Macromol*, 2020, vol. 164, pp. 121–130.

21. Zhila N. O., Kalacheva G. S., Kiselev E. G., Volova T. G. Synthesis of Polyhydroxyalkanoates from Oleic Acid by *Cupriavidus necator* B-10646. *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2020, vol. 13, no. 2, pp. 208–217.

22. Zhila N. O., Kalacheva G. S., Fokht V. V., Bubnova S. S. [et al.] Biosynthesis of Poly (3-Hydroxybutyrate-co-3-Hydroxyvalerate) by *Cupriavidus necator* B-10646 from Mixtures of Oleic Acid and 3-Hydroxyvalerate Precursors. *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2020, vol. 13, no. 3, pp. 1–11.

23. Zhila N., Kalacheva G., Volova T. Fatty acid composition and polyhydroxyalkanoates production by *Cupriavidus eutrophus* B-10646 cells grown on different carbon sources, *Process Biochemistry*, 2015, vol. 50, pp. 69–78.

24. Zhila N. O., Kiselev E. G., Volkov V. V., Mezenova O. Ya. [et al.] Properties of degradable polyhydroxyalkanoates synthesized from new waster fish oils (WFO). *Int. J. Mol. Sci.*, 2023, vol. 24, no. 16, pp. 1–18.

25. Zhila N. O., Volkov V. V., Mezenova O. Ya., Kiselev E. G. [et al.] Waste Fish Oil is a Promising Substrate for the Synthesis of Target Products of Biotechnology. *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2023, vol. 16, no 3, pp. 386–397.

Информация об авторах

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

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

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

Н. С. Калинина – заведующая лабораториями

В. В. Волков – директор Центра передовых технологий использования белков

Е. Г. Киселев – кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Н. О. Жила – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Л. В. Дамбарович – аспирант

Information about the authors

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

S. V. Agafonova – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology

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

N. S. Kalinina – Head of Laboratories

V. V. Volkov – Director of the Center for Advanced Technologies in the Use of Protein

E. G. Kiselev – PhD in Engineering, Senior Researcher

N. O. Zhila – Ph.D. in Biology, Senior Researcher

L. V. Dambarovich – Postgraduate Student

Статья поступила в редакцию 03.04.2024; одобрена после рецензирования 15.04.2024; принята к публикации 02.05.2024.

The article was submitted 03.04.2024; approved after reviewing 15.04.2024; accepted for publication 02.05.2024.

Научная статья

УДК 664.951.81+595.383.1+639.28

DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-92-105

**Использование пищевых добавок для снижения потерь каротиноидов
в рыбных полуфабрикатах, обогащенных крилевым жиром**

Михаил Леонидович Винокур¹, Анатолий Владимирович Андриухин²,
Владислав Артурович Галдукевич³, Илья Олегович Морозов⁴, Наталья
Вадимовна Шадрина⁵

^{1,2,3,4,5} Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («АтлантНИРО»), Калининград, Россия

¹ lmv@atlantniro.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5406-0701>

² fishtech@atlantniro.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6161-9099>

³ v.galdukevich@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0622-5935>

⁴ shkval@atlantniro.ru

⁵ shadrina@atlantniro.ru

¹ Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия, mikhail.vinokur@klgtu.ru

Аннотация. Приведены результаты исследований влияния добавок на основе полисахаридных гидроколлоидов на степень потерь каротиноидов и органолептические свойства формованных фаршевых изделий после обработки на пару и во фритюре. Применялись добавки на основе следующих гидроколлоидов: альгинат натрия, каррагинан, смесь гуаровой и ксантановой камеди. Показано, что при добавлении каждого из гидроколлоидов наблюдается значительное снижение степени потерь каротиноидов и общей массы продукта. Также отмечено положительное влияние гидроколлоидов на органолептические показатели готовых формованных изделий (в частности, «вид на срезе»). При обжарке в масле наименьшие потери общей массы (14,0 %) и каротиноидов (49,1 %) от начального содержания наблюдались при использовании альгината натрия. Для случая приготовления полуфабрикатов на пару наименьшие потери общей массы (9,8 %), жировой фазы (34,2 %) и каротиноидов (42,0 %) отмечены при использовании альгината натрия. Полученные данные по изменению степени потерь каротиноидов коррелировали с изменением вида полуфабрикатов на разрезе. В целом статистически значимое уменьшение потерь каротиноидов, независимо от типа используемой тепловой обработки, наблюдалось в ряду: без добавок → камедь → каррагинан → альгинат натрия. Меньшие потери соответствовали гидроколлоидам с наибольшей температурой плавления образуемых ими гелей. В статье делается предположение о первостепенном влиянии массообменного процесса при тепловой обработке на степень сохранности каротиноидов в составе формованных рыбных продуктов.

© Винокур М. Л., Андриухин А. В., Галдукевич В. А., Морозов И. О., Шадрина Н. В., 2024

Ключевые слова: альгинат натрия, крилевый жир, каротиноиды, астаксантин, каррагинан.

Для цитирования: Винокур М. Л., Андрюхин А. В., Галдукевич В. А., Морозов И. О., Шадрина Н. В. Использование пищевых добавок для снижения потерь каротиноидов в рыбных полуфабрикатах, обогащенных крилевым жиром // Известия КГТУ. 2024. № 74. С. 92–105. DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-92-105.

Original article

The use of food supplements to reduce the loss of carotenoids in fish products enriched with krill oil

Mikhail L. Vinokur¹, Anatoliy V. Andryukhin², Vladislav A. Galdukevich³, Il'ya O. Morozov⁴, Natalya V. Shadrina⁵

^{1,2,3,4}Atlantic branch of Research Institute of Fisheries and Oceanography («AtlantNIRO»), Kaliningrad, Russia

¹lmv@atlantniro.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5406-0701>

²fishtech@atlantniro.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6161-9099>

³v.galdukevich@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0622-5935>

⁴shkval@atlantniro.ru

⁵shadrina@atlantniro.ru

¹ Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
mikhail.vinokur@klgtu.ru

Abstract. The paper presents the results of the study of the influence of additives based on polysaccharide hydrocolloids on the degree of carotenoid loss and the organoleptic properties of molded minced meat products after steaming and deep-frying. Additives based on the following hydrocolloids have been used: sodium alginate, carrageenan, a mixture of guar and xanthan gum. It has been shown that with the addition of each of these hydrocolloids, there is a significant reduction in the degree of carotenoid loss and the total mass of the product. A positive effect of hydrocolloids on the organoleptic characteristics of finished molded products, in particular the “cut appearance”, has also been noted. When frying in oil, the smallest losses of total weight (14.0%) and carotenoids (49.1%) from the initial content have been observed when sodium alginate has been used. For the case of steaming semi-finished products, the smallest losses of total mass (9.8%), oil phase (34.2%) and carotenoids (42.0%) from the initial content are observed when using sodium alginate. The obtained data on changes in the degree of carotenoid loss correlated with changes in the type of semi-finished products in the cut. In general, a statistically significant decrease in carotenoid losses, regardless of the type of heat treatment used, has been observed in the series: no additives → gum → carrageenan → sodium alginate. Smaller losses corresponded to hydrocolloids with the highest melting point of the gels they formed. The article makes an assumption about the primary influence of mass transfer processes during heat

treatment on the degree of preservation of carotenoids in the composition of molded fish products.

Keywords: sodium alginate, krill oil, carotenoids, astaxanthin, carrageenan.

For citation: Vinokur M. L., Andryukhin A. V., Galdukevich V. A., Morozov I. O., Shadrina N. V. The use of food supplements to reduce the loss of carotenoid in fish products enriched with krill oil // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(74):92–105. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-92-105.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость расширения рыболовства в Атлантическом океане делает актуальным освоение дополнительной сырьевой базы, способной обеспечить устойчивый долговременный рост добычи и переработки водных биологических ресурсов. В Антарктической части Атлантики таким ресурсом является антарктический криль (*Euphausia superba*) – перспективная сырьевая база (биомасса около 5,6 млн т), способная обеспечить устойчивый рост добычи отечественного добывающего флота. В то же время, учитывая реализацию политики импортозамещения и продовольственной безопасности в России, организация добычи и глубокой переработки данного вида водных биоресурсов на сегодняшний момент – одна из приоритетных задач [1].

Криль является ценным источником жира, содержащего значительное количество омега-3 кислот, фосфолипидов, каротиноидов, в частности астаксантина [2]. При этом жир составляет в стоимостном выражении до 45 % от всего товарооборота производимой из криля продукции.

На сегодняшний день по критерию целевого назначения можно выделить следующие наиболее крупные сегменты мирового рынка крилевого жира: биологически активные добавки (препараты биологически активных добавок), употребляемые отдельно (не в составе пищевых продуктов) в виде капсул, таблеток или некапсулированных жидкостей; компоненты кормов для животных; компоненты пищевых продуктов; компоненты лекарств. При этом, несмотря на то, что около 70,2 % приходится на долю препаратов биологически активных добавок, следует отметить, что рост рынка, прогнозируемый до 2032 г., будет обусловлен также развитием трех других сегментов, занимающих приблизительно равные доли. Чтобы обеспечить более высокий потенциал продаж крилевого жира, в том числе в составе различных рыбных продуктов, ключевые предприятия строят свою политику на расширении линейки продуктов на основе фарша сурими или непромытого фарша тощих рыб [3].

В то же время весьма перспективным выглядит расширение ассортимента рыбных продуктов на основе фарша сурими или непромытого фарша тощих рыб в направлении их обогащения липидами водного происхождения. При этом основное количество публикаций посвящено решению проблем в области разработок технологий обогащения фарша сурими липидами водного происхождения, в том числе крилевым жиром [2, 4, 5, 6].

В 2021–2022 гг. в «АтлантНИРО» проведены исследования по разработке формованной продукции, обогащенной крилевым жиром, на примере рыбных шариков [7]. Как было установлено, потери каротиноидов в готовом продукте при термической обработке паром составили 60–75 %, во фритюре – 83,5 %. Показа-

но, что для дальнейшей разработки технологии рыбных полуфабрикатов, обогащенных крилевым жиром, необходимы дальнейшие исследования, направленные на изучение применения способов снижения потерь каротиноидов. Известно, что гидроколлоиды, в т. ч. каррагинаны, альгинаты и камеди, обладают хорошей влаго- и жирудерживающей способностью [8, 9]. Как было указано ранее, основная доля потерь каротиноидов в рассматриваемой технологии, вероятно, связана с фактором массообмена, а не их термической деструкцией [7].

Цель настоящего исследования – обоснование возможности снижения потерь каротиноидов при термической обработке рыбных формованных изделий, обогащенных крилевым жиром, за счет использования добавок на основе гидроколлоидов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились для рыбных шариков как типового формованного полуфабриката с использованием охлажденного непромытого фарша тощей рыбы (судака). Добавление фарша судака обусловлено тем, что в последние годы в Куршском и Калининградском заливах вылавливается достаточно большое количество малоразмерного судака, который целесообразно направлять на фарш и получаемую из него продукцию. Мороженный судак был приобретен у производителя данной продукции в Калининградской области, принадлежащей группе компаний «За Родину». Рыбу блочной заморозки (с продолжительностью хранения два месяца после изготовления) дефростировали на воздухе, мыли, оставляли на стекание, потрошили, филетировали. Филе дозачищали, мыли и оставляли на стекание, затем пропускали через фарш-машину (SZC-180, неопресс для обвалки рыбы). Использовался крилевый жир, произведенный норвежской компанией Aker BioMarine. Как показали результаты предварительных исследований, содержание каротиноидов в пересчете на астаксантин составило 198 мкг/г. По показателям значений кислотного (0,3 мг КОН/ г жира) и перекисного чисел (0,5 мэкв акт кислорода / кг жира) крилевый жир соответствовал требованиям ТР ТС 024/2011.

Рецептура фаршевой смеси для шариков (фарш судака – 94,5 %, соль – 1,5 %, растительное масло – 2,5 %, крилевый жир – 1,5 %) является видоизменением базовой части рецептуры (растительное масло частично заменено на крилевый жир) для ассортимента формованной продукции, содержащей растительное масло, разработанной ранее в «АтлантНИРО»: фарш судака – 94,5 %, соль – 1,5 %, растительное масло – 4,0 %. Для получения фаршевой смеси в течение 10 мин использовали перемешивающее устройство лопастного типа – кухонный блендер (РНВ 1467 AL, погружной блендер Polaris), снабженный соответствующей насадкой. Рыбные шарики формовали вручную, вес одного шарика составлял 8–10 г.

Для установления возможного снижения потерь каротиноидов при термической обработке шариков за счет внесения гидроколлоидов были использованы добавки водо- и жирудерживающих агентов на основе каррагинанов, камедей и альгинатов [8, 9]. В частности, применялась добавка «Ерол М 35» (рег. № 78.01.10.009.Е.005705.09.11.), рекомендуемая в качестве загустителя при производстве сурими и плавленых сыров. «Ерол М 35» содержит каррагинан стандартизированный (Е 407), представляющий смесь каррагинанов

нескольких типов. Также использовался загуститель «Майомил Е-06» (рег. № 77.01.13.009.У.000108.10.07), содержащий смесь ксантановой Е 415 и гуаровой камедей Е 412. Альгинаты были внесены в виде комплексной пищевой добавки, рекомендуемой для жировых и мясных эмульсий КФ Стабипро ФЭТ (рег. № Д-DE.РА01.В.98112/21), содержащей в качестве загустителя альгинат натрия (Е 401), а также сульфат кальция и фосфаты. Добавки были использованы в максимальном рекомендуемом фирмой-производителем количестве, указанном в прилагаемых на эти добавки спецификациях: «Ерол М 35» – 1,0 %, «Стабипро ФЭТ» – 4,0 %, «Майомил Е-06» – 0,5 %.

Шарики замораживали воздушным способом в стеллажном морозильном аппарате при температуре минус 36 °С и глазировали посредством погружения в воду при 0 °С. Массу полуфабрикатов определяли на весах с точностью до 0,1 г. Термическую обработку рыбных шариков проводили по наиболее рациональным, установленным ранее режимам [7]. Рыбные шарики дефростируют и подвергают двум вариантам кулинарной обработки: на пару при атмосферном давлении в кухонной пароварке (материал – алюминий, объем – 6 л, 4 яруса сеток) без электроподогрева и системы регулирования температуры пара в течение 12 мин; во фритюре с растительным (подсолнечным) маслом при температуре 180 °С в течение 4 мин. Шарики во время варки размещались в один слой (только на одном из ярусов). Значения температуры паровоздушной смеси колебались от 96,2 до 98,7 °С в зависимости от места расположения щупа внешнего термодатчика, но на уровне высоты размещения образцов. Перед последующими исследованиями и определением потерь массы полуфабрикаты обтирали бумажной салфеткой для удаления излишней влаги и жира. Контроль температуры в процессе тепловой обработки образцов осуществлялся электронным термометром ТРМ-10 с коротким щупом на гибком кабеле. Температура в центре шариков к концу обработки на пару соответствовала 70,8 °С, во фритюре – 78,1 °С.

Извлечение жиромасляной фракции производили в соответствии с методикой, адаптированной для извлечения липидов из рыб, в т. ч. с высоким содержанием полярной (фосфолипидной фракции) [10]. Навеску исследуемой пробы массой 30 г помещали в сухую фарфоровую ступку, туда же добавляли двойное количество безводного сульфата натрия, смесь тщательно перемешивали до получения сыпучей массы. Содержимое ступки переносили в широкогорлую склянку с притертой пробкой, добавляли 80 мл хлороформа, тщательно перемешивали и оставляли при перемешивании на 1 час. Фильтровали полученную мисцеллу через сухой складчатый фильтр (с синей меткой), предварительно смоченный хлороформом. Осадок на фильтре промывали 30 мл хлороформа и добавляли к мисцелле. После упаривания хлороформа при температуре не выше 40 °С в ротационном вакуумном испарителе растворителя жиромасляную фазу взвешивали и находили количественное содержание жиромасляной фазы в продукте.

В полученной жиромасляной фазе определяли содержание каротиноидов в пересчете на астаксантин. Для этого 0,10–0,50 г жиромасляной фазы растворяли в 25 мл гексана и вычисляли оптическую плотность на спектрофотометре СФ-2000 при длине волны 470 нм, калибровку проводили с использованием стандарта астаксантина. При исследованиях по изучению влияния типа добавки (в т. ч. без добавки) применяли метод одностороннего дисперсионного анализа с уровнем на-

дежности 0,05. Последующие парные сравнения проводили с использованием апостериорного метода Тьюки [11]. Все исследования четырехкратно повторяли.

При органолептической оценке применяли разработанные 5-балльные шкалы для рыбных шариков, обработанных на пару и обжаренных в масле. Шкалы представлены в табл. 1, 2. Обработку данных осуществляли при помощи программного обеспечения Microsoft Excel.

Таблица 1. Шкала оценки органолептических показателей рыбных шариков, обработанных паром

Table 1. A scale for assessing organoleptic indicators of fish balls treated with steam

Наименование показателя	Характеристика органолептических показателей, баллы				
	5	4	3	2	1
Внешний вид	правильной круглой формы, поверхность ровная	правильной круглой формы, едва заметны отклонения по форме	правильной круглой формы, незначительные отклонения формы	правильной круглой формы, со значительными отклонениями от формы	форма неправильная
Вид фарша на разрезе	однородный равномерный, цвет умеренно розовый	однородный равномерный, с небольшими отклонениями в тоне цвета	однородный равномерный, с небольшими вкраплениями	однородный неравномерный	неоднородный
Запах	приятный умеренно выраженный аромат, свойственный вареной рыбе, с умеренно выраженным креветочным оттенком	слабо или излишне выраженный аромат, свойственный вареной рыбе, с умеренно или выраженным креветочным оттенком	слабо или излишне выраженный аромат, свойственный вареной рыбе, со слабо выраженным креветочным оттенком	наличие слабо выраженного запаха окисленного жира или отсутствие креветочного оттенка	наличие сильно выраженного запаха окислившегося жира
Вкус	рыбный, сочный, со слабым привкусом креветочного жира	рыбный, недостаточно сочный, со слабым привкусом креветочного жира	рыбный, с едва уловимым привкусом	рыбный, суховатый с едва уловимым привкусом креветочного жира	наличие привкуса окислившегося жира
Консистенция	плотная	среднеплотная, слабо крошлиявая	не плотная, слабо крошлиявая	излишне плотная или умеренно крошлиявая	резинистая или крошлиявая

Таблица 2. Шкала оценки органолептических показателей рыбных шариков, обжариваемых во фритюре

Table 2. A scale for assessing organoleptic indicators of deep-fried fish balls

Наименование показателя	Характеристика органолептических показателей, баллы				
	5	4	3	2	1
Внешний вид	правильной круглой формы, поверхность ровная	правильной круглой формы, едва заметны отклонения по форме	правильной круглой формы, незначительные отклонения формы	правильной круглой формы, со значительными отклонениями от формы	форма неправильная
Вид фарша на разрезе	однородный равномерный, цвет умеренно розовый	однородный равномерный, с небольшими отклонениями в тоне цвета	однородный равномерный, с небольшими вкраплениями	однородный неравномерный	неоднородный
Запах	приятный умеренно выраженный аромат, свойственный жареным рыбным котлетам, с умеренно выраженным креветочным оттенком	слабо или излишне выраженный аромат, свойственный жареным рыбным котлетам, с умеренно или выраженным креветочным оттенком	слабо или излишне выраженный аромат, свойственный жареным рыбным котлетам, со слабо выраженным креветочным оттенком	наличие слабовыраженного запаха окислившегося жира	наличие сильно выраженного запаха окислившегося жира
Вкус	обжаренного продукта, свойственный рыбе, со слабым привкусом креветочного жира	обжаренного продукта, свойственный рыбе, с едва уловимым привкусом креветочного жира	наличие едва заметного привкуса окислившегося жира	наличие слабого привкуса окислившегося жира	наличие достаточно выраженного привкуса окислившегося жира
Консистенция	плотная	среднеплотная, слабо крошливая	неплотная, слабо крошливая	излишне плотная или умеренно крошливая	резинистая или крошливая

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования влияния добавок различных типов гидроколлоидов на величину потерь массы и каротиноидов при обработке рыбных шариков на пару представлены в табл. 3.

