ISSN 2713-3222 (Online)

Научно-практический журнал
Дальневосточного государственного
технического рыбохозяйственного университета.
Издается с 1996 года

Том 77
3 | 2026

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ДАЛЬРЫБВТУЗА



БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

77

SCIENTIFIC JOURNAL OF THE FAR EASTERN STATE TECHNICAL FISHERIES UNIVERSITY

ISSN 2713-3222 (Online)

Научно-практический журнал
Дальневосточного государственного
технического рыбохозяйственного университета.
Издается с 1996 года

Том 77
3\2026

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ДАЛЬРЫБВТУЗА

Журнал «Научные труды Дальрыбвтуза» включен 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 по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям науки, по которым присуждаются ученые степени:
2.5.20. Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные) (технические науки),
4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (биологические науки),
4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (сельскохозяйственные науки),
4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (технические науки),
4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

телефон: (423) 244-21-91
e-mail: nauch-tr@dgtru.ru
сайт: http://nauch-tr.dgtru.ru

77

SCIENTIFIC JOURNAL OF THE FAR EASTERN
STATE TECHNICAL FISHERIES UNIVERSITY

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. № 3 (т. 77)

Научный журнал
Издается с 1996 г.
Выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет». Адрес: Россия, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б; e-mail: nauch-tr@dgtru.ru

Главный редактор – **Клочков Юрий Сергеевич** – доктор технических наук, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Заместитель главного редактора, научный редактор – **Соколова Марина Дмитриевна** – кандидат экономических наук, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток

Ответственный редактор – **Харитонова Людмила Артемовна**, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток

Редакционная коллегия:

Ковалев Николай Николаевич – доктор биологических наук, профессор, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, *ответственный редактор рубрики «Биотехнологии продуктов питания и биологически активных веществ»;*

Вальков Владимир Евгеньевич – кандидат технических наук, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, *ответственный редактор рубрики «Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство».*

Максимова Светлана Николаевна – доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, *ответственный редактор рубрики «Пищевые системы»;*

Руднев Борис Иванович – доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, *ответственный редактор рубрики «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)»;*

Шестак Ольга Игоревна – кандидат исторических наук, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, *ответственный редактор рубрики «Вопросы истории становления и развития рыбохозяйственной отрасли»;*

Бредихин Сергей Алексеевич – доктор технических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва;

Ли Вэй – кандидат биологических наук, профессор, Даляньского океанологического университета, Далянь, Китай;

Дударенок Светлана Михайловна – доктор исторических наук, профессор, Институт Истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Владивосток;

Кадникова Ирина Арнольдовна – доктор технических наук, профессор, Тихоокеанский филиал «ВНИРО» («ТИНРО»), Дальневосточный федеральный университет, Владивосток;

Кича Геннадий Петрович – доктор технических наук, профессор, Морской государственный университет им. адм. Г.И.Невельского, г. Владивосток;

Крикун Александра Игоревна – кандидат технических наук, доцент, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток;

Крюкова Елизавета Вячеславовна – доктор технических наук, профессор, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва;
Лях Владимир Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток;
Матросова Инга Владимировна – кандидат биологических наук, доцент, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток;
Мезенова Ольга Яковлевна – доктор технических наук, профессор, Калининградский государственный технический университет, Калининград;
Нгуен Ву Тхань – профессор, доктор наук, Департамент нематодологии Института экологии и биологических ресурсов Вьетнамской академии наук и технологий (ВАНТ), Ханой, Вьетнам;
Недоступ Александр Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, Калининградский государственный технический университет, Калининград;
Осипов Евгений Валериевич – кандидат технических наук, доцент, Дальневосточный государственный технический рабохозяйственный университет, Владивосток;
Пивненко Татьяна Николаевна – доктор биологических наук, профессор, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток;
Поздняков Сергей Ефимович – доктор биологических наук, профессор, Тихоокеанский филиал «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток;
Потапова Наталья Владимировна – доктор исторических наук, доцент, Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск;
Проценко Игорь Григорьевич – доктор технических наук, профессор, Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский;
Руднев Сергей Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, Кемеровский государственный медицинский университет Минздрава России, Кемерово;
Слуцкая Татьяна Ноевна – доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток;
Смирнов Андрей Анатольевич – доктор биологических наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Москва; Северо-Восточный государственный университет, Магадан;
Соболенко Анатолий Николаевич – доктор технических наук, профессор, Морской государственный университет им. адм. Г.И.Невельского, Владивосток;
Стародубцев Павел Анатольевич – доктор технических наук, профессор, Тихоокеанское высшее военно-морское училище им. адм. С.О.Макарова, Владивосток;
Табакаева Оксана Вацлавовна – доктор технических наук, доцент, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток;
Федирко Оксана Петровна – доктор исторических наук, доцент, Институт Истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток;
Цой Зоя Владимировна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Приморский государственный аграрно-технологический университет, Уссурийск;
Чупикова Елена Станиславовна – кандидат технических наук, Тихоокеанский филиал «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток;
Шахов Сергей Васильевич – доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж;
Шокина Юлия Валерьевна – доктор технических наук, профессор, Мурманский государственный технический университет, Мурманск.

© Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Бородин П. А, Бойцов А. Н., Грибова К. А., Кудакаев В. В., Осипов Е. В, Пилипчук Д. А., Чернецов В. И.
К 90-летию Виктора Ивановича Габрюка 8

БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ 15

Киселева Н. А., Поваляева К. А., Рязанова А. Е.
Получение безмолочных ферментированных пищевых продуктов из растительного сырья: современное состояние, технологии и перспективы 15

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ 29

Блинова А. Л.
Метрологическое обеспечение процесса хранения и перевозки (транспортирования) мороженой рыбы 29

Давыдов Н. Д., Будова А. В., Мутовкина Е. А., Бредихин С. А., Алексанян И. Ю.
Определение фазового равновесия и распределения растительных пигментов в системе гидрофильный экстракт – масло 38

Капуста С. В., Табакаева О. В., Табакаев А. В.
Исследование органолептических свойств сухих приправ из бурой водоросли *Ascophyllum nodosum* 48

Космачёва К. А., Лях В. А.
Обогащение хлебобулочных изделий йодом с использованием *Saccharina japonica*: сравнительная эффективность порошка селенизированной водоросли и гидротермического экстракта 57

Панчишина Е. М., Корниенко Н. Л.
Оценка инновационности по уровню качества снековой продукции 66

Попович Д. А., Глебова Е. В., Лаптева Е. П.
Повышение эффективности предприятий общественного питания малого формата на основе управления образованием пищевых отходов с учетом их углеродного следа 73

Тимчук Е. Г.
Разработка интеллектуальной системы контроля степени готовности и качества копченой продукции из водных биологических ресурсов на основе глубокого обучения 87

Харчук И. А., Бочарова Е. А., Широян А. Г., Рылькова О. А.
Разработка рецептуры получения зернистого продукта, обогащенного С-фикоцианином из спирулины 100

Чернова А. В.
Актуализация нормативов содержания мышьяка в рыбной продукции: проблемы и пути решения в рамках ЕАЭС 110

Шокина Ю. В., Макаревич Е. В., Аминов Н. А., Щербакова Д. С., Ефименко Г. А.
Разработка технологии регионального плодово-ягодного алкогольного напитка на основе черники с оценкой биотехнологического потенциала импортозамещенного штамма *Saccharomyces cerevisiae* 119

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО 137

Бекбергенова В., Гусева Ю. А., Васильев А. А., Качалин М. Д.
Индекс формы желточного мешка предличинок шипа как критерий оценки выживаемости предличинки 137

Грачев А. А.
Ставные невода с криволинейными формами и автоматизированной выгрузкой улова 146

Зимина Т. Н., Зайцев В. Ф., Чаплыгин В. А., Ершова Т. С., Шабоянц Н. Г.
Оценка состояния фитопланктона дельты Волги 158

Коробов А. А., Васильев А. А., Гусева Ю. А., Никитенко А. И., Тюлин Д. Ю., Жернаков И. А., Солодовник А. В., Качалин М. Д.
Влияние экструдированного корма с инновационным премиксом на продукционные показатели и размерно-массовую структуру стада гибрида осетра в условиях УЗВ 169

Кузьмина С. В.
Система распределения квот на вылов водных биологических ресурсов в России: эволюция, механизмы и перспективы регулирования 184

Недоступ А. А., Коновалова К. В., Насенков П. В., Ражев А. О.
Физическое и математическое моделирование сетных инженерных конструкций с учетом внешних факторов воздействия 194

Пряжевская Т. С., Матросова И. В.
Межгодовая динамика биомассы малорота Стеллера *Glyptocephalus stelleri* в водах подзоны Приморье в 2016, 2019, 2022 гг. 202

Самарский В. Г.
Роль крупной молоди кеты в позднем скате через пролив Красноармейский (Сахалинская область) 210

Симкин Л. М.
Обоснование расчетного элемента сетной части разноглубинного трала 218

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ) 227

Ганнесен В. В., Петрова Е. Е.
О цифровой трансформации подготовки судомехаников: интеграция облачных симуляторов, цифровых двойников и технологий искусственного интеллекта в формирование компетенций 227

Марченко Н. М.
Повышение энергоэффективности электроприводов вспомогательных механизмов судовых энергетических установок 238

Руднев Б. И., Повалихина О. В.
Методики экспериментального определения температуры пламени и концентрации частиц сажи в камере сгорания судового дизеля с использованием лазера 242

CONTENTS

Borodin P. A., Boytsov A. N., Gribova K. A., Kudakaev V. V., Osipov E. V., Pilipchuk D. A., Chernetsov V. I.
To the 90th anniversary of Viktor Ivanovich Gabruk 8

BIOTECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTS AND BIOLOGICALLY ACTIVE AGENTS 15

Kiseleva N. A., Povalyaeva K. A., Ryazanova A. E.
Production of non-dairy fermented food products from plant-based raw materials: current state, technologies, and prospects 15

FOOD SYSTEMS 29

Blinova A. L.
Metrological support for the storage and transportation process (transportation) of frozen fish 29

Davydov N. D., Budova A. V., Mutovkina E. A., Bredihin S. A., Aleksanyan I. Yu.
Determination of phase equilibrium and distribution of plant pigments in the hydrophilic extract–oil system 38

Kapusta S. V., Tabakaeva O. V., Tabakaev A. V.
A study of the organoleptic properties of dry seasonings made from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* 48

Kosmacheva K. A., Lyakh V. A.
Iodine enrichment of bakery products using *Saccharina japonica*: comparative effectiveness of selenium-enriched algal powder and hydrothermal extract 57

Panchishina E. M., Kornienko N. L.
Assessment of innovation in terms quality of snack products 66

Popovich D. A., Glebova E. V., Lapteva E. P.
Improving the efficiency of small-format foodservice enterprises through food waste management accounting for carbon footprint 73

Timchuk E. G.
Development of an intelligent system for monitoring the degree of readiness and quality of smoked products made from aquatic biological resources based on deep learning 87

Kharchuk I. A., Bocharova E. A., Shiroyan A. G., Rylkova O. A.
Development of a recipe for producing a grainy product enriched with C-phycocyanin from spirulina 100

Chernova A. V.
Updating the standards for arsenic content in fish products: problems and solutions within the EAEU 110

Shokina Yu. V., Maakarevich E. V., Aminov N. A., Scherbakova D. S., Efimenko G. A.
Development of a technology for a regional fruit and berry alcoholic bev-erage based on bilberries, with an assessment of the biotechnological po-tential of an imported strain of *Saccharomyces cerevisiae* 119

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES 137

Bekbergenova V., Guseva Yu. A., Vasiliev A. A., Kachalin M. D.
Yolk sac shape index of ship sturgeon prelarvae as a criterion for as-sessing prelarval survival 137

Grachev A. A.
Set-nets with curved shapes and automated unloading of catch 146

Zimina T. N., Zaitsev V. F., Chaplygin V. A., Ershova T. S., Shaboyants N. G.
Assessment of the condition of phytoplankton in the Volga delta 158

Korobov A. A., Vasiliev A. A., Guseva Yu. A., Nikitenko A. I., Tyulin D. V., Zhernakov I. A., Solodovnik A. V., Kachalin M. D.
Effect of extruded feed with an innovative premix on productive perfor-mance and size–weight structure of sturgeon hybrid stock in RAS 169

Kuzmina S. V.
The quota allocation system for aquatic biological resources in russia: evolution, mechanisms, and regulatory prospects 184

Nedostup A. A., Konovalova K. V., Nasenkov P. V., Razhev A. O.
Physical and mathematical modeling of grid engineering structures taking into account external factors of influence 194

Pryazhevskaya T. S., Matrosova I. V.
Interannual dynamics of Blackfin Flounder *Glyptocephalus stelleri* biomass in the waters of the Primorye subzone in 2016, 2019, and 2022 202

Samarskii V. G.
Role of large juvenile chum salmon in late downstream migration through Krasnoarmeysky Strait (Sakhalin Oblast) 210

Simkin L. M.
Justification of the design element of the mesh part of a multi depth trawl 218

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY) 227

Gannesen V. V., Petrova E. E.
On the digital transformation of ship engineers training: integration of cloud simula-tors, digital twins and artificial intelligence technologies into competence formation 227

Marchenko N. M.
Improving the energy efficiency of electric drives of auxiliary mechanisms of marine power plants 238

Rudnev B. I., Povalikhina O. V.
Methods of experimental definition flame temperature and concentration soot particles in marine diesel combustion chamber with employment of laser 242

УДК 338.439.5:639.2/3(470)

Бородин П. А, Бойцов А. Н., Грибова К. А., Кудакаев В. В., Осипов Е. В,
Пилипчук Д. А., Чернецов В. И.

К 90-летию Виктора Ивановича Габрюка (к девяностолетию со дня рождения)



2 сентября 2026 г. исполнилось 90 лет выдающемуся специалисту в области промышленного рыболовства, доктору технических наук, профессору Виктору Ивановичу Габрюку. Указами Президента Российской Федерации В. И. Габрюк награждён медалью «300 лет Российскому флоту» № 0366825 от 07.06.1996 и медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени № 16586 от 09.04.1997.

Основная область исследований Виктора Ивановича – механика орудий рыболовства, которую он сформировал и систематизировал из широкого спектра различных методов расчета рыболовных систем и предложил свои решения в 90-х годах XX века и совместно с д.т.н., проф. В. Д. Кулагиным опубликовал в работе [1]. Разработанная механика орудий рыболовства позволила решать задачи проектирования параметров рыболовных систем.

Виктор Иванович Габрюк родился в селе Вознесенка Хорольского района Приморского края 2 сентября 1936 г. В 1947 г. отец ушел из семьи, и троих детей воспитывала мама в духе честности, трудолюбия и уважения к людям труда. Тяжелая жизнь в селе, связанная с большой работой по хозяйству, выработала сильный характер и трудолюбие, что позволило раскрыть и реализовать свой талант. В 1953 г. после окончания школы Виктор Иванович поступил в Дальневосточное Высшее Инженерно-Морское Училище, набрав на вступительных экзаменах 32 балла из 35 возможных (четвёрки получил по географии, русскому письменно и устно), где, будучи курсантом второго курса, под руководством д.т.н., профессора В. Э. Магулы начал заниматься научной работой на тему «Исследование работы балок, изготовленных из разнородных материалов». Работа была опубликована в научных трудах ДВИМУ, вып. 2, изд-во «Морской транспорт», Москва, 1957. В 1958–1960 гг. работал контрольным мастером на судоремонтном заводе СРЗ-178, завод ремонтировал военные корабли, в основном эсминцы, и строил плавучие заводы для ремонта и модернизации военных кораблей под ракетную технику. В 1960 г. по приглашению проректора по науке Дальрыбвтуза Е. Б. Юровецкого перешёл на кафедру технической механики этого вуза и читал лекции по сопротивлению материалов и деталям машин.

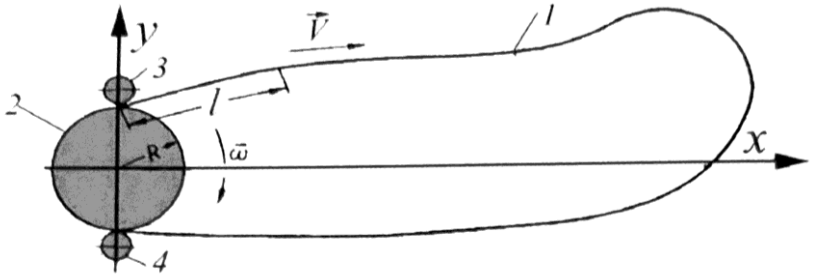
© Бородин П. А., Бойцов А. Н., Грибова К. А., Кудакаев В. В., Осипов Е. В., Пилипчук Д. А., Чернецов В. И., 2026

В 1961 г. поступил в аспирантуру МВТУ им. Н. Э. Баумана на кафедру «Прикладная механика». Выполнял работу по хоздоговорной теме № К-506, заключённой с п/я, находившимся в г. Коломне, под кодовым названием «Исследование вопросов прочности средств связи» (исследовал динамику малых противотанковых ракет) (рис. 1), в настоящее время решения, полученные тогда, используются для дронов с оптоволоконным каналом связи. В 1965 г. защитил кандидатскую диссертацию, научные руководители д.т.н., профессор В. Л. Бидерман и к.т.н., доцент В. А. Светлицкий.



Рис. 1. Схема смотки средств связи малых противотанковых ракет [2]
Fig. 1. Scheme of winding of communication means of small anti-tank missiles [2]

В рамках диссертации, связанной с динамикой гибких нитей, в 1963–1964 гг. Виктор Иванович разработал математическую модель замкнутой гибкой нити, совершающей контурное движение в вязкой среде (рис. 1), полученные решения использованы в различных областях народного хозяйства для создания гибких баллистических радиоантенн и лент скоростных ременных передач, в том числе в космосе [3–5]. В промышленном рыболовстве подобная задача связана с описанием движения кольцевого яруса, которая была решена уже учеником Виктора Ивановича Осиповым Е. В. с учетом течений и системы узловых соединений хребтины яруса (гибкой замкнутой нити) с поводцами.



1 – замкнутая гибкая нить; 2 – шкив; 3, 4 прижимные ролики

Рис. 2. Замкнутая гибкая нить, движущаяся в вязкой среде (воздух)
Fig. 2. Closed flexible thread moving in a viscous medium (air)

По возвращении в Дальрыбвтуз читал лекции по сопротивлению материалов, а с 1.09.1966 был избран по конкурсу заведующим кафедрой «Теоретическая механика», безусловно, специфика вуза позволила Виктору Ивановичу обратить внимание на решение задач промышленного рыболовства, где орудия рыболовства состоят из различных гибких нитей. Одним из таких направлений стала разработка теории динамики канатов и экспериментальные исследования для задач по промыслу китов, которая выполнялась с С. Г. Поясковым и изложена в работе «Исследование автоматизации процессов стравливания и выборки китобойного каната» [6]. По постановке эта проблема соответствует во многом прочности средств связи при управлении малых противотанковых ракет. Такой опыт позволил ему позже участвовать в диссертационном совете ТОВМИ и создавать там высокую научную среду.

Основным направлением Виктора Ивановича в тот период стала разработка механики ваера, для этих задач были исследованы их характеристики в гидролотках и разработана специальная экспериментальная установка (рис. 3), исследуемые образцы приведены на рис. 4.

Специалисты в области промышленного рыболовства сразу заметят (рис. 4), что полученные результаты и образцы очень похожи с кантами, применяемыми на сегодняшний день

крупнейшей фирмой по производству орудий рыболовства в мире HAMPIÐJAN для производства канатной части трала, увеличивающее раскрытие траловой оболочки под торговой маркой HELIX. Это объясняется тем, что в 90-х гг. архив КТИРПИХ был приобретен фирмой HAMPIÐJAN и из массы различной информации было выбрано техническое решение, предложенное Виктором Ивановичем еще в 1973 г. В 2000-х гг. сотрудники бывшего КТИРПИХ проводили исследования в этом направлении для HAMPIÐJAN.

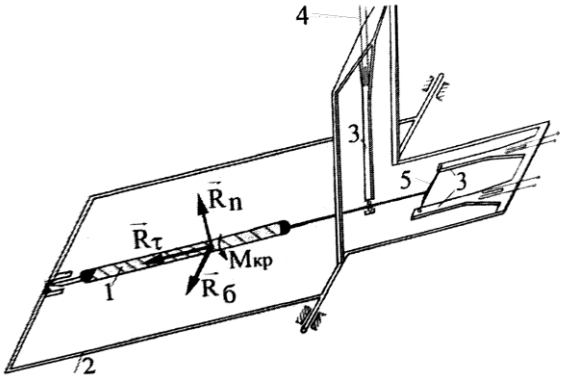
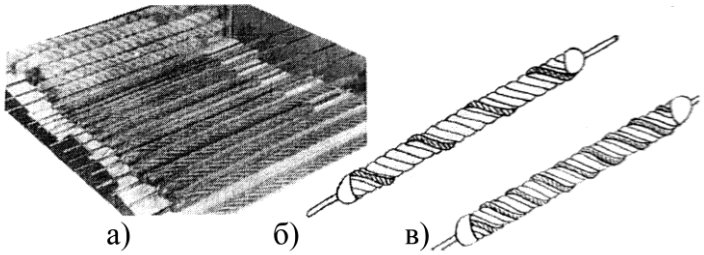


Рис. 3. Прибор для экспериментального определения боковой силы витых кантов в гидролотке КТИРПИХ (1973)
Fig. 3. Device for experimental determination of the lateral force of twisted edges in the KTIRPIKH hydraulic flume (1973)



а – канаты без навивки; б – канаты с одной навивкой; в – канаты с двумя навивками

Рис. 4. Образцы стальных и синтетических канатов, испытываемых в гидролотке КТИРПИХ (1973)
Fig. 4. Samples of steel and synthetic ropes tested in the KTIRPIKH hydraulic flume (1973)

В дальнейшем исследования по канатам проводились в морских условиях и для этих целей была разработана экспериментальная установка (рис. 5).

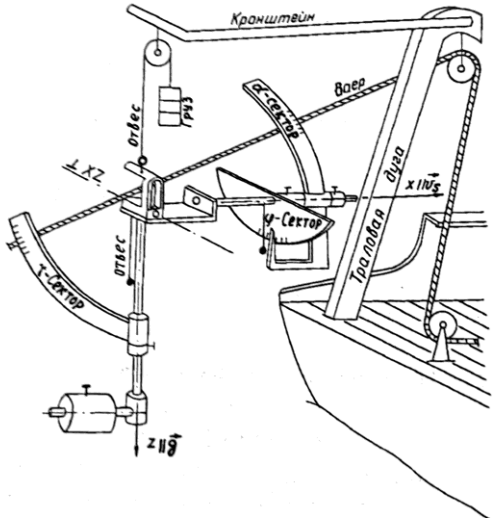


Рис. 5. Трехкомпонентный угломер (1975)
Fig. 5. Three-component protractor (1975)

Эти исследования позволили получить в 1975 г. функции коэффициентов гидродинамических сил (рис. 6)

$$\begin{aligned} C_{X_V} &= -\left(c_{11}\sin^2\alpha + c_{12}\sin^4\alpha + c_{13}\cos^2\alpha\right), \quad \alpha \in (-\infty,\infty); \\ C_{Y_V} &= \pm\left(c_{21}\sin\alpha\cos\alpha + c_{22}\sin^3\alpha\cos\alpha\right), \quad \alpha \in (-\infty,\infty); \\ C_{Z_V} &= -\left(c_{31}\sin\alpha\cos\alpha + c_{32}\sin^3\alpha\cos\alpha\right), \quad \alpha \in (-\infty,\infty). \end{aligned} \tag{1}$$

В выражении для C_{Y_V} в (1) знак (+) берется для канатов с правой свивкой наружных прядей, знак (-) – для канатов левой свивки. Особенностью функций (1) является $\alpha \in (-\infty,\infty)$, что важно при численном моделирование различных конструкций, состоящих из гибких нитей, поскольку не требует отслеживания угла атаки нити, формулы других авторов получены вообще без учета таких особенностей, что очень непрактично. Именно практичность (адекватность) полученных решений является основой всех работ Виктора Ивановича.

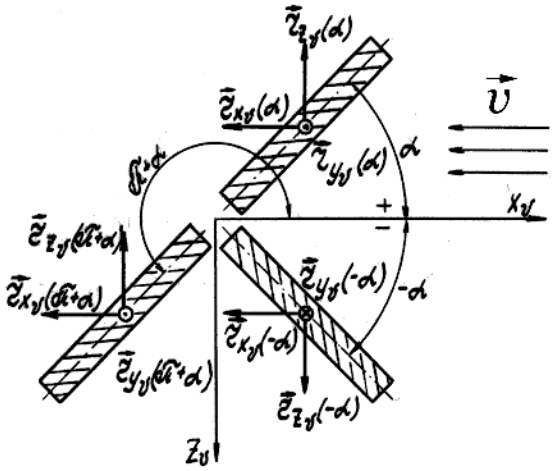


Рис. 6. Гидродинамические силы канатов на углах атаки $-\alpha,\ \alpha,\ \pi+\alpha$

Fig. 6. Hydrodynamic forces of ropes at angles of attack $-\alpha,\ \alpha,\ \pi+\alpha$

Для стальных шестипрядных канатов В. И. Габрюком в 1977 г. были найдены: $c_{11}=0,449$; $c_{12}=0,550$; $c_{13}=0,023$; $c_{21}=0,035$; $c_{22}=0,140$; $c_{31}=0,244$; $c_{32}=0,650$.

Однако знаковым решением для задач промышленного рыболовства стало получение дифференциальных уравнений равновесия гибкой нити в поточной системе координат (рис. 7) [7]:

$$\begin{gathered} \dot{T} = q_z\sin\alpha\cos\varphi - r_{x_V}\cos\alpha + r_{z_V}\sin\alpha; \\ \dot{\alpha} = \left(q_z\cos\alpha\cos\varphi + r_{x_V}\sin\alpha + r_{z_V}\cos\alpha\right)/T; \\ \dot{\varphi} = -\left(q_z\sin\varphi + r_{y_V}\right)/T\sin\alpha; \\ \dot{x} = \cos\alpha;\ \ \dot{y} = \sin\alpha\sin\varphi;\ \ \dot{z} = -\sin\alpha\cos\varphi; \\ q_z = k_w G_z; \qquad k_w = 1 - m_w/m; \qquad G_z = mg. \quad \cdot = \frac{d}{dl}. \end{gathered} \tag{2}$$

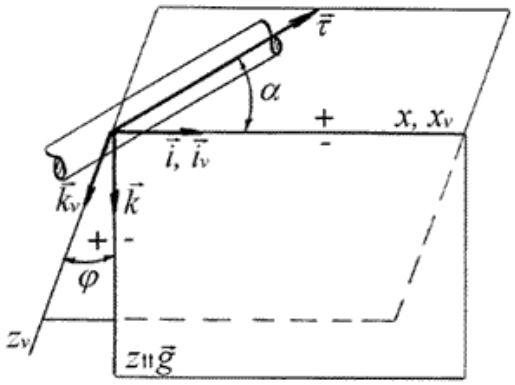


Рис. 7. Углы α и φ, задающие ориентацию нити в земной и поточной системах координат
Fig. 7. Angles α and φ, defining the orientation of the thread in the terrestrial and flow coordinate systems

В те годы расчет системы дифференциальных уравнений (2) требовал больших затрат времени, поэтому Виктором Ивановичем предложена была система полиномов, коэффициенты которых получали будущий к.т.н. Астафьев С. Э. и к.т.н. Чернецов В. В.

Далее были получены условия равновесия траловых досок и определен переход к исследованию всей траловой системы, первые результаты работы изложены в работе [8]. В тот период зав. лабораторией промышленного рыболовства ТИНРО А. И. Шевченко была предложена совместная большая программа по нескольким направлениям, которые положили два направления, связанные с оптимальной оснасткой траловой системы для облова (устойчивого равновесия траловой системы) гидробионтов и исследованию полей скоростей в трале и исследованию гидродинамических характеристик элементов траловой системы в морских условиях. В 1979 г. Виктор Иванович переходит доцентом на кафедру «Промышленное рыболовство», где в 1979–1983 гг. читал лекции по «Механизации и автоматизации процессов промышленного рыболовства».

По первому направлению осуществлялась долгая постановка задачи с участием А. Н. Бойцова, С. Э. Астафьева и А. И. Шевченко, всё отрабатывалось в море на реальных траловых системах. Результатом данной работы стали монографии Виктора Ивановича [9, 10], совместные публикации [11, 12], а практическая реализация – в работах [12, 13], фактически результаты под руководством А. Н. Бойцова широко внедрялись на Дальневосточном бассейне. В этот период Виктор Иванович более плотно стал работать и с НБАМР (г. Находка) и многое в задачах оптимальной настройки траловой системы довел до более практической реализации, и эти результаты вошли в работу [15]. В рамках этого исследования была разработана программная система оптимальной настройки траловой системы, куда была собрана по всему СССР практически вся база по траловым доскам, судам, тралам дальневосточным и ваерам, в дальнейшем программа развивалась и совершенствовалась. Программа была напечатана в монографии В. И. Габрюка [17] и используется сегодня в основном иностранными производителями.

Второе направление было связано с разработкой систем для измерения моделей орудий лова в небольших масштабах, были разработан плот-катамаран и совместно с В. В. Чернецовым лабораторный комплекс (1983 г.), который включал аппаратуру для измерения скоростей и давлений внутри сетной оболочки тралов и трехкомпонентные весы для измерения сил, действующих на элементы орудий рыболовства [16]. На этой плавучей лаборатории совместно с В. В. Чернецовым были разработаны методики разработки моделей тралов и исследованы поля скоростей и давлений в них (рис. 8). Эти исследования в сравнении с данными в гидролотках показали, что четкие исследования гидродинамики в тралах возможны с моделями в малых масштабах.

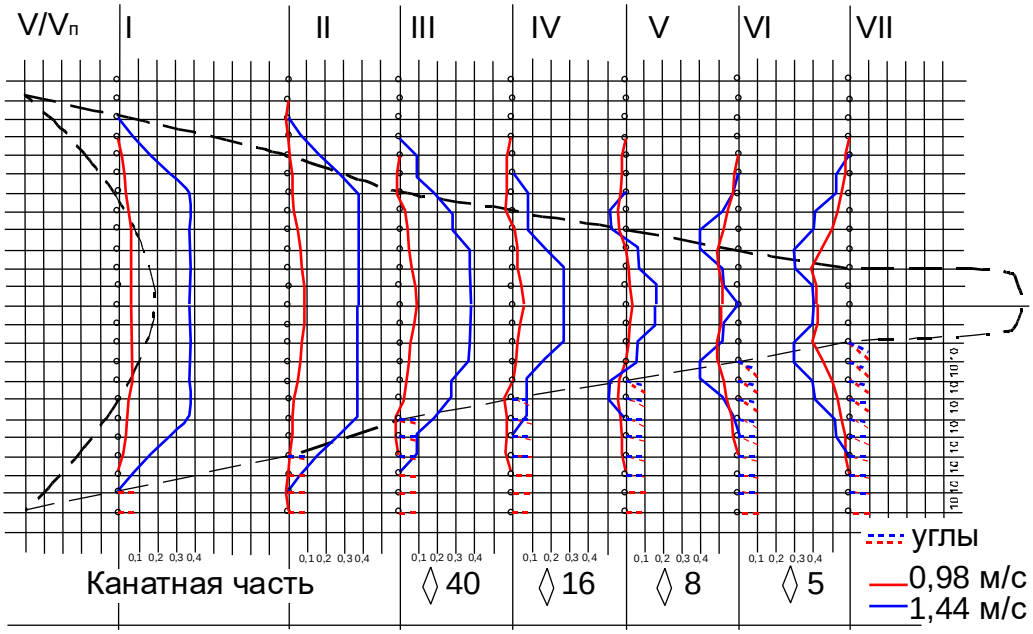


Рис. 8. Значения абсолютных скоростей потока в различных сечениях трала 62,4/208 м
Fig. 8. Values of absolute flow velocities in different sections of the trawl 62.4/208 m

Завершающим этапом этих исследований стала монография [17], в которой была проведена структуризация исследований, а также переход на основе методов расчета к задачам проектирования и новым подходам в этом направлении. Этому еще способствовала большая работа Виктора Ивановича по ведению целой специализации на 4–5-м курсах по САПР промышленного рыболовства и задействования студентов в этих процессах. Виктор Иванович очень скрупулёзно подходил к каждому читаемому курсу, поскольку это было всегда авторский, новаторский и новый, и так было каждый год. Поэтому студенты получали лучшие знания, которые только внедрялись в промышленность или ждали этого.

В 90-х гг. ориентиры промышленности изменились, и стали широко развиваться крабовый и ярусный промысел. Разработка механики ярусных систем выполнялась с Осиповым Е. В. [17], и результаты вошли в работу [1], поскольку типов конструкций ярусов на порядок больше, чем тралов, и исследований в этом направлении не было, то решалось много задач, и было защищено несколько кандидатских диссертаций: Габрюк А. В. [19, 20], Габрюк Л. А. Механика конических ловушек Виктором Ивановичем позволила решить несколько задач проектирования, связанных с оптимальностью раскроя сетной оболочки и выбором параметров уздечек для устойчивого падения ловушек на грунт при постановке [21], часть работы была выполнена с Юн Ф. А. Поэтому в этот период Виктором Ивановичем формируется своя научная школа, и для ее развития издается очень большое учебное пособие по механике орудий рыболовства [22]. Научная школа объединяла научные коллективы ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз» и ТИНРО-Центр. В последние годы Виктор Иванович улучшает и делает доступным для всех специалистов отрасли свои знания.

Посвятить себя науке – значит навсегда остаться молодым, постоянно двигаться вперед, а Наука – это призвание, жизненный выбор, который доступен не каждому.

Мы сердечно поздравляем Виктора Ивановича с его славным юбилеем и желаем ему крепкого здоровья, благополучия и творческого долголетия!

Список источников

1. Габрюк В. И., Кулагин В. Д. Механика орудий рыболовства и АРМ промысловика. М. : Колос, 2000. 416 с.

2. Светлицкий В. А. Механика гибких стержней и нитей. М. : Машиностроение, 1978. 222 с., ил. (Б-ка расчетчика).

3. Габрюк В. И. О стационарном движении гибкой нити // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 1964. № 6(43). С. 40–45.

4. Светлицкий В. А., Габрюк В. И. Исследование стационарного движения нити по шероховатой цилиндрической поверхности // Машиностроение. 1965. № 4. С. 52–56.

5. Светлицкий В. А., Габрюк В. И. О критической скорости стационарного движения // Прикладная механика. 1966. Т. 2, № 6. С. 132–135.

6. Поясков С. Г., Габрюк В. И. Исследование автоматизации процессов стравливания и выборки китобойного каната. ЦБТИ Дальрыбы. Дальрыбвтуз. Владивосток : Дальневост. кн. изд-во, 1970. 37 с.

7. Габрюк В. И. Уравнения равновесие каната в потоке в поточной системе координат // Промышленное рыболовство: сб. науч. тр. Владивосток : ТИНРО, 1967. Вып. 8. С. 14–16.

8. Габрюк В. И. Методика увязки параметров сетной части трала, траловых распорных досок, ваеров и судна при тралении на больших глубинах. Ленинград : Б. и., 1978. 39 с. (Доклад / 5 Науч.-техн. конф. по развитию флота рыб. пром-сти и пром. рыболовства соц. стран ; № 2.15.

9. Габрюк В. И. Методы биотехнического обоснования и расчета параметров траловой системы. Владивосток, 1982. 149 с.

10. Габрюк В. И. Методы увязки параметров рыбных стай, трала и судна. Владивосток : Дальрыбвтуз, 1984. 139 с.

11. Шевченко А. И., Габрюк В. И., Бойцов А. Н. Обоснования основных параметров мотенной части разноглубинных тралов // Поведение рыб и орудий лова. Владивосток : ТИНРО, 1983. С. 17–22.

12. Мизюркин М. А., Габрюк В. И., Кузнецов Ю. А. Вертикальное раскрытие тралов при лове мелких рыб // Рыбное хозяйство. 1983. № 3. С. 63–64.

13. Бойцов А. Н., Астафьев С. Э. Оснастка входного устья разноглубинного трала. Поведение рыб и орудий лова. Владивосток : ТИНРО, 1983. С. 43–47.

14. Бойцов А. Н., Астафьев С. Э., Абалтусов С. М. Пространственное положение траловой системы // Обоснование орудий промышленного рыболовства. Владивосток : ТИНРО, 1985. С. 43–47.

15. Габрюк В. И. Параметры разноглубинных тралов. М. : Агропромидат, 1988. 212 с.

16. Габрюк В. И., Чернецов В. В. Плот-катамаран для исследования гидромеханики трала и его вооружения // Рыбное хозяйство. 1985. № 5. С. 65–67.

17. Габрюк В. И. Компьютерные технологии в промышленном рыболовстве. М. : Колос, 1995. 544 с.

18. Габрюк В. И., Осипов Е. В. Математическое программное и информационное обеспечение инженера-промысловика ярусного лова гидробионтов. Владивосток : Дальрыбвтуз, 1998. 98 с.

19. Габрюк В. И., Габрюк А. В. Математические модели орудий рыболовства и их компьютерное моделирование. Владивосток : Дальрыбвтуз, 2002. 125 с.

20. Габрюк В. И., Габрюк А. В., Осипов Е. В. Моделирование крючковых рыболовных систем. Владивосток : ТИНРО-Центр, 2004. 120 с.

21. Габрюк В. И., Осипов Е. В., Чернецов В. В., Бобиков А. В. Механика конических ловушек с жестким каркасом : учеб. пос. Владивосток : Дальрыбвтуз, 2005. 62 с.

22. Габрюк В. И., Кокорин Н. В., Осипов Е. В., Чернецов В. В. Механика орудий рыболовства. Владивосток : ТИНРО-Центр, 2006. 304 с.

23. Габрюк В. И. Математическое моделирование орудий рыболовства и рыболовных систем (траловой, ярусной и ловушечной) : монография. Владивосток : Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2024. 496 с.

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 15–28.

БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ
И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Обзорная статья
УДК 663.8 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-01 EDN: AEWQFX

Получение безмолочных ферментированных пищевых продуктов из растительного сырья: современное состояние, технологии и перспективы

Наталья Александровна Киселева [1], Ксения Алексеевна Поваляева [2], Анна Евгеньевна Рязанова [3]
Самарский государственный технический университет, Самара, Россия,
[1] sumgtu2011@yandex.ru, ORCID: 0009-0004-4804-9687
[2] povalyaeva.ka@mail.ru
[3] 1234567890anyy@mail.ru

Аннотация. Целью данной работы является систематизация и анализ современных данных о технологиях, сырье и микроорганизмах для производства безмолочных ферментированных продуктов. Проведен анализ литературных данных за последние 10–15 лет в области пищевых технологий и микробиологии. Выявлен значительный рост популярности и разнообразия безмолочных ферментированных продуктов. Установлено, что ключевыми направлениями развития являются поиск и оптимизация растительного сырья, селекция специализированных заквасочных культур, а также решение технологических проблем формирования текстуры и вкуса. Перспективы отрасли связаны с созданием синбиотических продуктов и использованием инновационных методов ферментации.

Ключевые слова: безмолочные продукты, ферментация, пробиотики, растительное сырье, заквасочные культуры, функциональное питание

Для цитирования: Киселева Н. А., Поваляева К. А., Рязанова А. Е. Получение безмолочных ферментированных пищевых продуктов из растительного сырья: современное состояние, технологии и перспективы // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 15–28.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 15–28.

BIOTECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTS AND BIOLOGICALLY ACTIVE AGENTS

Review article

Production of non-dairy fermented food products from plant-based raw materials: current state, technologies, and prospects

Natalia A. Kiseleva [1], Kseniya A. Povalyaeva [2], Anna E. Ryazanova [3]
Samara State Technical University, Samara, Russia
[1] sumgtu2011@yandex.ru, ORCID: 0009-0004-4804-9687
[2] povalyaeva.ka@mail.ru
[3] 1234567890anyy@mail.ru

© Киселева Н. А., Поваляева К. А., Рязанова А. Е., 2026

Abstract. The aim of this work is to systematize and analyze current data on technologies, raw materials, and microorganisms for the production of non-dairy fermented products. An analysis of the literature from the last 10–15 years in the field of food technology and microbiology was carried out. A significant increase in the popularity and diversity of non-dairy fermented products has been revealed. It has been established that the key directions of development are the search for and optimization of plant-based raw materials, the selection of specialized starter cultures, and the solution of technological challenges related to texture and flavor formation. The prospects of the industry are associated with the development of synbiotic products and the use of innovative fermentation methods.

Keywords: non-dairy products, fermentation, probiotics, plant-based raw materials, starter cultures, functional foods

For citation: Kiseleva N. A., Povalyaeva K. A., Ryazanova A. E. Production of non-dairy fermented food products from plant-based raw materials: current state, technologies, and prospects. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):15–28. (In Russ.).

Введение

Актуальность темы. В последнее десятилетие наблюдается устойчивый рост рынка безмолочных ферментированных продуктов. Это обусловлено рядом факторов: увеличением численности населения с непереносимостью лактозы и аллергией на молочный белок; ростом популярности веганства, вегетарианства и идей этического потребления; общемировым трендом на здоровое и функциональное питание. Кроме того, существует стабильный спрос на продукты, содержащие пробиотики, но не имеющие животного происхождения.

Определение предмета. Безмолочные ферментированные продукты – это пищевые продукты, произведенные на основе немолочного сырья (растительного), полученные путем контролируемой микробной ферментации, в результате которой формируются их характерные органолептические, физико-химические и пробиотические свойства.

Цель. Комплексный анализ существующих технологий и перспектив развития рынка безмолочных ферментированных продуктов.

Задачи:

1. Классифицировать виды сырья для производства.
2. Охарактеризовать используемые микроорганизмы (заквасочные культуры).
3. Описать основные технологические процессы и их особенности.
4. Проанализировать формирование потребительских свойств (текстура, вкус, аромат).
5. Выявить основные проблемы и перспективы развития отрасли.

Основная часть

Сырьевая база для производства безмолочных ферментированных продуктов.

Широкий ассортимент безмолочных ферментированных продуктов обусловлен разнообразием используемого растительного сырья, каждое из которых обладает уникальным химическим составом, определяющим технологические особенности переработки и конечные свойства продукта. Анализ современных научных данных позволяет систематизировать основное сырье по нескольким категориям.

Зерновые культуры являются одной из наиболее распространенных основ благодаря своей доступности и высокому содержанию крахмала. Овес лидирует в производстве продуктов, подобных йогурту, что объясняется высоким содержанием бета-глюкана, который действует как пребиотик и природный загуститель, способствуя формированию кремообразной текстуры. Однако крахмал зерновых не является легкодоступным субстратом для молочнокислых бактерий. Это требует стадии ферментативного осахаривания, обычно с использованием амилаз, для расщепления крахмала на сбраживаемые сахара, такие как глюкоза и мальтоза. Псевдозерновые, такие как киноа и амарант, привлекают внимание благодаря высококачественному белку, содержащему все незаменимые аминокислоты, и

высокому содержанию пищевых волокон, которые улучшают питательные свойства ферментированных напитков.

Бобовые культуры, в частности соя, нут и чечевица, ценятся за высокое содержание белка (20–40 %). Ферментация бобовых, как в случае с темпе (с использованием гриба Rhizopus oligosporus) или растительными йогуртами, не только повышает усвояемость белка и витаминов, но и снижает уровень антинутриентов, таких как фитиновая кислота и ингибиторы трипсина. Однако основной технологической проблемой остается наличие летучих соединений (например, гексаналя, гексанола), обуславливающих «бобовый» и «травянистый» привкус. Исследования показывают, что использование определенных штаммов, таких как Lactobacillus plantarum и Streptococcus thermophilus, способно эффективно снижать содержание этих нежелательных летучих веществ в ходе ферментации, улучшая органолептические свойства продукта [1].

Орехи и семена, включая миндаль, кешью и кокос, служат основой для производства ферментированных напитков и мягких сыров. Высокое содержание липидов в этом сырье придает продукту насыщенный вкус и нежную, гладкую текстуру. Однако жировой состав может окисляться, приводя к прогорклости. Ферментация с помощью Lactobacillus plantarum и Streptococcus thermophilus обладает протективным эффектом за счет производства антиоксидантных соединений. Кокосовая вода, побочный продукт переработки кокоса, является оптимальной средой для ферментации благодаря богатому содержанию минералов и легко поддается ферментации сахаров (сахарозы, глюкозы, фруктозы), что делает ее идеальной основой для пробиотических напитков.

Овощи и фрукты представляют собой категорию для традиционных продуктов спонтанной ферментации, таких как кимчи (на основе пекинской капусты Brassica rapa) и комбуча (на основе чайного гриба и сахарозы). Ферментация овощей в основном осуществляется гетероферментативными микроорганизмами, такими как Leuconostoc mesenteroides и Lactobacillus brevis, которые продуцируют не только молочную кислоту, но также уксусную кислоту, CO_2 и ароматические соединения, создавая характерный острый, шипучий профиль. Комбуча представляет собой симбиотическую культуру бактерий и дрожжей, которая ферментирует чайный настой, производит широкий спектр органических кислот, этанол и биологически активные соединения [2].

Критерии выбора сырья для производства безмолочных ферментированных продуктов. Выбор оптимального растительного сырья является фундаментальным этапом в разработке высококачественных, питательных и коммерчески успешных безмолочных ферментированных продуктов. Этот выбор представляет собой многокритериальную оптимизационную задачу, где необходимо сбалансировать следующие группы критериев:

1. Пищевая и питательная ценность

Данный критерий является первичным, так как потребители часто обращаются к растительным альтернативам по соображениям здоровья.

Содержание и качество белка: Оценивается общее содержание белка и его аминокислотный состав, особенно по незаменимым аминокислотам (лизин, метионин, триптофан). Бобовые (соя, нут) и псевдозерновые (киноа, амарант) являются лидерами по этому показателю.

Ферментация может улучшать усвояемость белка и увеличивать содержание некоторых аминокислот.

Содержание пищевых волокон: волокна, такие как бета-глюкан в овсе или инулин в цикории, выполняют двойную функцию: выступают в качестве пребиотиков и являются натуральными загустителями текстуры [3].

Профиль жирных кислот: предпочтение отдается сырью с благоприятным соотношением полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) и низким содержанием насыщенных жиров. Орехи (грецкий, миндаль) и семена (льна, чиа) богаты ПНЖК, однако их высокое содержание может требовать мер по предотвращению окислительной порчи.

Содержание витаминов и минералов: сырье может быть естественно обогащено микронутриентами (например, железо в чечевице, кальций в миндале) или служить матрицей для их биодоступности после ферментации.

Наличие антинутриентов: Фитиновая кислота (в злаках и бобовых), ингибиторы трипсина (в бобовых) и дубильные вещества могут снижать биодоступность питательных веществ. Критерием выбора является либо исходно низкое содержание антинутриентов, либо способность сырья к их эффективной деградации в процессе технологической подготовки (замачивание, проращивание, ферментация).

2. Технологическая пригодность и функциональность

Сырье должно не только быть питательным, но и обеспечивать предсказуемые технологические свойства на всех этапах переработки.

Формирование текстуры: способность формировать стабильный гель или кремообразную консистенцию после ферментации – ключевой вызов [4].

Критерии включают:

- Способность к гелеобразованию. Наличие крахмалов (овес, рис) или белков (соя), которые при термической обработке и последующей ферментации образуют гелевую структуру.

- Содержание и тип углеводов. Наличие легко ферментируемых сахаров (фруктоза, глюкоза, сахароза) для быстрого подкисления или полисахаридов (крахмал, инулин), требующих предварительной обработки. Способность заквасочных культур продуцировать экзополисахариды (ЭПС) именно на данном субстрате является высокоценным свойством.

- Водопоглотительная способность. Влияет на вязкость и стабильность конечного продукта.

- Органолептические характеристики. Сырье должно либо иметь нейтральный вкус и аромат, либо его специфические оттенки должны успешно маскироваться или трансформироваться в процессе ферментации.

- Нейтральность вкуса. Кешью и овес считаются сырьем с относительно нейтральным вкусом, что облегчает создание продуктов, аналогичных молочным.

- Потенциал для модификации вкуса. Некоторые штаммы молочнокислых бактерий способны эффективно снижать «бобовый» или «зерновой» привкус, что делает такое сырье (нут, соя) технологически пригодным при правильном подборе заквасок.

- Стабильность при хранении. Высокое содержание полиненасыщенных жиров в орехах и семенах может приводить к окислительной порче. Сырье должно демонстрировать достаточную окислительную стабильность или допускать использование натуральных антиоксидантов [5].

3. Экономическая целесообразность

Коммерческий успех продукта напрямую зависит от стоимости сырья. Цена должна быть конкурентоспособной по сравнению с молочным сырьем. Соя и овес часто являются более экономичными вариантами по сравнению с миндалем или кешью. Сырье должно быть доступно в необходимых объемах и иметь стабильные поставки в течение года. Высокий выход готового продукта из единицы сырья повышает рентабельность. Например, эффективность экстракции белка или сухих веществ из сырья является ключевым параметром. Современный тренд – использование жмыхов (орехового, соевого, подсолнечного), полученных после отжима масла, или плодовой мякоти. Это значительно снижает себестоимость, повышает экологичность и обогащает продукт клетчаткой [6].

4. Функциональные и потребительские свойства

«Чистая» этикетка. Сырье должно минимизировать необходимость использования искусственных стабилизаторов, эмульгаторов и улучшителей вкуса. Нативное сырье с естественными загущающими свойствами (овес, богатый бета-глюканом) соответствует этому тренду.

Критически важный критерий аллергенность. Необходимо учитывать распространенные аллергены (соя, орехи, глютен) и предлагать альтернативы (например, рис, киноа, семена подсолнечника) для разных сегментов рынка.

Функциональный потенциал – способность сырья служить основой для обогащения пробиотиками, пребиотиками, витаминами и другими биоактивными соединениями, превращая продукт в функциональный пищевой продукт [7].

5. Устойчивость и нормативное регулирование

Экологический след: оценка водопотребления, выбросов парниковых газов и использования земель. Например, миндаль имеет высокий уровень водопотребления, тогда как овес и бобовые обычно имеют более низкий экологический след.

Соответствие стандартам: сырье и конечный продукт должны соответствовать законодательным нормам в области пищевой безопасности, маркировки (например, «веганский», «без глютена») и заявлений о пользе для здоровья (например, «содержит пробиотики»).

Микроорганизмы и заквасочные культуры

Успех ферментации растительных субстратов критически зависит от правильного выбора и применения микроорганизмов, которые не только инициируют процесс брожения, но и формируют органолептические, текстурные и функциональные свойства конечного продукта. В отличие от молочной промышленности, где заквасочные культуры оптимизированы десятилетиями, микрофлора для растительных матриц находится в стадии активного изучения и селекции [8].

1. Основные группы микроорганизмов

а) Молочнокислые бактерии (LAB - Lactic Acid Bacteria)

Это наиболее важная и широко используемая группа в промышленности безмолочной ферментации.

Гомоферментативные LAB: Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus и Streptococcus thermophilus – классический симбиоз для йогурта, успешно адаптируемый для овсяных, соевых и ореховых субстратов. Они обеспечивают быстрое подкисление за счет продукции преимущественно молочной кислоты (L- и D-изомеров), что необходимо для гелеобразования и подавления патогенной микрофлоры.

Гетероферментативные LAB: Lactobacillus plantarum, Lactobacillus casei, Leuconostoc mesenteroides. Их роль особенно важна. Помимо молочной кислоты, они продуцируют уксусную кислоту, CO_2, диацетил и другие ароматические соединения, что обогащает и усложняет вкусоароматический профиль продукта. Lb. plantarum демонстрирует исключительную пластичность и способность метаболизировать разнообразные сахара, содержащиеся в растениях, а также подавлять образование нежелательных привкусов [9].