Таблица 3. Влияние добавок различных типов гидроколлоидов на потери каротиноидов, общей массы и жира масляной фазы у рыбных шариков, обогащенных крилевым жиром, при обработке паром

Table 3. Influence of additives of various types of hydrocolloids on the loss of carotenoid, total mass and oil phase in fish balls enriched with krill oil during steam treatment

Количество и название вносимой добавки	Потери общей массы, %	Потери массы масляной фазы, %	Потери каротиноидов, %
Без добавок	27,2±0,7	58,1±1,9	68,5±1,5
Добавка каррагинана «Ерол М 35» – 1,0 %	11,2±0,5	37,5±1,2	47,5±1,3
Добавка альгината натрия «Стабипро ФЭТ» – 4,0 %	9,8±0,3	34,2±1,8	42,0±1,2
Добавка камеди «Майомил Е-06» – 0,5 %	18,1±0,8	46,9±2,1	57,5±0,9

Наименьшие потери общей массы (9,8 %), масляной фазы (34,2 %) и каротиноидов (42,0 %) от начального содержания наблюдаются при использовании альгината натрия. В целом статистически значимое уменьшение потерь фиксировалось в ряду: без добавок → добавка камеди → добавка каррагинана → добавка альгината натрия. Максимально достигаемые значения температуры в толще продукта, в зависимости от степени удаленности от поверхности, могли как превосходить, так и быть ниже температуры плавления гелей отдельных гидроколлоидов (добавка камеди ≥ 70 °С, добавка каррагинана ≥ 80 °С, добавка альгината натрия ≥ 90 °С). Таким образом, прослеживается взаимосвязь между температурой плавления гелей гидроколлоидов и степенью потерь как каротиноидов, так и жира масляной фазы. Добавки, образующие более термотолерантные гели, давали меньший процент потерь масложировой фазы и каротиноидов при обработке шариков на пару. Следует напомнить, что рядом авторов также отмечались лучшие свойства по связыванию влаги и жира при температурах более 100 °С для альгината натрия в сравнении с каррагинанами и камедями [9,12].

Используя каррагинан и (или) альгинат натрия, удалось улучшить органолептические показатели качества шариков. В частности, «вид на срезе» у шариков, обработанных каррагинаном и альгинатом натрия, имел после обработки более насыщенный розовый цвет по сравнению с образцами без добавок, что может быть связано со снижением потерь каротиноидов, являющихся по своей химической природе естественными красителями розового цвета. При этом прочие органолептические показатели шариков не ухудшались (табл. 4).

Таблица 4. Органолептическая оценка рыбных шариков, обработанных паром, баллы

Table 4. Organoleptic evaluation of steamed fish balls, points

Продолжительность термической обработки, мин	Вкус	Запах	Внешний вид	Консистенция	Вид на разрезе
Без добавок	5,0	4,8	4,8	5,0	4,3
Добавка каррагинана «Ерол М 35» – 1,0 %	5,0	4,8	4,8	5,0	4,7
Добавка альгината натрия «Стабипро ФЭТ» – 4,0 %	5,0	4,8	5,0	5,0	4,9
Добавка камеди «Майомил Е-06» – 0,5 %	5,0	4,8	4,8	5,0	4,3

Таблица 5. Влияние добавок различных типов гидроколлоидов на потери каротиноидов у рыбных шариков, обогащенных крилевым жиром, обжариваемых во фритюре

Table 5. Influence of additives of various types of hydrocolloids on the loss of carotenoid in deep-fried fish balls

Характеристика рецептуры	Потери общей массы, %	Потери каротиноидов, %
Без добавок	20,1±0,7	83,2±1,9
Добавка каррагинана «Ерол М 35» – 1,0 %	15,3±0,5	54,2±1,7
Добавка альгината натрия «Стабипро ФЭТ» – 4,0 %	14,0±0,3	49,1±1,2
Добавка камеди «Майомил Е-06» – 0,5 %	18,9±0,7	78,9±1,1

При обжарке в масле наименьшие потери общей массы (14,0 %) и каротиноидов (49,1 %) наблюдались при использовании альгината натрия. В целом статистически значимое уменьшение потерь отмечалось в ряду: без добавок → камедь → каррагинан → альгинат натрия. Ранее для рыбных паштетов, как для продукции, подвергающейся достаточно жесткой термической обработке (стерилизации), было установлено, что использование как каррагинанового, так и альгинового геля позволяет снизить количество отделяющейся жидкой части [13]. Многие авторы, отмечавшие снижение потерь воды и жира при использовании в составе белковых матриц вышеупомянутых гидроколлоидов, связывают это с формированием стабильной белково-гелевой решетчатой структуры [9,12]. Однако также не исключается роль проявления поверхностно-активных свойств гидроколлоидов по отношению к жирам.

Как и в случае с обработкой паром, для обжаривания в масле при высоких температурах применение альгинатов и каррагинанов позволяет улучшить органолептический показатель «вид на срезе» (табл. 6) за счет более высокого уровня сохранности каротиноидов.

Таблица 6. Органолептическая оценка рыбных шариков, обогащенных крилевым жиром, обжариваемых во фритюре, баллы

Table 6. Organoleptic evaluation of deep-fried fish balls, points.

Характеристика рецептуры	Вкус	Запах	Внешний вид	Консистенция	Вид на разрезе
Без добавок	5,0	5,0	4,8	5,0	3,3
Добавка каррагинана «Ерол М 35» – 1,0 %	5,0	5,0	4,8	5,0	4,5
Добавка альгината натрия «Стабипро ФЭТ» – 4,0 %	5,0	5,0	4,8	5,0	4,7
Добавка камеди «Майомил Е-06» – 0,5 %	5,0	5,0	4,8	5,0	3,8

Большинство авторов связывают причину потерь каротиноидов при тепловой обработке пищевых продуктов до 100 °С исключительно с массообменными процессами, ссылаясь на их высокую устойчивость в гомогенных (монофазных) системах. Так, в исследованиях, посвященных изучению устойчивости каротиноидов в составе монофазы – растительного масла, – отмечается их высокая термическая стабильность даже при температурах до 120 °С [14]. Для продуктов, обжариваемых во фритюре, установлено, что температура, близкая к горячему растительному маслу, характерна только для внешнего «коркового» слоя, т. е. где проходят значительные денатурационные процессы, связанные с полной потерей белками функционально-технологических свойств, что также может приводить к потере каротиноидов, в первую очередь за счет массообменного фактора. Учитывая, что во внутренних слоях продукта температура не достигает 100 °С (в центре 78,1 °С), можно предположить, что столь существенные потери каротиноидов при каждом из рассматриваемых способов кулинарной обработки могут быть связаны, в первую очередь, с массообменными процессами. Для случая обработки на пару это подтверждается результатами определения потерь жиромасляной фазы. Также в пользу преобладающей роли массообменных процессов говорит и отмеченная возможная взаимосвязь между наблюдаемыми потерями и температурой плавления гелей используемых гидроколлоидов.

Однако, на сегодняшний день все еще не доказано исключительное значение массообменных процессов для потери каротиноидов при тепловой обработке пищевых продуктов. Несмотря на уже упомянутую выше высокую стабильность каротиноидов к термическим нагрузкам в составе растительных масел, показана их значительно меньшая стабильность в составе органических растворителей. Так, при изучении термической стабильности каротиноидов в растворах органических растворителей отмечено, что после двух часов нагревания при 70 °С наблюдается полное разрушение астаксантина, выражаемое в потере максимума поглощения в ультрафиолетовой области, а также полном снижении ядерно-магнитного резонанса детектируемой активности олефиновых атомов водорода. С другой стороны, также доказана роль гидроколлоидов в стабилизации каротиноидов по отношению к окислительной деструкции при использовании микроинкапсуляции [15, 16, 17].

В связи с вышеизложенным необходимо провести дальнейшие исследования по обоснованию целесообразности использования гидроколлоидов в составе рыбных формованных изделий, обогащенных крилевым жиром, а также определению их роли в механизме снижения потерь каротиноидов при кулинарной обработке полуфабрикатов, обогащенных крилевым маслом.

ВЫВОДЫ

Обобщая полученные в результате проведенных работ данные, можно заключить, что:

– для сокращения потерь каротиноидов при различных видах термической обработки рыбных формованных изделий, обогащенных крилевым жиром, целесообразно использовать добавки гидроколлоидов, в т. ч. на основе каррагинанов, альгинатов и камедей;

– наибольшее снижение потерь каротиноидов при термической обработке шариков, обогащенных крилевым жиром, наблюдается при использовании наиболее термотолерантных гидроколлоидов, в частности, альгината натрия.

Список источников

1. Андрюхин А. В., Андреев М. П., Галдукевич В. А. Совершенствование технологии комплексной переработки антарктического криля (*Euphausia superba*) // Известия КГТУ. 2022. № 64. С. 67–80.
2. Kwantes J. M., Grundmann O. A. Brief review of krill oil history, research, and the commercial market // Journal of Dietary Supplements. 2015. V. 12. N 1. P. 23–25.
3. Cappel I. R., MacFadyen G., Constable A. Research funding and economic aspects of the Antarctic krill fishery // Mar. Policy 2022. V. 143. P. 105200.
4. Antarctic krill (*Euphausia superba*) oil: a comprehensive review of chemical composition, extraction technologies, health benefits, and current applications / Dan Xie et al. // Comprehensive Reviews in food science and food safety. 2019. V. 18. N 2. P. 514–534.
5. Characterization of molecular species and anti-inflammatory activity of purified phospholipids from Antarctic krill oil / Li Zhou et al. // Marine Drugs. 2021. V. 19. N 3. P. 124.
6. Krill oil microencapsulation: antioxidant activity, astaxanthin retention, encapsulation efficiency, fatty acids profile, in vitro bioaccessibility and storage stability / C. A. Ortiz Sánchez et al. // Lwt. 2021. V. 147. P. 111476.
7. О проблемах потерь при термической обработке формованных полуфабрикатов, обогащенных жиром антарктического криля / И. О. Морозов, В. А. Галдукевич, М. Л. Винокур, А. В. Андрюхин // Материалы I Международной научно-практической конференции «Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития» (28–29 марта 2023 г., Москва). ФГБНУ «ВНИРО». 2023. С. 363–367.
8. Pirsá S., Hafezi K. Hydrocolloids: structure, preparation method, and application in food industry // Food Chemistry. 2023. V. 399. P. 133967.

9. Soumya B., Suvendu B. Food Gels: Gelling Process and New Applications // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2012. V. 52 (4). P. 334–346.
10. Ржавская Ф.М. Жиры рыб и морских млекопитающих. М.: Изд-во «Пищевая промышленность», 1976. 470 с.
11. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы обработки данных / под ред. Э. К. Лецкого. Москва: Мир, 1980. 610 с.
12. Kumbhar V., Chatli M.K., Rajesh V. Composite Fat Replacer Mixture of Sodium Alginate and Carrageenan // *Int. J. Livest. Res.* 2018. V. 8 (11). P. 94–105.
13. Кадникова И. А., Талабаева С. В., Соколова В. М. Влияние полисахаридных гидрогелей на реологические свойства консервов типа суфле // *Известия ТИПРО*. 2006. № 146. С. 283–287.
14. Thermal stability of astaxanthin in oils for its use in fish food technology / N. S. Calvo et al. // *Animal Feed Science and Technology*. 2020. V. 270. P. 114668.
15. Rao R. A., Sarada R., Ravishankar G. A. Stabilization of astaxanthin in edible oils and its use as an antioxidant // *Journal of the science of food and agriculture*. 2007. V. 87 (6). P. 957–965.
16. Preventing the thermal degradation of astaxanthin through nanoencapsulation / A. Tachaprutinun et al. // *International journal of pharmaceutics*. 2009. V. 374. N 1–2. P. 119–124.
17. Chitosan oligosaccharide/alginate nanoparticles as an effective carrier for astaxanthin with improving stability, in vitro oral bioaccessibility, and bioavailability / F. N. Sorasitthiyankarn et al. // *Food Hydrocolloids*. 2022. V. 124. P. 107246.

References

1. Andryukhin A. V., Andreev M. P., Galdukevich V. A. Sovershenstvovanie tekhnologii kompleksnoy pererabotki antarkticheskogo krilya (*Euphausia superba*) [Improving the technology of antarctic krill (*Euphausia superba*) complex processing]. *Izvestiya KGTU*. 2022, no. 64, pp. 67–80.
2. Kwantes J. M., Grundmann O. A. Brief review of krill oil history, research, and the commercial market. *Journal of Dietary Supplements*. 2015, vol. 12, no. 1, pp. 23–253.
3. Cappell I. R., MacFadyen G., Constable A. Research funding and economic aspects of the Antarctic krill fishery. *Marine Policy*. 2022, vol. 143, pp. 105200.
4. Xie D. et al. Antarctic krill (*Euphausia superba*) oil: a comprehensive review of chemical composition, extraction technologies, health benefits, and current applications. *Comprehensive Reviews in food science and food safety*. 2019, vol. 18, no. 2, pp. 514–534.
5. Zhou L. et al. Characterization of molecular species and anti-inflammatory activity of purified phospholipids from Antarctic krill oil. *Marine Drugs*. 2021, vol. 19, no. 3, pp. 124.
6. Sánchez C. A. O. et al. Krill oil microencapsulation: antioxidant activity, astaxanthin retention, encapsulation efficiency, fatty acids profile, in vitro bioaccessibility and storage stability. *Lwt*. 2021, vol. 147, pp. 111476.
7. Morozov I. O., Galdukevich V. A., Vinokur M. L., Andryukhin A. V. O problemakh poter' pri termicheskoy obrabotke formovannykh polufabrikatov, obogashchen-

nykh zhirom antarkticheskogo krilya [On the problems of losses during heat treatment of molded semi-finished products enriched with Antarctic krill oil]. *Materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Rybokhozyaystvennyy kompleks Rossii: problemy i perspektivy razvitiya» (28–29 marta 2023 goda, Moskva)* [Proceedings of the I International Scientific Conference “Russian fishery industry: problems and development prospects” (28–29 March 2023, Moscow)]. FGBNU «VNIRO» Publ., 2023, pp. 363–367.

8. Pirsa S., Hafezi K. Hydrocolloids: structure, preparation method, and application in food industry. *Food Chemistry*. 2023, vol. 399, pp. 133967.

9. Soumya B., Suvendu B. Food Gels: Gelling Process and New Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2012, vol. 52 (4), pp. 334–346.

10. Rzhavskaya F. M. *Zhiry ryb i morskikh mlekopitayushchikh* [Oils of fish and marine mammals]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1976, 470 p.

11. Dzhonson N., Lion F. *Statistika i planirovanie eksperimenta v tekhnike i nauke: metody obrabotki dannykh* [Statistics and experimental planning in technology and science: data processing methods], pod red. E. K. Letskogo. Moscow, Mir, 1980, 610 p.

12. Kumbhar V., Chatli M.K., Rajesh V. Composite Fat Replacer Mixture of Sodium Alginate and Carrageenan. *International Journal of Livestock Research*. 2018, vol. 8 (11), pp. 94–105.

13. Kadnikova I. A., Talabaeva S. V., Sokolova V. M. Vliyanie polisakharidnykh gidrogeley na reologicheskie svoystva konservov tipa sufle [Influence of polysaccharide hydrogels on the rheological properties of canned food such as soufflé]. *Izvestiya TINRO*. 2006, vol. 146, pp. 283–287.

14. Calvo N. S. et al. Thermal stability of astaxanthin in oils for its use in fish food technology. *Animal Feed Science and Technology*. 2020, vol. 270, pp. 114668.

15. Rao R. A., Sarada R., Ravishankar G. A. Stabilization of astaxanthin in edible oils and its use as an antioxidant. *Journal of the science of food and agriculture*. 2007, vol. 87 (6), pp. 957–965.

16. Tachaprutinun A. et al. Preventing the thermal degradation of astaxanthin through nanoencapsulation. *International journal of pharmaceuticals*. 2009, vol. 374, no. 1–2, pp. 119–124.

17. Sorasitthyanukarn F. N. et al. Chitosan oligosaccharide/alginate nanoparticles as an effective carrier for astaxanthin with improving stability, in vitro oral bioaccessibility, and bioavailability. *Food Hydrocolloids*. 2022, vol. 124, pp. 107246.

Информация об авторах

Винокур М. Л. – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории стандартизации и нормирования, доцент кафедры технологии продуктов питания

Андрюхин А. В. – кандидат технических наук, руководитель Центра переработки водных биологических ресурсов, заведующий лабораторией стандартизации и нормирования

Галдукевич В. А. – кандидат технических наук, ведущий инженер лаборатории стандартизации и нормирования

Морозов И. О. – кандидат технических наук, ведущий инженер лаборатории стандартизации и нормирования

Шадрина Н. В. – ведущий инженер лаборатории стандартизации и нормирования

Information about the authors

Vinokur M. L. – PhD in Engineering, Head researcher of the laboratory of standardization and regulation, Associate Professor of the Department of Food Products Technology

Andriukhin A. V. – PhD in Engineering, Head of the laboratory of standardization and regulation

Galdukevich V. A. – PhD in Engineering, Leading engineer at the laboratory of standardization and regulation

Morozov I. O. – PhD in Engineering, Leading engineer of the laboratory of standardization and regulation

Shadrina N. V. – Leading engineer of the laboratory of standardization and regulation

Статья поступила в редакцию 20.05.2024; одобрена после рецензирования 20.06.2024; принята к публикации 24.06.2024.

The article was submitted 20.05.2024; approved after reviewing 20.06.2024; accepted for publication 24.06.2024.

Научная статья
УДК 664.95.022.22(06)
DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-106-120

Перспективы применения рыбных коллагенсодержащих добавок при получении мясных полуфабрикатов в тестовой оболочке

Ольга Павловна Чернега¹, Виктор Иванович Воробьев²

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

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

²viktor.vorobev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8209-7851>

Аннотация. Проведены исследования по применению коллагенсодержащих добавок, полученных из чешуи (коллагенсодержащее волокно) и кожи (рыбные дисперсии) судака обыкновенного (*Sander lucioperca*), в составе рецептур традиционных бурятских бууз и мант. Получены опытные и контрольные образцы бурятских бууз и мант с добавлением рыбных дисперсий на основе томатного и тыквенного соков, а также коллагенсодержащего волокна, определены их органолептические показатели качества и выход готовой продукции. Установлено, что совместное применение коллагенсодержащего волокна (1,2 г) и рыбной дисперсии (26,0 г) в качестве ингредиентов рецептуры фарша бурятских бууз позволяет заменить говядину на 18,8 % при аналогичных органолептических показателях качества с сохранением массы анализируемых образцов за счет процесса желатинизации, вызванного термической обработкой коллагенсодержащих добавок, содержащихся в начинке, что способствует сохранению потребительских свойств и расширению ассортимента бууз с пониженной себестоимостью. Показано, что добавление рыбной дисперсии (24 г) в рецептуру фарша мант позволяет уменьшить содержание говядины с 82 до 72,4 г (снижение 11,7 %) при аналогичных органолептических показателях качества и массы опытных образцов по сравнению с контролем, что также способствует снижению себестоимости готовой продукции. При этом дополнительно не используется мясо птицы механической обвалки (14 г), применяемое в контрольном образце. Добавление рыбной дисперсии с тыквенным соком в тестовую оболочку мант не повлияло на ее вкус и способствовало улучшению внешнего вида (более яркий желтоватый оттенок по сравнению с контролем). Таким образом, коллагенсодержащие добавки, полученные из чешуи и кожи рыб, могут быть рекомендованы для применения в составе рецептур различных кулинарных блюд и полуфабрикатов.

Ключевые слова: рыбная дисперсия, буузы, манты, рецептуры, тестовая оболочка, коллагенсодержащее волокно.

Для цитирования: Чернега О. П., Воробьев В. И. Перспективы применения рыбных коллагенсодержащих добавок при получении мясных полуфабрикатов в тестовой оболочке // Известия КГТУ. 2024. № 74. С. 106–120. DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-106-120.

Original article

Prospects for the use of fish collagen-containing additives in the preparation of meat semi-finished products in dough casings

Ol'ga P. Chernega¹, Viktor I. Vorob'ev²

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

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

²viktor.vorobev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8209-7851>

Abstract. The paper presents the research on the use of collagen-containing additives obtained from scales (collagen-containing fibre) and skin (fish dispersions) of the common pike-perch (*Sander lucioperca*) in the formulation of traditional Buryat buuzy and manty. Experimental and control samples of Buryat buuzy and manty with addition of fish dispersions based on tomato and pumpkin juices, as well as collagen-containing fibre have been obtained, their organoleptic quality indicators and yield of finished products have been identified. It has been found that the joint use of collagen-containing fibre (1.2 g) and fish dispersion (26.0 g) as ingredients of the Buryat buuzy stuffing recipe allows replacing such a recipe component as beef by 18.8%, at similar organoleptic quality indicators with preservation of mass of analysed samples due to the process of gelatinisation caused by thermal treatment of collagen-containing additives contained in the stuffing, which contributes to the preservation of consumer properties and expansion of the assortment of buuzy with reduced cost price. It is shown that the addition of fish dispersion (24 g) in the composition of the recipe of minced manty allows to reduce the content of beef from 82 g to 72.4 g (a decrease of 11.7%), with similar organoleptic indicators of quality and weight of experimental samples compared with the control, which also contributes to reducing the cost of finished products. In this case, additionally no mechanically deboned poultry meat is used (14 g) in the control sample. Addition of fish dispersion with pumpkin juice to the dough shell of manty does not affect its taste, but contributes to the improvement of its appearance (brighter yellowish shade of color compared to the control). Thus, collagen-containing additives obtained from fish scales and skin can be recommended for the use in the formulations of various culinary dishes and semi-finished products.

Key words: fish dispersion, buuzy, manty, formulations, dough casings, collagen fibre.

For citation: Chernega O. P., Vorobev V. I. Prospects for the use of fish collagen-containing additives in the preparation of meat semi-finished products in dough casings // *Izvestiya KGTU=KSTU News*. 2024;(74):106–120. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-106-120.

ВВЕДЕНИЕ

Мясо – важнейший источник животного белка в питании человека на протяжении многих веков. Его потребление связано с рядом материальных, социальных, климатических, религиозных факторов и национальных традиций. Увеличивающийся мировой дефицит животного белка способствует повышенному спросу и росту цен на мясные продукты.

По данным ООН в мире ежегодно производится 360 млн т мяса, из них говядины – всего 70 млн т, то есть около 20 % [18]. Говядина считается самым дорогим мясом – выращивание крупного рогатого скота (КРС) требует больших затрат и окупается медленнее, чем разведение свиней и птиц. В итоге цены на говядину стабильно растут, являясь частью долговременного тренда.

Одним из альтернативных путей снижения себестоимости и потребности в животных белках является их сбалансированное (по незаменимым аминокислотам) сочетание с основным продуктом, потребляемым человеком – растительными протеинами (превалирующими в предложении белка (57 %) во всем мире) [2].

Сочетание мясной начинки и тестовой оболочкой традиционно используется во всех национальных кухнях. На Руси изготавливали курники и кулебяки [3], позже – пельмени, разновидностью которых являются китайские баоцзы, джоци, дим-сам, вонтоны, узбекские манты, швабские маульташен, армянские борачки, корейские дамплинги, кимчи-манду, японские гёдза, азербайджанские гюрза, грузинские хинкали, шведские кропкакор, итальянские равиоли, тортеллини, тибетские момо, литовские колдунай, узбекские чучвара, еврейские креплах и др. [4–7]. Эти мясные полуфабрикаты отличаются начинкой, составом теста, способом приготовления, внешним видом и др.

Мясные полуфабрикаты в тестовой оболочке занимают значительную долю рынка, их ассортимент постоянно обновляется за счет введения новых рецептурных ингредиентов. В настоящее время при приготовлении слоеного теста предлагают использовать маргарин «Алоха Пастри», полученный на базе 100 % растительных масел и жиров, улучшитель для замораживания Тигрис Кимо, а также, в качестве составляющей начинки, пищевую клетчатку Витацель 200 [8].

Представляет практический интерес вовлечение значительных количеств малоиспользуемых побочных продуктов переработки гидробионтов – чешуи и кожи (до 10 % от общей массы рыб) – и их составляющих в качестве коллагенсодержащих водоудерживающих гидроколлоидов в составе рецептур бууз и мант [9–11].

Применение коллагенсодержащих рыбных добавок, получаемых из побочного сырья гидробионтов, кроме их пищевой ценности предполагает улучшение связывающей способности компонентов фаршевой смеси и удержание жидкости в буузах и мантах при их термической обработке, что, возможно, позволит уменьшить содержание говядины в составе рецептуры при аналогичном с контролем (без добавок) выходе готовой продукции и, соответственно, снизить ее себестоимость.

Цель работы – оценить влияние коллагенсодержащих добавок из чешуи и кожи рыб, применяемых в качестве ингредиента в составе рецептур традиционных бурятских бууз (далее по тексту – бууз), а также мант, на их органолептические показатели качества и себестоимость готовой продукции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований являлись опытные и контрольные образцы бууз и мант, приготовленные с добавлением рыбных дисперсий (гидрат коллагена) из кожи судака с томатным и тыквенным соками, а также коллагенсодержащего волокна из чешуи судака, тестовой оболочкой для бууз и мант на основе пше-

ничной муки с добавлением рыбной дисперсии; манты с начинкой из мяса говядины и птицы механической обвалки; буузы с начинкой из мяса говядины и свинины. Эксперименты проводились в лабораториях кафедры технологии продуктов питания Калининградского государственного технического университета (ФГБОУ ВО «КГТУ»).

Коллагенсодержащее волокно (далее по тексту – КВ) из чешуи судака обыкновенного (*Sander lucioperca*) с содержанием влаги (8,8 %), белка (65,8 %), жира (3,0 %), золы (22,4 %) было получено по разработанной технологии [12].

Пищевая ценность сокосодержащих рыбных гидратов коллагена определялась в сертифицированной испытательной лаборатории ООО «Калининградский испытательный центр» в соответствии с нормативной документацией: ГОСТ 7636-85 (массовая доля влаги, белка, жира); МУ № 4237-86 от 29.12.86 г. (массовая доля углеводов); ТР ТС 022/2011, приложение 4, МУ № 4237-86 от 29.12.86 (энергетическая ценность).

Рыбная дисперсия (сокосодержащий гидрат рыбного коллагена) – это предварительно обработанная рыба кожа, смешанная с соком и выдержанная при температуре не более 4 °С в течение определенного периода времени с последующей гомогенизацией и образованием однородной массы [13].

Таблица 1. Пищевая ценность рыбных дисперсий на 100 г
Table 1. Nutritional value of fish dispersions per 100 g

Вид рыбной дисперсии	Вода	Белок	Жир	Углеводы
Рыбная дисперсия с томатным соком	92,0	5,6	0,1	2,3
Рыбная дисперсия с тыквенным соком	87,1	5,3	1,3	6,3



Рис. 1. Внешний вид рыбной дисперсии: а – с томатным соком, б – с тыквенным соком

Fig. 1. Appearance of fish dispersion: a – with tomato juice, b – with pumpkin juice

Процесс приготовления полуфабрикатов в тестовой оболочке осуществляли согласно рецептуры бууз из книги «Бурятская кухня» и в соответствии с ТИ к ТУ 9214-554-00419779-00 «Полуфабрикаты в тесте замороженные. Технические условия».

Были изготовлены следующие контрольные и опытные образцы бууз: контроль (традиционная рецептура без рыбной дисперсии и КВ), образец № 1 (мясной фарш с добавлением рыбной дисперсии с томатным соком), образец № 2 (мясной фарш с добавлением рыбной дисперсии с томатным соком и КВ в количестве 7,5 % от массы фарша), образец № 3 (мясной фарш с добавлением рыбной дисперсии с томатным соком и КВ в количестве 1,0 % от массы фарша). За контроль была взята следующая рецептура бууз: фарш – 850 г говядины, 220 г

жирной свинины, три головки репчатого лука, соль, одна столовая ложка пшеничной муки (для связи сока в фарше), 130 г воды; тесто – 350 г муки пшеничной, 2 яйца, 60 г воды [14]. Буузы обрабатывали варкой на пару в течение 25–30 мин.

Также были изготовлены следующие контрольные и опытные образцы мант (в соотношении «тестовая оболочка : начинка» 50:50): контроль (без добавления рыбной дисперсии), образец № 1 (с добавлением рыбной дисперсии в мясной фарш в количестве 12 % от массы сырья), образец № 2 (с добавлением рыбной дисперсии в мясной фарш в количестве 20 % от массы сырья), образец № 3 (с добавлением рыбной дисперсии в тесто в количестве 10 % от массы сырья). За контроль была взята следующая рецептура мант: фарш – 82 г говядины, 14 г мяса курицы механической обвалки, 14,4 г репчатого лука, 6,8 г жира, 2,0 г соли, 0,3 г чеснока, 1,0 г перца красного, 0,2 г перца черного, 0,2 г кориандра; тесто – 32,75 г муки пшеничной, 1,75 г яйца, 1 г соли, 14,5 г воды. Манты обрабатывали варкой на пару в течение 25–30 мин.

Пищевую ценность полуфабрикатов в тестовой оболочке определяли расчетным путем, органолептическую оценку по цвету, запаху, вкусу, консистенции – стандартными и общепринятыми методами [15–17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рецептуры фарша для контрольных и опытных образцов полуфабрикатов в тестовой оболочке (бууз) представлены в табл. 2. Соотношение теста к фаршу 1:2. Масса теста $20 \pm 1,0$ г, масса фарша $40 \pm 1,0$ г.

Таблица 2. Рецепт фарша для контрольного и опытных образцов бууз
 Table 2. Recipe of minced meat for control and experimental samples of buuzu

Наименование ингредиентов	Масса нетто, г			
	Контроль	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Говядина	67,0	67,0	67,0	54,4
Свинина жирная	17,0	–	–	17,0
Лук репчатый	24,0	24,0	24	21,4
Вода	10,3	–	–	–
Мука пшеничная	1,7	–	–	–
Рыбная дисперсия	–	29,0	19,9	26,0
КВ	–	–	9,1	1,2
Итого	120,0	120,0	120,0	120
Примечание: соль – 1 % от массы сырья, специи – 0,3 г				

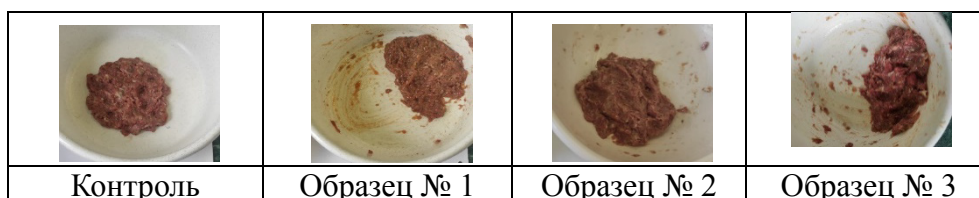


Рис. 2. Внешний вид фаршей для начинки бууз
 Fig. 2. Appearance of minced meat for stuffing buuzu



Рис. 3. Внешний вид готового полуфабриката
 Fig. 3. Appearance of the finished semi-finished product

Изменение массы бууз с различной рецептурой начинки при термической обработке (варка на пару) показано в табл. 3.

Таблица 3. Изменение массы бууз при термической обработке (варка на пару)
 Table 3. Change in the weight of buuzy during heat treatment (steaming)

Показатель	Образец			
	Контроль	№ 1	№ 2	№ 3
Масса до тепловой обработки, г	60,0	55,0	60,0	60,0
	60,0	60,0	60,0	60,5
	60,0	65,0	65,0	59,5
Масса после тепловой обработки (варка на пару), г	65,0	60,0	65,0	65,0
	65,0	65,0	65,0	65,5
	65,0	70,0	70,0	64,4
Увеличение массы, %	8,3	8,3	8,3	8,3

Согласно табл. 3. при варке на пару происходит увеличение массы бууз (8,3 %). Данный аспект связан с сорбцией паров поверхностью контрольных и опытных образцов бууз, сопровождающейся набуханием и клейстеризацией крахмала и глютена пшеничной муки и увеличением массы и объема тестовой оболочки (поэтому увеличение массы бууз имеют устойчивые одинаковые значения). При последующем нагреве бууз высокомолекулярные коллагенсодержащие добавки в начинке подвергаются процессу желатинизации, способствующему связыванию ими жидкости, что выражается в возрастающей «сочности» начинки.

Образцы готовой продукции представлены на рис. 4.

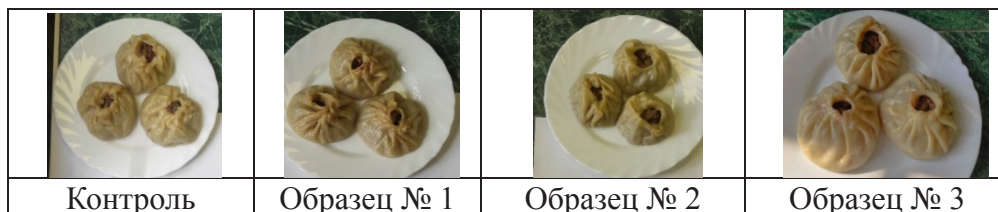


Рис. 4. Внешний вид контрольных и опытных образцов бууз после термической обработки (варка на пару)
 Fig. 4. Appearance of control and experimental samples of buuzy after heat treatment (steaming)

Органолептическая оценка (внешний вид (правильная круглая форма, края равномерно зачищены, небольшое отверстие посередине, фарш не выступает), цвет, вкус, запах, вид фарша на разрезе и его консистенция (сочность)) контрольных и опытных образцов готовой продукции по 5 балльной шкале показала следующее:

– контроль: буузы после варки не потеряли форму, не деформировались, фарш не выступал, отсутствовала излишняя влага. Цвет теста светло-желтоватый, свойственный данному виду готовой продукции. Фарш однородный, хорошо перемешанный. При пережевывании мясной вкус бууз яркий, насыщенный, без постороннего привкуса. Аромат свойственный данному виду продукта, без постороннего запаха. Фарш сочный, в меру соленый;

– образец № 1: буузы после варки не потеряли форму, не деформировались, фарш не выступал, присутствовала излишняя влага. Цвет теста светло-желтоватый, свойственный данному виду готовой продукции. Фарш однородный, хорошо перемешанный. При пережевывании вкус бууз мясной, без постороннего привкуса. Аромат свойственный данному виду продукта, без постороннего запаха. Фарш очень сочный, в меру соленый;

– образец № 2: буузы после варки не потеряли форму, не деформировались, фарш не выступал, отсутствовала излишняя влага. Цвет теста светло-желтоватый, свойственный данному виду готовой продукции. Фарш однородный, хорошо перемешанный. При пережевывании вкус бууз мясной, без постороннего привкуса. Аромат свойственный данному виду продукта, без постороннего запаха. Фарш сухой, в меру соленый;

– образец № 3: буузы после варки не потеряли форму, не деформировались, фарш не выступал, отсутствовала излишняя влага. Цвет теста светло-желтоватый, свойственный данному виду готовой продукции. Фарш однородный, хорошо перемешанный. При пережевывании мясной вкус бууз насыщенный, без постороннего привкуса. Аромат свойственный данному виду продукта, без постороннего запаха. Фарш сочный, в меру соленый.

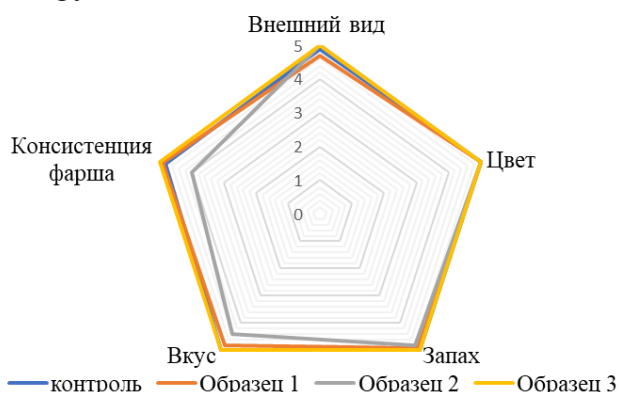


Рис. 5. Органолептический профиль контрольного и опытных образцов бууз.

Fig. 5. Organoleptic profile of control and experimental samples of buuz

Отмечено, что фарш в буузах, приготовленных с использованием КВ, в количестве 7,5 % от массы полуфабриката был очень сухим ввиду повышенной влагосвязывающей способности КВ, а с применением рыбной дисперсии, наоборот, очень влажным.

В результате органолептической оценки минимальное количество баллов набрал образец № 2, а максимальные – контроль и образец № 3 (обладающие сбалансированным по сочности и вкусу фаршем), получившие соответственно 5,0 и 4,9 балла.

Пищевая ценность контрольных и опытных образцов бууз представлена в табл. 4.

Таблица 4. Пищевая ценность контрольных и опытных образцов бууз на 100 г
 Table 4: Nutritional value of control and experimental samples of bouze per 100 g

Образцы бууз	Вода	Белок	Жир	Углеводы	Энергетическая ценность, ккал
Контроль	62,68	10,62	10,80	15,90	199,3
Образец № 1	66,32	10,40	6,70	16,58	164,1
Образец № 2	67,73	10,20	6,57	15,50	158,1
Образец № 3	64,70	10,10	9,70	15,50	185,8

Как видно из табл. 4, пищевая ценность бууз контрольного и опытного образца № 3 отличается незначительно.

Согласно рецептурам (табл. 5) были приготовлены контрольные и опытные образцы мант с использованием рыбной дисперсии с тыквенным соком.

Рыбная дисперсия была добавлена в тесто и мясной фарш.

Таблица 5. Рецепт теста с добавлением рыбной дисперсии с тыквенным соком на 100 г

Table 5. Recipe of dough with the addition of fish dispersion with pumpkin juice per 100 g

Наименование сырья	Контроль	Образце № 1
Мука	65,5	65,5
Яйца	3,5	3,5
Соль	2,0	2,0
Вода	29,0	19,0
Рыбная дисперсия	–	10,0
Итого	100,0	100,0

Внешний вид теста – контроль без добавления рыбной дисперсии и образец № 1 с добавлением рыбной дисперсии с тыквенным соком – показан на рис. 6.



Рис. 6. Внешний вид теста для мант
 Fig. 6. Appearance of dough for manty

Рецептуры мясного фарша для мант без добавления рыбной дисперсии (контроль) и с добавлением рыбной дисперсии с тыквенным соком (образец № 1 и № 2) представлены в табл. 6.

Таблица 6. Рецепт контрольных и опытных образцов мясного фарша для мант на 120 г

Table 6. Recipe of control and experimental samples of minced meat for manty per 120 g

Наименование сырья	Контроль	Образец № 1	Образец № 2
Говядина	82,0	82,0	72,4
Мясо курицы механической обвалки	14,0	–	–
Жир	6,80	6,80	6,80
Лук	14,4	14,4	14,4
Соль	2	2	2
Чеснок	0,3	–	–
Перец красный	0,1	–	–
Перец черный	0,2	0,2	0,2
Кориандр	0,2	–	–
Кавказские травы	–	0,2	0,2
Рыбная дисперсия	–	14,4	24
Итого	120,0	120,0	120,0

Внешний вид образцов фарша для мант представлен на рис. 7.

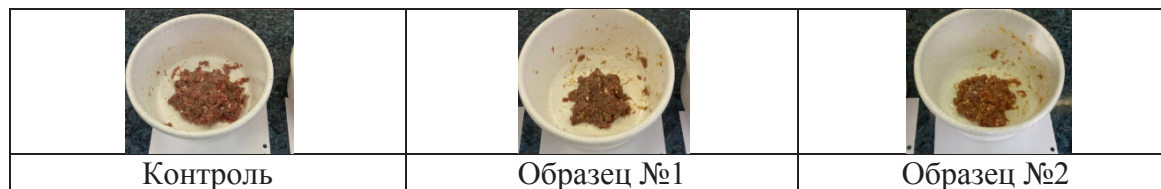


Рис. 7. Внешний вид образцов фарша для мант
 Fig. 7. Appearance of minced meat samples for manty

Рецептура контрольных и опытных образцов мант на 100 г продукта представлена в табл. 7.