Ключевая функция LAB в растительных продуктах – биосинтез экзополисахаридов (ЭПС). В молочных продуктах текстура во многом формируется казеином. В растительных аналогах эту роль берут на себя ЭПС – внеклеточные биополимеры (глюканы, фруктаны), производимые такими штаммами, как Streptococcus thermophilus и Lactobacillus. ЭПС действуют как натуральные загустители и стабилизаторы, придавая продукту кремообразную и однородную текстуру без необходимости добавления синтетических гидроколлоидов. Активно ведется скрининг штаммов, продуцирующих ЭПС именно на растительных субстратах [10].

б) Пробиотические штаммы

Включение пробиотиков, таких как Lactobacillus acidophilus, Lacticaseibacillus rhamnosus (ранее Lactobacillus rhamnosus) и Bifidobacterium animalis subsp. lactis, превращает продукт в функциональный.

Главная проблема – выживаемость. Растительные субстраты часто имеют неоптимальную буферную емкость, более высокое осмотическое давление, наличие природных антимикробных соединений (фенолы, бактериоцины) и дефицит легкодоступных

питательных веществ по сравнению с молоком. Это приводит к снижению жизнеспособности пробиотиков в процессе ферментации и хранения.

Стратегии решения:

- Микроинкапсуляция: заключение клеток пробиотиков в защитные матрицы (альгинат, крахмал) перед внесением в продукт.

- Использование пребиотиков: обогащение субстрата инулином, фруктоолигосахаридами (ФОС) или растительными волокнами, которые являются селективным субстратом для пробиотиков, стимулируя их рост и активность (создание синбиотиков) [11].

- Адаптация штаммов: последовательное культивирование пробиотиков на растительных средах для выведения более устойчивых клонов.

в) Дрожжи и грибы

Эта группа вносит существенный вклад в разнообразие безмолочных ферментированных продуктов.

Дрожжи: Saccharomyces cerevisiae, Kluyveromyces marxianus. Они продуцируют этанол, CO_2 и широкий спектр летучих эфиров, спиртов и карбонильных соединений, отвечающих за фруктовые, цветочные и сложные ароматы. Их совместное культивирование с LAB (сокультура) является основой для производства кефира и других шипучих ферментированных напитков.

Плесневые грибы: Geotrichum candidum и Penicillium используются при производстве растительных аналогов сыра с белой плесневой корочкой или с голубыми прожилками. Они обеспечивают протеолиз и липолиз, формируя характерный острый, пикантный вкус и мягкую, кремообразную текстуру [12].

2. Источники и селекция заквасочных культур

Адаптация молочных культур: традиционный подход, заключающийся в постепенной пассивации штаммов, используемых в молочной промышленности, на растительных средах. Однако этот метод не всегда успешен, так как метаболизм микроорганизмов специализирован на утилизацию лактозы.

Выделение аутохтонных штаммов из ферментированных растительных продуктов – это наиболее перспективное направление. Штаммы, выделенные из успешно ферментированных растительных продуктов (темпе, кимчи, комбучи, спонтанно ферментированных овощей), уже природно адаптированы к растительным матрицам. Они проявляют высокую ферментативную активность, устойчивость к стрессу и способность улучшать органолептические свойства. Например, штаммы Lactobacillus, выделенные из кимчи, демонстрируют высокую активность в ферментации капустного сока [13].

Синтетические микробные консорциумы: вместо использования одного или двух штаммов, разрабатываются сложные, предсказуемые сообщества микроорганизмов, где каждый штамм выполняет специфическую функцию (например, один продуцирует ЭПС, другой – ароматизаторы, третий – подкисление). Это позволяет тонко управлять процессом ферментации и свойствами продукта.

Технологии получения и их особенности

Производство безмолочных ферментированных продуктов следует общей схеме, однако каждый этап имеет критически важные особенности, обусловленные спецификой растительного сырья. Современные технологические протоколы направлены на преодоление ключевых проблем: низкой питательности для микроорганизмов, отсутствия естественной гелеобразующей матрицы и наличия нежелательных органолептических оттенков [14].

1. Общая схема технологического процесса и ее особенности

Подготовка сырья: этот этап является фундаментальным для обеспечения последующей эффективной ферментации.

Очистка, сортировка, замачивание. Замачивание злаковых и бобовых не только уменьшает содержание антинутриентов (фитиновой кислоты), но и инициирует проращивание, что повышает активность эндогенных ферментов (амилаз, протеаз), расщепляющих макромолекулы на более доступные для LAB компоненты.

Ферментативно-термическая обработка: для сырья с высоким содержанием крахмала (овес, рис) или нерастворимой клетчатки обязательным является этап осахаривания. Применение коммерческих ферментных препаратов (амилаз, целлюлаз, пектиназ) при оптимальных температурах (45–65 °C) позволяет гидролизовать полисахариды до моно- и дисахаридов (мальтоза, глюкоза), которые являются предпочтительным субстратом для LAB. Это значительно ускоряет последующее подкисление и предотвращает отделение сыворотки.

Гомогенизация и измельчение: создание стабильной, гомогенной эмульсии критически важно для текстуры. Используются высокоскоростные блендеры и гомогенизаторы высокого давления, которые разрушают клеточные структуры и равномерно распределяют жировые и белковые частицы. Степень измельчения напрямую влияет на вязкость и «гладкость» конечного продукта [15].

Термическая обработка: помимо пастеризации для уничтожения аутохтонной микрофлоры, тепловая обработка (85–95 °C) выполняет несколько ключевых функций:

1. Инактивация антипитательных факторов и природных ферментов.

2. Денатурация растительных белков (например, соевых), что способствует их лучшей усвояемости и частично улучшает способность к гелеобразованию.

3. Клейстеризация крахмала, что делает его более доступным для действия ферментов заквасочных культур [16].

Инокуляция и ферментация:

Температура инокуляции строго зависит от используемых штаммов: мезофильные культуры (например, Lc. lactis, ~30 °C) или термофильные (Str. thermophilus, Lb. delbrueckii subsp. bulgaricus, ~42 °C).

Дозировка закваски обычно составляет 1–3 % (об./об.) и требует оптимизации, так как избыток может привести к излишней кислотности, а недостаток – к слабой текстуре и риску контаминации.

Время ферментации (4–16 ч) определяется целевыми значениями pH (обычно 4,4–4,6) и накоплением органолептически активных соединений. Мониторинг кинетики подкисления является стандартной практикой для обеспечения воспроизводимости.

Охлаждение и хранение: резкое охлаждение до 4 °C останавливает деятельность микроорганизмов, стабилизирует текстуру и предотвращает чрезмерное подкисление. Низкая температура хранения критически важна для поддержания жизнеспособности пробиотических культур на протяжении срока годности продукта [17].

2. Ключевые технологические проблемы и инновационные решения

Проблема 1: Несбалансированный состав питательных веществ.

Решение: обогащение субстрата. Поскольку растительные субстраты часто бедны простыми сахарами и некоторыми аминокислотами, применяется их целенаправленное обогащение:

Углеводы: добавление глюкозы, сахарозы или солодового экстракта для гарантии быстрого старта брожения.

Пребиотики: внесение инулина, фруктоолигосахаридов (ФОС) или галактоолигосахаридов (ГОС) не только стимулирует рост пробиотиков, создавая синбиотический продукт, но и способствует улучшению текстуры за счет увеличения вязкости [18].

Буферные соли: иногда добавляются фосфаты или цитраты для стабилизации pH и предотвращения быстрой гибели культур из-за резкого подкисления.

Проблема 2: Отсутствие естественной гелевой структуры.

Решение: Многоуровневый подход к формированию текстуры.

Использование загустителей и стабилизаторов: нативные крахмалы, пектин (особенно из яблок или цитрусовых), камеди (гуаровая, ксантановая) широко применяются для создания и стабилизации геля.

Стимуляция биосинтеза экзополисахаридов (ЭПС): наиболее перспективное направление. Использование штаммов-продуцентов ЭПС (например, Str. thermophilus или

Lactobacillus) позволяет создать «внутреннюю» стабилизирующую сетку, обеспечивающую кремообразную текстуру, аналогичную молочной. Состав питательной среды напрямую влияет на количество и тип продуцируемых ЭПС [19].

Проблема 3: Нежелательные вкусоароматические профили.

Решение: Биотрансформация и маскировка.

Биоконверсия летучих соединений: подбор специфических штаммов LAB и дрожжей, которые метаболизируют соединения, ответственные за «бобовый» (гексаналь), «травянистый» или «землистый» привкусы. Например, Lactobacillus plantarum способен восстанавливать гексаналь до гексанола, который имеет менее выраженный запах.

Генерация желательных ароматов: использование гетероферментативных LAB и дрожжей, продуцирующих диацетил (сливочный аромат), ацетальдегид (свежий, йогуртовый) и различные сложные эфиры (фруктовые ноты).

Сокультивирование: совместное использование LAB и дрожжей (например, для овсяных кефиров) позволяет достичь сложного и сбалансированного вкусоароматического букета, недостижимого с монокультурами.

Перспективные технологии: набирают оборот исследования в области твердофазной ферментации для производства аналогов сыра, использования ультразвука для улучшения экстракции питательных веществ и высокого гидростатического давления для холодной пастеризации, которая сохраняет термочувствительные нутриенты и пробиотики.

Классификация и характеристика готовых продуктов

Готовые безмолочные ферментированные продукты представляют собой гетерогенную группу, которую можно систематизировать по нескольким критериям, наиболее важным из которых является принцип создания продукта: являются ли они попыткой воспроизвести традиционные молочные аналоги или представляют собой самостоятельные традиционные продукты. Их характеристика включает комплексный анализ питательной ценности, органолептических свойств и функционального потенциала.

1. Аналоги молочных ферментированных продуктов

Данная категория разрабатывается с целью имитации органолептических и функциональных свойств своих молочных прототипов (йогурта, кефира, сметаны, сыра).

Растительные йогурты:

Сырьевая база – наибольшую долю рынка занимают продукты на основе овса, кокоса, сои и миндаля.

Технология и характеристики: основной «вызов» – достижение плотной, однородной и кремообразной текстуры без расслоения. Овсяные йогурты, обогащенные бета-глюканом, демонстрируют хорошие текстурные свойства и являются популярными благодаря нейтральному вкусу. Кокосовые йогурты обладают естественной жирностью и нежностью, но часто характеризуются низким содержанием белка. Соевые йогурты лидируют по содержанию белка, но требуют решения проблемы «бобового» привкуса за счет подбора заквасочных культур [20].

Питательность: как правило, уступают молочным йогуртам по содержанию белка (исключение – соевые) и кальция (если не обогащены), но могут превосходить их по содержанию пищевых волокон и иметь более благоприятный профиль жирных кислот.

Растительные кефиры и ферментированные напитки:

Особенности: для их производства используются симбиотические культуры кефирных грибков (LAB + дрожжи). Это придает продукту характерную шипучесть, кисловатый вкус и легкую спиртовую ноту.

Сырье: наиболее успешны напитки на основе кокосовой воды и соков сладких фруктов, которые естественно богаты ферментируемыми сахарами. Ферментация овсяного или орехового «молока» с кефирными культурами требует оптимизации рецептуры для обеспечения активности дрожжей.

Функциональность: считаются перспективными носителями пробиотиков и метаболитов дрожжей, обладающих потенциальной биологической активностью.

Растительные сыры:

Классификация: аналоги мягких сыров (на основе кешью, миндаля), полутвердых и твердых сыров (на основе сои, горохового белка), а также сыров с благородной плесенью.

Технология: наиболее сложная категория. Включает этапы ферментации, коагуляции белков (с использованием реннина или ферментов), созревания. Для формирования сырной текстуры и плавления критически важны жиры, модифицированные крахмалы и белки (например, из гороха или картофеля). Ферментация с участием плесневых культур (Penicillium camemberti, Penicillium roqueforti) позволяет создавать продукты с комплексным вкусоароматическим профилем.

Питательность: часто содержат меньше белка и кальция, но больше насыщенных жиров (за счет кокосового масла, используемого для текстуры) по сравнению с молочными сырами. Активно ведутся разработки по улучшению питательного профиля.

2. Традиционные ферментированные продукты растительного происхождения

Эта категория включает продукты, исторически сложившиеся в различных кулинарных традициях и не являющиеся прямыми аналогами молочных.

Ферментированные продукты на основе сои и бобовых:

1. Темпе: индонезийский продукт, полученный путем ферментации вареных соевых бобов грибком Rhizopus oligosporus. Мицелий гриба скрепляет бобы в плотный пирог. Ферментация значительно повышает усвояемость белка, снижает уровень олигосахаридов и антинутриентов, обогащает продукт витаминами группы В. Обладает ореховым, грибным вкусом и плотной, слегка жевательной текстурой.

2. Мисо и соевый соус: продукты ферментации соевых бобов и злаков (рис, ячмень) с помощью грибка Aspergillus oryzae в смеси с LAB и дрожжами. Это продукты с высоким содержанием соли и глутамата, обладающие интенсивным умами-вкусом.

Ферментированные овощи и фрукты:

1. Кимчи и Квашеная капуста: яркие примеры спонтанной ферментации овощей аутохтонной микрофлорой. Сложное сообщество LAB (Leuconostoc mesenteroides, Lactobacillus plantarum) производит молочную и уксусную кислоты, CO_2 и различные ароматические соединения, создавая острый, кислый, шипучий профиль. Эти продукты ценятся за содержание пробиотиков, витаминов (С, К) и биоактивных соединений (изотиоцианатов в кимчи) [21].

Ферментированные напитки:

1. Комбуча: симбиотическая культура бактерий и дрожжей ферментирует подслащенный чай. В результате образуется газированный, кисло-сладкий напиток, содержащий органические кислоты (уксусную, глюкуроновую), следы этанола и полифенолы. Ему приписываются антиоксидантные свойства, однако доказательная база требует дальнейших исследований.

Сравнительный анализ и потребительские свойства

Проведенный анализ позволяет выявить ключевые различия между безмолочными ферментированными продуктами и их молочными аналогами:

- Питательная ценность: растительные аналоги часто требуют обогащения кальцием, витамином В12 и витамином D для достижения питательной эквивалентности. Их белковая ценность варьируется в зависимости от сырья, а профиль жирных кислот, как правило, более полезен для сердца (за исключением продуктов с кокосовым маслом).

- Органолептические свойства: достижение идентичности с молочными продуктами остается главным вызовом. «Чистый» вкус без следов сырья (бобового, зернового) и идеальная текстура – основные цели исследований.

- Функциональный потенциал: обе категории могут служить источниками пробиотиков. Однако выживаемость пробиотиков в растительных матрицах часто ниже, что стимулирует разработку специализированных штаммов и защитных технологий (микроинкапсуляция). Традиционные продукты, такие как темпе и кимчи, обладают уникальным набором биоактивных метаболитов, образующихся в результате глубокой ферментации.

Проблемы и перспективы развития производства безмолочных ферментированных продуктов

Несмотря на растущий коммерческий и научный интерес, сектор безмолочных ферментированных продуктов сталкивается с рядом технологических, экономических и нормативных вызовов. Одновременно с этим, преодоление этих барьеров открывает значительные перспективы для создания новых, конкурентоспособных и функциональных пищевых продуктов.

Основные проблемы:

1. Текстура: сложность достижения кремообразной, плотной консистенции, аналогичной молочным продуктам

Одной из наиболее значимых технологических проблем является воспроизведение реологических свойств, характерных для традиционных йогуртов и сыров. Молочные белки (казеины и сывороточные белки) формируют уникальную белково-липидную матрицу в процессе ферментации и коагуляции, которая обеспечивает плотную, гелеобразную и кремообразную текстуру [22]. Растительные же системы, как правило, не обладают способностью к самопроизвольному гелеобразованию. Белки растительного происхождения (например, из сои, орехов или злаков) имеют отличные от молочных структурные и функциональные характеристики (гидрофильность, изоэлектрическая точка, молекулярная масса), что приводит к формированию менее прочной, часто песчаной, зернистой или расслаивающейся структуры [23]. Для коррекции консистенции производители вынуждены широко использовать загустители и стабилизаторы, такие как крахмалы, камеди (ксантановая, гуаровая) и пектины, что может негативно восприниматься частью потребителей.

2. «Чистая» этикетка: необходимость минимизировать использование стабилизаторов и улучшителей

Тренд на «чистую» этикетку (clean label) находится в прямом противоречии с необходимостью использования многочисленных добавок для улучшения текстуры и органолептических свойств растительных продуктов. Потребители все чаще отдают предпочтение продуктам с коротким и понятным списком ингредиентов, имеющим натуральное происхождение [24]. Задача современной пищевой технологии заключается в разработке таких методов обработки сырья (например, ферментативный гидролиз, гомогенизация высокого давления, ультразвуковая обработка), которые позволили бы модифицировать нативные растительные белки и полисахариды для придания им необходимых функциональных свойств без применения синтетических или сложноочищенных добавок.

3. Вкус: достижение сбалансированного и привычного для потребителя вкуса

Многие виды растительного сырья характеризуются наличием специфических привкусов, которые могут быть охарактеризованы как «бобовые», «травянистые», «землистые» или «вяжущие». Эти органолептические недостатки связаны с присутствием летучих соединений (альдегидов, кетонов), фенольных соединений и сапонинов [25]. В процессе ферментации микроорганизмы могут как улучшать, так и ухудшать вкусоароматический профиль. Например, некоторые штаммы продуцируют диацетил, придающий маслянистые ноты, в то время как другие могут усиливать горечь за счет протеолиза. Создание стабильного, сбалансированного и приятного вкуса, который мог бы стать альтернативой молочному, остается сложной многопараметрической задачей, требующей оптимизации как сырья, так и заквасочных культур.

4. Стоимость: высокая цена сырья и производства по сравнению с молочными продуктами

Себестоимость производства безмолочных ферментированных продуктов, как правило, выше, чем у их молочных аналогов. Это обусловлено несколькими факторами: высокой стоимостью специализированного растительного сырья (орехи, семена), энергоемкостью процессов его подготовки (замачивание, измельчение, гомогенизация, тепловая обработка), а также необходимостью включения в рецептуру дорогостоящих функциональных добавок.

Кроме того, масштабы производства и оптимизация технологических линий для молочной отрасли исторически больше, что обеспечивает экономию на масштабе [26].

5. Нормативное регулирование: отсутствие единых стандартов на такие продукты

В настоящее время во многих странах отсутствует четкая нормативная база, регулирующая наименование и состав безмолочных ферментированных продуктов. Это приводит к правовой неопределенности и конфликтам, особенно при использовании терминов, ассоциированных с молочной продукцией (например, «йогурт», «сыр»). Регуляторные органы, такие как Европейский парламент, уже ввели ограничения на использование молочной терминологии для продуктов растительного происхождения [27]. В связи с этим актуальной задачей является разработка отдельной системы стандартов и классификации, которая бы четко определяла требования к качеству, безопасности и маркировке данной категории товаров.

Перспективные направления исследований:

Селекция специализированных штаммов микроорганизмов, адаптированных к растительным субстратам

Ключевым направлением является разработка новых заквасочных культур, селективно адаптированных к метаболизму растительных субстратов. Традиционные молочные штаммы (Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus, Streptococcus thermophilus) могут демонстрировать низкую активность и выживаемость в растительных средах из-за дефицита определенных питательных веществ, наличия ингибиторов и иного профиля углеводов [28]. Перспективными представляются:

Скрининг аутохтонной микробиоты растительных продуктов.

Селекция штаммов с высокой протеолитической и β-глюкозидазной активностью для улучшения текстуры и аромата.

Разработка симбиотических заквасок, где разные штаммы синергично выполняют задачи кислотообразования, синтеза экзополисахаридов (для естественного загущения) и ароматообразования.

Использование побочных продуктов пищевой промышленности. Одним из путей снижения себестоимости и повышения устойчивости производства является применение вторичных ресурсов агропромышленного комплекса. Сырьевая база может быть расширена за счет:

Жмыхов и шротов (подсолнечный, рапсовый, льняной, кунжутный), остающихся после отжима растительных масел. Эти материалы богаты белком и клетчаткой, но требуют разработки эффективных методов их экстракции и модификации.

Выжимок фруктовых и овощных, богатых пищевыми волокнами и биоактивными соединениями.

Использование такого сырья не только решает экономические и экологические задачи, но и позволяет обогатить конечный продукт пищевыми волокнами и фитонутриентами.

Синбиотические продукты: комбинация пробиотиков и пребиотиков растительного происхождения. Растительные матрицы являются идеальной основой для создания синбиотиков – продуктов, сочетающих пробиотики (полезные микроорганизмы) и пребиотики (пищевые волокна, стимулирующие их рост). Многие растительные субстраты (злаки, корнеплоды, бобовые) естественным образом богаты пребиотиками, такими как инулин, фруктоолигосахариды (ФОС) и резистентный крахмал [29]. Направленные исследования в этой области включают:

Подбор комбинаций «штамм-субстрат», обеспечивающих максимальную выживаемость и метаболическую активность пробиотиков.

Изучение влияния таких синбиотиков на микробиоту кишечника человека in vivo.

Разработка продуктов с направленным модулирующим эффектом на здоровье.

Исследование альтернативных методов ферментации открывает новые возможности для управления свойствами продукта. Особый интерес представляет твердофазная (твердотельная)

ферментация, традиционно используемая в странах Азии для производства продуктов типа темпе и мисо [30]. Ее потенциальные преимущества для безмолочных продуктов включают:

Высокую концентрацию питательных веществ и метаболитов.

Формирование уникальных текстур и вкусовых профилей.

Возможность ферментирования сырья с высокой начальной влажностью (например, структурированных гелей или паст) для создания аналогов сыров.

Кроме того, перспективными являются технологии с использованием иммобилизованных клеток на носителях, непрерывной ферментации в биореакторах, а также применение импульсных электрических полей для предобработки субстрата.

Заключение

Проведенный анализ позволяет констатировать, что сегмент безмолочных ферментированных продуктов представляет собой динамично развивающуюся и высокоперспективную область пищевой промышленности. Рост рынка стимулируется устойчивыми глобальными трендами: увеличением распространенности непереносимости лактозы и аллергии на молочный белок, популяризацией веганства и вегетарианства, а также растущим потребительским спросом на функциональные продукты питания.

Краткое резюме основных положений обзора свидетельствует о значительном прогрессе в данной области:

Сырьевая база характеризуется значительным разнообразием, включая зерновые (овес, рис), бобовые (соя, нут), орехи (кешью, миндаль) и семена, каждое из которых обладает уникальным питательным профилем и технологическими особенностями, требующими специфических подходов к подготовке и ферментации.

Микробиологические аспекты являются ключевыми для успеха продукции. Активно ведется селекция и адаптация заквасочных культур, в частности молочнокислых бактерий и дрожжей, способных не только к активному подкислению, но и к биосинтезу экзополисахаридов для улучшения текстуры и ароматических соединений для формирования сбалансированного вкусоароматического профиля.

Технологии производства ориентированы на решение специфических проблем растительных субстратов, таких как несбалансированный состав питательных веществ и отсутствие естественной гелевой структуры. Это достигается за счет обогащения субстратов, применения ферментативной обработки, использования стабилизаторов и стимуляции синтеза бактериальных экзополисахаридов.

Готовая продукция демонстрирует растущее разнообразие, от аналогов молочных продуктов (йогуртов, кефиров, сыров) до традиционных ферментированных продуктов (темпе, кимчи, комбуча), каждый со своими характеристиками и потребительской ценностью.

Несмотря на значительные достижения, область продолжает сталкиваться с рядом вызовов, включая сложности в достижении идеальной текстуры и чистого вкуса, необходимость минимизации использования пищевых добавок («чистая этикетка»), высокую стоимость производства и несовершенство нормативной базы.

Таким образом, подтверждается большой потенциал безмолочных ферментированных продуктов для дальнейшего расширения ассортимента и улучшения потребительских свойств. Однако данная область находится в стадии активного развития и требует дальнейших углубленных междисциплинарных исследований на стыке пищевых технологий (разработка новых методов обработки и текстурирования), микробиологии (селекция специализированных штаммов, изучение микробных консорциумов) и нутрициологии (оценка биодоступности питательных веществ, доказательство функциональной эффективности и здоровья человека). Только комплексный подход позволит в полной мере реализовать потенциал этого быстрорастущего сегмента и предложить потребителю высококачественные, вкусные и полезные продукты.

Список источников

1. Marco M. L. et al. ISAPP consensus statement on fermented foods // Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. 2021. Vol. 18(3). P. 196–208.

2. Vilcacundo R. et al. Digestibility of quinoa protein concentrate // Journal of Food Science and Technology. 2018. Vol. 55(6). P. 2093–2100.

3. Bourdichon F. et al. Microbial food cultures: A scientific status summary // International Journal of Food Microbiology. 2021. Vol. 355. P. 109336.

4. Märtensson O. et al. Fermented oat-based products // Journal of Applied Microbiology. 2020. Vol. 129(5). P. 1232–1243.

5. Gómez-López I. et al. Valorization of agri-food waste through fermentation for plant-based food development // Trends in Food Science & Technology. 2022. Vol. 120. P. 1–15.

6. Xiang H. et al. Fermentation platform for organic acids // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2019. Vol. 67(19). P. 5472–5478.

7. Patra J. K. et al. Kimchi and fermented foods of Korea // Frontiers in Microbiology. 2020. Vol. 11. P. 1491.

8. Tu C. et al. Plant-based milk kefir // Food Bioscience. 2022. Vol. 49. P. 101856.

9. Li C. et al. Reduction of beany flavor in soymilk by Lactobacillus plantarum B1-6 // Food Research International. 2022. Vol. 151. P. 110865.

10. Böcker S., Berger R. G. The rise of plant-based cheese alternatives: Leveraging fermentation to create sensory and functional duplicates // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 118. P. 207-219.

11. Petrova P., Petrov K. Microbial consortia for fermentation of plant-based milk alternatives // LWT Food Science and Technology. 2020. Vol. 131. P. 109723.

12. Göransson M. et al. The nutritional quality of plant-based drinks and fermented products // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2022. Vol. 21(4). P. 3517–3539.

13. Zannini E. et al. Functional properties of lactic acid bacteria // Current Opinion in Food Science. 2021. Vol. 37. P. 1–9.

14. Mäkinen O. E. et al. Foods for Special Dietary Needs: Non-dairy plant-based milk substitutes // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2016. Vol. 56(3). P. 339–349.

15. Curiel J. A. et al. Lactic acid fermentation as a tool to enhance antioxidant properties of Myrtus communis berries // Food Microbiology. 2020. Vol. 92. P. 103573.

16. Villarreal-Soto S. A. et al. Metabolic dynamics of kombucha fermentation // Food Microbiology. 2021. Vol. 94. P. 103669.

17. Leroy F., De Vuyst L. Fermented foods and beverages: Innovation and real-world applications // Current Opinion in Biotechnology. 2022. Vol. 78. P. 102803.

18. Sanjukta S. et al. Fermentation of soybeans using Bacillus subtilis // LWT. 2021. Vol. 147. P. 111669.

19. Huang L. et al. Survival of probiotic bacteria in plant-based fermented foods: Challenges and opportunities // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 114. P. 1–13.

20. Samtiya M. et al. Plant food anti-nutritional factors // Food Production, Processing and Nutrition. 2020. Vol. 2. P. 6.

21. Macedo M. J. F. et al. Coconut water as a natural substrate for probiotic beverages // Food Bioscience. 2021. Vol. 41. P. 101010.

22. Jeske S., Zannini E., Arendt E. K. Past, present and future: The strength of plant-based dairy substitutes based on gluten-free raw materials // Food Research International. 2018. Vol. 110. P. 42–51.

23. McClements D. J., Newman E., McClements I. F. Plant-based milks: a review // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2019. Vol. 18(6). P. 2047–2067.

24. Aschemann-Witzel J., Varela P., Peschel A. O. Consumers' categorization of food ingredients: Do consumers perceive them as 'clean label' producers expect? An exploration with projective mapping // Food Quality and Preference. 2019. Vol. 71. P. 117–128.

25. Roland W. S. U. et al. Flavor aspects of pulse ingredients // Cereal Chemistry Journal. 2017. Vol. 94(1). P. 58–65.

26. Haas R., Schnepps A., Pichler A., Meixner O. Cow Milk versus Plant-Based Milk Substitutes: A Comparison of Product Image and Motivational Structure of Consumption // Sustainability. 2019. Vol. 11(18). P. 5046.

27. Regulation (EU) No 1308/2013 of the European Parliament and of the Council.

28. Tangyu M., Müller J., Bolten C. J., Wittmann C. Fermentation of plant-based milk alternatives // Applied Microbiology and Biotechnology. 2019. Vol. 103(23–24). P. 9263–9275.

29. Panghal A. et al. Plant-based fermented foods: perspective and future // Trends in Food Science & Technology. 2023. Vol. 135. P. 1–15.

30. Rizo G. L. et al. Solid-state fermentation and antioxidant properties of tamarind by-products // Antioxidants. 2020. Vol. 9(10). P. 990.

Сведения об авторах

Н. А. Киселева — кандидат технических наук, доцент высшей биотехнологической школы.

К. А. Поваляева — студент высшей биотехнологической школы.

А. Е. Рязанова — студент высшей биотехнологической школы.

Information about the authors

N. A. Kiseleva — PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Higher School of Biotechnology.

K. A. Povalyaeva — Student of the Higher School of Biotechnology.

A. E. Ryazanova — Student of the Higher School of Biotechnology.

Статья поступила в редакцию 03.06.2026; одобрена после рецензирования 08.09.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 03.06.2026; approved after reviewing 08.09.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Киселева Н. А., Поваляева К. А., Рязанова А. Е., 2026.

«Получение безмолочных ферментированных пищевых продуктов из растительного сырья: современное состояние, технологии и перспективы» [Киселева Н. А., Поваляева К. А., Рязанова А. Е.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 29–37.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 664.2.074:621.317 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-02 EDN: CIGCNV

Метрологическое обеспечение процесса хранения и перевозки (транспортирования) мороженой рыбы

Анна Лобсановна Блинова
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия
blinova.al@dgtru.ru

Аннотация. Анализируются вопросы метрологического обеспечения процессов хранения и перевозки (транспортирования) мороженой рыбы как критически значимых элементов сохранения качества и безопасности продукта. На основе рассмотренных нормативных документов выбраны параметры хранения мороженой рыбы и представлена система метрологического обеспечения процессов, включающая выбор средств измерений температурно-влажностного режима с учетом минимизации метрологических погрешностей, определение точек размещения средств измерений в морозильных камерах, а также описание процедур подтверждения соответствия средств измерений. Результаты работы могут быть применены при построении системы метрологического обеспечения исследуемых процессов, а также разработке внутренних документов предприятий (СТО, инструкций, метрологических рекомендаций) по хранению и перевозке мороженой рыбы.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, мороженая рыба, хранение, транспортирование, средства измерений, погрешности измерений, качество, безопасность

Для цитирования: Блинова А. Л. Метрологическое обеспечение процесса хранения и перевозки (транспортирования) мороженой рыбы // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 29–37.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 29–37.

FOOD SYSTEMS

Original article

Metrological support for the storage and transportation process (transportation) of frozen fish

Anna L. Blinova
Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
blinova.al@dgtru.ru

Abstract. The article analyzes the issues of metrological support for the storage and transportation (shipping) of frozen fish as critical elements for maintaining the quality and safety of the product. Based on the reviewed regulatory documents, the parameters for storing frozen fish have been selected, and a system of metrological support for the processes has been presented, including the selection of temperature and humidity measurement tools to minimize metrological errors, the determination of the locations of the measurement tools in the freezing chambers, and the description of the procedures for confirming the compliance of the measurement tools.

© Блинова А. Л., 2026

The results of the work can be applied in the construction of a metrological support system for the processes under study, as well as in the development of internal documents for enterprises (standards, instructions, and metrological recommendations) on the storage and transportation of frozen fish.

Keywords: metrological support, frozen fish, storage, transportation, measuring instruments, measurement errors, quality, safety

For citation: Blinova A. L. Metrological support for the storage and transportation process (transportation) of frozen fish. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):29–37. (In Russ.).

Введение

Одним из способов сохранения качества и безопасности рыбы является замораживание, которое представляет собой «технологический процесс понижения температуры рыбы ниже криоскопической, сопровождаемый льдообразованием, до достижения температуры в теле рыбы или толще блока не выше минус 18 °С» [1]. Мороженая рыба имеет высокую чувствительность к нарушениям условий ее хранения и транспортирования, особенно к несоблюдению температурно-влажностного режима, установленного в нормативных документах по техническому регулированию и метрологии. Отклонения от установленных параметров хранения приводят к активизации микробиологических и физико-химических процессов, потере потребительских качеств продукции и экономическим потерям. На современных рынках в условиях глобального товарооборота повышаются требования к качеству и безопасности пищевых продуктов, что требует своевременного принятия управленческих решений при любых отклонениях, получаемых, в том числе, на основе измерительной информации. Измерительная информация может быть полной (достаточной для принятия решений), точной (приближенной к действительному значению), достоверной (однозначно интерпретированной), своевременной (поступает в момент, необходимый для принятия решения), актуальной (соответствует состоянию на момент принятия решения) только при соответствующем метрологическом обеспечении технологических процессов, в том числе этапов хранения и транспортирования мороженой рыбы.

Согласно «Концепции создания и развития метрологического обеспечения физико-химических измерений, выполняемых в области пищевой промышленности», метрологическое обеспечение представляет собой «совокупность элементов и процессов, направленных на получение измерительной информации, обладающей свойствами, необходимыми и достаточными для выработки решений и достижения оптимального качества» [2].

Состояние метрологического обеспечения предприятий рыбной отрасли зависит от уровня:

- нормативной базы (метрологических стандартов, методик измерений и испытаний, методик поверки и калибровки технических приборов);
- технической базы (лабораторного оборудования, состояния средств измерений (СИ), стандартных образцов, эталонов для калибровки СИ);
- системы организации работ по метрологическому обеспечению технологических процессов (планирование, выбор, техническое обслуживание и подтверждение соответствия СИ, квалификация персонала).

Практика применения положений нормативных документов свидетельствует о недостаточной унификации метрологических процедур для обеспечения контроля температурно-влажностного режима хранения и транспортирования мороженой рыбы.

Техническая составляющая метрологического обеспечения испытывает недостаток информации о мировых тенденциях развития современных методов и средств, предназначенных для метрологической прослеживаемости, а также методов и средств информатизации измерительных процедур. Несовершенство технических средств контроля рыбной продукции приводит к тому, что на российском рынке может иметь место продукция с пониженными показателями качества, а также фальсифицированная.

Система метрологического обеспечения на предприятии должна включать план работ по приобретению средств контроля и испытаний, периодическое подтверждение их соответствия, приобретение современных холодильных камер, метрологической экспертизе технологической документации, подготовке и повышению компетенций персонала, способного работать с высокотехнологичными средствами измерений и современным лабораторным оборудованием.

Цель работы: разработать дополнительные метрологические процедуры, применение которых повысит достоверность измерений, направленных на обеспечение режимов хранения и перевозки мороженой рыбы для сохранения ее качества и безопасности.

Поставленные задачи:

1. Провести анализ нормативных требований, устанавливающих условия хранения и перевозки мороженой рыбы, и представить его в виде схемы холодовой цепи.

2. Обосновать выбор и размещение СИ для контроля хранения и перевозки мороженой рыбы, минимизировать действие источников метрологических погрешностей СИ.

3. Уточнить порядок применения форм подтверждения соответствия используемых СИ.

4. Дать практические рекомендации по оптимизации метрологического обеспечения процессов хранения и перевозки мороженой рыбы.

Объектом исследования являются процессы хранения и перевозки мороженой рыбы, к которой установлен режим хранения не выше минус 18 ºС.

Предметом исследования является метрологическое обеспечение процессов хранения и перевозки мороженой рыбы в промышленных и складских условиях (контроль влажности и температуры, выбор необходимых средств измерений с учетом источников метрологических погрешностей и др.).

Методы исследования: анализ нормативных документов, содержащих требования к хранению и транспортированию мороженой рыбы, системный анализ при построении схемы «холодовой цепи», метрологический анализ при выборе средств измерений, аналитический анализ при разработке рекомендаций по оптимизации режимов хранения и перевозки.

Результаты исследования

Первым этапом метрологического обеспечения сохранения качества и безопасности мороженой рыбы является определение параметров процессов ее хранения и перевозки. Для этого проведен анализ требований нормативных документов, содержащих количественные значения измеряемых параметров и условий хранения и перевозки мороженой рыбы, и определены значения этих параметров согласно разработанной схеме холодовой цепи, представленной в табл. 1.

Таблица 1

Схема холодовой цепи на этапах хранения и транспортирования мороженой рыбы

Table 1

Cold chain diagram at the stages of storage and transportation of frozen fish

Этап холодовой цепи	Режим температуры и условий хранения	Метрологические средства контроля	Нормативные требования
1. Добыча и заморозка на судне	Температура не выше минус 18 ºС, упаковка (глазурь, вакуум), маркировка партий	Температурные датчики на линиях заморозки, термометры для контроля температуры внутри рыбы	Требования ТР ЕАЭС 040 раздел VI п. 31, ГОСТ 35273 п. 4.4.3 [3, 4]
2. Хранение на рефрижераторных судах	Температура хранения в трюмах не выше минус 18 ºС, перед погрузкой выгрузкой не выше минус	Встроенные датчики температуры воздуха,	Требования ТР ЕАЭС 040, Инструкция п.п. 2.4.2.2 [5]

и береговых холодильниках	20 ºС, минимизация колебаний (±1°), разделение партий по дате вылова и заморозки, размещение партий по грузовым картам	термометры, ежесменный контроль показаний приборов	
3. Перевозка мороженой рыбы	Перевозка в рефрежираторных судах, рефконтейнерах при температуре не выше минус 18 ºС, в рефрижераторных вагонах и автомобилях не выше минус 15 ºС	Датчики температуры с регистрацией времени, бортовые системы взвешивания для контроля веса, составление актов при выявлении нарушений	Требования ТР ЕАЭС 040, РД 31.11.25.28 п. 6.22 [6]
4. Хранение на складе-рефрижераторе	Отдельные зоны хранения с температурой не выше минус 18 ºС и влажностью (90–95) %	Централизованная система контроля температуры и влажности (SCALA-датчики), гигрографы, журналы регистрации режима работы рефрижераторной установки и температуры хранения	Требования ТР ЕАЭС 040. Хранение грузов в рефконтейнере [7]
5. Хранение на оптовых складах/в розничной сети	Склады класса А в морозильных камерах и витринах, минимизация их открывания с температурой не выше минус 18 ºС, влажностью (90–94) %; в холодильнике для торговых залов температура хранения от 0 до 8 ºС не более 3 часов, в низкотемпературном холодильнике 8 ºС не более 3 суток	Термометры, гигрометры, встроенные датчики, ежедневный замер и регистрация в журнале	Требования ТР ЕАЭС 040. Инструкция по хранению... п. 3.2, п. 3.5 [8]
6. Хранение у конечного потребителя (изготовитель, предприятие общепита и др.)	Входной контроль температуры рыбы и сопроводительных документов	Контактные термометры/термопары для замера температуры внутри рыбы	Требования ТР ЕАЭС 040, ТР ТС 021 [9] к обеспечению качества и безопасности при хранении

Из содержания таблицы следует, что для хранения и перевозки мороженой рыбы по всей холодовой цепи в нормативных документах установлены идентичные условия: температурный режим не выше минус 18 ºС, оптимальная влажность (90–94) %. Допускается кратковременное хранение при температуре минус 10 ºС, но при условии дальнейшей оценки длительности нахождения рыбы при такой температуре и сопоставлении с допустимыми сроками для конкретного вида рыбы в соответствии с нормативным документом. При превышении допустимого режима хранения необходимо оформить данное несоответствие и принять решение о дополнительной проверке качества рыбы, ограничении поставки или иные действия согласно внутренним процедурам системы ХАССП.

При контроле показаний температуры и влажности в местах хранения мороженой рыбы необходимо учитывать источники метрологических погрешностей измерений, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Основные источники метрологических погрешностей при контроле параметров хранения мороженой рыбы

Table 2

Main sources of metrological errors in the control of storage parameters of frozen fish

Источник погрешности	Краткое описание
1. Инструментальная погрешность термометров/гигрометров	Максимально допустимая погрешность: для термометров не должна превышать ±0,5 °С, для гигрометров ±3 %; дрейф калибровки (изменение поверочных характеристик датчиков со временем требует метрологической аттестации на постоянной основе); нелинейность шкалы (критична в диапазоне низких температур (в том числе минус 18 ºС)
2. Дополнительная погрешность, вызванная условиями среды (конденсат на датчиках или их обледенение)	При влажности (95–98) ±1 % появляющийся конденсат изменяет теплопроводность; при температурах ниже минус 18 ºС лед на датчиках занижает показания из-за дополнительной теплоизоляции
3. Методическая погрешность	Термическая инерция датчиков дает запоздалые показания, что критично при резких изменениях режима; дискретность измерений (редкий контроль) приводит к пропуску кратковременных отклонений параметров режима
4. Субъективная погрешность (человеческий фактор)	Погрешность установки датчиков (разное температурное поле в зонах холодильных камер (верх-низ, у стены - в центре, у вентиляционных выходах); несоблюдение глубины погружения датчика при контроле температуры внутри рыбы, ошибки при считывании показаний приборов, неправильная интерпретация данных при неравномерном распределении температуры, несоблюдение межповерочных интервалов СИ, непроведение калибровки и верификации

Из содержания таблицы следует, что составляющими источников метрологической погрешности являются: инструментальная, дополнительная, методическая и субъективная.

При хранении мороженой рыбы измерению и контролю подлежат температура, влажность, время, а также показатели качества и безопасности, которые определяются при испытании образцов рыбы при длительном сроке ее хранения.

Важным фактором получения достоверной измерительной информации является правильный выбор СИ, своевременная их поверка, периодическая калибровка и верификация.

При выборе СИ следует учитывать их метрологические характеристики, место размещения (непосредственно на самой продукции, вблизи или на расстоянии от нее, использование переносных СИ), условия среды в холодильных камерах (воздействие на приборы как самой продукции, так и влаги, агрессивных моющих и дезинфицирующих средств). Целесообразно устанавливать приборы с высокой степенью защиты от влаги и агрессивных средств, а также защищенные от попадания пыли. Чем более надежны СИ в процессе эксплуатации, тем меньше вероятности, что их метрологические характеристики выйдут за установленные границы и потребуется дополнительная поверка (калибровка). Следует помнить, что СИ требуют технического обслуживания и ремонта, поэтому необходимо обеспечить к ним свободный доступ. Если применяются импортные измерительные приборы, то до закупки необходимо убедиться в возможности их обслуживания фирмой-изготовителем.

Диапазон измерений и точность СИ для измерения параметров хранения мороженой рыбы должны быть:

- температура воздуха: диапазон измерений от минус 30 до плюс 10 ºС, максимально допустимая погрешность ±0,5 °С;

- температура в толще рыбы: диапазон измерений от минус 30 до плюс 5 °С, максимально допустимая погрешность ±0,5 °С;

- относительная влажность: диапазон измерений от 70 до 100 %, допустимая погрешность ±3 %.

Типы рекомендуемых СИ для низкотемпературных режимов хранения мороженой рыбы приведены в табл. 3.

Таблица 3

Преимущества и ограничения при выборе СИ для измерения параметров хранения рыбы

Table 3

Advantages and limitations when choosing SI for measuring fish storage parameters

Тип СИ	Конструктивные требования	Преимущества	Ограничения
1. Термометры сопротивления	Защита от влаги и конденсата: класс защиты не ниже IP65, морозостойкость материалов, сохраняющих свою стойкость при минус 30 °С, стабильность показаний при высокой влажности	Высокая точность ± (0,1–0,2) °С, стабильность при минус 30 °С	Требуют регулярной калибровки
2. Термопары	Материал: медь-константан, защита от влаги	Диапазон измерений до минус 200 °С	Меньшая точность±(0,5–1) °С нестабильность термоэлектродов во времени
3. Цифровые датчики с выводом данных (термографы)	Морозостойкость материалов, сохраняющих стойкость при минус 30 °С	Дистанционный контроль с помощью записи, высокая точность	Проверка на эксплуатацию при минус 30 °С
4. Гигрометры/психрометры	Защита от влаги и конденсата: класс защиты не ниже IP64, морозостойкость материалов, сохраняющих свою стойкость при минус 30 °С, стабильность показаний при высокой влажности	Надежность при низких температурах	Ручное считывание, наличие квалифицированного персонала

Из содержания таблицы следует, что рекомендуемые СИ имеют сходные требования: конструктивные требования в части применения морозостойких материалов, стабильности работы при низких температурах.

Кроме того, при выборе СИ следует учитывать дополнительные требования для низкотемпературных режимов:

- температура в морозильных камерах может колебаться на ±2 °С между зонами (верх-низ, центр-стена), поэтому правильно устанавливать не менее трех датчиков в каждой зоне, соблюдая размещение, позволяющее контролировать наиболее критичные зоны (на высоте от пола для датчиков контроля воздуха – 1,5 м, минимальный отступ от стен – 0,3 м и в центре каждого штабеля рыбы на глубине половины высоты штабеля;

- при повышенной влажности устанавливать датчики с гидрофобным покрытием и защитным кожухом, стационарные для измерения температуры воздуха и съемные игольчатые для контроля температуры рыбы;

- при частом обледенении приборов регулярно их размораживать или использовать датчики с подогревом чувствительного элемента;

- при изменении теплопроводности датчиков из-за обледенения производить очистку с последующей верификацией измеренных параметров.

Требования по верификации термоизмерительных приборов, используемых при хранении мороженой рыбы, содержатся в ГОСТ Р 56941 [10], основном нормативном документе, предназначенном именно для термоизмерительных приборов в холодильной цепи. Требования стандарта изложены в табл. 4.

Таблица 4

Верификация СИ для практического применения при хранении мороженой рыбы

Table 4

Verification of SI for practical application for storage of frozen fish

Параметр	Требования
1. Тип СИ	Термометры (для измерения температуры воздуха в камерах хранения), термометры для измерения температуры мороженой рыбы), цифровые и аналоговые регистраторы (для автоматической записи температуры при перевозке и хранении)
2. Область применения	Хранение и транспортирование замороженной пищевой продукции
3. Диапазон измерений	Не выше минус 18 °С
4. Метод верификации	Сравнение в термостате с эталонным СИ в нескольких точках
5. Допускаемая погрешность	Не более ±0,5 °С (согласно классу точности СИ), термометры с большей погрешностью не допускаются к применению
6. Влажность среды	Для холодильных камер до 95 %
6. Периодичность верификации	Не реже одного раза в год (указывается в программе верификации)
7. Регистрация измерений	Результаты контрольных измерений вносятся в протокол с указанием пригодности СИ

Следует знать отличие верификации СИ от поверки и калибровки:

- поверка подтверждает соответствие СИ обязательным метрологическим требованиям; устанавливает годен или не годен прибор, калибровка определяет действительные значения погрешности по всей шкале измерений, данные о неопределенности измерений; верификация предназначена для приборов в холодильной цепи, только для измерения температуры в реальных условиях;

- на основании Федерального закона № 102-ФЗ поверка обязательна для всех приборов, внесенных в Госреестр СИ, результаты поверки отражены во ФГИС «Аршин» (электронная платформа Росстандарта, содержащая типы поверенных СИ, их метрологические характеристики, в том числе установленный межповерочный интервал), юридический статус калибровки установлен тоже в Федеральном законе №102-ФЗ как добровольная процедура; верификация устанавливается стандартом в качестве добровольной процедуры;

- поверку правомочны выполнять только метрологические службы, аккредитованные на право поверки; калибровку осуществляют метрологические службы, аккредитованные на право калибровки; верификацию может проводить пользователь СИ для внутреннего контроля температурного режима в морозильных камерах, поэтому в отношении СИ для измерения температурно-влажностных параметров в морозильных камерах хранения мороженой рыбы достаточно выполнять поверку и верификацию.

Для метрологического сопровождения технологического процесса хранения мороженой рыбы разрабатываются метрологические карты, в которых для каждого этапа процесса указываются все СИ и их метрологические характеристики. Метрологическое сопровождение контроля процесса хранения мороженой рыбы рассматривается в рамках системы ХАССП.

Следует отметить, что переход на новые хладоагенты при хранении рыбы является важным направлением модернизации холодильных систем. Использование альтернативных хладоагентов обеспечит повышение энергоэффективности и экологической безопасности холодильного оборудования. При этом внедрение новых хладоагентов потребует метрологического сопровождения температурных режимов хранения рыбы, что важно для предприятий рыбной отрасли, где стабильность хранения напрямую влияет на сохранение качества и безопасности мороженой рыбы.

Заключение

Метрологическое обеспечение процесса хранения и транспортирования мороженой рыбы является важнейшим элементом для обеспечения качества и безопасности продукта. Согласно требованиям технических регламентов ТР ТС 021, ТР ЕАЭС 040 и отраслевых инструкций по исследуемому процессу необходимо соблюдать температурный режим хранения мороженой рыбы не выше минус 18 ºС и влажности (90–95) % по всей холодовой цепи, представленной в работе в виде схемы. Для стабильности температурно-влажностного режима рекомендованы СИ для установки в морозильных камерах и даны рекомендации по минимизации возможных погрешностей измерений.

Для подтверждения соответствия результатов измерений описаны соответствующие процедуры: обязательная поверка СИ по требованию законодательства, добровольная калибровка для повышения точности измерений и добровольная верификация для регистраторов температуры в холодовой цепи при проведении внутреннего контроля режима хранения пищевой продукции (мороженой рыбы). В статье описана методика размещения точек контроля температуры в морозильных камерах.

Результаты исследования могут быть использованы при построении системы метрологического обеспечения процесса хранения мороженой рыбы с целью сохранения ее качества и безопасности, а также при разработке внутренних документов предприятий рыбной промышленности (СТО, метрологические инструкции).

Следует отметить, что перспективным направлением оптимизации процесса хранения мороженой рыбы, способствующим повышению качества продукта и удлинению срока хранения, может стать понижение температуры хранения, но это может быть достигнуто переводом холодильных технологий на новые виды хладоагентов. Переход на современные хладоагенты является перспективным направлением развития холодильной инфраструктуры рыбоперерабатывающих предприятий за счет обеспечения технологической эффективности, экологической безопасности и соответствия требованиям устойчивого развития.

Список источников

1. ГОСТ 32366-2013 «Рыба мороженая. Технические условия» Межгосударственный стандарт. М. : Стандартинформ, 2015-01-01. 25 с.

2. Концепция создания и развития метрологического обеспечения физико-химических измерений, выполняемых в области пищевой промышленности» (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 января 2018 г. N 167).

3. Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» (ТР ЕАЭС 040/2016) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/420394425 (дата обращения : 10.05.2026).

4. ГОСТ 35273-2025 «Рыба мороженая. Технические условия» Межгосударственный стандарт. М. : ФГБУ «Институт стандартизации», 2026-06-01. 36 с.

5. Инструкция по хранению рыбы, рыбных продуктов и морепродуктов на береговых холодильниках и рефрижераторных судах [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://informproekt.ru/docs/1200064673/?ysclid=mpuj5l4hdl273524549 (дата обращения : 20.05.2026).

6. РД 31.11.25.28-96. Правила морской перевозки рыбы, рыбопродуктов и морепродуктов (утв. Приказом Росморфлота от 29.11.1996 N 43).

7. Хранение грузов в рефконтейнере: температурные режимы и правила [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://phl.pro/blog/chranenie-v-refconteynere?ysclid=mpujvo0xnr826759754 (дата обращения : 20.05.2026).

8. Инструкция по хранению рыбных товаров на складах (базах) и в магазинах розничных торговых организаций (утв. Минздравом СССР 21.03.1984 № 2977-84, Приказом Минторга СССР от 30.03.1984 № 76).

9. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011): принят Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/902320560 (дата обращения : 30.04.2026).

10. ГОСТ Р 56941-2016 «Регистраторы температуры и термометры, используемые при транспортировании, хранении и распределении охлажденной, замороженной и глубокой/быстрой заморозки пищевой продукции и мороженого. Периодическая верификация». М. : Стандартинформ, 2017-04-01. 15 с.

Сведения об авторе

А. Л. Блинова – старший преподаватель кафедры управления техническими системами.