Таблица 7. Рецепт контрольных и опытных образцов мант на 100 г продукта
 Table 7. Recipe of control and experimental samples of manty per 100 g of product

Наименование сырья	Контроль	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Тесто				
Мука пшеничная	32,75	32,75	32,75	32,75
Яйца (куриные)	1,75	1,75	1,75	1,75
Соль	1,0	1	1	1
Вода	14,5	14,5	14,5	9,5
Рыбная дисперсия	–	–	–	5

Фарш				
Говядина	34,17	34,17	30,17	34,17
Мясо птицы механической обвалки	5,83	–	–	5,83
Жир	2,83	2,83	2,83	2,83
Лук	6	6	6	6
Соль	0,8	0,8	0,8	0,8
Чеснок	0,13	–	–	0,13
Перец красный	0,04	–	–	0,04
Перец черный	0,1	0,1	0,1	0,1
Кориандр	0,1	–	–	0,1
Кавказские травы	–	0,1	0,1	–
Рыбная дисперсия	–	6	10	–
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0

Изменение массы мант с различной рецептурой начинки при термической обработке (варка на пару) представлено в табл. 8.

Таблица 8. Изменение массы мант при термической обработке (варка на пару)
 Table 8. Change in the weight of manty during heat treatment (steaming)

Показатель	Образец			
	Контроль	№ 1	№ 2	№ 3
Масса до тепловой обработки, г	60,79	60,80	65,56	64,00
	57,83	59,80	60,80	60,38
	63,47	60,40	61,80	63,10
Масса после тепловой обработки (варка на пару), г	63,68	64,00	68,99	67,20
	61,06	62,81	64,25	63,40
	66,40	63,75	65,00	66,25
Среднее значение увеличения массы, %	5,0	5,0	5,0	5,0

Из табл. 8 видно, что увеличение массы мант у всех образцов практически одинаково (5 %), это также связано с набуханием и клейстеризацией крахмала и глютена пшеничной муки при варке мант на пару (см. табл. 3).

Внешний вид полуфабрикатов после термообработки (варка на пару в течение 30 мин) представлен на рис. 8.

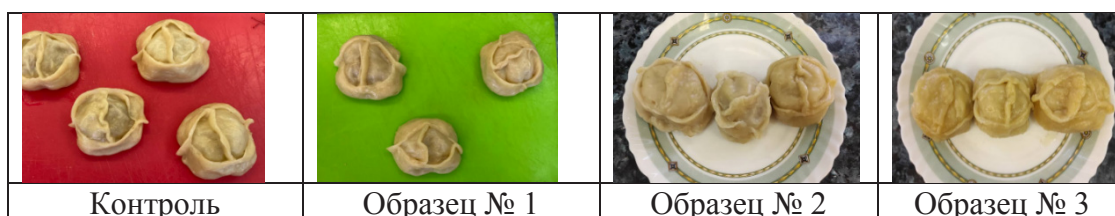


Рис. 8. Внешний вид контрольных и опытных образцов мант после термической обработки (варка на пару)

Fig. 8. Appearance of control and experimental samples of manty during heat treatment (steaming)

Отмечено, что внешний вид (цвет) теста с добавлением рыбной дисперсии имел красивый желтоватый оттенок, более яркий, чем у обычного теста (контроль), при этом вкус теста не изменился. Данную рецептуру теста можно рекомендовать к использованию при производстве полуфабрикатов в тестовой оболочке, так как готовый продукт имеет более привлекательный внешний вид. Тестовая оболочка с рыбной дисперсией, как и тестовая без рыбной дисперсии (контроль), хорошо формовались, из чего следует, что замена части воды на рыбную дисперсию не ухудшила свойства теста.

Органолептическая оценка (внешний вид (чашечка с залепленной верхушкой, края равномерно зашипаны), цвет, вкус, запах, вид фарша на разрезе и консистенции фарша (сочность)) контрольных и опытных образцов готовой продукции, определяемая по 5-балльной шкале, показала следующее:

– контроль: манты не потеряли форму после варки, цвет теста серо-желтоватый, свойственный данному виду готовой продукции. Фарш однородный, хорошо перемешанный. При пережевывании вкус мант мясной, без постороннего привкуса. Аромат свойственный данному виду продукта, с ароматом лука и пряностей, без постороннего запаха. Фарш сочный, в меру соленый;

– образец № 1: манты не потеряли форму после варки, цвет теста серо-желтоватый, свойственный данному виду готовой продукции. Фарш однородный, хорошо перемешанный. При пережевывании вкус мант мясной, без постороннего привкуса. Аромат свойственный данному виду продукта, с ароматом лука и пряностей, без постороннего запаха. Фарш сочный, в меру соленый;

– образец № 2: манты не потеряли форму после варки, цвет теста серо-желтоватый, свойственный данному виду готовой продукции. Фарш однородный, хорошо перемешанный. При пережевывании вкус мант мясной, без постороннего привкуса. Аромат свойственный данному виду продукта, с ароматом лука и пряностей, без постороннего запаха. Фарш очень сочный, в меру соленый;

– образец № 3: манты не потеряли форму после варки, цвет теста имел приятный желтый оттенок. Фарш однородный, хорошо перемешанный. При пережевывании вкус мант мясной, без постороннего привкуса. Аромат свойственный данному виду продукта, с ароматом лука и пряностей, без постороннего запаха. Фарш сочный, в меру соленый.

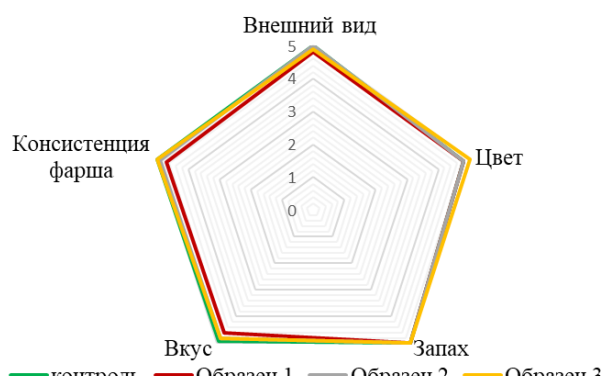


Рис. 9. Органолептический профиль контрольного и опытных образцов мант
Fig. 9. Organoleptic profile of control and experimental samples of manty

В результате органолептической оценки образец № 2 получил 5 баллов, так как имел более привлекательный внешний вид (фарш с рыбной дисперсией был более сочным), чем в контроле и образцах № 1, № 3.

Пищевая ценность контрольных и опытных образцов мант представлена в табл. 9.

Таблица 9. Пищевая ценность контрольных и опытных образцов мант на 100 г
Table 9: Nutritional value of control and experimental samples of manty per 100 g

Образцы бууз	Вода	Белок	Жир	Углеводы	Энергетическая ценность, ккал
Контроль	55,2	11,0	10,2	23,6	163,2
Образец № 1	58,0	10,3	7,8	23,9	201,0
Образец № 2	58,7	9,8	7,3	24,2	197,7
Образец № 3	58,3	10,8	7,0	23,9	195,8

Как видно из таблицы, пищевая ценность опытных образцов мант незначительно отличается от контроля.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать применение рыбных коллагенсодержащих добавок из чешуи и кожи рыб в качестве рецептурных ингредиентов бууз и мант, способствующих сохранению потребительских свойств и расширению ассортимента изделий с пониженной себестоимостью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследовано влияние коллагенсодержащих добавок из чешуи и кожи рыб на органолептические показатели качества готовой продукции (бууз и мант) и их себестоимость.

Определено, что совместное применение КВ (1,2 г) и рыбной дисперсии (26,0 г) в качестве ингредиентов рецептуры фарша бууз позволяет уменьшить содержание самого дорогого компонента – говядины – с 67,0 (контроль) до 54,4 г (опыт), или на 18,8 % при аналогичных органолептических показателях качества опытных образцов по сравнению с контролем. Опытным (рыбные дисперсии) и расчетным (буузы, манты) путем показана их пищевая ценность.

Исследовано, что добавление рыбной дисперсии (24 г) в рецептуру фарша мант позволяет уменьшить содержание говядины с 82 до 72,4 г (снижение на 11,7 %), при этом не используется мясо птицы механической обвалки (14 г), применяемое в контроле, при аналогичных органолептических показателях качества и выхода опытных образцов по сравнению с контролем, что снижает себестоимость готовой продукции.

Добавление рыбной дисперсии с тыквенным соком в тестовую оболочку мант способствует улучшению внешнего вида (более яркий желтоватый оттенок), но не влияет на ее вкус и набухаемость при варке на пару.

Дальнейшие исследования будут связаны с определением оптимального соотношения коллагенсодержащих добавок из чешуи и кожи рыб в составе рецептур различных кулинарных полуфабрикатов (расширение ассортимента и снижение себестоимости).

Список источников

1. Кулинарные традиции XIX в. – начала XX в. Ч. 2. Формирование общерусской национальной кухни. URL: <https://dzen.ru/a/Y5IT405fXEiLetTr> (дата обращения: 08.03.2024).
2. Future protein supply and demand: strategies and factors influencing a sustainable equilibrium / Henchion M. et al. // Foods. 2017. V. 6. N 7. P. 53. <https://doi.org/10.3390/foods6070053>.
3. От императорских торжеств до современных застолий. URL: <https://dzen.ru/101-recept.ru> (дата обращения: 08.03.2024).
4. Насонова В. В., Дроздова Н. А. Пельмени от кустарного до промышленного производства // Все о мясе. 2015. № 5. С. 55–58.
5. Берлова Г. А. Путеводитель по пельменям, или как блюдо бедняков обогатило кухни разных народов // Все о мясе. 2009. № 2. С. 57–59.
6. Гюрза по-шекински. URL: <https://flavorsofbaku.com/gyurza-sheki-style-ru> (дата обращения: 08.03.2024).
7. Чем отличаются пельмени разных стран и народов. URL: <https://vkusvill.ru/media/journal/chem-otlichayutsya-pelmeni-raznykh-stran-i-narodov.html> (дата обращения: 08.03.2024).
8. Гаврюшина И. В., Погосян Д. Г. Особенности производства мясных изделий в тестовой оболочке // IV Всерос. (национальная) научно-практич. конф. (29–30 июня 2022): материалы. Пенза, 2022. С. 28–31.
9. Способ получения пищевой дисперсии: пат. 2787112 РФ / Воробьев В. И., Чернега О. П.; заявл. 21.02.22; опубл. 28.12.22. Бюл. № 1. 12 с.
10. Способ получения пищевых коллагенсодержащих продуктов: пат. 2764996 РФ / Воробьев В. И.; заявл. 01.02.21; опубл. 24.01.22. Бюл. № 3. 10 с.
11. Воробьев В. И., Чернега О. П. Получение пищевых дисперсий с использованием высокомолекулярного коллагена чешуи рыб // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 71–79. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-71-79.
12. Воробьев В. И., Нижникова Е. В. Получение фракций коллагена и гидроксиапатита из рыбьей чешуи // Известия КГТУ. 2021. № 62. С. 80–91.
13. Воробьев В. И., Казимирченко О. В., Нижникова Е. В. Химические и микробиологические показатели кожи и чешуи рыб при переработке и получении новой пищевой продукции // Известия КГТУ. 2022. № 64. С. 81–94.
14. Цыдынжапов Г. Ц., Бадиева Е. Б. Бурятская кухня. Улан-Удэ: Бурят, 1984. 96 с.
15. Липатов Н. Н. Принципы и методы проектирования рецептур пищевых продуктов, балансирующих рационы питания // Известия вузов. Пищевая технология. 1990. № 6. С. 5–10.
16. ГОСТ 31986-2012 «Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания». М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.
17. ГОСТ 31988-2012. «Услуги общественного питания. Метод расчета отходов и потерь сырья и пищевых продуктов при производстве продукции общественного питания». М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.

18. Говядина должна быть дорогой: эксперты мясного рынка о будущем отрасли. URL: <https://agrobook.ru/expert/govyadina-dolzhna-byt-dorogoy-eksperty-myasnogo-rynka-o-budushchem-otrasl> (дата обращения: 08.03.2024).

References

1. Kulinarye traditsii XIX v. – nachala XX v. Ch. 2 [Culinary traditions of the 19th c. – early 20th century. Part 2], available at: <https://dzen.ru/a/Y5IT405fXEiLetTr> (Accessed 08 March 2024).
2. Henchion M. et al. Future protein supply and demand: strategies and factors influencing a sustainable equilibrium. *Foods*, 2017, vol. 6, no. 7, pp. 53.
3. Ot imperatorskikh torzhestv do sovremennykh zastoliy [From imperial celebrations to modern feasts], available at: <https://dzen.ru/101-recept.ru> (Accessed 08 March 2024).
4. Nasonova V. V., Drozdova N. A. Pel'meni ot kustarnogo do promyshlennogo proizvodstva [Dumplings-from artisanal to industrial production]. *Vse o myase*, 2015, no. 5. pp. 55–58.
5. Berlova G. A. Putevoditel' po pel'menyam, ili kak blyudo bednyakov obogati-lo kukhni raznykh narodov [Guide to dumplings, or how the dish of the poor enriched the cuisines of different nations]. *Vse o myase*, 2009, no. 2. pp. 57–59.
6. Gyurza po-shekinski [Shekinski's Gyurza], available at: <https://flavorsofbaku.com › gyurza-sheki-style-ru> (Accessed 08 March 2024).
7. Chem otlichayutsya pel'meni raznykh stran i narodov [How dumplings differ from country to country], available at: <https://vkusvill.ru/media/journal/chem-otlichayutsya-pelmeni-raznykh-stran-i-narodov.html> (Accessed 08 March 2024).
8. Gavryushina I. V., Pogosyan D. G. Osobennosti proizvodstva myasnykh izdeliy v testovoy obolochke [Peculiarities of production of meat products in dough casing]. IV Vseros. (natsional'naya) nauchno-praktich. konf. (29–30 iyunya 2022): materialy [IV All-Russian (national) scientific and practical. conf. (June 29–30 2022): materials]. Penza, 2022, pp. 28–31.
9. Vorob'ev V. I., Chernega O. P. Sposob polucheniya pishchevoy dispersii [Method of obtaining food dispersion]. Patent RF, no. 2787112, 2022.
10. Vorob'ev V. I. Sposob polucheniya pishchevykh kollagensoderzhashchikh produktov [Method of obtaining food collagen-containing products]. Patent RF, no. 2764996, 2022.
11. Vorob'ev V. I., Chernega O. P. Poluchenie pishchevykh dispersiy s ispol'zovaniem vysokomolekulyarnogo kollagena cheshui ryb [Preparation of food dispersions using high molecular weight fish scale collagen]. *Izvestiya KGTU*, 2023, no. 68, pp. 71–79. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-71-79.
12. Vorob'ev V. I., Nizhnikova E. V. Poluchenie fraktsiy kollagena i gidroksiapatita iz ryb'ey cheshui [Preparation of collagen and hydroxyapatite fractions from fish scales]. *Izvestiya KGTU*, 2021, no. 62, pp. 80–91.
13. Vorob'ev V. I., Kazimirchenko O. V., Nizhnikova E. V. Khimicheskie i mikrobiologicheskie pokazateli kozhi i cheshui ryb pri pererabotke i poluchenii novoy pishchevoy produktsii [Chemical and microbiological parameters of fish skin and scales in processing and obtaining new food products]. *Izvestiya KGTU*, 2022, no. 64, pp. 81–94.

14. Tsydynzhapov G. Ts., Badueva E. B. *Buryatskaya kukhnya* [Buryat cuisine]. Ulan-Ude, Buryat Publ., 1984, 96 p.

15. Lipatov N. N. Printsipy i metody proektirovaniya retseptur pishchevykh produktov, balansiruyushchikh ratsiony pitaniya [Principles and methods for designing food formulations that balance diets]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 1990, no. 6, pp. 5–10.

16. State Standard 31986-2012. Method of organoleptic assessment of the quality of public catering products. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 12 p. (In Russian).

17. State Standard 31988-2012. Method of calculation of wastes and losses of raw materials and food products in the production of catering products. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 11 p. (In Russian).

18. Govyadina dolzhna byt' dorogoy: eksperty myasnogo rynka o bydyshchem otrasli [Beef should be expensive: meat market experts on the future of the industry], available at: <https://agrobook.ru/expert/govyadina-dolzhna-byt-dorogoy-eksperty-myasnogo-rynka-o-budushchem-otrasli> (Accessed 08 March 2024).

Информация об авторах

О. П. Чернега – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания

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

Information about the authors

O. P. Chernega – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Products Technology

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

Статья поступила в редакцию 20.04.2024; одобрена после рецензирования 15.05.2024; принята к публикации 03.06.2024.

The article was submitted 20.04.2024; approved after reviewing 15.05.2024; accepted for publication 03.06.2024.

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

Научная статья
УДК 629.017; 665.76
DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-123-135

Поверхностное натяжение свежих и отработанных судовых моторных масел

Антон Дмитриевич Глушков¹, Николай Яковлевич Синявский², Наталья
Анатольевна Кострикова³

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

¹ glushkov0407@gmail.com

² nikolaj.sinyavskij@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1285-206X>

³ natalia.kostrikova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2969-0346>

Аннотация. Хорошо известно, что эффективность использования смазочных масел зависит от температуры. Важную роль в эффективности смазки играет поверхностное натяжение масла на границе раздела фаз. Определение свойств поверхностного натяжения моторных масел очень желательно, так как это имеет прямое промышленное значение. Хотя поверхностное натяжение не является самым важным свойством в определении относительной смазывающей способности, связь между физическими свойствами отработанных масел и поверхностным натяжением исследована в настоящее время недостаточно. Различия в поверхностном натяжении смазочных масел вызовут различия в способности поддержания этих тонких пленок. Представляется, что в отсутствие опубликованных данных о поверхностном натяжении отработанных моторных масел исследование температурных зависимостей будет иметь значение для решения задач диагностики. В статье основное внимание уделяется измерению межфазного натяжения и его значению при загрязнении масла, например, полярными органическими соединениями, которые образуются при работе двигателя. Взаимодействие масла, воды и кислорода снижает функциональность масла. Эти загрязнения притягиваются к границе раздела «масло/воздух» и в результате значительно уменьшают межфазное натяжение. Измерены и аппроксимированы температурные зависимости плотности и коэффициентов поверхностного натяжения свежих и отработанных судовых моторных масел. Установлены корреляции между этими параметрами, что является важным для задачи диагностирования.

Ключевые слова: судовые моторные масла, коэффициент поверхностного натяжения.

Финансирование: работа выполнена в рамках госзадания Федерального агентства по рыболовству, рег. № 122030900056-4.

Для цитирования: Глушков А. Д., Синявский Н. Я., Кострикова Н. А. Поверхностное натяжение свежих и отработанных судовых моторных масел // Известия КГТУ. 2024. № 74. С. 123–135. DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-123-135.

Original article

Surface tension of fresh and used marine motor oils

Anton D. Glushkov¹, Nikolay Ya. Sinyavskiy², Natal'ya A. Kostrikova³

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

¹glushkov0407@gmail.com

²nikolaj.sinyavskij@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1285-206X>

³natalia.kostrikova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2969-0346>

Abstract. It is well known that the effectiveness of lubricating oils depends on temperature. An important role in the effectiveness of lubrication is played by the surface tension of the oil at the interface of phase. Determination of the surface tension properties of motor oils is very desirable, since it has direct industrial significance. Although surface tension is not the most important property in determining relative lubricity, the relationship between the physical properties of used oils and surface tension has not been sufficiently studied to date. Differences in the surface tension of lubricants result in differences in their ability to maintain these thin films. It seems that in the absence of published data on the surface tension of used motor oils, the study of temperature dependences will be important for solving diagnostic problems. This article focuses on the measurement of interfacial tension and its significance when the oil is contaminated, for example, by polar organic compounds that are formed during engine operation. Interaction of oil, water and oxygen reduces oil functionality. These contaminants are attracted to the oil/air interface and, as a result, significantly reduce the interfacial tension. The temperature dependences of the density and surface tension coefficients of fresh and used marine motor oils have been measured and approximated. Correlations between these parameters have been established, which is important for the diagnostic task.

Keywords: marine engine oils, surface tension coefficient.

Funding: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Fisheries Agency, reg. No. 122030900056-4.

For citation: Glushkov A. D., Sinyavsky N. Ya., Kostrikova N. A. Surface tension of fresh and used marine motor oils // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(74):123–135. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-123-135.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность использования масел в качестве смазочных материалов снижается с ростом температуры. Целесообразно определить, какую роль в этом играет поверхностное натяжение масла и как оно зависит от температуры. Известно, что поверхностное натяжение – не самое важное свойство при определении относительной смазывающей способности масел, однако его, несомненно, нужно учитывать при исследовании вопросов формирования и прочности тонких масляных пленок, образующихся между поверхностями трения.

Изменения поверхностного натяжения масла являются самым ранним признаком загрязнения, образования осадка и окисления. Испытание на межфазное

натяжение – одно из наиболее ценных испытаний, которое можно использовать для оценки моторного масла [1]. Существует множество методов определения коэффициента поверхностного натяжения жидкостей. На точность измерений влияет ряд факторов, включая чистоту используемого оборудования, перемешивание жидкости (необходимое для ресуспендирования твердых веществ) и случайное загрязнение жидкости грязной лабораторной посудой.

Базовые минеральные масла являются гидрофобными, они неполярны в отличие от воды и других жидкостей. Чистое минеральное базовое масло имеет высокое поверхностное натяжение, по-видимому, из-за его высокой полярности. Чистоту базового масла можно охарактеризовать его межфазным поверхностным натяжением (МПН), поскольку оно пропорционально концентрации полярных поверхностно-активных примесей. Увеличение вязкости масла соответствует увеличению МПН, однако повышенная температура снижает межфазное натяжение между маслом и воздухом. При некоторой повышенной температуре эти вещества становятся смешиваемыми. Многие присадки по своим свойствам являются поверхностно-активными и снижают МПН. Смазочные материалы, в состав которых входят высокие дозы поверхностно-активных присадок, более склонны к растворению и эмульгированию воды во время эксплуатации.

Обогащение смазочных материалов поверхностно-активными веществами, в том числе многими присадками, может отрицательно влиять на скорость выделения воздуха из смазочных материалов, что приводит к образованию пены. На пенообразование также влияют многие другие факторы, включая вязкость, перемешивание, температуру и наличие пеногасящих добавок.

О состоянии смазочных масел можно в значительной мере судить по межфазному натяжению. Когда масла разлагаются и загрязняются, МПН снижается. Тест на МПН характеризует не причину, а только эффект, тем не менее, это, по крайней мере, указывает на существование проблемы, что побуждает к дальнейшим исследованиям и делает МПН потенциально эффективным инструментом диагностики.

Когда масла окисляются, они образуют растворимые и нерастворимые гидрофильные соединения. Многие из этих соединений могут изменить МПН смазочного материала задолго до того, как произойдет какое-либо заметное изменение кислотного числа или вязкости. Существует очень много примесей, которые могут резко изменить МПН масла. К ним относятся моющие средства, пыль, технологические химикаты, антифриз, обезжириватели, поверхностно-активные вещества и т. д. Многие из этих загрязнений невидимы для других инструментов анализа масла, таких как счетчики частиц и спектрометры. Истощение поверхностно-активных присадок (моющих средств, противоизносных присадок, ингибиторов ржавчины и т. д.) может привести к повышению МПН.

Внезапное увеличение утечки масла может быть связано с изменением МПН. Во многих случаях основной причиной этого является повышение рабочей температуры. Поскольку МПН линейно уменьшается с увеличением температуры, высокая температура может привести к утечке из-за уменьшения поверхностного натяжения и снижения вязкости. И то, и другое может привести к повышенной утечке.

Исследования поверхностного натяжения моторных масел начались очень давно. Сегодня, на наш взгляд, следует шире использовать этот инструмент анализа смазочных масел.

Так, в работе [2] предложен метод вычисления температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения $\sigma = \sigma(T)$ и удельной теплоты образования поверхности.

В [3] предложен метод расчета коэффициента поверхностного натяжения через теплофизические свойства вещества. Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными из литературы показали хорошее совпадение для разных веществ в широком диапазоне температур.

В работе [4] показано, что процессы, протекающие на межфазовой границе раздела сред, влияют на свойства дисперсных систем. В [5] предложен способ оценки смазывающей способности масел, основанный на измерениях поверхностного натяжения. Показано, что наилучшую смазывающую способность имеют масла с низким значением поверхностного натяжения.

В работе [6] рассмотрены теплофизические и поверхностные свойства нескольких базовых масел. Показано, что углеводороды с двойными связями и ароматическими кольцами имеют более высокую плотность. Наибольшее поверхностное натяжение наблюдается у смазок на основе сложных эфиров, что связано с их более высокой полярностью. Это приводит к меньшей смачиваемости.

Поверхностное натяжение – свойство, редко упоминаемое в литературе, хотя оно может играть важную роль в эффективности регенерации отработанных масел. После работы Винчестера и Ребера в 1929 г. [7] о температурной зависимости поверхностного натяжения свежих масел эта тема мало исследована.

Поверхностное натяжение влияет на охлаждающую способность масла, т.к. меняет его растекаемость. В работе [8] для отработанных смазочных масел была обнаружена новая корреляция между вязкостью и плотностью. Показано, что поверхностное натяжение отработанных смазочных масел может быть рассчитано на основе линейной корреляции между логарифмом поверхностного натяжения и логарифмом плотности (с погрешностью в пределах $\pm 2\%$). Большая часть образцов отработанных смазочных масел демонстрирует значительно более низкое поверхностное натяжение, чем чистые масла, это позволяет сделать вывод, что измерения поверхностного натяжения могут быть хорошим способом разработки новых методик тестирования и стандартов смазочных масел.

В связи с этим данная работа направлена на исследование температурных зависимостей коэффициента поверхностного натяжения и плотности ряда свежих и отработанных судовых моторных масел. Целью работы являлось также установление корреляции между плотностью и поверхностным натяжением судовых моторных масел при различных температурах и определение критических температур.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для экспериментальных исследований коэффициента поверхностного натяжения применялся метод отрыва капель:

$$\sigma = \frac{mg}{\pi D}, \quad (1)$$

где m – масса капли; D – диаметр шейки капли. Массу измеряли при помощи аналитических весов ВЛ-124В класса точности 1. Диаметр капилляра был равен 1,15 мм. Для измерения плотности масел применялся набор ареометров АОН-1 760-820, 820-880, 880-940 кг/м³ с погрешностью ± 1 кг/м³. В качестве образцов служили судовые моторные масла Shell Rimula 15W40 (свежее и отработанное 250 и 500 ч), Total Disola M4015 (свежее и отработанное 300 ч), Lukoil ТПЕО 12/40 (свежее и отработанное 300 ч), а также базовое масло SN-500. Никакой предварительной подготовке перед измерениями образцы не подвергались.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Температурные зависимости плотности исследуемых масел в диапазоне температур 20–80 °С приведены на рис. 1–2. Из работы [9] известно, что плотность масел уменьшается линейно с повышением температуры:

$$\rho = a + bT, \quad (2)$$

где ρ – плотность, кг/м³; T – температура; a – сдвиг прямой; b – коэффициент отрицательного наклона.

Из рис. 1–2 видно, что графики имеют линейные зависимости. Коэффициенты аппроксимации и величины достоверности аппроксимации R^2 приведены в табл. 1.

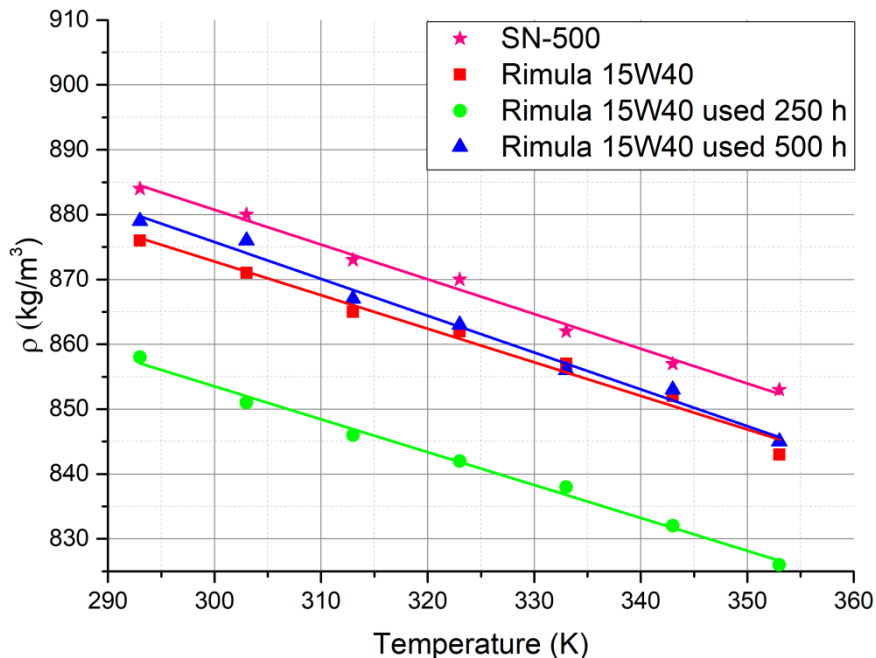


Рис. 1. Зависимости плотности масел SN-500 и Rimula 15W40 от температуры
Fig. 1. Dependence of the density of SN-500 and Rimula 15W40 oils on temperature

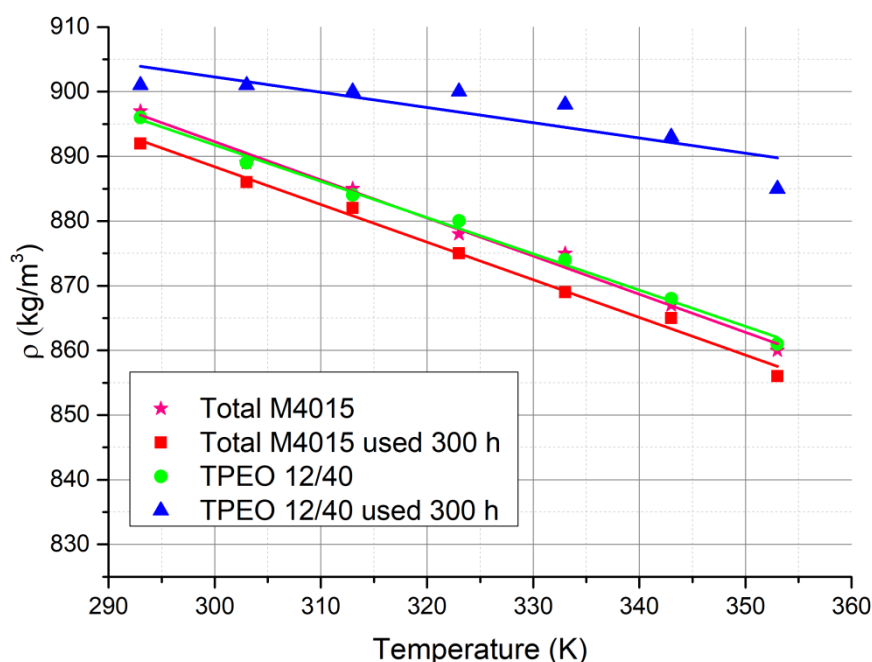


Рис. 2. Зависимости плотности масел Total M4015 и TPEO 12/40 от температуры
 Fig. 2. Dependence of the density of Total M4015 and TPEO 12/40 oils on temperature

Таблица 1. Коэффициенты линейной аппроксимации $\rho = \rho(T)$ и $\sigma = \sigma(T)$. R^2 – величина достоверности аппроксимации, T_k – критическая температура
 Table 1. Linear approximation coefficients $\rho = \rho(T)$ and $\sigma = \sigma(T)$. R^2 – value of approximation reliability, T_k – critical temperature

№ п/п	Масло	$\rho = a - bT$			$\sigma = a_1 - b_1T$			
		a	b	R^2	a_1	b_1	R^2	T_k, K
1	Базовое масло SN-500	1041	0.54	0.991	49	0.03	0.575	1630
2	Rimula 15W40	1028	0.52	0.981	52	0.06	0.950	872
3	Rimula 15W40 исп. 250 ч	1006	0.51	0.992	53	0.06	0.968	890
4	Rimula 15W40 исп. 500 ч	1046	0.57	0.986	64	0.08	0.738	802
5	Total M4015	1069	0.59	0.988	63	0.08	0.963	792
6	Total M4015 исп. 300 ч	1060	0.56	0.994	60	0.07	0.924	856
7	TPEO 12/40	1060	0.56	0.993	59	0.07	0.858	846
8	TPEO 12/40 исп. 300 ч	973	0.24	0.685	60	0.07	0.950	858

Существуют только эмпирические уравнения, связывающие поверхностное натяжение и температуру. Примером такого уравнения является формула Гуггенхайма–Катаямы–Ван дер Ваальса:

$$\sigma = \sigma_0 \left(1 - \frac{T}{T_k}\right)^n, \quad (3)$$

где σ_0 – константа для каждой жидкости; n – эмпирический коэффициент, значение которого равно 11/9 для органических жидкостей. Величина σ_0 может быть

задана выражением $k_1 T_k^{1/3} P_k^{2/3}$, где k_1 – универсальная безразмерная константа, T_k, P_k – критическая температура и давление. Тогда уравнение для коэффициента поверхностного натяжения принимает вид [10]:

$$\sigma = k_1 T_k^{1/3} P_k^{2/3} \left(1 - \frac{T}{T_k}\right)^n. \quad (4)$$

На рис. 3–4 приведены экспериментальные температурные зависимости коэффициентов поверхностного натяжения исследованных моторных масел. Аппроксимировать эти зависимости формулой (4) не удастся. В работе [11] установлено, что поверхностное натяжение растительного масла уменьшается по линейному закону при повышении температуры:

$$\sigma = a_1 + b_1 T, \quad (5)$$

где a_1 и b_1 — коэффициенты линейной регрессии. Поверхностное натяжение также коррелирует с такими физическими свойствами, как вязкость и плотность веществ. В статье [12] предложена следующая связь между поверхностным натяжением и вязкостью, которая, по-видимому, справедлива для большого количества жидкостей:

$$\sigma = A e^{\frac{B}{\eta}}. \quad (6)$$

Экспериментальные зависимости коэффициентов поверхностного натяжения от температуры нами аппроксимированы линейными функциями (5). Коэффициенты аппроксимации приведены в табл. 1. Здесь же приведены критические температуры, т. е. температуры, при которых коэффициенты σ обращаются в нуль.

В статье [13] исследовали поверхностное натяжение растительных масел при температуре 10–140 °С и предложили уравнение для зависимости поверхностного натяжения от плотности в виде:

$$\sigma = a_2 + b_2 \rho, \quad (7)$$

где a_2 и b_2 – коэффициенты линейной регрессии.

В настоящей работе мы использовали для аппроксимации линейную зависимость между $\ln(\sigma)$ и $\ln(\rho)$, которая была предложена Пингейро и др. в [8]:

$$\ln(\sigma) = C + \lambda \ln(\rho), \quad (8)$$

где C и λ – параметры линейной регрессии, указанные в табл. 2.

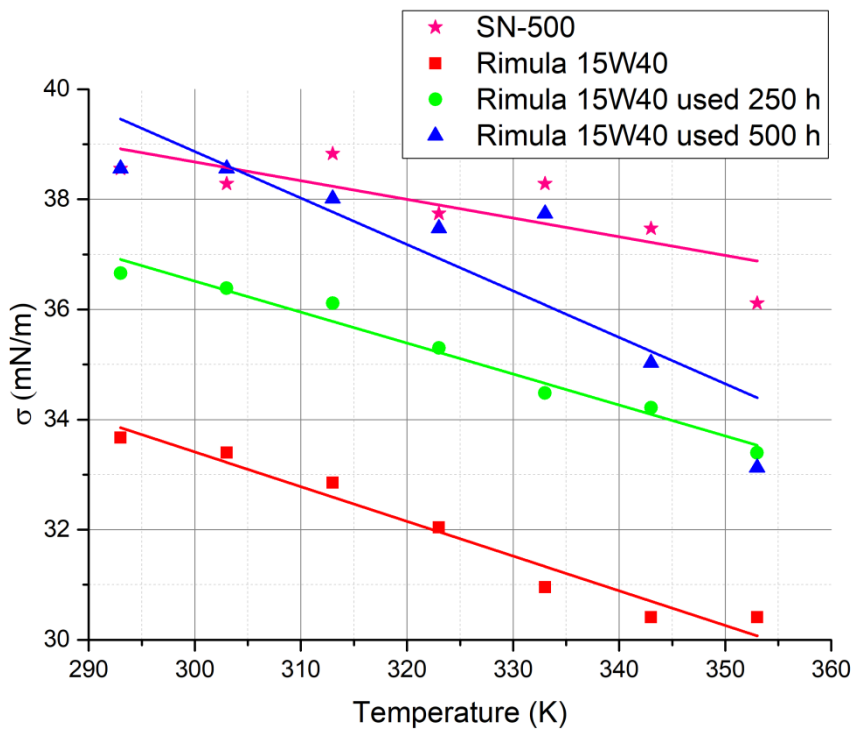


Рис. 3. Зависимости коэффициентов поверхностного натяжения масел SN-500 и Rimula 15W40 от температуры

Fig. 3. Dependences of surface tension coefficients oils SN-500 and Rimula 15W40 on temperature

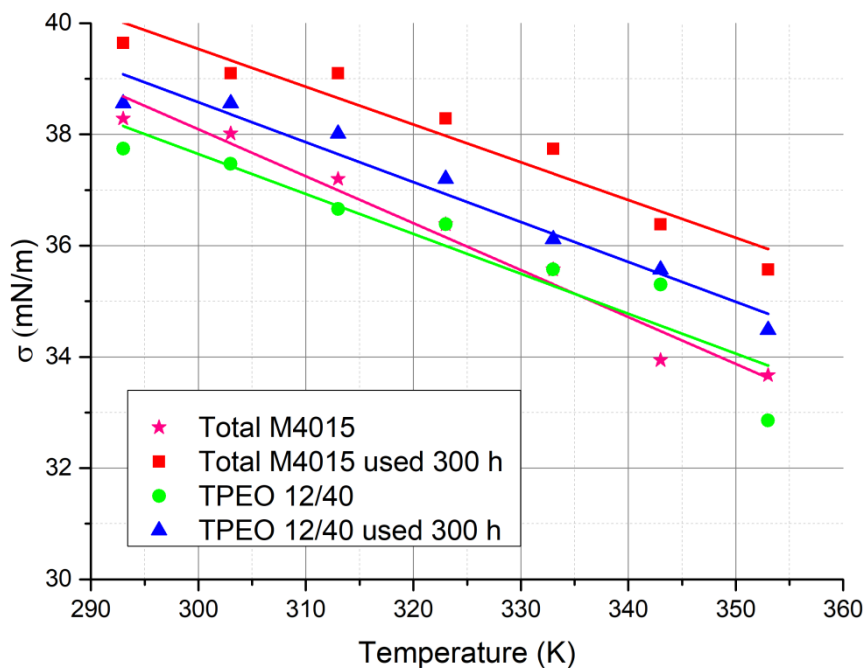


Рис. 4. Зависимости коэффициентов поверхностного натяжения масел Total M4015 и TPEO 12/40 от температуры

Fig. 4. Dependences of surface tension coefficients oils Total M4015 and TPEO 12/40 depending on temperature

Связь между коэффициентами поверхностного натяжения и плотностями моторных масел иллюстрируют рис. 5–6.