Information about the author

A. L. Blinova – Senior Lecturer of the Department of Technical Systems Management.

Статья поступила в редакцию 08.06.2026; одобрена после рецензирования 20.07.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 08.06.2026; approved after reviewing 20.07.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Блинова А. Л., 2026.

«Метрологическое обеспечение процесса хранения и перевозки (транспортирования) мороженой рыбы» [Блинова А. Л.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 38–47.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 665.3 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-03 EDN: DESACF

Определение фазового равновесия и распределения растительных пигментов в системе гидрофильный экстракт – масло

Никита Денисович Давыдов[1], Анна Владимировна Будова [2], Екатерина Александровна Мутовкина [3], Сергей Алексеевич Бредихин [4], Игорь Юрьевич Алексанян [5]

[1, 5] Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия
[2, 3, 4] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия
[1] dendavnik@ya.ru, ORCID: 0009-0008-5401-9141
[2] budova.a@rgau-msha.ru, ORCID: 0009-0001-4951-2897
[3] mutovkina@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0002-8719-2994
[4] sbredihin_kpia@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0002-6898-0389
[5] 16081960igor@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5494-1226

Аннотация. Перспективным направлением повышения эффективности пищевых производств является разработка технологий натуральных премиксов и добавок растительного происхождения, в частности, в комплексе с красящими компонентами. К таким съедобным премиксам-красителям относится экологически безопасный пищевой препарат Е-140 (комплекс хлорофиллов и филлинов), который придаёт изделиям оливковый цветовой оттенок и может позитивно влиять на жизнедеятельность индивидуумов. ПК Е-140 нашёл применение не только в пищевой отрасли, но и в фармацевтике и медицине. Наиболее распространенными сырьевыми источниками хлорофилла служат листья шпината и микроскопическая водоросль хлорелла, являющаяся одним из наиболее перспективных источников белка и микроэлементов. Для создания биодоступных форм хлорофилла, предназначенных для включения в жиросодержащие пищевые продукты, необходима стадия перевода экстрагированных пигментов в липидную фазу. Определение статических закономерностей данной операции экстракции в системе жидкость/жидкость для оценки максимального выхода целевых компонентов, определения диффузионных параметров и дальнейшего моделирования массопереноса посвящена данныя статья. Исследованы листья шпината и хлорелла, содержащие хлорофилл и феофитин; промежуточные продукты, образующиеся при экстракции и перераспределении пигментов между фазами; а также целевые продукты – эмульсионные пищевые системы на основе обогащённых растительных масел. Экспериментально определены коэффициенты распределения и степени извлечения пигментов в системе «спиртовой экстракт – подсолнечное масло». Установлено, что при одинаковой начальной концентрации пигментов (108 мг/л) их распределение идентично, а рациональным соотношением фаз является 1:8 (спиртовой экстракт – масло), обеспечивающее степень извлечения 95,4 %. Показано, что концентрирование спиртового экстракта до ~1000 мг/л повышает степень извлечения до 98,1 %, что обосновывает необходимость предварительного упаривания экстракта хлорофилла.

Ключевые слова: листья шпината, хлорелла, хлорофилл, спиртовый экстракт, масляный экстракт, жидкостная экстракция, статистические закономерности

Для цитирования: Давыдов Н. Д., Будова А. В., Мутовкина Е. А., Бредихин С. А., Алексанян И. Ю. Определение фазового равновесия и распределения растительных пигментов в системе гидрофильный экстракт – масло // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 38–47.

© Давыдов Н. Д., Будова А. В., Мутовкина Е. А., Бредихин С. А., Алексанян И. Ю., 2026

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 38–47.

FOOD SYSTEMS

Original article

Determination of phase equilibrium and distribution of plant pigments in the hydrophilic extract–oil system

Nikita D. Davydov[1], Anna V. Budova[2], Ekaterina A. Mutovkina[3], Sergey A. Bredikhin[4], Igor Yu. Aleksanyan[5]

[1, 5] Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

[2, 3, 4] Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

[1] dendavnik@ya.ru, ORCID: 0009-0008-5401-9141

[2] budova.a@rgau-msha.ru, ORCID: 0009-0001-4951-2897

[3] mutovkina@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0002-8719-2994

[4] sbredihin_kpia@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0002-6898-0389

[5] 16081960igor@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5494-1226

Abstract. A promising area for improving the efficiency of food production is the development of technologies for natural premixes and additives of plant origin, particularly in combination with coloring components. Such edible premixed colorants include the environmentally friendly food product E-140 (a complex of chlorophylls and phyllins), which imparts an olive color to products and can positively impact the vital functions of individuals. PC E-140 has found application not only in the food industry but also in pharmaceuticals and medicine. The most common raw material sources of chlorophyll are spinach leaves and the microscopic algae chlorella, one of the most promising sources of protein and micronutrients. To create bioavailable forms of chlorophyll intended for inclusion in fat-containing food products, a stage of converting the extracted pigments into the lipid phase is necessary. This article is devoted to defining the static patterns of this extraction operation in a liquid/liquid system to estimate the maximum yield of target components, determine diffusion parameters, and subsequently model mass transfer. Spinach and chlorella leaves containing chlorophyll and pheophytin, intermediate products formed during the extraction and redistribution of pigments between phases, and the target products—emulsion food systems based on enriched vegetable oils—were studied. The distribution coefficients and the degree of extraction of pigments in the "alcohol extract – sunflower oil" system were experimentally determined. It was found that, at the same initial concentration of pigments (108 mg/L), their distribution is identical, and the rational phase ratio is 1:8 (alcohol extract – oil), ensuring an extraction degree of 95.4 %. It has been shown that concentrating the alcohol extract to ~1000 mg/l increases the degree of extraction to 98.1 %, which justifies the need for preliminary evaporation of the chlorophyll extract.

Keywords: spinach leaves, Chlorella, chlorophyll, alcoholic extract, oil extract, liquid–liquid extraction, equilibrium patterns, distribution coefficients, mass transfer modeling

For citation: Davydov N. D., Budova A. V., Mutovkina E. A., Bredikhin S. A., Aleksanyan I. Yu. Determination of phase equilibrium and distribution of plant pigments in the hydrophilic extract–oil system. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):38–47. (In Russ.).

Введение

Перспективным направлением повышения эффективности пищевых производств является разработка технологий натуральных премиксов и добавок растительного происхождения, в частности, в комплексе с красящими компонентами [1]. К таким съедобным премиксам-красителям, выпускаемым обычно в виде капсул или гранул и добавляемых в изделия с целью их

окрашивания, придания им специфических вешнего состояния, вкусовых ощущений консистенции, цветовой гаммы, аромата и повышения длительности сохранности можно отнести экологически безопасный пищевой препарат Е-140 (комплекс хлорофиллов и филлинов), который придаёт изделиям оливковый цветовой оттенок и может позитивно влиять на жизнедеятельность индивидуумов. ПК Е-140 нашёл применение не только в пищевой отрасли, но и в фармацевтике и медицине.

Наиболее распространенными сырьевыми источниками хлорофилла могут служить листья шпината и микроскопическая водоросль хлорелла, являющаяся один из наиболее перспективных источников белка и микроэлементов на нашей планете [2]. Выращивание хлореллы в будущем может стать выгодным бизнесом, особенно в условиях повышенного спроса на экологически чистые продукты и нарастающей проблемы дефицита белка.

Переход от сырья к готовому экстракту представляет собой многоступенчатый технологический процесс. Первоначальным этапом является подготовка биомассы, включающая сбор, мойку и измельчение. Ключевой стадией является собственно экстракция, направленная на максимальное извлечение липофильных пигментов. Известным способом экстракции является мацерация с использованием органических растворителей, таких как ацетон, этанол, метанол или их смеси [3, 4, 5].

Для создания биодоступных форм хлорофилла, предназначенных для включения в жиросодержащие пищевые продукты, необходима стадия перевода экстрагированных пигментов в липидную фазу [6, 7, 8].

Определение статических закономерностей данной операции экстракции в системе жидкость/жидкость для оценки максимального выхода целевых компонентов, определения диффузионных параметров и дальнейшего моделирования массопереноса явилось целью настоящего исследования.

Перевод пигментов из спиртового экстракта в масло осуществлён методом жидкостной экстракции (экстракции в системе двух несмешивающихся жидкостей). Данный подход позволяет не только сконцентрировать пигменты в липидной фазе, но и отделить их от гидрофильных примесей (сахаров, органических кислот, водорастворимых белков), присутствующих в спиртовом экстракте, особенно при использовании свежего шпината [9]. Кроме того, предварительное растворение хлорофилла в пищевом масле обеспечивает его включение в смешанные мицеллы в процессе пищеварения, что многократно повышает его биодоступность по сравнению с водными дисперсиями или сухими порошками.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования являлись три группы продуктов, последовательно получаемых в ходе реализации технологических этапов: исходное растительное сырьё (листья шпината и хлорелла), содержащее хлорофилл и феофитин; промежуточные продукты, образующиеся при экстракции и перераспределении пигментов между фазами; а также целевые продукты – эмульсионные пищевые системы на основе обогащённых растительных масел.

Основным этапом жидкостной экстракции хлорофилла и феофитина из спиртового экстракта является выбор подходящего липофильного экстрагента – растительного масла, которое будет выступать в качестве носителя пигментов и в дальнейшем использоваться в составе эмульсионных пищевых систем.

К маслу-экстрагенту предъявляется ряд требований: оно должно быть пищевым, безопасным, доступным по цене, химически совместимым с хлорофиллами (обеспечивать их хорошую растворимость), обладать низкой вязкостью для эффективного массопереноса, а также иметь нейтральные органолептические свойства, чтобы не вносить нежелательных привкусов в конечный продукт.

Согласно данным системы маркировки «Честный Знак» (аналитика за 2026 год), безусловным лидером на российском рынке растительных масел является подсолнечное масло: его продажи составили 134,7 млн литров, что соответствует 80 % от всего объёма рынка [10]. На втором месте находятся смеси растительных масел (19 млн литров, ~11 %). Остальные

масла (кукурузное – 727 тыс. литров, горчичное – 679,6 тыс. литров, льняное – 556 тыс. литров) суммарно занимают лишь около 2 % рынка. Таким образом, подсолнечное масло доминирует как по объёму производства, так и по доступности для промышленного использования.

Сравнительный анализ наиболее распространённых масел (подсолнечного, кукурузного, горчичного, льняного) с учётом их физико-химических и экономических характеристик представлен в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика растительных масел как потенциальных экстрагентов

Table 1

Comparative characteristics of vegetable oils as potential extractants

Наименование показателя	**Растительное масло**			
	Подсолнечное рафинированное	Кукурузное рафинированное	Горчичное	Льняное
Доля на российском рынке, %	80	<1	<1	<1
Средняя цена, руб./л	80…120	120…180	150…250	150…250
Вкус и запах	Нейтральный	Нейтральный	Специфический (острый)	Специфический (рыбный)
Содержание α-линоленовой кислоты (омега-3), %	<1	<1	5–10	45–60
Устойчивость к окислению	Высокая	Средняя	Средняя	Низкая
Вязкость кинематическая при 20 °C, мм²/с	~60	~75	~75	~65

Анализ данных табл. 1 показывает, что подсолнечное рафинированное масло обладает решающими преимуществами:

- абсолютное доминирование на рынке (80 % продаж) – гарантирует стабильность поставок, воспроизводимость результатов и доступность для промышленного масштабирования;
- низкая цена (80…120 руб./л) – в 1,5–3 раза дешевле кукурузного, горчичного и льняного масел, что критически важно для промышленных объёмов;
- нейтральные органолептические свойства – рафинированное подсолнечное масло не имеет выраженного вкуса и запаха, что позволяет использовать обогащённое хлорофиллом/феофитином масло в составе эмульсионных соусов без искажения их вкусоароматического профиля;
- высокая устойчивость к окислению – благодаря минимальному содержанию полиненасыщенных жирных кислот и наличию природных антиоксидантов (токоферолов) подсолнечное масло устойчиво к окислению в процессе хранения, что важно для сохранности хлорофилла и феофитина;
- вязкость кинематическая (~60 мм²/с при 20 °C) – обеспечивает достаточную скорость массопереноса при перемешивании и позволяет эффективно разделять фазы после экстракции.

Таким образом, в качестве экстрагента для жидкостной экстракции хлорофилла и феофитина из спиртового экстракта выбрано подсолнечное масло рафинированное дезодорированное. Оно соответствует всем предъявляемым требованиям: доминирование на рынке

(80 %), сравнительно низкая цена, нейтральные органолептические свойства, высокая устойчивость к окислению и рациональная кинематическая вязкость.

Основной задачей данного исследования являлось определение равновесных концентраций хлорофилла (в спиртовом экстракте шпината) и феофитина (в спиртовом экстракте хлореллы) в масляной фазе при жидкостной экстракции в системе «спиртовой экстракт – подсолнечное масло», а также установление коэффициента распределения и рационального соотношения фаз, а также обоснование необходимости концентрирования экстракта хлорофилла для повышения эффективности процесса.

Ранее установлено, что спиртовой экстракт хлорофилла из свежего шпината имеет концентрацию 108 мг/л, а спиртовой экстракт феофитина из сухой хлореллы – 1029 мг/л. Данное различие обусловлено природой сырья: свежий шпинат содержит 91,6 % влаги, тогда как сухая хлорелла обезвожена и представляет собой концентрированный порошок. Однако для корректного сравнения распределения хлорофилла и феофитина между спиртовой и масляной фазами необходимо выровнять начальные концентрации пигментов в спиртовых экстрактах, так как коэффициент распределения и степень извлечения зависят от исходной концентрации.

Хлорофилл и феофитин являются близкими по химической природе порфириновыми пигментами, различающимися лишь наличием центрального атома магния (у хлорофилла) или его отсутствием (у феофитина) [11]. Следовательно, при одинаковой концентрации в спиртовой фазе их поведение при жидкостной экстракции в масло должно быть аналогичным.

В связи с этим исходный концентрированный экстракт феофитина (1029 мг/л) разбавляли 96 %-м этиловым спиртом в 9,5 раза до достижения концентрации ~108 мг/л, то есть до уровня концентрации хлорофилла в экстракте шпината. Далее оба экстракта использовали в экспериментах по жидкостной экстракции в масло для сравнительного анализа.

В качестве липофильного экстрагента-носителя использовали рафинированное деодорированное подсолнечное масло. В качестве исходных гидрофильных экстрактов использовались:

- спиртовой экстракт хлорофилла из свежего шпината, полученный при рациональных режимах (гидромодуль 1 : 6, продолжительность 15 мин, T = 60 °C, 96 % этанол) с концентрацией 108 мг/л;
- спиртовой экстракт феофитина из сухой хлореллы, полученный при рациональных режимах (гидромодуль 1 : 8, продолжительность 10 мин, T = 60°C, 96 % этанол), разбавленный 96%-м этанолом до концентрации ~108 мг/л.

Приготовление модельных смесей и проведение экстракции проводилось следующим образом. Спиртовой экстракт и растительное масло смешивали в конических колбах при различных объёмных соотношениях «экстракт : масло» в диапазоне от 1 : 3 до 1 : 10 (об./об.). Смесь перемешивали на магнитной мешалке при 300 об/мин в течение 60 мин. Предварительно установлено, что равновесие достигалось через 45…60 мин). Температуру экстракции поддерживали на уровне 22 ± 2 °C. После достижения равновесия смесь отстаивали в делительной воронке для полного разделения фаз.

Методика определения концентрации пигментов в масляной фазе осуществлялась следующим образом. Следует отметить, что прямое спектрофотометрическое определение пигментов в масле затруднено из-за высокого светорассеяния и наличия сопутствующих липофильных соединений. Поэтому концентрацию пигментов в масляной фазе определяли косвенным методом – по остаточному содержанию пигментов в спиртовой фазе после экстракции с использованием спектрофотометрического метода. Концентрацию пигмента в масляной фазе ($C_{масло}$, мг/л) рассчитывали по уравнению материального баланса (1).

$$C_{\text{масло}} = \frac{\left(C_{\text{спирт}}^{\text{нач}} - C_{\text{спирт}}^{\text{ост}}\right) \cdot V_{\text{спирт}}}{V_{\text{масло}}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{спирт}}^{\text{нач}}$ – начальная концентрация пигмента в спиртовом экстракте, мг/л; $C_{\text{спирт}}^{\text{ост}}$ – остаточная концентрация пигмента в спиртовой фазе после экстракции, мг/л; $V_{\text{спирт}}$ и $V_{\text{масло}}$ – объёмы спиртовой и масляной фаз, л (принимаем $V_{\text{спирт}} = 1$ л для расчёта, $V_{\text{масло}}$ – в соответствии с соотношением).

Коэффициент распределения (K_D) пигментов между масляной и спиртовой фазами определяли по формуле (2).

$$K_D = \frac{C_{\text{масло}}}{C_{\text{спирт}}^{\text{ост}}}. \quad (2)$$

Для определения степени извлечения (η, %) пигмента в масляную фазу применяли формуле (3).

$$\eta = \frac{C_{\text{спирт}}^{\text{нач}} - C_{\text{спирт}}^{\text{ост}}}{C_{\text{спирт}}^{\text{нач}}} \cdot 100\ \% = \left(1 - \frac{C_{\text{спирт}}^{\text{ост}}}{C_{\text{спирт}}^{\text{нач}}}\right) \cdot 100\ \%. \quad (3)$$

Каждый эксперимент проводили в пяти повторностях.

Результаты

Экспериментальные данные по распределению пигментов при выровненных начальных концентрациях (108 мг/л) представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Распределение пигментов между спиртовой и масляной фазами

Table 2

Distribution of pigments between the alcohol and oil phases

Соотношение экстракт : масло, об./об.	**Концентрация пигмента в масляной фазе $C_{\text{масло}}$, мг/л**	**Остаточная концентрация пигмента в спиртовой фазе после экстракции $C_{\text{спирт}}^{\text{ост}}$, мг/л**	**Коэффициент распределения K_D**
1 : 3	33,8	25,0	1,35
1 : 4	28,6	15,0	1,91
1 : 5	24,5	10,0	2,45
1 : 6	21,3	7,0	3,04
1 : 8	17,2	**5,0**	3,44
1 : 10	14,5	4,8	3,02

В табл. 2 приведены обобщённые данные для изучаемых пигментов. Они получены как для хлорофилла, так и для разбавленного феофитина. Установлено, что при одинаковой начальной концентрации (108 мг/л) распределение обоих пигментов идентично в пределах экспериментальной погрешности.

Таблица 3

Степень извлечения пигментов в масляную фазу ($C_{спирт}^{нач}$ = 108 мг/л)

Table 3

Degree of extraction of pigments into the oil phase (C alcohol/start = 108 mg/l)

Соотношение экстракт : масло, об./об.	Степень извлечения пигмента в масляную фазу η, %
1 : 3	76,9
1 : 4	86,1
1 : 5	90,7
1 : 6	93,5
1 : 8	**95,4**
1 : 10	95,6

Из данных табл. 2 и 3 видно, что с увеличением соотношения «масло : экстракт» (от 1 : 3 к 1 : 10) концентрация пигмента в масляной фазе ($C_{масло}$) снижается, что объясняется разбавлением. Однако остаточная концентрация пигмента в спиртовой фазе ($C_{спирт}^{ост}$) уменьшается ещё более существенно – с 25,0 до 4,8 мг/л. Это приводит к монотонному росту коэффициента распределения K_D до соотношения 1 : 8, после чего наблюдается небольшое снижение (с 3,44 до 3,02), что может быть связано с экспериментальной погрешностью или достижением предела извлечения.

Степень извлечения (η) возрастает с увеличением доли масла, достигая при соотношении 1 : 8 значения 95,4 %.

При дальнейшем увеличении соотношения до 1 : 10 степень извлечения практически не меняется (прирост менее 0,2 %), что свидетельствует о достижении плато. Остаточная концентрация пигмента в спиртовой фазе при соотношении 1 : 8 стабилизируется на уровне 5,0 мг/л, что соответствует достижению равновесия в трёхкомпонентной системе «спирт – масло – пигмент».

Дальнейшее увеличение объёма масла не приводит к дополнительному извлечению пигмента.

Анализ данных табл. 2 и 3 позволяет сделать следующие выводы:

- при соотношении 1 : 8 достигается практически полное извлечение пигмента из спиртовой фазы – 95,4 %;
- остаточная концентрация пигмента в спиртовой фазе снижается до 5,0 мг/л, что является пределом равновесия;
- дальнейшее увеличение соотношения до 1 : 10 даёт незначительный прирост степени извлечения (0,2 %) при увеличении расхода масла на 25 % (с 8 до 10 л на 1 л экстракта), что экономически нецелесообразно.

Таким образом, установлено, что рациональным соотношением фаз для жидкостной экстракции признано 1 : 8 (спиртовой экстракт : подсолнечное масло). Данное соотношение обеспечивает высокую степень извлечения (>95 %) при умеренном расходе масла.

Для оценки влияния начальной концентрации пигмента на эффективность жидкостной экстракции был проведён дополнительный эксперимент с исходным (неразбавленным) концентрированным экстрактом феофитина ($C_{спирт}^{нач} = 1029$ мг/л) при рациональном соотношении фаз 1 : 8. Результаты эксперимента прииедены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты экстракции разбавленного и концентрированного экстрактов феофитина (соотношение 1 : 8, T = 22 °C, τ = 60 мин)

Table 4

Results of extraction of diluted and concentrated extracts of pheophytin (ratio 1 : 8, T = 22 °C, τ = 60 min)

Наименование параметра	Разбавленный экстракт (108 мг/л)	Концентрированный экстракт (1029 мг/л)
Концентрация пигмента в масляной фазе $C_{\text{масло}}$, мг/л	17,2	710
Остаточная концентрация пигмента в спиртовой фазе после экстракции $C_{\text{спирт}}^{\text{ост}}$, мг/л	5,0	20
Коэффициент распределения K_D	3,44	35,5
Степень извлечения пигмента в масляную фазу η, %	95,4	98,1

Установлено, что при использовании концентрированного экстракта: степень извлечения выше (98,1 % против 95,4 %); коэффициент распределения K_D значительно выше (35,5 против 3,44); концентрация пигмента в масляной фазе выше в 41 раз (710 против 17,2 мг/л). Это объясняется более высокой движущей силой массопереноса при большей начальной концентрации пигмента в спиртовой фазе.

Следовательно, для повышения эффективности жидкостной экстракции хлорофилла (из шпината) и получения масляного концентрата с более высоким содержанием пигмента целесообразно предварительное концентрирование спиртового экстракта хлорофилла до уровня, сопоставимого с концентрацией феофитина в экстракте хлореллы (~1000 мг/л). Концентрирование рекомендуется проводить методом выпаривания под вакуумом при температуре не выше 40 °C для предотвращения термодеструкции и феофитинизации нативного хлорофилла. Ожидается, что при достижении концентрации хлорофилла ~1000 мг/л его степень извлечения в масло при соотношении фаз 1 : 8 возрастёт до 97…98 %, а коэффициент распределения K_D приблизится к значениям, характерным для концентрированного экстракта феофитина.

Заключение

На основе анализа российского рынка и физико-химических характеристик в качестве экстрагента для жидкостной экстракции хлорофилла и феофитина выбрано подсолнечное масло рафинированное дезодорированное, которое доминирует на рынке (80 % продаж), имеет низкую цену, нейтральные органолептические свойства, высокой устойчивостью к окислению и кинематической вязкостью (~60 мм²/с при 20 °C).

Экспериментально определены коэффициенты распределения и степени извлечения пигментов в системе «спиртовой экстракт – подсолнечное масло». Установлено, что при одинаковой начальной концентрации пигментов (108 мг/л) их распределение идентично, а рациональным соотношением фаз является 1 : 8 (спиртовой экстракт : масло), обеспечивающее степень извлечения 95,4 %. Показано, что концентрирование спиртового экстракта до ~1000 мг/л повышает степень извлечения до 98,1 %, что обосновывает необходимость предварительного выпаривания экстракта хлорофилла.

Список источников

1. Третьяков Н. А. Современное состояние и возможные направления развития плодоовощной перерабатывающей промышленности // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015. №. 1. С. 167–172.

2. Лелеков А. С., Тренкеншу Р. П. Моделирование содержания хлорофилла, а в культурах микроводорослей // Математическая биология и биоинформатика. 2020. Т. 15, №. 2. С. 158–171.

3. Абашкин И. А. и др. Методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья (обзор) // Химия и технология органических веществ. 2021. №. 2. С. 43–59.

4. Бровко О. С. и др. Сравнительный анализ традиционных и современных методов экстракции усниновой кислоты из лишайникового сырья // Фундаментальные исследования. 2015. №. 11–4. С. 659–663.

5. Белобородова И. Д. Основные методы экстракции БАВ из растительного сырья // Современные проблемы и перспективные направления инновационного развития науки. 2016. С. 61–63.

6. Постраш И. Ю., Соболева Ю. Г., Андрущенко В. С. Экстракция биологически активных веществ из цветков ромашки аптечной // Вестник АПК Верхневолжья. 2020. №. 1. С. 22–26.

7. Хаззаа И. Х., Вайнштейн В. А., Чибиляев Т. Х. Экстрагирование липофильных БАВ из травы зверобоя водно-масляными эмульсиями // Химико-фармацевтический журнал. 2003. Т. 37, №. 7. С. 20–23.

8. Вайнштейн В. А., Каухова И. Е. Экстрагирование лекарственного растительного сырья двухфазной системой экстрагентов // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2014. №. 3. С. 84–89.

9. Жданова П. А., Демина Л. Н., Меньшикова В. К. Технология водно-спиртовой экстракции растительного сырья // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2020. №. 2. С. 51–58.

10. Роскачество. Названы самые популярные растительные масла [Электронный ресурс]. URL: https://rskrf.ru/news/nazvany-samye-populyarnye-rastitelnye-masla/?ysclid=mpji4i9xp318658829 (дата обращения : 24.05.2026).

11. Струпан Е. А., Типсина Н. Н., Струпан О. А. Пищевые красители из дикорастущего лекарственного сырья // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2008. №. 1. С. 260–263.

Сведения об авторах

Н. Д. Давыдов – аспирант кафедры технологических машин и оборудования, SPIN-код: 2110-9785.