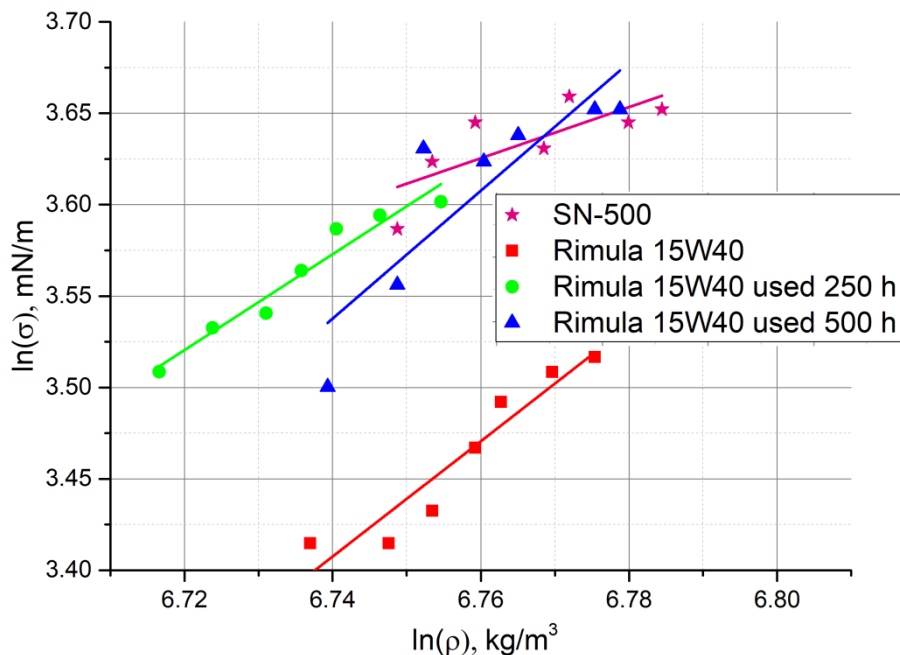


Рис. 5. Корреляция коэффициентов поверхностного натяжения и плотностей масел SN-500 и Rimula 15W40

Fig. 5. Correlation of surface tension coefficients and densities of SN-500 and Rimula 15W40 oils

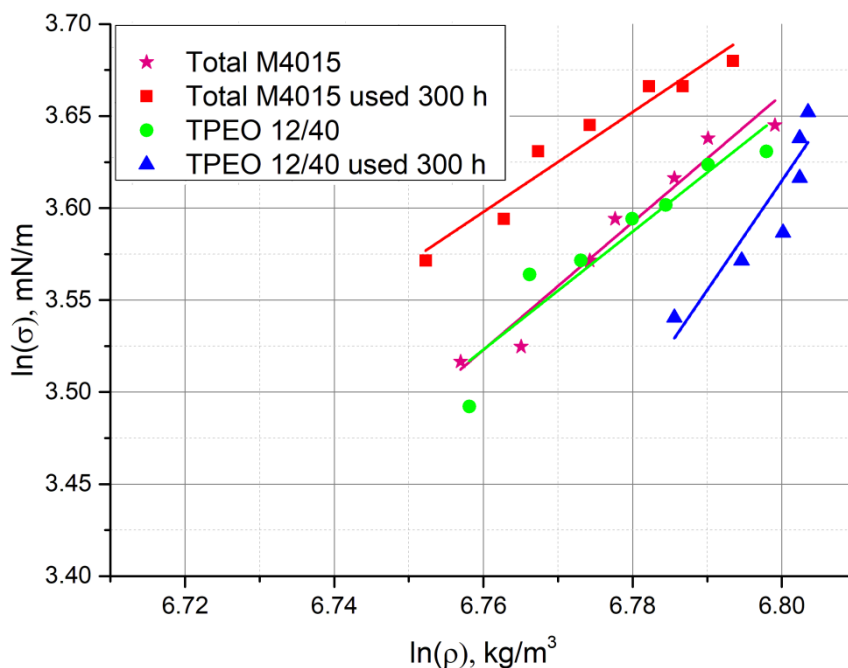


Рис. 6. Корреляция коэффициентов поверхностного натяжения и плотностей масел Total M4015 и TPEO 12/40

Fig. 6. Correlation of surface tension coefficients and densities of Total M4015 and TPEO 12/40 oils

Таблица 2. Коэффициенты линейной аппроксимации зависимости $\ln\sigma = f(\ln\rho)$
 Table 2. Coefficients of linear approximation of the dependence $\ln\sigma = f(\ln\rho)$

№ п/п	Масло	$\ln(\sigma) = C + \lambda \ln(\rho)$		
		C	λ	R^2
1	Базовое масло SN-500	-5,81	1,396	0,505
2	Shell Rimula 15W40	-17,86	3,156	0,884
3	Shell Rimula 15W40 исп. 250 ч	-14,10	2,622	0,941
4	Shell Rimula 15W40 исп. 500 ч	-20,05	3,499	0,710
5	Total Disola M4015	-19,90	3,466	0,949
6	Total Disola M4015 исп. 300 ч	-14,74	2,713	0,932
7	Lukoil TPEO 12/40	-18,16	3,207	0,876
8	Lukoil TPEO 12/40 исп. 300 ч	-36,76	5,937	0,798

Плотность измеряется просто и быстро, поскольку требует недорогого набора калиброванных ареометров. Поверхностное натяжение измерить труднее, нужен более сложный измерительный прибор. Таким образом, определяя плотность масла, его поверхностное натяжение и вязкость можно вычислить. Например, для базового масла SN-500 ($\rho=873 \text{ кг/м}^3$ при $T=312 \text{ К}$) получаем $\sigma=38,2 \text{ мН}$ с погрешностью 2 %.

На основании экспериментальных результатов установлено, что для исследованных масел изменение поверхностного натяжения при температурах между 20 °С и 80 °С можно довольно точно определить прямо пропорциональной зависимостью. В этом случае линия может экстраполировать на температуру, при которой поверхностное натяжение равно нулю, что является критической температурой. Это не температура термодеструкции, не температура вспышки масла, не температура потери вязкости и способности образовывать масляную пленку. Эта температура значительно выше. Речь идет о критической температуре, при которой коэффициент поверхностного натяжения моторного масла обращается в ноль. Этой температуры масло в двигателе не достигает, т. к. двигатель отказывает значительно раньше. При критической температуре свойства пара и жидкости становятся одинаковыми и исчезает поверхность раздела фаз. Вместе с P_k и V_k это один из критических параметров, характеризующих состояния вещества.

Как видно из экспериментальных кривых, для некоторых масел имеется заметное отклонение от линейной зависимости, и маловероятно, что значение T_k , найденное процедурой экстраполяции, даст истинную критическую температуру. Значения T_k , полученные с использованием регрессии по формуле (5), для исследованных моторных масел (свежих и отработанных) приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что самая высокая критическая температура у базового масла, при добавлении присадок она значительно снижается. У исследованных свежих рабочих масел T_k лежат в пределах 792–842 К. У отработанных масел критические температуры выше, чем у свежих. Моторные масла – сложные многокомпонентные жидкости. Изменение критической температуры у отработанных масел свидетельствует об изменении состава углеводородов, срабатывании присадок, появлении продуктов износа, сажи, воды и пр.

Современные рецептуры моторных масел содержат жизненно важные пакеты присадок, которые помогают смазке выполнять основные рабочие функции. При продолжительной работе двигателя в моторном масле может произойти истощение всех таких присадок, особенно ингибиторов коррозии, депрессоров пены, антиоксидантов и противоизносных ингредиентов.

Как правило, поверхностное натяжение готового смазочного материала ниже, чем у базового масла, из которого смазка изготовлена, из-за наличия присадок. В идеале желательно использовать базовые масла с максимально возможным поверхностным натяжением, поскольку любая добавка или загрязнитель всегда снижают поверхностное натяжение по сравнению с эталонным чистым базовым маслом.

Присадки – диспергаторы, моющие средства, антиоксиданты или противоизносные присадки – всегда обладают поверхностной активностью, а это означает, что они будут иметь тенденцию располагаться на границах раздела «воздух/масло» и, следовательно, снижать соответствующее натяжение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследованы температурные зависимости плотности и коэффициентов поверхностного натяжения ряда свежих и отработанных судовых моторных масел. Установлена связь между вышеуказанными параметрами, определены значения аппроксимации и критические температуры, при которых поверхностное натяжение на границе двух фаз «масло/пар» исчезает.

Поверхностное натяжение является важнейшим свойством смазочной жидкости, оно помогает обеспечить герметичность, отсутствие утечек и условия смазки системы. Высокая температура значительно снижает поверхностное натяжение. Один из наиболее эффективных способов защиты элементов двигателя от трибологического изнашивания – создание на их поверхностях скольжения прочной граничной смазочной пленки, устойчивой при воздействии больших нормальных и касательных нагрузок. Очевидно влияние поверхностного натяжения на толщину масляной пленки, чем меньше поверхностное натяжение, тем больше растекаемость жидкости по поверхности твердого тела.

Список источников

1. Fitch J. The Surface Tension Test – Is It Worth Resurrecting. Noria Corporation, Practicing Oil Analysis September 2002. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/376/surface-tension-test> (дата обращения: 01.04.2024).
2. Анализ температурной зависимости поверхностного натяжения жидкостей / Э. А. Масимов, Э. А. Эйвазов, А. Б. Ибрагимли, Г. Г. Мирзоева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. Химические науки. 2015. № 12. С. 622–624.
3. Корепанов М. А. Метод расчета коэффициента поверхностного натяжения // Химическая физика и мезоскопия. 2005. Т. 7. № 2. С. 146–154.
4. Волков В. А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы. СПб.: Издательство «Лань», 2015. 672 с.

5. Исследование зависимости смазываемости конструкционных материалов от величины поверхностного натяжения масел / В. В. Калмыков, Д. А. Мельников, М. С. Горбачева, А. А. Сухарева // Современные наукоемкие технологии, 2017. № 6. С. 47–51.
6. Heat capacity, density, surface tension, and contact angle for polyalphaolefins and ester lubricants / Monica A. Coelho de Sousa Marques, Maria J. G. Guimarey, Vicente Domínguez-Arca, Alfredo Amigo, Josefa Fernandez // *Thermochimica Acta*. 2021. V. 703. P. 178994.
7. Winchester G., Reber R. K. Variation of Surface Tensions of Lubricating Oils with Temperature // *Industrial and Engineering Chemistry*. 1929. V. 21. N 1. P. 1093–1096.
8. Measurement and correlation of thermophysical properties of waste lubricant oil / C. T. Pinheiro, R. F. Pais, A. G. M. Ferreira, M. J. Quina, L. M. Gando-Ferreira // *J. Chem. Thermodynamics*. 2018. V. 116. P. 137–146.
9. Rodenbush C. M., Hsieh F. H., Viswanath D. S. Density and viscosity of vegetable oils // *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1999. V. 76. P. 1415–1419.
10. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: справочное пособие. Л.: Химия, 1982. 592 с.
11. Oh F. C. H., Let C. C. Surface tensions of palm oil, palm olein and palm stearin // *Journal of Oil Palm Research*. 1992. V. 4. N 11992. P. 27–31.
12. Pelofsky A. H. Surface tension-viscosity relation for liquids // *Journal of Chemical & Engineering Data*. 1966. V. 11. N 3. P. 394–397.
13. Characterization of the surface tension of vegetable oils to be used as fuel in diesel engines / B. Esteban, J. R. Riba, G. Baquero, R. Puig, A. Rius // *Fuel*. 2012. V. 102. P. 231–238.

References

1. Fitch J. The Surface Tension Test – Is It Worth Resurrecting. Noria Corporation, Practicing Oil Analysis September 2002. Available at: <https://www.machinerylubrication.com/Read/376/surface-tension-test> (accessed 01 April 2024).
2. Masimov E. A., Eyvazov E. A., Ibragimli A. B., Mirzoeva G. G. Analiz temperaturnoy zavisimosti poverkhnostnogo natyazheniya zhidkostey [Analysis of the temperature dependence of surface tension of liquids]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. Khimicheskie nauki*, 2015, no. 12, pp. 622–624.
3. Korepanov M. A. Metod rascheta koeffitsienta poverkhnostnogo natyazheniya [Method for calculating the surface tension coefficient]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*, 2005. vol. 7, no. 2, pp. 146–154.
4. Volkov V. A. *Kolloidnaya khimiya. Poverkhnostnye yavleniya i dispersnyye sistemy* [Colloidal chemistry. Surface phenomena and disperse systems]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2015, 672 p.
5. Kalmykov V. V., Melnikov D. A., Gorbacheva M. S., Sukhareva A. A. Issledovanie zavisimosti smazyvaemosti konstruktsionnykh materialov ot velichiny poverkhnostnogo natyazheniya masel [Study of the dependence of the lubricity

of structural materials on the surface tension of oils]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2017, no. 6, pp. 47–51.

6. Monica A. Coelho de Sousa Marques, María J. G. Guimarey, Vicente Domínguez-Arca, Alfredo Amigo, Josefa Fernandez. Heat capacity, density, surface tension, and contact angle for polyalphaolefins and ester lubricants. *Thermochimica Acta*, 2021, vol. 703, pp. 178994.

7. Winchester G., Reber R. K. Variation of Surface Tensions of Lubricating Oils with Temperature. *Industrial and Engineering Chemistry*, 1929, vol. 21, no. 1, pp. 1093–1096.

8. Pinheiro C. T., Pais R. F., Ferreira A. G. M., Quina M. J., Gando-Ferreira L. M. Measurement and correlation of thermophysical properties of waste lubricant oil. *J. Chem. Thermodynamics*, 2018, vol. 116, pp. 137–146.

9. Rodenbush C. M., Hsieh F. H., Viswanath D. S. Density and viscosity of vegetable oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1999, vol. 76, pp. 1415–1419.

10. Reed R., Prausnitz J., Sherwood T. *Svoystva gazov i zhidkostey: spravochnoe posobie* [Properties of gases and liquids: reference manual]. Leningrad, Khimiya Publ., 1982, 592 p.

11. Oh F. C. H., Let C. C. Surface tensions of palm oil, palm olein and palm stearin. *Journal of Oil Palm Research*, 1992, vol. 4, no. 11992, pp. 27–31.

12. Pelofsky A. H. Surface tension-viscosity relation for liquids. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 1966, vol. 11, no. 3, pp. 394–397.

13. Esteban B., Riba J. R., Baquero G., Puig R., Rius A. Characterization of the surface tension of vegetable oils to be used as fuel in diesel engines. *Fuel*, 2012, vol. 102, pp. 231–238.

Информация об авторах

А. Д. Глушков – аспирант Института морских технологий, энергетики и строительства

Н. Я. Синявский – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики

Н. А. Кострикова – кандидат физико-математических наук, доцент, проректор по научной работе

Information about the authors

A. D. Glushkov – graduate student at the Institute of Marine Technologies, Energy and Construction

N. Ya. Sinyavsky – DSc in Physics and Mathematics, professor, head of the Department of physics

N. A. Kostrikova – PhD in Physics and Mathematics, associate professor, vice-rector for research

Статья поступила в редакцию 20.05.2024; одобрена после рецензирования 01.07.2024; принята к публикации 02.07.2024.

The article was submitted 20.05.2024; approved after reviewing 01.07.2024; accepted for publication 02.07.2024.

Научная статья
УДК 629.5.035.8
DOI 10.46845/1997-3071-2024-74- 136-150

К вопросу об определении прогибов гребных валов

Дмитрий Александрович Романюта¹, Алексей Сергеевич Ариенчук²

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

¹dmitrij.romanyuta@klgtu.ru , <https://orcid.org/0000-0002-0828-5990>

²aleksej.arienchuk@klgtu.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема выполнения расчета прогиба гребного вала в соответствии с требованиями Правил Российского морского регистра судоходства (РМРС). На примере гребного вала отдельного судна составлена расчетная схема и выполнен расчет методом конечных элементов с использованием программного обеспечения (ПО) «Femap with NX Nastran». Показано, что такой расчет не может быть признан РМРС. Выделены два основных метода, которые могут быть использованы для получения одобренного РМРС расчета – с помощью программного обеспечения или аналитического решения с учетом требований соответствующих нормативных документов. Изучены ПО, имеющие типовое свидетельство об одобрении РМРС для выполнения подобных расчетов, и установлено, что в настоящее время таких ПО не существует. Рассмотрена схема расчета прогиба гребного вала с помощью аналитического решения. Получены выражения для определения нагрузок, осевых моментов инерции поперечных сечений и изгибающих моментов на каждом участке. Отмечено, что составление выражения изгибающих моментов и его двойное интегрирование для участка с переменным по длине сечением трудоемко и требует использования вычислительной техники. Предложена упрощенная методика расчета (в двух вариантах), заключающаяся в замене участка вала с переменным сечением на участок с постоянным сечением, что существенно упрощает выполнение расчетов аналитическим методом. Согласно полученным результатам соответствующая замена участка вала приводит к незначительным погрешностям (не более 0,1 % в расчетах прогибов и угла поворота), что является допустимым в соответствии с нормативными документами. Подчеркнуто, что предлагаемое допущение может иметь ограничения применения, это будет исследовано авторами в последующих работах.

Ключевые слова: гребной вал, прогиб, угол поворота, femap, балка с переменным сечением, уравнение изгиба.

Для цитирования: Романюта Д. А., Ариенчук А. С. К вопросу об определении прогибов гребных валов // Известия КГТУ. 2024. № 74. С. 136–150. DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-136-150.

Original article

On the issue of determining propeller shaft deflections

Dmitriy A. Romanyuta¹, Aleksey S. Arienchuk²

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

¹dmitrij.romanyuta@klgtu.ru , <https://orcid.org/0000-0002-0828-5990>

²aleksej.arienchuk@klgtu.ru

Abstract. The article discusses the problem of calculating the deflection of the propeller shaft, in accordance with the requirements of the Rules of the Russian Maritime Register of Shipping (hereinafter referred to as RMRS). Using the example of a propeller shaft of a separate vessel, a calculation diagram has been drawn up, and a calculation has been performed using the finite element method using the software (hereinafter referred to as the software) "Femap with NX Nastran". It is shown that the calculation by the finite element method cannot be recognized as RMRS. Two main methods have been identified that can be used to obtain an approved RMRS calculation: using approved software or direct analytical methods, taking into account the requirements of the relevant regulatory documents. Software that has a standard certificate of approval by RMRS for performing such calculations has been studied, and it has been found that currently such software does not exist. A scheme is considered for calculating the deflection of the propeller shaft using the direct analytical method. Expressions are obtained for determining loads, axial moments of inertia of cross sections and bending moments at each section. It is noted that compiling an expression for bending moments and its double integration for a section with a variable cross-section that varies along its length is labor-intensive and requires the use of computer technology. A simplified calculation method (in two versions) has been proposed, which consists in replacing a section of a shaft with a variable cross-section with a section with a constant cross-section, which significantly simplifies the calculations by the direct analytical method. According to the results obtained, the corresponding replacement of the shaft section leads to some insignificant errors: no more than 0.1% in the calculations of deflections and angle of rotation, which is acceptable, according to regulatory documents. It is emphasized that the proposed assumption may have limitations in application, which will be investigated by the authors in subsequent works.

Keywords: propeller shaft, deflection, rotation angle, femap, beam with variable section, bending equation.

For citation: Romanyuta D. A., Arienchuk A. S. On the issue of determining propeller shaft deflections // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(74):136–150. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-74-136-150.

ВВЕДЕНИЕ

Авторам статьи была поставлена задача по расчету прогиба гребного вала в соответствии с расчетной схемой, представленной на рис. 1. Расчетный гребной вал состоял из четырех ступеней:

- ступень I – участок длиной 645 мм постоянного круглого поперечного сечения диаметром 115 мм;
- ступень II – участок длиной 1648 мм постоянного круглого поперечного сечения диаметром 110 мм;
- ступень III – участок длиной 215 мм переменного круглого поперечного сечения: на рубеже II и III участка диаметром 110 мм, на рубеже III и IV участка – 95,7 мм;
- ступень IV – участок длиной 66 мм постоянного круглого поперечного сечения диаметром 64 мм.

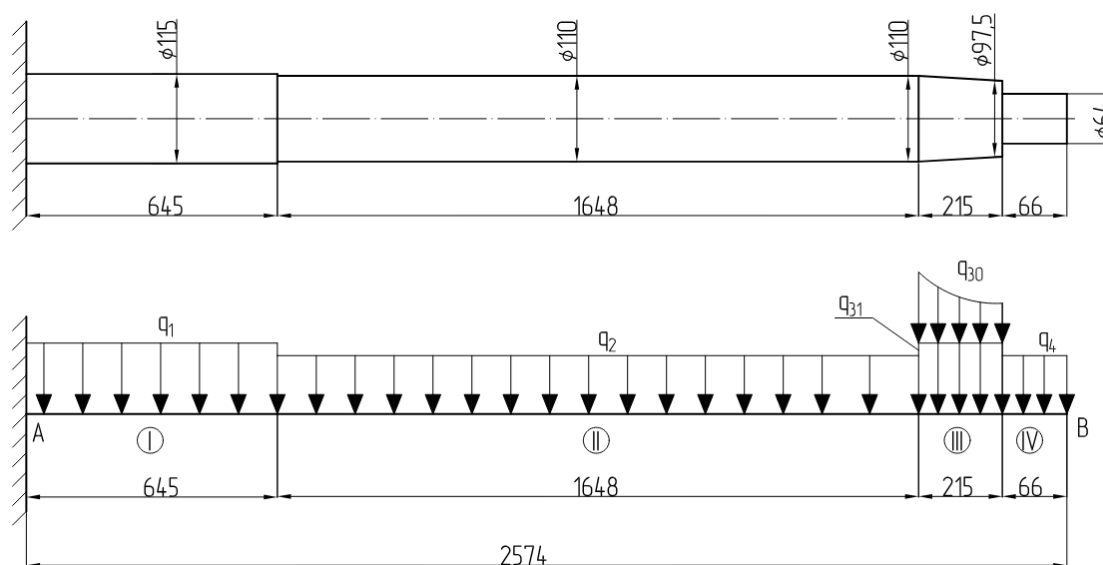


Рис. 1. Расчетная схема гребного вала
Fig. 1. Design diagram of the propeller shaft

По условию задачи сечение А принималось жестко-заделанным. На вал действовали следующие нагрузки:

1. Собственный вес конструкции – распределенные нагрузки q_1 , q_2 , q_{30} , q_4 на каждом участке соответственно;
2. Вес от полумуфты гребного вала – равномерно распределенная нагрузка q_{31} на III участке.

Ввиду того, что на участках I, II и IV поперечное сечение вала постоянное, нагрузки принимались равномерно распределенными. На участке III поперечное сечение переменное, поэтому нагрузка q_{30} принималась неравномерно распределенной.

Согласно проектно-конструкторской документации на судно вал выполнен из стали 14X17H2 по ГОСТ 5632-2014 «Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки».

Физический смысл задачи сводился к следующему: гребной вал с размещенной на нем полумуфтой был установлен и закреплен в дейдвудном устройстве судна в сечении А. Противоположный конец гребного вала (сечение В) от собственного веса и веса полумуфты получил некоторый прогиб. Необходимо было определить, насколько нужно приподнять провисшую часть гребного вала (сечение В), чтобы отцентровать его теоретическую ось и состыковать с фланцем редуктора главного двигателя. Расчет должен быть выполнен и согласован с РМРС.

Авторами работы принято решение провести расчет данной конструкции методом конечных элементов с использованием ПО «Femap with Nx NASTAN 2021.1».

Характеристики стали 14Х17Н2 принимались в соответствии с [1, 2]:

1. Модуль упругости – 220 ГПа;
2. Плотность – 7750 кг/м³;
3. Модуль сдвига – 85 ГПа.

Так как расчетная конструкция имела участок переменного сечения (ступень III расчетной схемы), было принято решение выполнить расчет объемными конечными элементами в форме тетраэдра. Расчет прогиба осуществлен на сетках с размером элементов 50, 25, 15, 10 и 5 мм. Результаты расчета представлены в табл. 1. В качестве итогового принято значение, полученное на сетке размером 10 мм, поскольку погрешность в определении прогиба от предыдущего приближения составляла менее 1 %. Результирующая картина перемещений конструкции на сетке размером 10 мм показана на рис. 2.

Таблица 1. Результат расчета гребного вала методом конечных элементов
 Table 1. The result of calculating the propeller shaft using the finite element method

Размер сетки, мм	Прогиб на конце вала, мм	Погрешность, %	Количество элементов, шт.	Рост, %
50	3,602	–	1982	–
25	3,276	9,051	13009	556
15	3,181	2,900	56393	333
10	3,156	0,786	185340	229
5	3,140	0,507	1376844	643

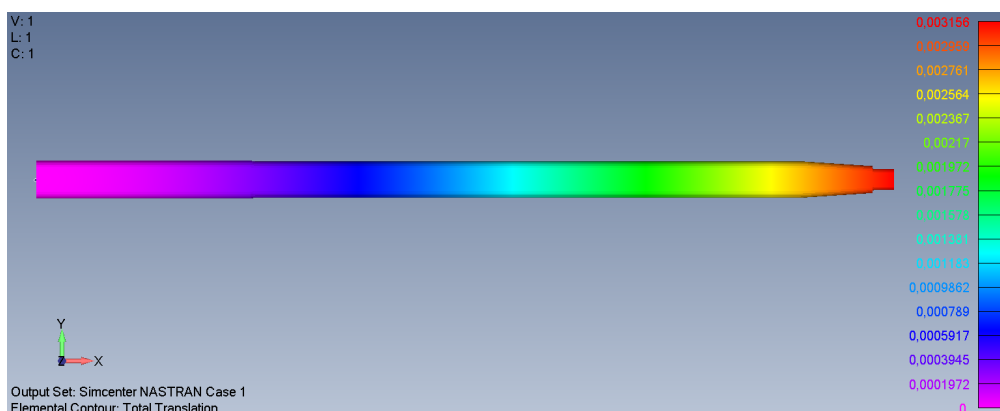


Рис. 2. Картина распределения перемещений
 Fig. 2. A distribution pattern of translations

Максимальный прогиб вала в сечении В составил 3,16 мм. При обсуждении результатов расчетов с заказчиком выяснилось, что заказчик ранее уже пытался согласовать конечно-элементный расчет данного гребного вала (выполненный в ПО «Ansys») с РМРС, однако расчет оказался непринятым, так как в настоящее время не существует ПО, выполняющего расчеты методом конечных элементов с соответствующим свидетельством РМРС об одобрении. Было получено указание произвести расчет прогиба гребного вала либо с помощью ПО, либо аналитическим методом с учетом требований и комментариев [3]. Как будет показано ниже, выполнить расчет гребного вала с помощью одобренного ПО не представляется возможным.

Согласно приложению 1 [3], прогибы и углы поворота валов должны определяться или методом начальных параметров, или с помощью таблиц, представленных в том же приложении. Однако оба варианта применимы только для балок и участков с постоянным поперечным сечением, в то время как участок III расчетной схемы имеет переменное сечение. В отношении участков с переменным сечением в [3] указаний нет.

Таким образом, цель работы – аналитическим методом выполнить расчет прогиба гребного вала с учетом участка с переменным сечением.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ВАЛОВ, ОДОБРЕННОЕ РМРС

На официальном сайте РМРС можно ознакомиться с общим перечнем одобренного ПО. Согласно данному перечню, в настоящий момент не существует одобренного ПО, с помощью которого можно было бы выполнять расчеты прогибов валов. До 23 декабря 2023 г. имелось только одно ПО со свидетельством о типовом одобрении – программа для расчета напряженно-деформированного состояния судового валопровода «Валопровод-К», разработанная АО «Центр технологии судостроения и судоремонта» (Свидетельство о типовом одобрении программы расчетов для ЭВМ №18.00175.313 от 26.12.2018), однако сейчас данное свидетельство признано недействительным. Кроме того, данное ПО отсутствует в открытом доступе и является внутренней программой предприятия. Таким образом, расчет гребного вала с помощью одобренного ПО невозможен, поэтому его необходимо выполнять согласно приложению 1 [3].

РАСЧЕТ ПРОГИБА ГРЕБНОГО ВАЛА С ПОМОЩЬЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ИЗГИБА БАЛОК

Известно, что метод начальных параметров, требуемый [3], является одним из возможных методов решения дифференциального уравнения упругой линии балки [4, 5]. Этот метод нашел свое применение для балок, состоящих из большого количества пролетов постоянной жесткости, поскольку уменьшает число свободных членов, возникающих при использовании дифференциального уравнения изгиба балки. В рассматриваемой расчетной схеме материал вала на всех участках одинаковый, а профиль меняется по длине. На III участке расчетной схемы профиль меняется даже в рамках самого участка. В связи с этим использовать метод начальных параметров невозможно, поэтому было принято решение выполнить

расчет на основе непосредственного решения дифференциального уравнения упругой линии балки.

Дифференциальное уравнение изгиба балки переменного сечения имеет вид (1) [6]:

$$\frac{d^2v(x)}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI(x)}, \quad (1)$$

где $M(x)$ – выражение изгибающего момента на соответствующем участке; E – модуль упругости материала балки; $I(x)$ – выражение изменения осевого момента инерции поперечного сечения балки.

Использование уравнения (1) на участках I, II и IV не представляется затруднительным, поскольку профиль вала на данных участках не меняется, а приложенная нагрузка носит постоянный характер.

На III участке профиль меняется линейно с диаметра 110 мм в начале участка до 95,7 мм на конце участка, длина участка – 215 мм. Таким образом, выражение для изменения диаметра $d(x_3)$ будет выглядеть как (2):

$$d(x_3) = 0,11 - 0,0665x_3, \quad (2)$$

где x – положение сечения по длине участка. Здесь и ниже координаты $x_1 - x_4$ отсчитываются от начальных точек участков I–IV. Тогда выражение осевого момента инерции для III участка $I_3(x_3)$ примет вид (3):

$$I_3(x_3) = \frac{\pi d^4(x_3)}{64} = \frac{\pi(0,11 - 0,0665x_3)^4}{64}. \quad (3)$$

Выражение для нагрузки от собственного веса III участка вала $q_{30}(x_3)$ будет выглядеть следующим образом (4):

$$q_{30}(x_3) = \frac{\pi d^2(x_3)\rho g}{4} = \frac{\pi\rho g}{4} \cdot (0,11 - 0,0665x_3)^2, \quad (4)$$

где ρ – плотность материала вала; g – ускорение свободного падения. Таким образом, выражение нагрузки от собственного веса балки на III участке имеет параболический характер.

В данной задаче наибольшую сложность представляет собой составление и интегрирование выражения изгибающего момента от нагрузки $q_{30}(x)$ в произвольном сечении x на III участке. Укрупненное изображение данного участка представлено на рис. 3.

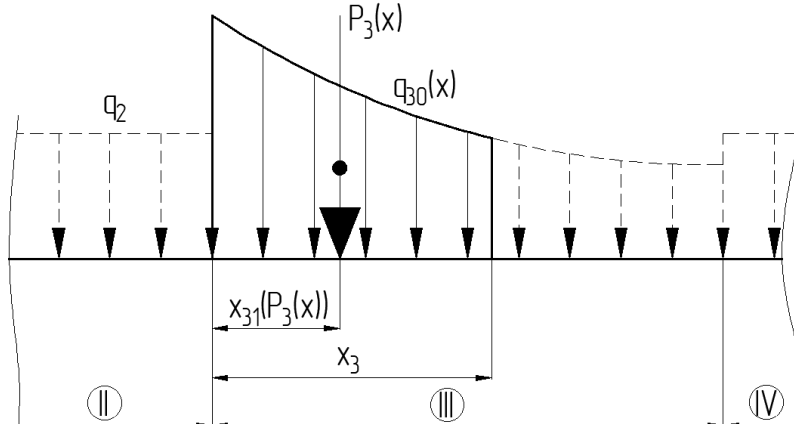


Рис. 3. Участок III расчетной схемы под действием нагрузки $q_{30}(x)$
 Fig. 3. Section III of the design scheme under the influence of load $q_{30}(x)$

Выражение для сосредоточенной силы $P_3(x_3)$ от нагрузки $q_{30}(x_3)$ до сечения x_3 имеет вид (5):

$$P_3(x_3) = \int_0^{x_3} q_{30}(x_3) dx = \int_0^{x_3} \frac{\pi \rho g}{4} \cdot (0,11 - 0,0665x_3)^2 dx =$$

$$= \frac{\pi \rho g}{4} \cdot \left(\frac{x_3 \cdot (0,0665^2 \cdot x_3^2 - 3 \cdot 0,0665 \cdot 0,11 \cdot x_3 + 3 \cdot 0,11^2)}{3} \right). \quad (5)$$

Расстояние от точки приложения силы $P_3(x_3)$ до рассматриваемого сечения x_3 , $x_3(P_3(x_3))$ определяется по формуле (6) [7]:

$$x_3(P_3(x_3)) = x_3 - x_{31}(P_3(x_3)) =$$

$$= x_3 - \frac{\int_0^{x_3} q_{30}(x_3) \cdot x_3 dx}{\int_0^{x_3} q_{30}(x_3) dx} = x_3 - \frac{\int_0^{x_3} \frac{\pi \rho g}{4} \cdot (0,11 - 0,0665x_3)^2 \cdot x_3 dx}{\int_0^{x_3} \frac{\pi \rho g}{4} \cdot (0,11 - 0,0665x_3)^2 dx} =$$

$$= \frac{0,0665^2 \cdot x_3^3 - 4 \cdot 0,0665 \cdot 0,11 \cdot x_3^2 + 6 \cdot 0,11^2 \cdot x_3}{4 \cdot 0,0665^2 \cdot x_3^2 - 12 \cdot 0,0665 \cdot 0,11 \cdot x_3 + 12 \cdot 0,11^2}. \quad (6)$$

Тогда выражение изгибающего момента $M_3(x_3)(q_{30}(x_3))$ от нагрузки $q_{30}(x_3)$ на III участке в сечении x_3 рассчитывается по формуле (7):

$$M_3(x_3)(q_{30}(x_3)) = P_3(x_3) \cdot x_3(P_3(x_3)) =$$

$$= \frac{\pi \rho g}{4} \cdot \left(\frac{x_3 \cdot (0,0665^2 \cdot x_3^2 - 3 \cdot 0,0665 \cdot 0,11 \cdot x_3 + 3 \cdot 0,11^2)}{3} \right) \times$$

$$\times \left(\frac{0,0665^2 \cdot x_3^3 - 4 \cdot 0,0665 \cdot 0,11 \cdot x_3^2 + 6 \cdot 0,11^2 \cdot x_3}{4 \cdot 0,0665^2 \cdot x_3^2 - 12 \cdot 0,0665 \cdot 0,11 \cdot x_3 + 12 \cdot 0,11^2} \right). \quad (7)$$

Выражения изгибающих моментов для каждого участка гребного вала представлены в формулах (8)–(11):

$$M_1(x) = -M_0 + R_0 x_1 - \frac{q_1 x_1^2}{2}, \quad (8)$$

$$M_2(x) = -M_0 + R_0(l_1 + x_2) - q_1 \cdot l_1 \cdot \left(x_2 + \frac{l_1}{2}\right) - \frac{q_2 x_2^2}{2}, \quad (9)$$

$$M_3(x) = -M_0 + R_0(l_1 + l_2 + x_3) - q_1 \cdot l_1 \cdot \left(x_3 + \frac{l_1}{2} + l_2\right) - q_2 \cdot l_2 \times \\ \times \left(x_3 + \frac{l_2}{2}\right) - \frac{\pi \rho g}{4} \cdot \left(\frac{x_3 \cdot (0,0665^2 \cdot x_3^2 - 3 \cdot 0,0665 \cdot 0,11 \cdot x_3 + 3 \cdot 0,11^2)}{3}\right) \times \\ \times \left(\frac{0,0665^2 \cdot x_3^3 - 4 \cdot 0,0665 \cdot 0,11 \cdot x_3^2 + 6 \cdot 0,11^2 \cdot x_3}{4 \cdot 0,0665^2 \cdot x_3^2 - 12 \cdot 0,0665 \cdot 0,11 \cdot x_3 + 12 \cdot 0,11^2}\right) - \frac{q_{31} x_3^2}{2}, \quad (10)$$

$$M_4(x) = -M_0 + R_0(l_1 + l_2 + l_3 + x_4) - q_1 \cdot l_1 \times \\ \times \left(x_4 + \frac{l_1}{2} + l_2 + l_3\right) - q_2 \cdot l_2 \left(x_4 + \frac{l_2}{2} + l_3\right) - P_3(l_3) \cdot l(P_3(l_3)) - \\ - \frac{q_4 x_4^2}{2} - q_{31} l_3 \left(x_4 + \frac{l_3}{2}\right), \quad (11)$$

где M_0 – реактивный момент в заделке; R_0 – реактивная вертикальная сила в заделке; $P_3(l_3)$ – результирующая сила от нагрузки $q_{30}(x)$ на всем III участке; $l(P_3(l_3))$ – плечо от результирующей силы $P_3(l_3)$ до сечения x_4 ; $l_1 - l_4$ – длины соответствующих участков I–IV.

Расчет прогиба участков гребного вала произведен согласно (1). Интегрирование выражений (8), (9), (11) (деленное на осевой момент инерции соответствующего участка балки и модуля упругости материала) выполняется без затруднений и использования специализированного ПО. Интегрирование выражения (10) (отнесенное к выражению (7) и модулю упругости материала балки) без программного обеспечения достаточно трудоемко, причем главной сложностью является интегрирование слагаемого $M_3(x)(q_{30}(x))$ (см. формулу (7)) в совокупности с интегрированием выражения момента инерции (3).

В связи с этим было принято решение выполнить необходимые математические расчеты и вычисления в ПО «MathCad 15.0 (M050)». В табл. 2 представлены результаты расчета гребного вала, показаны численные значения углов поворота и прогибов сечений, соответствующих концам участков расчетной схемы на рис. 1, а также значения прогибов с конечно-элементного расчета и расчет погрешности.

Таким образом, погрешность расчетов при непосредственном интегрировании дифференциального уравнения изгиба (1) по отношению к конечно-элементному расчету составила менее 1 %.

Таблица 2. Результат расчета гребного вала
 Table 2. The result of propeller shaft calculation

	Интегрирование дифф. уравнения		МКЭ	Погрешность, %
	Угол поворота, рад·10 ³	Прогиб, мм	Прогиб, мм	
Конец I участка ($x=0,645$ м)	-0,851	-0,298	-0,298	0
Конец II участка ($x=2,293$ м)	-1,694	-2,656	-2,67	-0,53
Конец III участка ($x=2,508$ м)	-1,697	-3,021	-3,03	-0,30
Конец IV участка ($x=2,574$ м)	-1,697	-3,133	-3,16	-0,86

РАСЧЕТ ПРОГИБА ГРЕБНОГО ВАЛА С ПОМОЩЬЮ УПРОЩЕННОГО МЕТОДА

Использование непосредственного интегрирования дифференциального уравнения изгиба балки – надежный и проверенный метод, однако не всегда удобный и доступный. Двойное интегрирование слагаемого (7) из выражения (10) вместе с интегрированием выражения (3) – сложная и комплексная задача, решение которой без применения вычислительной техники весьма трудозатратно. По этой причине авторы предлагают использовать определенное допущение, позволяющее избавиться от сложных выражений (7), (3) и их последующих интегрирований. Данное допущение сводится к тому, чтобы заменить участок вала с переменным по длине сечением на участок с постоянным сечением. Тем самым, во-первых, существенно упрощается составление выражения изгибающего момента от соответствующей распределенной нагрузки (облегчаются выражения (5)–(7)), во-вторых, выражение осевого момента инерции в рамках участка становится постоянным. Таким образом, определение прогиба и угла поворота поперечных сечений гребного вала значительно упрощается.

Расчетам прогибов балок переменного сечения посвящено множество работ, в которых используются различные методы: решение с помощью теоремы Кастилиано [8], метода Ритца [9], ряда Фурье по ортогональным полиномам [10] и др. Однако во всех подобных работах балка переменного сечения рассматривается в исходном виде, без введения допущений на ее геометрическую форму. В работе [11] показан расчет ступенчатых валов редукторов, где участок вала с переменным сечением заменяется на вал с постоянным сечением, однако в данной работе автор уделяет внимание учету деформации валов от сдвига, а также концентрации напряжений в местах резкого изменения диаметра. Оценка возможности замены участка переменного сечения вала на участок с постоянным сечением не приведена.

Имеется ряд работ, посвященных вопросам расчета судовых валопроводов. В [12, 13] авторы подчеркивают, что задача расчета судовых валопроводов сложная, требует учета множества параметров и по этой причине должна быть автоматизирована. На данную тему была написана кандидатская диссертация [14], одним

из результатов которой является запатентованное программное обеспечение «Shaftmodel – Моделирование судовых водопроводов». Данное программное обеспечение отсутствует в открытом доступе и не имеет одобрения Российского морского регистра судоходства и Российского классификационного общества.