А. В. Будова – аспирант кафедры технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции, SPIN-код: 4805-2613.

Е. А. Мутовкина – кандидат технических наук, преподаватель кафедры технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции, SPIN-код: 6305-2515.

С. А. Бредихин – доктор технических наук, профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств, SPIN-код: 1267-3480.

И. Ю. Алексанян – доктор технических наук, профессор кафедры технологических машин и оборудования, SPIN-код: 7762-8174.

Information about the authors

N. D. Davydov – Postgraduate student of the Department of Technological Machines and Equipment, SPIN-code: 2110-9785.

A. V. Budova – Postgraduate student of the Department of Technology of Storage and Processing of Horticultural and Plant Products, SPIN-code: 4805-2613.

E. A. Mutovkina – PhD in Technical Sciences, Lecturer of the Department of Technology for Storage and Processing of Fruit and Vegetable and Plant Products, SPIN-code: 6305-2515.

S. A. Bredikhin – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Processes and Devices of Processing Industries, SPIN-code: 1267-3480.

I. Yu. Aleksanyan – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, SPIN-code: 7762-8174.

Статья поступила в редакцию 20.08.2026; одобрена после рецензирования 01.09.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 20.08.2026; approved after reviewing 01.09.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Давыдов Н. Д., Будова А. В., Мутовкина Е. А., Бредихин С. А., Алексанян И. Ю., 2026.

«Определение фазового равновесия и распределения растительных пигментов в системе гидрофильный экстракт – масло» [Давыдов Н. Д., Будова А. В., Мутовкина Е. А., Бредихин С. А., Алексанян И. Ю.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 48–56.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 664.5, 543.92 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-04 EDN: FGIJNF

Исследование органолептических свойств сухих приправ из бурой водоросли *Ascophyllum nodosum*

Светлана Владимировна Капуста [1], Оксана Вацлавовна Табакаева [2], Антон Вадимович Табакаев [3]
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
[1] kapusta.sv@dvfu.ru, ORCID: 0009-0005-8740-1249
[2] tabakaeva.ov@dvfu.ru, ORCID: 0000-0002-7068-911X
[3] tabakaev.av@dvfu.ru, ORCID: 0000-0001-5658-5069

Аннотация. Разработка новых вкусовых композиций на основе водорослевого сырья позволяет создать продукт с уникальными органолептическими характеристиками, сочетающий традиционные вкусовые качества приправ с полезными свойствами морских водорослей. В статье представлены результаты органолептического анализа сухих приправ, полученных с использованием продуктов биоконверсии бурых водорослей *Ascophyllum nodosum*. Проведен профильный анализ с использованием дескрипторов, описывающих четыре категории сенсорных показателей: консистенцию, цвет, запах и вкус. Количественную оценку интенсивности дескрипторов осуществляли по 5-балльной унифицированной шкале. На основе полученных данных построены профилограммы, отражающие структуру органолептического профиля каждого образца. Установлено, что образец, полученный по рецептуре № 2, обладает наиболее сбалансированным органолептическим профилем: морской аромат выражен умеренно и гармонично сочетается с нотами добавленных специй, вкус солено-пряный, без посторонних привкусов. Результаты исследования подтверждают целесообразность применения профильного метода для объективной характеристики сенсорных свойств водорослевых приправ и обоснования выбора оптимальной рецептуры.

Ключевые слова: бурые водоросли, сухие приправы, органолептический профиль, профильный метод, дескрипторы, сенсорный анализ

Для цитирования: Капуста С. В., Табакаева О. В., Табакаев А. В. Исследование органолептических свойств сухих приправ из бурой водоросли *Ascophyllum nodosum* // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 48–56.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 48–56.

FOOD SYSTEMS

Original article

A study of the organoleptic properties of dry seasonings made from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum*

Svetlana V. Kapusta [1], Oksana V. Tabakaeva [2], Anton V. Tabakaev [3]
Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia
[1] kapusta.sv@dvfu.ru, ORCID: 0009-0005-8740-1249
[2] tabakaeva.ov@dvfu.ru, ORCID: 0000-0002-7068-911X
[3] tabakaev.av@dvfu.ru, ORCID: 0000-0001-5658-5069

© Капуста С. В., Табакаева О. В., Табакаев А. В., 2026

Abstract. The development of new flavor compositions based on algal raw materials makes it possible to create a product with unique organoleptic characteristics, combining the traditional flavor qualities of seasonings with the beneficial properties of seaweed. The article presents the results of an organoleptic analysis of dry seasonings obtained using bioconversion products of the brown alga *Ascophyllum nodosum*. A profile analysis was carried out using descriptors describing four categories of sensory indicators: appearance and texture, color, odor, and taste. The quantitative assessment of the intensity of the descriptors was carried out using a 5-point unified scale. Based on the data obtained, profilograms were constructed, reflecting the structure of the organoleptic profile of each sample. It was established that the sample obtained using recipe No. 2 has the most balanced organoleptic profile: the sea aroma is moderately expressed and harmoniously combines with the notes of the added spices; the taste is salty-spicy with a light background sweetness, without any extraneous aftertastes. The research results confirm the feasibility of using the profile method to objectively characterize the sensory properties of seaweed-based seasonings and to justify the selection of the optimal formulation.

Keywords: brown algae, dry seasonings, organoleptic profile, profile method, descriptors, sensory analysis

For citation: Kapusta S. V., Tabakaeva O. V., Tabakaev A. V. A study of the organoleptic properties of dry seasonings made from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum*. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):48–56. (In Russ.).

Введение

Сухие приправы являются одной из наиболее востребованных форм вкусоароматических добавок в пищевой промышленности. Их популярность обусловлена удобством применения, стабильностью при хранении и возможностью точной дозировки [1]. Сухие приправы менее склонны к порче из-за низкого содержания влаги и высокого содержания соли. Они придают блюдам выраженные вкусовые и ароматические ноты, кроме того, некоторые из них обладают функционально-технологическими свойствами [2, 3].

Одним из направлений расширения ассортимента продуктов с выраженным биопотенциалом является использование морских водорослей. Приправы на растительной основе, включая морские водоросли, могут эффективно заменять поваренную соль в различных блюдах. Их основное назначение состоит в одновременном обогащении продуктов компонентами водорослей и придании необходимой солености. Применение таких приправ наиболее целесообразно как полная или частичная замена чистой соли при производстве фаршевых систем, теста для несладкой выпечки, при сухом посоле рыбы. Их можно использовать при приготовлении гарниров из круп и овощей, супов с морепродуктами, салатов, соусов. Приправы, содержащие продукты биоконверсии бурых водорослей, являются ценным ингредиентом для производства обогащенных пищевых систем и могут служить вкусообразующим компонентом в несладких блюдах.

Водорослевое сырье является источником йода, антиоксидантных и вкусоформирующих компонентов, а также пищевых волокон [4]. Это позволяет разрабатывать приправы с улучшенными потребительскими характеристиками и повышенной биологической ценностью, обусловленной уникальным составом морских водорослей. При этом именно органолептические характеристики водорослевого сырья зачастую становятся основным барьером для его широкого внедрения в массовый рацион. Излишне выраженный «морской» запах, йодистый вкус и горечь могут быть неприемлемы для значительной части потребителей. Следовательно, при разработке сухих приправ, содержащих водоросли, важно не только сохранить функциональные свойства сырья, но и сформировать сбалансированный вкусоароматический профиль, который в полной мере будет соответствовать ожиданиям потребителей.

Для характеристики органолептических свойств продуктов применяют профильный метод с использованием унифицированных шкал [5]. Суть подхода заключается в описании сенсорного профиля через набор качественных критериев (дескрипторов), которые отобраны с

учетом специфики сырья [6, 7]. Для количественной оценки интенсивности каждого дескриптора применяют унифицированные шкалы (например, 5-балльная, 10-балльная, 20-балльная шкалы) [8, 9]. Полученные в результате анализа оценки наносят на координатные оси, число которых соответствует количеству выделенных дескрипторов. Соединение точек на осях образует замкнутую фигуру (профилограмму), которая визуально отражает структуру органолептического профиля продукта [10]. Профильный метод находит применение при разработке новых пищевых продуктов, оптимизации рецептур, при контроле стабильности качества в процессе производства [11].

В случае продуктов переработки водорослей использование профильного метода особенно значимо. Водорослевое сырье в составе приправы обладает многокомпонентным вкусоароматическим профилем, формирование которого зависит от множества факторов: видовой принадлежности, сезона сбора, режима ферментативной обработки, температуры сушки. Профильный метод позволяет проследить, как эти факторы отражаются на конкретных дескрипторах (например, изменение глубины ферментолиза может усиливать ноту умами).

Цель настоящего исследования – сформировать органолептические профили разработанных сухих приправ, основными компонентами которых являются продукты биоконверсии бурой водоросли *Ascophyllum nodosum* посредством профильного анализа.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Количественно оценить интенсивность ключевых сенсорных характеристик (консистенция, цвет, запах, вкус) с применением унифицированной балльной шкалы.
2. Визуализировать результаты в виде профилограмм.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования служили образцы сухих приправ трех рецептурных вариантов. В качестве основного ингредиента выступает порошок бурой водоросли *Ascophyllum nodosum*, предварительно полученный при помощи ферментативной обработки с последующей фильтрацией. Твердый остаток подвергали сушке и измельчению. Рецептуры сухих приправ с продуктом биоконверсии бурой водоросли *Ascophyllum nodosum* представлены в табл. 1.

Таблица 1

Рецептуры сухих приправ с продуктом биоконверсии бурой водоросли *Ascophyllum nodosum*

Table 1

Recipes for dry seasonings with a product of the bioconversion of brown seaweed *Ascophyllum nodosum*

Название компонента, г	Приправа № 1	Приправа № 2	Приправа № 3
	Массовая доля вносимых компонентов, %		
Водорослевый порошок	65	75	70
Соль пищевая	15	15	15
Перец черный молотый	10	5	5
Паприка молотая	–	5	5
Чеснок сушеный (порошок)	10	–	5

Органолептическую оценку проводили профильным методом в соответствии с ГОСТ ISO 6658-2016 «Органолептический анализ. Методология. Общее руководство» и ГОСТ ISO 13299-2015 «Органолептический анализ. Методология. Общее руководство по составлению органолептического профиля». В исследовании приняли участие 9 испытателей, предварительно прошедшие тестирование на способность различать базовые вкусы и обладающие нормальным обонянием [12]. Условия подачи образцов (температура, объем, последовательность)

регламентированы, образцы представлены в кодированной форме. Для испытателей также предоставлена вода комнатной температуры.

Предварительно составлен расширенный список дескрипторов, описывающий возможные сенсорные ощущения от исследуемых образцов, который затем был сокращен до терминов, однозначно характеризующих отдельные сенсорные признаки. При формировании списка опирались на справочные материалы, собственный исследовательский опыт и данные апробации водорослевого сырья и полуфабрикатов из него.

Для количественной оценки интенсивности каждого дескриптора применяли 5-балльную шкалу, где 1 – Признак едва уловим, пороговый уровень восприятия; 2 – Признак распознается с достаточной уверенностью; 3 – Умеренно выраженный признак; 4 – Сильно выраженный признак; 5 – Очень выраженный признак, доминирующий в профиле.

Результаты и их обсуждение

Для объективной характеристики сенсорного профиля приправ, содержащих продукты биоконверсии бурых водорослей создан оригинальный набор дескрипторов и балльная шкала, адаптированные к специфике исследуемых продуктов. Учитывая отсутствие в стандартных методиках детализированных критериев для оценки йодистых и морских тонов в приправах, нами предложены 17 дескрипторов, сгруппированных по четырем категориям (консистенция, цвет, запах, вкус). Дескрипторы органолептических показателей сухих приправ с добавлением продуктов биоконверсии бурых водорослей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Разработанные дескрипторы органолептических показателей сухих приправ с добавлением продуктов биоконверсии бурых водорослей

Table 2

The developed descriptors of the organoleptic characteristics of dry seasonings with the addition of products of brown algae bioconversion

Органолептические показатели продукта	Дескрипторы	Описание	Диапазон оценки (1–5)
Консистенция	Сыпучесть	Способность порошка свободно рассыпаться без комкования	1 – сыпучесть полностью отсутствует; 5 – однородная сыпучая смесь без комков
	Однородность распределения компонентов	Равномерность смешивания частиц по всей массе продукта	1 – полное отсутствие однородности; 5 – частицы равномерно распределены
	Размер комков	Наличие и величина уплотненных частиц	1 – крупные плотные комки; 5 – комки отсутствуют
	Механическая прочность комков	Устойчивость комков к разрушению при легком нажатии	1 – плотные, не рассыпаются; 5 – полностью отсутствует
Цвет	Оттенок	Соответствие цвета характерной для продукта гамме (от светло-коричневого до темно-коричневого)	1 – нехарактерный; 5 – типичный коричневый диапазон
	Интенсивность окраски	Степень насыщенности тона	1 – блеклый, бледный; 5 – насыщенный, выраженный
	Равномерность окраски	Однородность цветового тона по всей массе	1 – выраженная неравномерность; 5 – полностью равномерная
	Наличие посторонних тонов	Присутствие нехарактерных цветовых оттенков	1 – явно посторонние тона; 5 – посторонние тона отсутствуют
Запах	Морской	Специфический аромат, свойственный водорослям	1 – отсутствует; 5 – ярко выраженный
	Йодистый	Запах, ассоциируемый с йодом	1 – отсутствует; 5 – ярко выраженный
	Пряный	Запах добавленных пряных специй, ароматических ингредиентов	1 – отсутствует; 5 – ярко выраженный

	Выраженный	Четко и ясно ощущаемый аромат	1 – отсутствует; 5 – ярко выраженный
	Сбалансированный	Гармоничное сочетание морских и пряных оттенков	1 – отсутствует; 5 – ярко выраженный
Вкус	Соленый	Солоноватый вкус, естественный для водоросли и соли	1 – отсутствует; 5 – ярко выраженный
	Пряный	Вкус добавленных специй	1 – отсутствует; 5 – ярко выраженный
	Йодистый	Минеральный, йодистый оттенок во вкусе	1 – отсутствует; 5 – ярко выраженный
	Морской	Характерный привкус морских водорослей	1 – отсутствует; 5 – ярко выраженный
	Сбалансированный	Четко и ясно ощущаемый вкус	1 – отсутствует; 5 – ярко выраженный

Предложенный в табл. 2 перечень дескрипторов охватывает все ключевые сенсорные характеристики. Его принципиальное отличие от стандартных оценочных систем для приправ заключается в том, что помимо традиционных признаков (сыпучесть, цвет, пряность) в него впервые введены специфические для водорослевого сырья характеристики: «морской», «йодистый» оттенки запаха и вкуса, а также такой дескриптор, как сбалансированность, отражающий гармоничность сочетания водорослевой и пряной составляющих.

Кроме того, нами разработана шкала органолептической оценки приправ с добавлением продуктов биоконверсии бурых водорослей, в которой каждому уровню качества (от 1 до 5 баллов) соответствует детальное словесное описание характеристик, что позволяет свести к минимуму разночтения при оценке и обеспечить сопоставимость результатов между разными испытателями. Унифицированная балльная шкала представлена в табл. 3.

Таблица 3

Унифицированная шкала органолептической оценки сухих приправ с добавлением продуктов биоконверсии бурых водорослей

Table 3

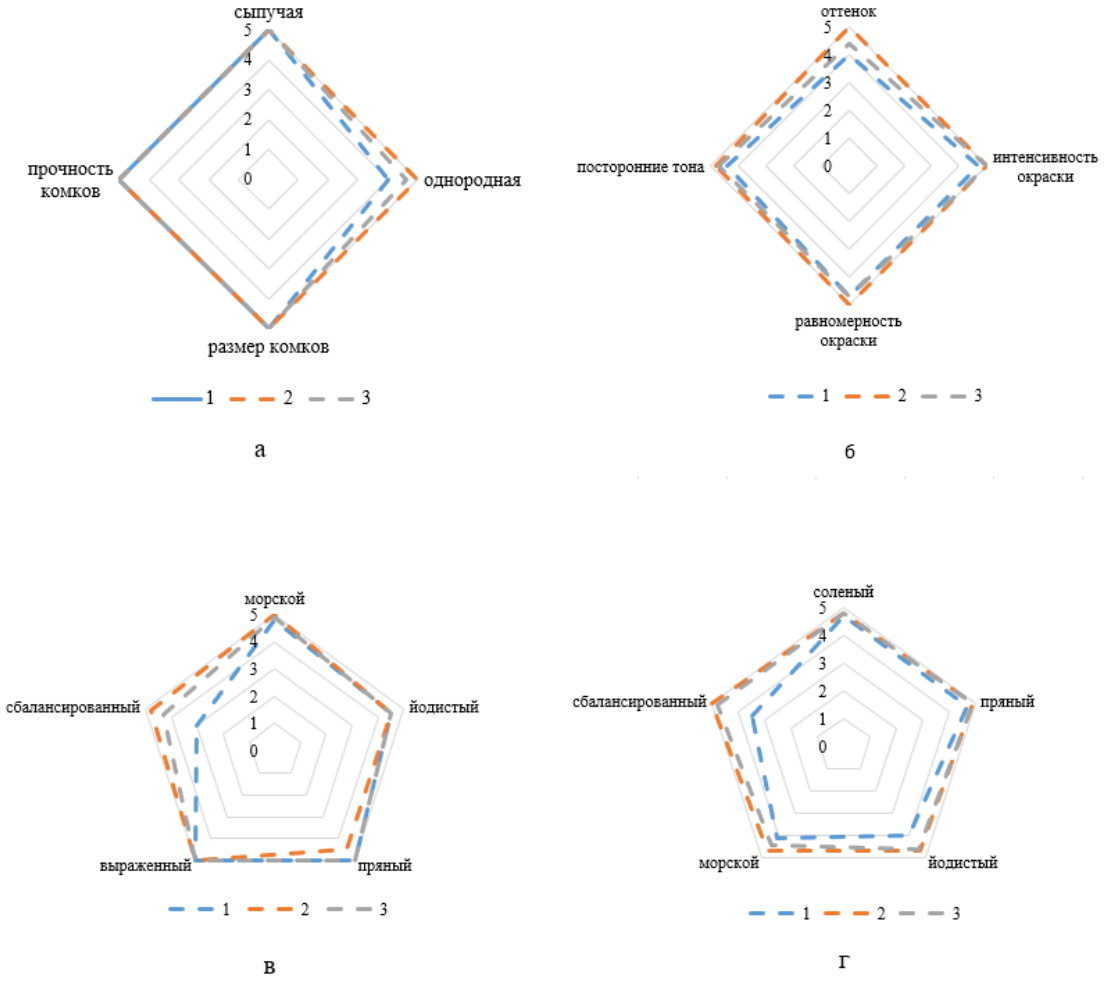
Unified scale for the organoleptic assessment of dry seasonings with the addition of brown algae bioconversion products

Характеристика органолептических показателей	Уровень качества, балл				
	1	2	3	4	5
Внешний вид	Сыпучесть полностью отсутствует	Значительное количество плотных комков, распределение компонентов визуально неравномерное	Присутствуют комки среднего размера, часть из них не рассыпается при легком нажатии, сыпучесть смеси затруднена	Незначительное количество мелких комков, легко рассыпающихся при легком нажатии, общая сыпучесть сохранена	Однородная смесь без комков, частицы равномерно распределены по всей массе
Цвет	Нехарактерный	Выраженная неравномерность окраски, присутствие явно нехарактерных для продукта цветовых тонов	Заметные отклонения от типичной цветовой гаммы (излишне бледный или излишне темный оттенок)	Незначительные отклонения от характерного цвета (неравномерность оттенка или слабо выраженный посторонний тон)	От светло-коричневого до темно-коричневого или свойственный цвету добавленных пищевых ингредиентов
Запах	Затхлый или прогорклый запах, полностью перебивающий аромат специй	Резкий, навязчивый рыбный или йодистый запах, доминирующий над ароматом специй	Заметный морской или йодистый запах, перекрывающий аромат специй, либо аромат специй чрезмерно интен-	Морской аромат выражен слабо или умеренно, специи ощущаются, но присутствуют незначительные посторонние от-	Морской аромат с нотками добавленных специй, без постороннего запаха, выраженный

			сивный, маскирующий водорослевую составляющую	тенки, не снижающие общей приемлемости	
Вкус	Сильный прогорклый, гнилостный или химический привкус	Резкий неприятный йодистый привкус, доминирующий над остальными вкусовыми нотками	Чрезмерно выраженная солёность или пряность, дисбаланс вкусовых компонентов	Солёно–пряный вкус выражен умеренно	Солёно–пряный с морской нотой, без постороннего привкуса

Разработанная 5-балльная шкала, представленная в табл. 3, имеет преимущество в том, что каждый балл привязан к конкретному качественному описанию, адаптированному к специфике водорослевого сырья, что значительно снижает субъективизм оценки. Выбор 5-балльной шкалы обусловлен балансом между необходимой дифференциацией и практичностью применения. Разница в 1 балл является значимой, но при этом не перегружает испытателей избыточным числом градаций, что особенно важно при оценке сложных многокомпонентных профилей.

Благодаря разработанной шкале мы получили сопоставимые числовые данные, которые затем использовали для построения профилограмм, представляющих собой графические изображения органолептических профилей образцов сухих приправ (рисунок). Число осей диаграмм соответствовало количеству выделенных дескрипторов. Точки, которые отражали интенсивность каждого признака, последовательно соединяли отрезками, формируя профилограмму, симметричная конфигурация которой указывает на сбалансированность профиля.



Профилограмма органолептических показателей качества сухих приправ:
а – консистенция; б – цвет; в – запах; г – вкус. Составлено авторами
Profileogram of organoleptic quality indicators of dry seasonings: а – consistency; б – color;
в – aroma; г – taste. Compiled by the authors

На основе органолептического анализа, проведенного по четырем группам показателей (консистенция, цвет, запах и вкус) с использованием 5-балльной шкалы, выполнена сравнительная оценка трех рецептур сухих приправ.

Рецептура № 1 демонстрирует высокие значения показателей: максимальные баллы по сыпучести, размеру комков, ярко выраженные пряность и интенсивность запаха. Однако при анализе сбалансированности запаха и вкуса выявлены снижения до 3,0 и 3,5 баллов соответственно. Это указывает на дисбаланс между отдельными нотами, отдельные компоненты доминируют, нарушая общую композицию. Размах баллов достигает 2,0 единицы, что свидетельствует о несбалансированности профиля. Рецептура № 3 занимает промежуточное положение. Ее профиль достаточно ровный, размах не превышает 0,7. Показатели оттенка цвета и вкуса составляют 4,4 и 4,8, что отражает достаточную гармоничность. Небольшие отклонения в однородности и сбалансированности запаха свидетельствуют о возможном отрицательном восприятии потребителями. Наиболее предпочтительной выбрана рецептура № 2. Все показатели консистенции имеют максимальное значение, цвет соответствует, а оценки запаха и вкуса составляют 4,76 и 4,82 соответственно. При этом сбалансированность запаха и вкуса достигают 4,8 и 5,0, что является наивысшим результатом среди образцов. Общий средний балл для рецептуры № 2 составляет 4,87, а размах значений не превышает 0,5, что говорит о том, что все органолептические свойства находятся в оптимальном равновесии, ни один из признаков не подавляет другие, а итоговое восприятие характеризуется целостностью и полнотой.

Заключение

Таким образом, методология органолептического профилирования позволила охарактеризовать сенсорные характеристики образцов сухих приправ на основе продуктов биоконверсии бурой водоросли *Ascophyllum nodosum* и выявить существенные различия между ними. Методика оценки позволила охарактеризовать каждый образец и обосновать выбор оптимальной рецептуры. Профилограммы наглядно продемонстрировали преимущества рецептуры № 2, подтвердив ее сбалансированность по всем показателям. В ароматическом профиле отмечается умеренная интенсивность морского запаха, который гармонично сочетается с характерными нотами добавленных специй. При оценке вкуса установлено сбалансированное сочетание соленых и пряных компонентов. В образце отсутствуют посторонние привкусы и запахи, смесь однородная и сыпучая, без комков, что свидетельствует о высоком качестве продукта и корректности технологического процесса производства. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования рецептур сухих приправ из морских водорослей и создания продуктов функционального назначения. Данная методология применима при разработке аналогичных продуктов на основе водорослевого сырья.

Список источников

1. Śmiechowska, M. Spices and Seasoning Mixes in European Union—Innovations and Ensuring Safety / M. Śmiechowska, J. Newerli-Guz, M. Skotnicka // Foods. 2021. Vol. 10. Article 2289. DOI 10.3390/foods10102289.

2. Tahmaz, J. Physical Properties of Vegetable Food Seasoning Powders / J. Tahmaz et al. // 10th Central European Congress on Food. CE-Food 2020 / M. Brka et al. Cham: Springer, 2022. DOI 10.1007/978-3-031-04797-8_2.

3. Somdee, T. Assessment of Nutritional, Physiochemical, Antioxidant and Sensory Properties of Seasoning Powder Containing Asplenium unilaterale Lam. / T. Somdee, S. Yangyeun, P. Srikongpan et al. // Journal of Current Science and Technology. 2024. Vol. 14. P. 51. DOI 10.59796/jcst.V14N3.2024.51.

4. Подкорытова, А. В. Морские бурые водоросли – перспективный источник БАВ для медицинского, фармацевтического и пищевого применения / А. В. Подкорытова, А. Н. Рощина

// Труды ВНИРО. 2021. Т. 186. С. 156–172. DOI 10.36038/2307–3497–2021–4–156–172. EDN OSXXMZ.

5. Беркетова, Л. В. Стандарты, используемые в области проведения органолептических испытаний / Л. В. Беркетова, О. И. Пономарева, Е. П. Елякина // Бюллетень науки и практики. 2017. № 8(21). С. 181–187. DOI 10.5281/zenodo.842920. EDN ZDAVYV.

6. Marques, C. An overview of sensory characterization techniques: from classical descriptive analysis to the emergence of novel profiling methods / C. Marques, E. Correia, L.-T. Dinis et al. // Foods. 2022. Vol. 11, Iss. 3. Article 255. DOI 10.3390/foods11030255.