В работе [15] делается акцент на необходимость учета возможной податливости закреплений и деформаций сдвига при расчетах прогиба судовых валопроводов, при этом в качестве примера рассматривается вал с постоянным поперечным сечением.

В других работах, пролеты вала с переменным сечением не рассматривались. Таким образом, материалов по исследованию возможности замены участка гребного вала с переменным сечением на участок с постоянным сечением не было найдено.

Согласно расчетной схеме, представленной на рис. 1, третья ступень вала представляет собой участок длиной 215 мм переменного круглого сечения: на рубеже II и III участка диаметром 110 мм, на рубеже III и IV участка – 95,7 мм. Определенный интеграл (5) по всей длине третьей ступени дает значение сосредоточенной силы, представляющей собой эквивалент распределенной нагрузки $q_{30}(x)$. Значение такой силы $P_3(l_3) = 137,78$ Н.

Применение допущения по замене ступени вала с переменным сечением на участок с постоянным сечением выполнено в двух вариантах:

1. Средний диаметр по длине ступени (d_{1cp}). Среднее значение диаметра вала на III ступени равно 102,85 мм. Сила от собственного веса такого участка вала, $P_{31}(l_3)$, определяется по формуле (12):

$$P_{31}(l_3) = \frac{\pi d_{1cp}^2}{4} l_3 \rho g = \frac{3,14 \cdot 0,10285^2}{4} \cdot 0,215 \cdot 7750 \cdot 9,81 = 135,73 \text{ Н.} \quad (12)$$

Разница от силы тяжести ступени с переменным сечением составляет 1,49 %;

2. Средний диаметр по силе от собственного веса III ступени (d_{2cp}). Значение диаметра определяется по формуле (13):

$$d_{2cp} = \sqrt{(4 \cdot P_3(l_3)) / (\pi \rho g l_3)} = \sqrt{(4 \cdot 137,78) / (3,14 \cdot 7750 \cdot 9,81 \cdot 0,215)} = 0,10362 \text{ м} = 103,62 \text{ мм.} \quad (13)$$

При данном значении диаметра III ступени обеспечивается полное равенство сил относительно исходной расчетной схемы (рис. 1).

В обоих выше описанных вариантах выражение нагрузки на III ступени от собственного веса вала (формула (4)) и осевой момент инерции (формула (3)) принимают постоянное значение. Выражение (7) трансформируется в выражение (14):

$$M_3(x)(q_{3cp}) = \frac{q_{3cp} x_3^2}{2}, \quad (14)$$

где q_{3cp} – равномерно распределенная нагрузка на III ступени вала от среднего диаметра (d_{1cp} или d_{2cp}).

При такой постановке задачи расчет прогиба гребного вала с помощью непосредственного интегрирования дифференциального уравнения изгиба балки может выполняться даже без использования специализированного ПО. Также возможно применение других методов определения перемещений – метод начальных параметров, применение формул Симпсона, метода Верещагина и др.

Результаты расчета прогибов и угловых перемещений представлены в табл. 3. В ней «Гребной вал № 1» – исходный вал с переменным сечением на III ступени, посчитанный непосредственным интегрированием; «Гребной вал № 2» – вал с III ступенью диаметром 102,85 мм, определенный с помощью уравнения метода начальных параметров; «Гребной вал № 3» – вал с III ступенью диаметром 103,62 мм, вычисленный также с помощью уравнения метода начальных параметров, как требуется согласно [3].

Из данных, представленных в табл. 3, следует, что замена участка вала с переменным сечением на участок с постоянным сечением возможна, погрешность в результатах расчета прогибов составляет не более 0,04 %, в расчетах углах поворота – не более 0,06 %. При этом расчет по среднему диаметру, определенному по силе от собственного веса III ступени, является более корректным, так как обеспечивает эквивалентность заданной расчетной схемы с точки зрения приложенных сил.

С учетом рекомендаций [3] в качестве допустимого отклонения в расчетах прогибов принято значение 0,1 мм. Таким образом, предлагаемое допущение по замене участка вала с переменным по длине сечением на участок с постоянным сечением возможно и показывает достаточно точный результат.

Таблица 3. Сравнительный результат расчета гребного вала
 Table 3. Comparative result of calculation of propeller shaft

Расчетное сечение		Конец I участка ($x=0,645$ м)	Конец II участка ($x=2,293$ м)	Конец III участка ($x=2,508$ м)	Конец IV участка ($x=2,574$ м)
Характеристика					
Гребной вал № 1	Прогиб, мм	-0,298	-2,656	-3,021	-3,133
	Угол повор., рад·10 ³	-0,851	-1,694	-1,697	-1,697
Гребной вал № 2	Прогиб, мм	-0,298	-2,657	-3,022	-3,134
	Погрешность, %	0,00 %	0,04 %	0,03 %	0,03 %
	Угол повор., рад·10 ³	-0,851	-1,694	-1,698	-1,698
	Погрешность, %	0,00 %	0,00 %	0,06 %	0,06 %
Гребной вал № 3	Прогиб, мм	-0,298	-2,657	-3,022	-3,134
	Погрешность, %	0,00 %	0,04 %	0,03 %	0,03 %
	Угол повор., рад·10 ³	-0,851	-1,695	-1,698	-1,698
	Погрешность, %	0,00 %	0,06 %	0,06 %	0,06 %

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемое авторами допущение позволяет существенно упростить расчет прогиба гребного вала. При использовании допущения нет необходимости прибегать к непосредственному интегрированию дифференциального уравнения изгиба балок. Прогибы и углы поворота поперечных сечений можно определить более простыми методами.

В относительных величинах погрешность в определении прогибов и углов поворота не превышает 0,1 %. В абсолютных значениях погрешность в определении прогибов не превышает 0,001 мм, что ниже допускового значения 0,1 мм [3].

Однако есть предположение, что использование рассмотренного допущения имеет ограничения. Возможно, с увеличением рассматриваемой конструкции погрешность в определении прогибов и углов поворота, обусловленная заменой участка вала с переменным сечением на участок с постоянным сечением, будет увеличиваться. По этой причине в дальнейшем авторы планируют установить границы применения предлагаемого метода на расчетах гребных валов судов других проектов. Все расчетные файлы и используемые источники размещены по ссылке в открытом доступе¹.

Список источников

1. Марочник сталей и сплавов. Москва: Машиностроение, 2003. 784 с.
2. ГОСТ Р 59115.2-2021. Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Модуль упругости, температурный коэффициент линейного расширения, коэффициент Пуассона, модуль сдвига. Введ. 2021-10-20. Москва, 2021. 19 с.
3. ОСТ 5. 4368-81. Валопроводы судовые движительных установок. Монтаж. Технические требования, правила приемки и методы контроля. Введ. 1981-12-31. Ленинград, 1981. 142 с.
4. Николаев И. И., Романюта Д. А. Исследование границ применения уравнения начальных параметров для построения упругой линии балки // Вестник молодежной науки. 2019. № 1 (18). URL: <http://vestnikmolnauki.ru/1-18/> (дата обращения: 06.03.2024).
5. Алдабергенов А. К. О методе непосредственного интегрирования // Вестник науки и образования. 2016. № 8 (20). С. 29–31.
6. Шилиманова Е. С., Мищенко А. В. Приближенная оценка перемещений балок переменного сечения // НАУКА. Технологии. Инновации-2023: сборник статей II Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 2023. С. 10–17.
7. Равнодействующая распределенной нагрузки. URL: <https://termeh.ru/statika/12-ravnodejstvuyushaya-raspredelelennoj-nagruzki/> (дата обращения 01.03.2024).
8. Лилкова-Маркова С. В., Киндова-Петрова Д. Применение теоремы Кастилиано для балок переменного сечения // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования

¹ <https://disk.yandex.ru/d/X5XPjAqzZnfbkg>

«Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячина». 2008. № 1 (26). С. 102–103.

9. Трянин И. И. Определение прогиба от сдвига балки переменного сечения по методу Ритца // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2007. № 22. С. 158–162.

10. Иванов П. С., Прокопьев В. И. Общее решение для уравнения изогнутой оси балки с переменным сечением с помощью рядов Фурье // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2019. № 3 (41). С. 44–50.

11. Sanchez-Marin F., Roda-Casanova V., Porrás-Vázquez A. A new analytical model to predict the transversal deflection under load of stepped shafts. *Int. J. Mech. Sci.* 2018. P. 91–104.

12. Комаров В. В., Чан Динь Тьен. Судовой валопровод как многоопорная балка: расчетная методика, учитывающая потребности ее программирования для ЭВМ // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2009. № 2. С. 26–32.

13. Комаров В. В., Чан Динь Тьен. Автоматизация расчетов по укладке гребных валов на дейдвудных опорах // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2010. № 1. С. 115–123.

14. Чан Динь Тьен. Информационная система моделирования судовых валопроводов при проектировании: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.08.05. Астрахань, 2011. 18 с.

15. Гольцев Б. В. Учет особенностей напряженно-деформированного состояния при расчете основных изгибных характеристик судового валопровода // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2016. № 3 (28). С. 53–61.

References

1. *Marochnik staley i splavov* [Grade guide of steels and alloys]. Moscow, Mashinostroenie, 2003. 784 p.

2. State Standard 59115.2-2021. Justification of the strength of equipment and pipelines of nuclear power plants. Modulus of elasticity, temperature coefficient of linear expansion, Poisson's ratio, shear modulus. Moscow, Standartinform Publ., 2021. 19 p. (In Russian).

3. State Standard 5. 4368-81. Shafting lines for ship propulsion systems. Installation. Technical requirements, acceptance rules and control methods. Leningrad, Standartinform Publ., 1981. 142 p. (In Russian).

4. Nikolaev I. I., Romanyuta D. A. Issledovanie granits primeneniya uravneniya nachal'nykh parametrov dlya postroeniya uprugoy linii balki [Study of the limits of application of the initial parameters equation for constructing the elastic line of a beam]. *Vestnik molodezhnoy nauki*, 2019, no. 1 (18), available at: <http://vestnikmolnauki.ru/1-18/> (Accessed 06 March 2024).

5. Aldabergenov A. K. O metode neposredstvennogo integrirovaniya [On the method of direct integration]. *Vestnik nauki i obrazovaniya*, 2016, no. 8 (20), pp. 29–31.

6. Shilimanova E. S., Mishchenko A.V. Priblizhennaya otsenka peremeshcheniy balok peremennogo secheniya [Approximate estimate of displacements of beams of variable cross-section]. *NAUKA. Tekhnologii. Innovatsii-2023: sbornik statey II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [THE SCIENCE. Technologies. Innovations-2023: collection of articles of the II International Scientific and Practical Conference]. Petrozavodsk, 2023, pp. 10–17.
7. Ravnodeystvuyushchaya raspredelennoy nagruzki [Resultant of distributed load]. Available at: <https://termeho.ru/statika/12-ravnodejstvuyushchaya-raspredelennoy-nagruzki/> (Accessed 01 March 2024).
8. Lilkova-Markova S. V., Kindova-Petrova. D. Primenenie teoremy Kastiliano dlya balok peremennogo secheniya [Application of Castiliano's theorem for beams of variable cross-section]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina"*. 2008. no. 1 (26), pp. 102–103.
9. Tryanin I. I. Opreделение progiba ot sdviga balki peremennogo secheniya po metodu Rittsa [Determination of deflection due to shear of a beam of variable cross-section using the Ritz method]. *Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta*, 2007, no. 22, pp. 158–162.
10. Ivanov P. S., Prokop'ev V. I. Obshchee reshenie dlya uravneniya izognutoy osi balki s peremennym secheniem s pomoshch'yu ryadov Fur'e [General solution for the equation of the curved axis of a beam with a variable cross-section using Fourier series]. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. I. Ya. Yakovleva. Seriya: Mekhanika predel'nogo sostoyaniya*, 2019, no. 3 (41), pp. 44–50.
11. Sanchez-Marin F., Roda-Casanova V., Porrás-Vázquez A. A new analytical model to predict the transversal deflection under load of stepped shafts. *Int. J. Mech. Sci.* 2018. P. 91–104.
12. Komarov V. V., Chan Din' T'en. Sudovoy valoprovod kak mnogoopornaya balka: raschetnaya metodika, uchityvayushchaya potrebnosti ee programmirovaniya dlya EVM [Ship shafting as a multi-support beam: a calculation method that takes into account the needs of its programming for a computer]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2009, no. 2, pp. 26–32.
13. Komarov V. V., Chan Din' T'en. Avtomatizatsiya raschetov po ukladke grebnykh valov na deydvudnykh oporakh [Automation of calculations for laying propeller shafts on stern tube supports]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2010, no. 1, pp. 115–123.
14. Chan Din' T'en. *Informatsionnaya sistema modelirovaniya sudovykh valoprovodov pri proektirovanii. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk* [Information system for modeling ship shafting during design. Abstract of dis. can. sci.]. Astrakhan', 2011, 18 p.
15. Gol'tsev B. V. Uchet osobennostey napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya pri raschete osnovnykh izgibnykh kharakteristik sudovogo valoprovoda [Taking into account the features of the stress-strain state when calculating the main bending characteristics of a ship shafting]. *Vestnik Inzhenernoy shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta*, 2016, no. 3 (28), pp. 53–61.

Информация об авторах

Д. А. Романюта – главный конструктор конструкторского бюро Научно-исследовательского центра судостроения, аспирант кафедры судостроения, судоремонта и морской техники

А. С. Ариенчук – студент

Information about the authors

D. A. Romanyuta – chief designer of the design bureau of the shipbuilding research center, graduate student of the department of “Shipbuilding, ship repair and marine technology”

A. S. Arienchuk – student

Статья поступила в редакцию 15.05.2024; одобрена после рецензирования 25.05.2024; принята к публикации 03.06.2024.

The article was submitted 15.05.2024; approved after reviewing 25.05.2024; accepted for publication 03.06.2024.

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.

Заимствованные фрагменты или утверждения должны быть оформлены с обязательным указанием автора и первоисточника. Чрезмерные заимствования, а также плагиат в любых формах, включая неоформленные цитаты, перефразирование или присвоение прав на результаты чужих исследований, неприемлемы. Наличие заимствования без ссылки будет рассматриваться редакционным советом как плагиат.

Не разрешается дублирование публикаций. Направляя статью в журнал, автор подтверждает, что работа публикуется впервые. Если отдельные элементы рукописи были ранее опубликованы, автор обязан сослаться на более раннюю работу и указать отличия новой работы от предыдущей.

Нельзя присылать в журнал рукопись, которая была отправлена в другой журнал и находится на рассмотрении, а также статью, уже опубликованную в другом журнале.

Соавторами статьи должны быть указаны все лица, внесшие существенный вклад в проведение исследования. Среди соавторов недопустимо указывать лиц, не участвовавших в исследовании, максимальное количество авторов, как правило, не более четырех.

Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи с соответствующей коммуникативной ценностью, научным стилем, языковыми и стилистическими нормами.

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. Периодичность выхода журнала: 1 февраля, 1 мая, 1 августа, 1 ноября.

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;

– **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**.

Внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук представлять не обязательно, так как каждая статья проходит двойное слепое рецензирование, рукопись рассматривается двумя независимыми экспертами. В случае отрицательной рецензии рукопись либо отклоняется, либо направляется автору для доработки и внесения изменений. После доработки статья снова отправляется на научное рецензирование тем же рецензентам. При наличии отрицательных рецензий на рукопись статьи от двух разных рецензентов или одной отрицательной рецензии на ее доработанный вариант автору направляется мотивированный отказ в публикации статьи. В случае положительной рецензии и рекомендации статьи к публикации она попадает в портфель принятых к публикации текстов.

Датой принятия статьи к публикации считается дата получения редакцией положительного заключения рецензента о целесообразности и возможности опубликования статьи. Статьи членов редсовета журнала проходят рецензирование в обычном порядке.

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. Все нумерованные формулы 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 (по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, далее через один интервал текст). Приводятся актуальность темы исследования, его цели и задачи, на их основе дается анализ полученных материалов, доказывающаяся целесообразность методологического подхода к рассматриваемым в статье проблемам.

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.

Материалы и методы исследования описываются кратко и конкретным образом. В разделе должны быть представлены объект исследования и все методы, использованные при его проведении, показаны их суть и обоснованный выбор. При необходимости приводить примеры ключевых исследований.

Результаты и их обсуждение: в разделе должны быть представлены основные результаты исследования, объективные, систематизированные и лаконичные данные с использованием текста, дополненного иллюстрациями. Автор(ы) показывает значимость или новизну исследования, акцентирует внимание на выявленных закономерностях, дает конкретные рекомендации.

Через один интервал **ЗАКЛЮЧЕНИЕ** (выводы – по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, далее через один интервал текст): представить кратко и информативно. В этом разделе формулируются полученные результаты и их новизна. Предложения и рекомендации должны подтвердить достижение целей и задач исследования. Следует указать возможность использования полученных результатов на практике и предложить направления дальнейших научных исследований.

Текст статьи

Должен соответствовать стилистическим, орфографическим и синтаксическим нормам русского языка. Содержание направляемой в журнал статьи, все цифровые данные и материалы должны быть тщательно выверены авторами. Низкое качество текста может быть основанием для отклонения статьи от публикации.

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, выравнивание по центру), должно быть кратким, но информативным.

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 200–220 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, в конце ставят точку).

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, выравнивание по центру).

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, в конце ставят точку).

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: *e* → *e*; *э* → *e*; *й* → *y*; *ы* → *y*; *ю* → *yu*; *я* → *ya*; *х* → *vsегда kh*; *ц* → *ts*; *ч* → *ch*; *ш* → *sh*; *щ* → *shch*; *ж* → *zh*; *ь* → *'*; *ъ* → *"*. Транслитерированный текст в списке References необходимо отредактировать и добавить переводы на английский язык; заменить знаки «:», «/» и «//» на точку или запятую, тире в описании не используется, кавычки не треугольные ("); после транслитерации названия издательства добавить Publ.; город издания перевести на английский язык (например, вместо *Москва* указать *Moscow*, вместо *Санкт-Петербург* – *Saint-Petersburg*); исправить обозначение страниц с *s.* на *p.* (диапазон страниц «от–до»: pp. 54–57; общее количество страниц: 127 p.); курсивом выделить название источника или 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: 15.12.2024).

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.].

Интернет-ресурс

Конвенция о рыболовстве в северо-восточной части Атлантического океана. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2024).

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.
2. Clem P. G., Rodriguez M., Voigt J. A., Ashley C. S. Patent U. S. 6, 231, 666. 2001.

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., Kolesnikov A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniya ryb Kaspiyskogo morya* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.

2. Latyshev V. N. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting]. Ivanovo, Ivanovskiy Gos. Univ., 2009.

Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

2. Sokolov L. I. Pitaniye sibirskogo osetra *Acipenser baerii* Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

1. Ivanova A. E. Problemy smertnosti v regionakh Tsentral'nogo federal'nogo okruga [Problems of mortality in regions of the Central Federal Okrug]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2008, no. 2, available at: <http://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.

Статья на английском или немецком языке

Для иностранных журналов том обозначается *V.* (англ.) или *Bd.* (нем.), страницы – *P.* или *S.*

1. Zheng Yi et al. Neurology control of locomotion in *C. Elegans* in modified by a dominant mutation in the GLR-1 Ionotropic glutamate receptor. *Neuron*. 1999. V. 24. N 2. P. 347–361.

2. Mank R., Kala H., Strube M. Dastellung und Testung von Polymerpharmaka. *Die Pharmazie*. Bd. 43. N 10. S. 692–693.

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

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 inzhernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

Интернет-ресурс

Pravila tsitirovaniya istochnikov [Rules for the citing of sources]. Available at: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (accessed 15 February 2024).

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.
2. Clem P. G., Rodriguez M., Voigt J. A., Ashley C. S. Patent U. S. 6, 231, 666 (2001).

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@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

²shiryayev@sfedu.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., Shiryayev 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 № 17-77-30019 supported by Russian Science Foundation).

Funding (если есть):

For citation: Volchik V. V., Shiryayev 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. Shiryayev – 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 30.07.2024. Выход в свет 01.08.2024. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 21,2. Уч.-изд. л. 13,6. Тираж 1000 экз. Заказ № 52 .