7. Заворохина, Н. В. Использование дескрипторно-профильного метода дегустационного анализа при разработке сывороточных напитков / Н. В. Заворохина, Ю. И. Богомазова, О. В. Феофилактова // Пищевая промышленность. 2019. № 7. С. 50–53. DOI 10.24411/0235-2486-2019-10100. EDN lgpczp.

8. Корнева, Н. Ю. Органолептическая оценка соево-грибной пасты с различным композиционным составом / Н. Ю. Корнева, О. В. Литвиненко // Научное обеспечение технологического развития и повышения конкурентоспособности в пищевой и перерабатывающей промышленности : сборник материалов 3-й Международной научно-практической конференции, Краснодар, 28–29 ноября 2023 года. Краснодар: Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, 2023. С. 118–122. EDN EPGXUI.

9. Шмалько, Н. А. Балльная оценка органолептических свойств багета ремесленного изготовления / Н. А. Шмалько, Л. А. Кудрявцева, А. А. Черник [и др.] // Хлебопродукты. 2024. № 9. С. 38–44. DOI 10.32462/0235-2508-2024-33-9-38-44. EDN GQLLJX.

10. Березина, В. В. Роль стандартизации органолептического анализа в повышении качества товаров / В. В. Березина // Базис. 2021. № 2(10). С. 11–17. DOI 10.51962/2587-8042_2021_10_11. EDN GZLFEG.

11. Нициевская, К. Н. Разработка балльной шкалы для оценки органолептических показателей соусной продукции / К. Н. Нициевская // Современная наука и инновации. 2019. № 4(28). С. 276–282. EDN TUCEDP.

12. Беркетова, Л. В. Применение методов органолептического анализа для отбора и обучения испытателей / Л. В. Беркетова, О. И. Пономарева, Н. А. Пугачева, В. О. Кузнецова // Бюллетень науки и практики. 2017. № 5(18). С. 95–101. DOI 10.5281/zenodo.579731. EDN YNBKKV.

Сведения об авторах

С. В. Капуста – ассистент базовой кафедры биологической и биохимической инженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем».

О. В. Табакаева – доктор технических наук, доцент, профессор базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем».

А. В. Табакаев – кандидат технических наук, доцент базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем».

Information about the authors

S. V. Kapusta – Assistant of the core department of biological and biochemical engineering at the Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”.

O. V. Tabakaeva – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, and Professor of the core department of food and cellular engineering at the Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”.

A. V. Tabakaev – PhD in Technical Sciences and Associate Professor of the core department of food and cellular engineering at the Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems".

Статья поступила в редакцию 06.09.2026; одобрена после рецензирования 15.09.2026; принята к публикации 19.09.2026.

The article was submitted 06.09.2026; approved after reviewing 15.09.2026; accepted for publication 19.09.2026.

© Капуста С. В., Табакаева О. В., Табакаев А. В., 2026.

«Исследование органолептических свойств сухих приправ из бурой водоросли *Ascophyllum nodosum*» [Капуста С. В., Табакаева О. В., Табакаев А. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 57–65.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 66-933.4/66-965 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-05 EDN: HRTZLW

Обогащение хлебобулочных изделий йодом с использованием *Saccharina japonica*: сравнительная эффективность порошка селенизированной водоросли и гидротермического экстракта

Кристина Александровна Космачёва [1], Владимир Алексеевич Лях [2]
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
[1] kosmacheva.ka@dvfu.ru, ORCID: 0009-0004-4936-5921
[2] lyah.va@dvfu.ru, ORCID: 0000-0001-6999-2210

Аннотация. Проблема йододефицита остаётся актуальной для значительной части населения России, где хлеб традиционно занимает ключевую позицию в ежедневном рационе. В рамках разработки функциональных хлебобулочных изделий исследована возможность обогащения хлеба йодом с применением природных компонентов. Объектами изучения выступили порошок селенизированной бурой водоросли *Saccharina japonica* и гидротермический экстракт – их вводили в рецептуру хлеба и оценивали влияние на итоговую концентрацию йода. Экспериментальная часть включала приготовление серии образцов с различными дозировками добавок и последующее определение содержания йода. Установлено, что оба компонента способны существенно повышать йодную ценность продукта, что обосновывает их целесообразность для использования в производственных технологиях. Полученные данные открывают возможности для создания хлебобулочных изделий, способствующих коррекции йодной недостаточности в рационе населения.

Дополнительно в ходе работы проведена сравнительная оценка эффективности добавок: выявлено, что гидротермический экстракт демонстрирует более высокую степень перехода йода в продукт по сравнению с порошковой формой. Учтены технологические аспекты – введение компонентов не ухудшает органолептические характеристики хлеба и не нарушает стандартные параметры выпечки. Результаты подтверждают потенциал масштабирования подхода: предложенные решения совместимы с действующими производственными линиями и не требуют кардинальной перестройки технологических процессов. Это делает разработку практически применимой для предприятий хлебопекарной отрасли.

Ключевые слова: хлебобулочные изделия, селен и йод, *Saccharina japonica*, бурые водоросли, вольтамперометрия, йододефицит, экстракт и порошок, суточная норма потребления

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект №FZNS-2025-0008 «Разработка отечественных композиций нутрицевтиков и нутрицевтических продуктов с использованием новых видов биологических ресурсов и оценка их применимости в пищевых системах»).

Для цитирования: Космачёва К. А., Лях В. А. Обогащение хлебобулочных изделий йодом с использованием *Saccharina japonica*: сравнительная эффективность порошка селенизированной водоросли и гидротермического экстракта // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 57–65.

© Космачева К. А., Лях В. А., 2026

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 57–65.

FOOD SYSTEMS

Original article

Iodine enrichment of bakery products using *Saccharina japonica*: comparative effectiveness of selenium-enriched algal powder and hydrothermal extract

Kristina A. Kosmacheva [1], Vladimir A. Lyakh [2]
Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia
[1] kosmacheva.ka@dvfu.ru, ORCID: 0009-0004-4936-5921
[2] lyah.va@dvfu.ru, ORCID: 0000-0001-6999-2210

Abstract. The problem of iodine deficiency remains relevant for a significant part of the Russian population, where bread traditionally occupies a key place in the daily diet. As part of the development of functional bakery products, the possibility of enriching bread with iodine using natural components was investigated. The study focused on the powder of selenium-enriched brown alga *Saccharina japonica* and a hydrothermal extract — these were incorporated into the bread formulation, and their effect on the final iodine concentration was evaluated. The experimental stage involved preparing a series of samples with different additive dosages and subsequently determining the iodine content. It was found that both components can significantly increase the iodine value of the product, which justifies their feasibility for use in production technologies. The obtained data open up opportunities for creating bakery products that help correct iodine deficiency in the population's diet. In addition, a comparative assessment of the additives' effectiveness was carried out during the work: it was revealed that the hydrothermal extract demonstrates a higher degree of iodine transfer into the product compared to the powder form. Technological aspects were taken into account — the introduction of the components does not impair the organoleptic characteristics of the bread and does not disrupt standard baking parameters. The results confirm the scalability potential of the approach: the proposed solutions are compatible with existing production lines and do not require a radical restructuring of technological processes. This makes the development practically applicable for bakery enterprises.

Keywords: bakery products, selenium and iodine, *Saccharina japonica*, brown algae, voltammetry, iodine deficiency, extract and powder, daily-recommended intake

Funding: this work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FZNS-2025-0008: "Development of domestic nutraceutical compositions and products using novel biological resources and assessment of their applicability in food systems").

For citation: Kosmacheva K. A., Lyakh V. A. Iodine enrichment of bakery products using *Saccharina japonica:* comparative effectiveness of selenium-enriched algal powder and hydrothermal extract. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):57–65. (In Russ.).

Введение

Производство хлебобулочных изделий в России имеет глубокие исторические корни и остается значимой отраслью экономики. Традиционные сорта хлеба и булочек пользуются устойчивым спросом, однако рынок испытывает давление со стороны изменяющихся потребительских предпочтений и роста популярности здорового образа жизни. Современные тенденции требуют от производителей разработки инновационных продуктов, способных удовлетворить запросы различных категорий покупателей, включая тех, кто предпочитает натуральные и функциональные продукты.

Многочисленные данные говорят о тесной связи между рационом питания и функционированием организма человека. Сегодня продукты питания выполняют более широкую роль, чем просто удовлетворение потребностей в пище и восполнение дефицита нутриентов: продукты питания рассматриваются как фактор укрепления здоровья, снижения алиментарно-зависимых патологий, а также поддержания физического и психоэмоционального благополучия [1].

За последние годы отмечается устойчивый спрос у потребителей к функциональным и специализированным продуктам питания. Это связано с тем, что все больше людей стараются придерживаться здорового образа жизни и заботятся о поддержании хорошей физической формы. На сегодняшний день мировой рынок подобной пищевой продукции оценивается примерно в 7 млрд долл. Он активно расширяется и, по прогнозам специалистов, уже в течение следующего десятилетия его объем может превысить 94 млрд долл. [2].

Под функциональными продуктами питания понимают пищу, содержащую ингредиенты, которые могут применяться для терапии заболеваний и их симптомов. В связи с увеличением распространенности хронических болезней все более востребованными становятся как действенное лечение, так и профилактика [3].

Чтобы пищевой продукт можно было отнести к функциональному, на одну потребляемую порцию должно приходится не менее 15 % суточной потребности в соответствующих функциональных пищевых ингредиентах. Такие продукты питания рассчитаны на постоянное включение в рацион питания здоровых людей любых возрастных групп [4].

Обычные продукты питания обладают двумя ключевыми характеристиками – пищевой ценностью и вкусовыми характеристиками. Функциональные пищевые продукты дополнительно воздействуют на физиологию: поддерживают работу одной или нескольких систем организма, замедляют старение и снижают вероятность болезней [2].

Самый распространенный и применимый способ производства функциональных продуктов питания – обогащение на этапе изготовления. Специалисты и ученые советуют вводить те нутриенты, недостаток которых действительно наблюдается, широко распространен и представляет риски для здоровья. Это, например, аскорбиновая кислота, витамины группы В, йод, железо, кальций, пищевые волокна. Витаминами, минеральными веществами и другими активными компонентами целесообразно обогащать продукт питания массового спроса, доступные всем группам населения: хлеб и хлебобулочные изделия, молоко и молочные продукты, соль, напитки, детское питание [5].

Перспективным направлением считается создание функциональных пищевых продуктов с растительными добавками. Они выгодно отличаются от препаратов химического происхождения и смесей: ценные активные компоненты содержатся в естественной форме и лучше усваиваются организмом [6].

Расширить линейку продуктов функционального и специализированного назначения и сделать здоровое питание более доступным для населения можно за счет добавления в хлеб и хлебобулочные изделия растительного сырья морского происхождения, в частности, морскими водорослями, которые как пищевой ресурс используются человеком с давних пор. Не только в азиатских, но и в западных странах употребляют в пищу морские водоросли как в свежем виде, так и в составе готовых продуктов [7, 8].

Например, нори, вакамэ и комбу используют в качестве сырья или ароматизаторов для других продуктов. Эти водоросли считаются наиболее идеальными пищевыми источниками [9]. Измельчение водорослей в порошок и добавление их в выпечку или крахмалистые продукты может повысить питательную ценность пищи, а также улучшить её вкус [10, 11].

Кроме того, морские водоросли могут придавать пищевым продуктам физико-химические и текстурные характеристики, например, содержащиеся полисахариды могут улучшать структуру и прочность пищевых продуктов [11]. Употребление в пищу продуктов с высоким содержанием пищевых волокон усиливает чувство насыщения, снижает уровень глюкозы, холестерина и инсулина в крови после приема пищи [12].

Некоторые микроэлементы отсутствуют или присутствуют в низких концентрациях в наземных овощах, что делает морские водоросли важным источником минералов в обычном

рационе. Недавнее исследование также показало, что морские водоросли могут снизить риск аллергических реакций, вызванных употреблением в пищу белков [13]. Поэтому морские водоросли предпочтительны в качестве функционального питания и нутрицевтиков для улучшения здоровья человека.

Морские водоросли также богаты множеством ценных микроэлементов: железо, марганец, медь, цинк, кобальт, селен и йод, который играет ключевую роль в поддержании нормальной функции щитовидной железы и метаболизма [14].

Среди промысловых ресурсов Дальнего Востока важное место занимают бурые водоросли [15]. Исторически их добывают в нескольких районах: в заливе Анива, относящемуся к Охотскому морю и расположенному у южного побережья острова Сахалин; в Авачинском заливе на юго-востоке Камчатки; а также в прибрежных водах Приморского края, относящихся к Японскому морю [16].

В бурых водорослях Дальнего Востока максимальное количество органических веществ могут накапливать ламинариевые, произрастающие в прибрежных водах Камчатки и Приморского края. *Saccharina japonica* богата минеральным составом и содержит значительное количество органически связанного йода в своем составе [17].

Среди эссенциальных микроэлементов особое место занимает йод. Он уникален тем, что лишь он один участвует в синтезе гормонов и является их компонентом. Биологическая роль йода прежде всего определяется его вкладом в деятельность щитовидной железы и построением тироксина. Пока именно йод – единственный достоверно известный микроэлемент, задействованный в создании этого гормона [18].

В организме взрослого человека присутствует порядка 20–30 мг йода. Из этого количества примерно 8 мг, или 30 %, сосредоточено в щитовидной железе. Еще около 35 % находится в плазме крови в виде органических соединений, прежде всего тироксина – гормона щитовидной железы [19].

Сегодня патологии, вызванные нехваткой йода, входят в число самых массовых в мире. Россия также относится к государствам, где эта проблема стоит достаточно остро. По сведениям ВОЗ, с йодным дефицитом живут свыше 2 млрд человек. Почти у 700 млн из них диагностирован эндемический зоб, а у 43 млн наблюдается умственная отсталость, а более 6 млн человек страдают кретинизмом – наиболее тяжелой формой умственной отсталости [20].

Ключевая биологическая роль йода связана с выработкой гормонов щитовидной железы – тироксина и трийодтиронина. Через эти гормоны реализуется целый ряд эффектов: ускоряет рост и развитие организма; учувствует в регуляции роста и дифференцировки тканей; способствует повышению артериального давления, усилению и учащению сердечных сокращений; влияет на скорость многих биохимических реакций, увеличивая её; регулирует энергетический обмен и способствует повышению температуры тела; контролирует обмен белов, жиров, воды и электролитов; участвует в обмене витаминов; увеличивает потребление кислорода тканями [21].

Согласно позиции Всемирной организации здравоохранения, йододефицитные состояния относятся к неинфекционным заболеваниям и являются наиболее распространенными в этой группе.

Если йода организму не хватает, могут возникнуть серьезные осложнения: нарушается деятельность нервной системы и головного мозга, страдают половые и молочные железы. Появляются слабость в суставах и мышечные боли, развивается анемия. Возникают сбои репродуктивной функции, проблемы с ростом и восстановлением кожи, волос, зубов. Замедляются преобразование энергии и обменные процессы [22].

У здорового человека содержание йода в крови находится в диапазоне 30–60 мкг/л. Что касается суточной физиологической нормы, взрослым необходимом 150 мкг в сутки, а детям – от 60 до 150 мкг [23].

Согласно рекомендациям органов здравоохранения Российской Федерации, по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающим современным требованиям

здорового питания рекомендуемый объем потребления хлеба и хлебобулочных изделий в год на человека составляет 95 кг [24].

Цель исследования заключалась в исследовании влияния порошка селенизированной бурой водоросли *Saccharina japonica* и гидротермического экстракта селенизированной водоросли на количество йода в хлебобулочных изделиях.

Объекты, материалы и методы исследований

Объектами исследования служили: хлеб пшеничный из муки высшего сорта (контрольный образец), хлеб с внесением 3 % порошка селенизированной бурой водоросли *Saccharina japonica* [25–27] и хлеб на основе гидротермического экстракта бурой водоросли *Saccharina japonica,* полностью заменившего воду, вносимую в тесто.

Содержание йода в хлебе из пшеничной муки высшего сорта с добавлением порошка селенизированной бурой водоросли *Saccharina japonica* и в хлебе из пшеничной муки высшего сорта с добавлением (заменой водной фазы) гидротермического экстракта бурой водоросли *Saccharina japonica,* исследовали методом инверсионной вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе Ta-Lab. Метод определения включает в себя предварительную подготовку проб путем минерализации и последующий анализ водного раствора минерализованной пробы на вольтамперометрическом анализаторе.

В основе метода вольтамперометрии лежит интерпретация поляризационных кривых, или вольтамперограмм. Их регистрируют в электролитической ячейке, содержащей поляризующийся индикаторный электрод и неполяризующийся электрод сравнения. Из вольтамперограмм можно извлечь как качественные, так и количественные сведения о веществах, которые восстанавливаются или окисляются на электроде, а также о том, как протекает электродный процесс [28].

Инверсионная вольтамперометрия включает несколько последовательных этапов:

1. Сначала определяемое вещество при неизменном потенциале электрохимически накапливают на поверхности электрода в форме труднорастворимого соединения. В ходе электролиза раствор перемешивают.

2. Спустя строго заданный промежуток времени перемешивание останавливают и дают раствору успокоиться. За это время массоперенос вещества к электроду ослабевает, из-за чего электролитический ток снижается до значения стационарного диффузионного тока.

3. После этого выделившееся вещество растворяют. Одновременно записывают, как ток через электрод зависит от потенциала, линейно изменяющегося во времени. Итоговая поляризационная кривая приобретает форму пика, по его положению, то есть по потенциалу пика, идентифицируют вещество, а ток в максимуме – измеренный как высота либо площадь пика – оказывается пропорционален концентрации аналита в растворе, если условия предэлектролиза поддерживаются постоянными [29].

Итоговая поляризационная кривая выглядит как пик. По его положению можно судить о природе определяемого вещества, а ток в максимуме, измеряемый по высоте пика, прямо пропорционален содержанию этого вещества в растворе.

Количественное содержание йода устанавливали методом стандартных добавок. На первом этапе снимали вольтамперограмму исследуемого раствора. Затем в ту же электрохимическую ячейку вводили добавку стандартного раствора определяемого иона с заранее известной концентрацией. Величину добавки подбирали так, чтобы аналитический сигнал увеличился примерно вдвое. Данный прием рекомендован для определения ионов в сложных многокомпонентных пищевых системах, где концентрация посторонних веществ достаточно велика.

Результаты и их обсуждение

Вольтамперометрический анализ исследуемых образцов хлеба (1–3), выявил различия в электрохимическом сигнале йода, что свидетельствует о разной степени его биодоступности. По результатам проведенной серии экспериментов и сделанных расчетов была определена

доля суточной потребности организма в йоде, которую обеспечивает контрольный образец. Такой же показатель был вычислен для хлеба, в состав которого входит 3 % порошка селенизированной бурой водоросли *Saccharina japonica* и 100 % гидротермического экстракта бурой водоросли *Saccharina japonica*. Полученные значения приведены в таблице.

Содержание йода в исследованных образцах хлеба

Iodine content in the studied bread samples

№ п/п	Образец	Содержание йода в образце, мкг/кг	Среднее значение йода в 200 г хлеба, мкг	Норма потребления, мкг/сут	Процент к норме, %
1	Хлеб (контрольный образец)	9,25±0,34	7,4	150	4,93
2	Хлеб с добавлением 3 % порошка селенизированной бурой водоросли *Saccharina japonica*	33,5±1,2	26,8		17,8
3	Хлеб, в состав которого входит гидротермический экстракт бурой водоросли *Saccharina japonica*	753±80	145		96,0

В ходе эксперимента была установлена взаимосвязь между массовой долей вносимой добавки и уровнем йода в исследуемых образцах хлеба. Так, при внесении 3 % порошка селенизированной *Saccharina japonica* сопровождалось повышением содержания йода в 3,6 раза, результат хороший, но этого недостаточно для покрытия суточной нормы. Добавление 100 % гидротермического экстракта *Saccharina japonica* обеспечило максимальное обогащение хлеба микроэлементом. Метод вольтамперометрии позволил зафиксировать стабильное присутствие йода в восстановленной форме, что обеспечивает его лучшую усвояемость. Порция хлеба с добавлением 3 % порошка селенизированной бурой водоросли *Saccharina japonica* по физиологическим нормам удовлетворяет суточную потребность в йоде на 17,8 %, а хлеб, в состав которого входит 100 % гидротермического экстракта *Saccharina japonica* – на 96,0 %. Разработанные рецептуры хлеба могут быть использованы для массового производства профилактических продуктов питания, что актуально для регионов с дефицитом хлеба.

Заключение

В ходе исследования были подобраны рациональные массовые доли селенизированного порошка бурой водоросли *Saccharina japonica,* которые целесообразно включать в рецептуры хлеба. В образце без обогащения (контрольный образец) концентрация йода не превышала 9,25 мкг/кг, что способствовало покрытию лишь 4,93 % суточной физиологической потребности в йоде. При введении 3 % селенизированного порошка бурой водоросли *Saccharina japonica* этот показатель возрастал до 33,5 мкг/кг, или до 17,8 % от суочной нормы. Наиболее выраженный результат получен для хлеба с 100 % гидротермического экстракта бурой водоросли *Saccharina japonica*: содержание йода достигало 753 мкг/кг, а степень удовлетворения суточной потребности составляла 96 %.

Сопоставление полученных данных в ходе эксперимента показывает, что между видом и количеством вводимой добавки и йодной ценностью готового изделия существует отчетли-

вая зависимость. Контрольный образец хлеба не может рассматриваться как значимый источник йода. Добавление 3 % порошка увеличивает содержание микроэлемента примерно в 3,6 раза, однако даже такой уровень покрывает менее пятой части суточной потребности. Использование гидротермического экстракта в массовой доле 100 % обеспечивает почти полное удовлетворение потребности организма в йоде, что позволяет отнести такое хлебобулочное изделие к функциональным продуктам.

Полученные результаты обосновывают перспективность применения бурой водоросли *Saccharina japonica* в качестве природного йодсодержащего компонента при производстве хлеба. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оценку сохранности йода в процессе хранения.

Список источников

1. Boggia, R. Functional Foods and Food Supplements / R. Boggia, P. Zunin, F. Turrini // Applied Sciences. 2020. Vol. 10, № 23. Article 8538. DOI: 10.3390/app10238538.

2. Ловкис, З. Функциональные продукты питания / З. Ловкис, Е. Моргунова // Наука и инновации. 2019. № 12 (202). С. 13–17.

3. Асякина, Л. К. Российский рынок функциональных продуктов питания для здорового образа жизни человека / Л. К. Асякина, А. А. Степанова, Т. В. Тамарзина [и др.] // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2022. № 3. С. 1–10.

4. ГОСТ Р 52349 2005. Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. Введ. 2006 07 01. Москва : Стандартинформ, 2006. 12 с.

5. Кухаренко, А. А. Научные принципы обогащения пищевых продуктов микронутриентами / А. А. Кухаренко, А. Н. Богатырев, В. М. Короткий, М. Н. Дадашев // Пищевая промышленность. 2008. № 5. С. 62–64.

6. Артемова, Е. Н. Растительные добавки в технологии пищевых продуктов : монография / Е. Н. Артемова, З. В. Василенко. Орёл : ОрелГТУ, 2004. 243 с.

7. Leandro, A. Seaweed's bioactive candidate compounds to food industry and global food security / A. Leandro, D. Pacheco, J. Cotas [et al.] // Life (Basel, Switzerland). 2020. Vol. 10, № 8. Article 140. DOI: 10.3390/life10080140.

8. Løvdal, T., Lunestad, B. T., Myrmel, M., Rosnes, J. T., Skipnes, D. Microbiological food safety of seaweeds / T. Løvdal, B. T. Lunestad, M. Myrmel, J. T. Rosnes, D. Skipnes // Foods. 2021. Vol. 10, № 11. P. 2719–2741. DOI: 10.3390/foods10112719.

9. Zhang, L. Global seaweed farming and processing in the past 20 years / L. Zhang, W. Liao, Y. Huang [et al.] // Food Production, Processing and Nutrition. 2022. Vol. 4, Article 23. DOI: 10.1186/s43014-022-00103-2.

10. Prabhasankar, P. Edible Japanese seaweed, wakame (Undaria pinnatifida) as an ingredient in pasta: Chemical, functional and structural evaluation / P. Prabhasankar, P. Ganesan, N. Bhaskar [et al.] // Food Chemistry. 2009. Vol. 115, № 2. P. 501–508. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.12.047.

11. Quitral, V. Seaweeds in bakery and farinaceous foods: A mini review / V. Quitral, M. Sepúlveda, G. Gamero Vega, P. Jiménez // International Journal of Gastronomy and Food Science. 2022. Vol. 28. Article 100403. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2021.100403.

12. Hall, A. C. Ascophyllum nodosum enriched bread reduces subsequent energy intake with no effect on post prandial glucose and cholesterol in healthy, overweight males. A pilot study / A. C. Hall, A. C. Fairclough, K. Mahadevan, J. R. Paxman // Appetite. 2012. Vol. 58, № 1. P. 379–386. DOI: 10.1016/j.appet.2011.11.002.

13. Yu, B. The inhibitory activity of alginate against allergic reactions in an ovalbumin induced mouse model / B. Yu, D. Bi, L. Yao [et al.] // Food & Function. 2020. Vol. 11, № 3. P. 2704–2713. DOI: 10.1039/D0FO00170H.

14. Corino, C. Seaweeds in pig nutrition / C. Corino, S. C. Modina, A. Di Giancamillo [et al.] // Animals. 2019. Vol. 9, № 12. Article 1126. DOI: 10.3390/ani9121126.

15. Суховеева, М. В. Промысловые водоросли и травы дальневосточных морей: биология, распространение, запасы, технологии переработки / М. В. Суховеева, А. В. Подкорытова. Владивосток : ТИНРО-Центр, 2006. 243 с.

16. Евсеева, Н. В. К вопросу о рациональном промысле ламинариевых водорослей Сахалино-Курильского региона / Н. В. Евсеева // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : труды «СахНИРО». Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2019. Т. 15. С. 146–165.

17. Аминина, Н. М. Сравнительная характеристика бурых водорослей прибрежной зоны Дальнего Востока / Н. М. Аминмина // Известия ТИНРО (Тихоокеанский научно исследовательский рыбохозяйственный центр). 2015. № 182. С. 258–268.

18. Мохорт, Т. В. Современное состояние проблемы ликвидации йодной недостаточности в Республике Беларусь / Т. В. Мохорт, С. В. Петренко, Н. Д. Коломиец // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2007. Т. 3, № 3. С. 50–55. DOI: 10.14341/ket20073350-55.

19. Заболевания щитовидной железы у детей и подростков : учебное пособие / Ю. Г. Самойлова, О. А. Олейник, М. В. Матвеева, О. П. Лейман. Томск : Изд-во СибГМУ, 2019. 97 с.

20. Валдина, Е. А. Заболевания щитовидной железы / Е. А. Валдина. 3 е изд., перераб. и доп. СПб. : Питер, 2006. 368 с.

21. Дедов, И. И. Эндокринология : учеб. для мед. вузов / И. И. Дедов, Г. А. Мельниченко, В. В. Фадеев. – М. : ГЭОТАР Медиа, 2021. 631 с.

22. Мельниченко, Г. А. Заболевания щитовидной железы во время беременности: диагностика, лечение, профилактика : пособие для врачей / Г. А. Мельниченко, В. В. Фадеев, И. И. Дедов. – Москва : Медиасфера, 2015. 148 с.

23. МР 2.3.1.0253 21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации : методические рекомендации. Утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22.07.2021. Текст : электронный : Режим доступа: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140 (дата обращения : 10.07.2026).

24. Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающим современным требованиям здорового питания : утв. приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 19.08.2016 № 614. Текст : электронный : Режим доступа: https://www.37fbuz.ru/o-tsentre/rekomendatsii-grazhdanam/746-rekomenduemye-ratsionalnye-normy-potrebleniya-pishchevykh-produktov-otvechayushchikh-sovremennym-trebovaniyam-zdorovogo-pitaniya (дата обращения : 10.07.2026).

25. Лях, В. А. Технологические аспекты использования селенизированной ламинарии в производстве хлеба / В. А. Лях, К. А. Космачева // Вестник научных конференций. 2026. № 5–1(129). С. 74–76.

26. Оценка общей биологической ценности обогащённых хлебобулочных изделий с добавлением бурых водорослей / К. А. Космачева, В. А. Лях, Н. Э. Струппуль [и др.] // Хлебопродукты. 2025. № 4. С. 46–52.

27. Космачева, К. А. Оценка технологических рисков применения продуктов переработки селенизированной ламинарии в технологии хлебобулочных изделий / К. А. Космачева, В. А. Лях // Инновации в пищевой промышленности: образование, наука, производство : материалы VII всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Благовещенск, 02 марта 2026 года. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2026. С. 106–111.

28. МУК 4.1.1481 03. Определение массовой концентрации йода в пищевых продуктах, продовольственном сырье, пищевых и биологически активных добавках вольтамперометрическим методом. Текст : электронный : Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200032528 (дата обращения : 10.07.2026).

29. Шрайбман, Г. Н. Вольтамперометрические методы анализа : методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Аналитическая химия» для студентов 2 курса

химического факультета / Г. Н. Шрайбман, Н. В. Серебряникова, П. Д. Халвина [и др.]. Кемерово : КемГУ, 2004. 31 с.

Сведения об авторах

К. А. Космачёва – младший научный сотрудник Молодежной научно-исследовательской лаборатории функционального, лечебного и спортивного питания Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», SPIN-код: 9570-7951, AuthorID: 1334936.

В. А. Лях – кандидат технических наук, доцент, декан Факультета агропищевых биотехнологий и пищевой инженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», старший научный сотрудник Молодежной научно-исследовательской лаборатории функционального, лечебного и спортивного питания, Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», SPIN-код: 3803-9538, AuthorID: 633650.

Information about the authors

K. A. Kosmacheva – Junior Researcher of the Youth Scientific Research Laboratory for Functional, Therapeutic and Sports Nutrition, Advanced Engineering School «Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems», SPIN-code: 9570-7951, AuthorID: 1334936.

V. A. Lyakh – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Agro-Food Biotechnologies and Food Engineering, Advanced Engineering School «Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems», Senior Researcher at the Youth Scientific Research Laboratory for Functional, Therapeutic and Sports Nutrition, Advanced Engineering School «Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems», SPIN-code: 3803-9538, AuthorID: 633650.

Статья поступила в редакцию 15.09.2026; одобрена после рецензирования 22.09.2026; принята к публикации 22.09.2026.

The article was submitted 15.09.2026; approved after reviewing 22.09.2026; accepted for publication 22.09.2026.

© Космачёва К. А., Лях В. А., 2026.

«Обогащение хлебобулочных изделий йодом с использованием *Saccharina japonica*: сравнительная эффективность порошка селенизированной водоросли и гидротермического экстракта» [Космачёва К. А., Лях В. А.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 66–72

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 664.9 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-06 EDN: JBFXIK

Оценка инновационности по уровню качества снековой продукции

Екатерина Мироновна Панчишина[1], Надежда Леонидовна Корниенко[2]
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия
[1] panchishina.em@dgtru.ru, ORCID: 0000-0002-5069-0316
[2] kornienkonl@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7161-622X

Аннотация. Приведена обобщенная технологическая схема ассортимента снековой продукции на основе мышечной ткани макруруса малоглазого (лат. *Albatrossia pectoralis*) и растительных добавок, производство которой позволяет получать варианты изделий как готовых к употреблению (ready-to-eat), так и готовых к приготовлению (ready-to-cook). Приводятся расчеты откликов органолептической оценки и показателя биологической ценности снековых изделий. Предложена модификация метода расчета критериального отклика биологической ценности, в основу которой положены значения относительной биологической ценности, полученные экспериментальным путем с использованием тест-культуры, а не абсолютные значения изучаемого показателя, предложенные в оригинальной формуле. Дана оценка инновационности по критерию качества разработанной снековой продукции. Высокой степени инновационности соответствует уровень качества, границы вариабельности которого находятся в пределах 3,4–5,0 баллов, а уровень качества разработанной снековой продукции в диапазоне 3,6–6,9 баллов. Минимальное значение уровня качества установлено для сушеного образца с гречневой мукой, максимальное значение для жареного образца также с добавлением гречневой муки. Оценка конкурентоспособности предположительно соответствует второму уровню инновационности и позволяет допустить возможность заполнения ниши на рынке, которая еще не представлена отечественными производителями, и вытеснение аналогичной азиатской продукции с менее достойными качественными характеристиками.

Ключевые слова: снековая продукция, уровень качества, органолептические свойства, биологическая ценность, оценка инновационности

Для цитирования: Панчишина Е. М., Корниенко Н. Л. Оценка инновационности по уровню качества снековой продукции // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 66–72.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 66–72.

FOOD SYSTEMS

Original article

Assessment of innovation in terms quality of snack products

Ekaterina M. Panchishina[1], Nadezhda L. Kornienko[2]
Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
[1] panchishina.em@dgtru.ru, ORCID: 0000-0002-5069-0316
[2] kornienkonl@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7161-622X

© Панчишина Е. М., Корниенко Н. Л., 2026

Abstract. A generalized technological scheme of the range of snack products based on the muscle tissue macrurus small-eyed (lat. Albatrossia pectoralis) and herbal additives is presented, the production of which allows to obtain variants products both ready-to-eat and ready-to-cook. The calculations of the responses organoleptic assessment and the indicator biological value of snack products are given. A modification of the method for calculating the criterion response biological value is proposed, which is based on the values of relative biological value obtained experimentally using a test culture, rather than the absolute values of the studied indicator proposed in the original formula. An assessment of innovation is given by the criterion quality of the developed snack products. A high degree of innovation corresponds to a quality level, the limits of variability which are in the range of 3.4-5.0 points, and the quality level developed snack products is in the range of 3.6-6.9 points. The minimum value of the quality level is set for the dried sample with buckwheat flour, the maximum value for the fried sample also with addition of buckwheat flour. The competitiveness assessment presumably corresponds to the second level of innovation and allows for the possibility filling a niche in the market that has not yet been represented by domestic manufacturers and displacing similar Asian products with less decent quality characteristics.

Keywords: snack products, quality level, organoleptic properties, biological value, assessment of innovation

For citation: Panchishina E. M., Kornienko N. L. Assessment of innovation in terms quality of snack products. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):66–72. (In Russ.).

Введение

Систематизация определений позволяет установить, что для инновационного продукта характерно наличие новизны, которая проявляется в улучшении потребительских характеристик, касающихся как функциональных свойств продукта, выраженных в оздоровительном, лечебно-профилактическом эффекте, так и изменения пищевой ценности и органолептических показателей [1, 2].

Рассматривая инновационный продукт питания как фактор развития потребительского рынка, зачастую не учитывается такой показатель, как «тренд». Сегодня одним из трендовых направлений развития пищевой индустрии являются продукты, готовые к употреблению – это блюда, которые прошли предварительную обработку и готовы к употреблению после нескольких простых или подробно описанных этапов приготовления в домашних или иных условиях [3, 4]. Современные потребители все чаще отдают предпочтение таким продуктам из-за их удобства и возможности приготовить вкусные блюда за относительно короткий промежуток времени с помощью простых способов термообработки, таких как запекание в духовке, использование микроволновой печи, сковороды и т.д., что соответствует современным требованиям к быстрому и здоровому питанию [5, 6].

В 1980-х гг. японский профессор Масаюки Ёсикава предложил концепцию «продуктов 3R», т.е. «готовых к употреблению», «готовых к разогреву» и «готовых к приготовлению» [7, 8]. В Японии готовые блюда называют «наканасёку» – это третий вариант питания между едой вне дома и домашней едой. Сегодня благодаря развитым глобальным цепочкам поставок и стремительным изменениям в образе жизни разнообразие и глобальный охват продуктов 3R увеличились, а рынок таких продуктов быстро растёт [7, 9, 10].

Разработан ассортимент снековой продукции на основе мышечной ткани макруруса малоглазого и растительных добавок, обобщенная технологическая схема (рис. 1) производства которых позволяет получать варианты изделий как готовых к употреблению (ready-to-eat), так и готовых к приготовлению (ready-to-cook) [11].

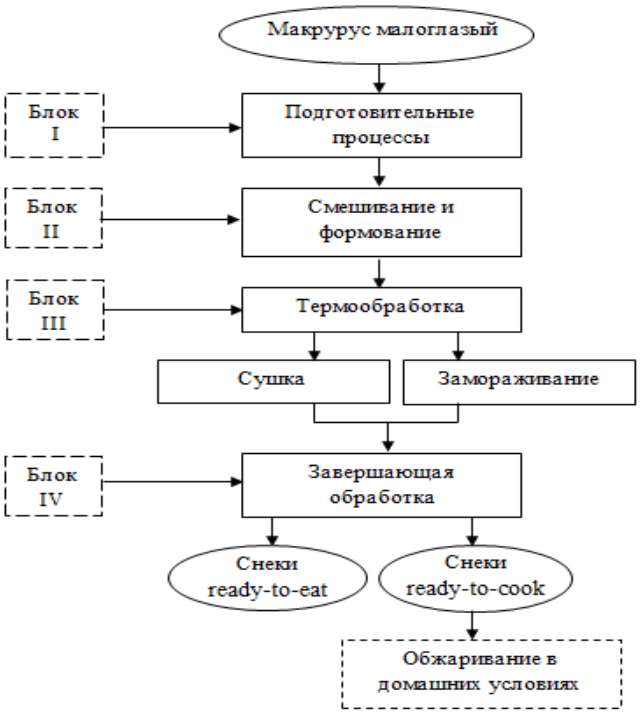


Рис. 1. Обобщенная технологическая схема снековой продукции. Составлено авторами
Fig. 1. Generalized technological scheme of snack products. Compiled by the authors

Целью настоящей работы стала оценка инновационности разработанной снековой продукции по критерию качества.

Объекты и методы исследований

Объектами исследований служили экспериментальные модели (ЭМ) снековой продукции, изготовленные в соответствии со схемой (рис. 1) проведения экспериментальной работы. В основу подготовки ЭМ положены результаты предыдущих исследований [11].

Операции блока 1 и 4 (рис. 1) выполняли в соответствии с действующей нормативной документацией. Блок 2 включает составление рецептурного набора (растительные добавки и предварительно подготовленное рыбное сырье), смешивание компонентов и формование снеков.

Выбор режима термообработки (блок 3) зависит от варианта изделия, так, для получения снеков, готовых к употреблению, полуфабрикаты подвергались сушке при температуре 45 ºС в течение 4 ч, для снеков, готовых к приготовлению, полуфабрикаты замораживали при температуре минус 18 ºС.

Уровень инновационности разработанной технологии снековой продукции проводили, используя метод, разработанный профессором В. А. Гроховским [12].

Для количественного определения критериального отклика, характеризующего уровень качества ($КИ_{УК}$), применяли следующую формулу (1):

$$КИ_{УК} = КИ_{УКО} + КИ_{УКБ}, \quad (1)$$

где $КИ_{УКО}$ – показатель органолептической оценки нового продукта;
$КИ_{УКБ}$ – показатель биологической ценности продукта.

Отклик $КИ_{УКО}$ определяли по следующей формуле (2):

$$КИ_{УКО} = \sum_{i=1}^{n} \frac{О_{Б\,i}}{О_{Б\,i\,max}} \cdot 5, \quad (2)$$

где $О_{Б\,i}$ – органолептическая оценка продукта в баллах;

$O_{Б\,i\,\max}$ – максимальная органолептическая оценка созданного продукта в баллах;

5 – приведённый коэффициент в баллах, характеризующий максимальное значение *КИУКО*.

Расчет значения критериального отклика биологической ценности продукта(ов) *КИУКБ* принято проводят с использованием формулы (3):

$$КИ_{УКБ} = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_{Ci}}{C_{C\,i\,\max}} \cdot 5 \Big/ n, \qquad (3)$$

где C_{Ci} – содержание функционального ингредиента в продукте, положительно влияющего на его биологическую ценность (мг/100 г, мкг/100 г);

$C_{C\,i\,\max}$ – норма суточной физиологической потребности человека в этом нутриенте в созданном продукте (мг/сут, мкг/сут);

5 – приведённый коэффициент в баллах, характеризующий максимальное значение *КИУКБ*;

n – количество вносимых нутриентов в созданном инновационном продукте.

При установлении расчетных значений *КИУКБ* экспериментальных моделей (табл. 1) авторами настоящей статьи рассмотрена возможность применения в качестве переменных параметров вышеприведенной формулы следующие показатели:

C_{Ci} – относительная биологическая ценность в продукте (биотестирование с использованием реснитчатой инфузории *Tetrahymena pyriformis*), %;

$C_{C\,i\,\max}$ – максимальная относительная биологическая ценность, %.

При оценке шкалы значений КИУК устанавливаются дифференцированные границы вариабельности этого критериального отклика:

– 0,0–1,6 – низкая степень инновационности разработки;
– 1,7–3,3 – средняя степень инновационности разработки;
– 3,4–5,0 – высокая степень инновационности разработки [12].

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведены результаты расчетов критериальных откликов органолептической оценки экспериментальных моделей снековой продукции.

Таблица 1

Критериальные отклики органолептической оценки снековой продукции

Table 1

Criterion responses of organoleptic evaluation of snack products

Физиологический компонент (растительная добавка)	Расчет КИУКО*		Результат, балл	
	Сушеные снеки	Жареные снеки	Сушеные снеки	Жареные снеки
Гороховый изолят	$\frac{23}{40}\times 5$	$\frac{26}{45}\times 5$	2,9	2,9
Гречневая мука	$\frac{23}{40}\times 5$	$\frac{33}{45}\times 5$	2,9	3,7
Рисовая мука	$\frac{27}{40}\times 5$	$\frac{28}{45}\times 5$	3,4	3,1
Кукурузная мука	$\frac{29}{40}\times 5$	$\frac{25}{45}\times 5$	3,6	2,8
Пшеничная мука	$\frac{21}{40}\times 5$	$\frac{33}{45}\times 5$	2,6	3,7

* Значения $O_{Б\,i}$ получены в предыдущих исследованиях [11].

Расчетные данные частного критериального отклика показывают, что органолептическая оценка испытуемых моделей находится в пределах 2,6–3,7, что соответствует среднему и высокому уровню инновационности.

В табл. 2 приведены результаты расчетов критериальных откликов биологической ценности экспериментальных моделей снековой продукции.

Таблица 2

Критериальные отклики биологической ценности снековой продукции

Table 2

Criterion responses of the biological value of snack products

Физиологический компонент (растительная добавка)	Расчет КИУКБ*		Результат, балл	
	Сушеные снеки	Жареные снеки	Сушеные снеки	Жареные снеки
Гороховый изолят	$\frac{115,9}{100}\times 5 \,/\, 1$	$\frac{112,9}{100}\times 5 \,/\, 1$	5,8	5,6
Гречневая мука	$\frac{84,6}{100}\times 5 \,/\, 1$	$\frac{200}{100}\times 5 \,/\, 1$	4,2	10,0
Рисовая мука	$\frac{86,1}{100}\times 5 \,/\, 1$	$\frac{84,7}{100}\times 5 \,/\, 1$	4,3	4,2
Кукурузная мука	$\frac{121,7}{100}\times 5 \,/\, 1$	$\frac{142,9}{100}\times 5 \,/\, 1$	6,1	7,2
Пшеничная мука	$\frac{107,1}{100}\times 5 \,/\, 1$	$\frac{130,3}{100}\times 5 \,/\, 1$	5,4	6,5

* Значения C_{Ci} получены в предыдущих исследованиях [13].

Критериальный отклик биологической ценности экспериментальных образцов снеков с испытуемыми растительными добавками, за исключением рисовой муки, характеризует их как продукт с «крайне» высоким уровнем инновационности, поскольку расчетные значения превышают максимальный пороговый уровень в 5 баллов.

Сравнительный анализ расчетных значений критериального отклика, характеризующего уровень качества разработанной снековой продукции, представлен на диаграмме (рис. 2).

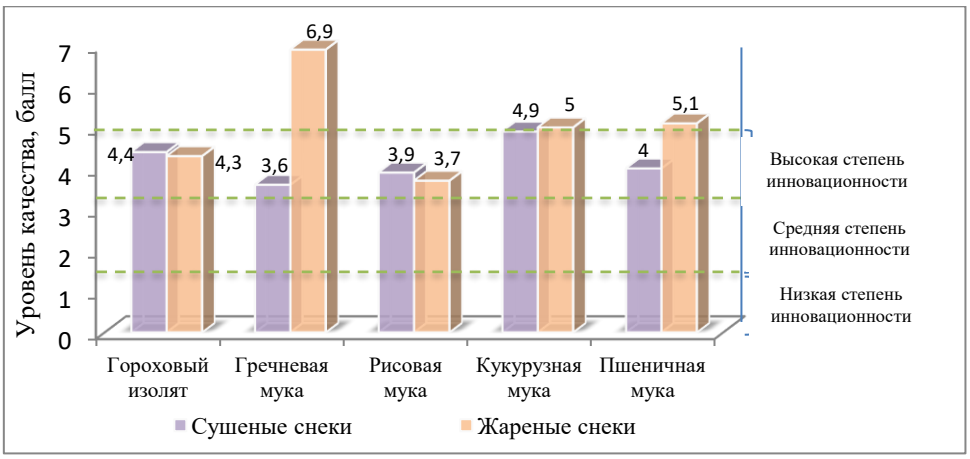


Рис. 2. Уровень качества снековой продукции, балл. Составлено авторами

Fig. 2. The quality level of snack products, score. Compiled by the authors

С учетом дифференцированных границ вариабельности критериального отклика установлено, что уровень качества разработанной снековой продукции соответствует высокой степени инновационности.

Известно, что целью при разработке инновационной технологии является изготовление готового продукта не только с высоким уровнем качества, но и с высокой степенью конкурентоспособности, для определения которой необходимо объективное экспертное заключение, подготовленное компетентными специалистами. Однако, с учетом установленных трех дифференцированных уровней, можно предположить, что разработанная снековая продукция является новым видом, имеющим свои аналоги, по ряду показателей, что соответствует второму уровню инновационности [12].

Заключение

На основе экспериментальных данных произведен расчет ключевого критерия, определяющего потребительскую оценку как уровень качества, включающий в себя органолептические свойства и биологическую ценность разработанной продукции и показывающий высокую степень инновационности технологии в целом.

Второму уровню инновационности соответствует предполагаемая оценка конкурентоспособности, которая носит субъективный характер. Такая оценка позволяет сделать вывод о возможности заполнения ниши на рынке, которая еще не заполнена отечественными производителями, и вытеснения аналогичной азиатской продукции с менее достойными качественными характеристиками.

Оценка инновационности технологической разработки, кроме представленных частных откликов интегрального критерия, включает в себя также оценку безопасности и экономическую эффективность, для определения которой предполагается получение экспериментальных данных на основе ряда научных исследований.

Список источников

1. Остальцева, О. Ю. Инновационный продукт питания как фактор развития потребительского рынка / О. Ю. Остальцева // Проблемы экономики и юридической практики. 2018. № 3. С. 43–47.

2. Короленок, Г. А. Продвижение инновационных продуктов питания на потребительский рынок: теория и практика / Г. А. Короленок, О. Ю. Остальцева. Минск : Республиканское унитарное предприятие «Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Трансстехника», 2021. 254 с.

3. Giatrakou V., Ntzimani A., Savvaidis I. N. Combined Chitosan-Thyme Treatments with Modified Atmosphere Packaging on a Ready-to-Cook Poultry Product. *J. Food Prot.* 2010, 73, 663–669.

4. Bhatt Y., Jyothi Lakshmi A. S. Effect of Processing Treatments on Digestibility and Physicochemical Properties of Ready-to-cook Breakfast Mixes. *J. Food Process. Preserv.* 2022, 46, e16324.

5. Kanatt S. R., Rao M. S., Chawla S. P., Sharma A. Effects of Chitosan Coating on Shelf-Life of Ready-to-Cook Meat Products during Chilled Storage. *LWT Food Sci. Technol.* 2013, 53, 321–326.

6. Vaishnav J., Adiani V., Variyar P. S. Radiation Processing for Enhancing Shelf Life and Quality Characteristics of Minimally Processed Ready-to-Cook (RTC) Cauliflower (*Brassica oleracea*). *Food Packag. Shelf Life* 2015, 5, 50–55.

7. Temgire S., Borah A., Kumthekar S., Idate A. Recent Trends in Ready to Eat / Cook Food Products: A Review. *Pharma Innov.* 2021, 10, 211–217.

8. Gunes G., Ozturk A., Yilmaz N., Ozcelik B. Maintenance of Safety and Quality of Refrigerated Ready-to-cook Seasoned Ground Beef Product (Meatball) by Combining Gamma Irradiation with Modified Atmosphere Packaging. *J. Food Sci.* 2011, 76, M413–M420.

9. Cui T., Gine G.R., Lei Y., Shi Z., Jiang B., Yan Y., Zhang H. Ready-to-Cook Foods: Technological Developments and Future Trend s– A Systematic Review. *Foods* 2024, 13, 3454. https://doi.org/10.3390/foods13213454.

10. Yi B., Xu H. Research and Development Status of Prepared Foods in China: A Review. *Appl. Sci.* 2023, 13, 7998.

11. Панчишина, Е. М. Технологический эффект растительных добавок в фаршевых системах на основе мышечной ткани макруруса малоглазого / Е. М. Панчишина, Н. Л. Корниенко // Научные труды Дальрыбвтуза. 2025. Т. 72, № 2. С. 95–103. DOI 10.48612/dalrybvtuz/2025-72-08.

12. Гроховский В. А., Мезенова О. Я. Оценка инновационности разработанных технологий // Пищевая и морская биотехнология – для здорового питания и решения медико-социальных проблем : материалы IV науч.-практ. конф. М., 2011. С. 45–46.

13. Панчишина, Е. М. Влияние выбора контрольного образца на результаты биотестирования снековой продукции / Е. М. Панчишина, Н. Л. Корниенко // Научные труды Дальрыбвтуза. 2025. Т. 74, № 4. С. 47–55.

Сведения об авторах

Е. М. Панчишина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания», ORCID: 0000-0002-5069-0316.

Н. Л. Корниенко – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания», ORCID: 0000-0002-7161-622X.

Information about the authors

E. M. Panchishina – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology, ORCID: 0000-0002-5069-0316.

N. L. Kornienko – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology, ORCID: 0000-0002-7161-622X.

Статья поступила в редакцию 06.05.2026; одобрена после рецензирования 12.05.2026; принята к публикации 12.09.2026.

The article was submitted 06.05.2026; approved after reviewing 12.05.2026; accepted for publication 12.09.2026.

© Панчишина Е. М., Корниенко Н. Л., 2026.

«Оценка инновационности по уровню качества снековой продукции» [Панчишина Е. М., Корниенко Н. Л.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 73–86.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 338.467.6 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-07 EDN: KMZELC

Повышение эффективности предприятий общественного питания малого формата на основе управления образованием пищевых отходов с учетом их углеродного следа

Дарья Александровна Попович [1], Елена Велориевна Глебова [2], Евгения Петровна Лаптева [3]
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия
[1] alieksandrovma_daria@bk.ru
[2] glebova.ev@dgtru.ru
[3] lapteva.ep@dgtru.ru

Аннотация. Предложена и апробирована оригинальная методика количественной оценки углеродного следа пищевых отходов для предприятий общественного питания формата «кофейня», интегрирующая подходы Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, IPCC) и данные исследований Poore & Nemecek. В отличие от существующих работ, методика позволяет разделять вклад эмиссий на этапе производства продуктов и на этапе их анаэробного разложения на полигоне, что устраняет методологическую неопределенность, характерную для предшествующих исследований. На основе четырех ключевых потоков отходов (молочная продукция, кофейный жмых, выпечка/десерты, овощные/фруктовые остатки) рассчитан углеродный след в кг CO_2-экв. в неделю и год. Разработан коэффициент эколого-экономической приоритетности, позволяющий ранжировать потоки отходов не по массе, а по интегральному вкладу в структуру выбросов и стоимость сырья. Определены «горячие точки» генерации отходов с применением диаграммы Парето и предложены точки контроля на основе инструментов бережливого производства. Научная новизна заключается в разработке параметрической формулы трансформации пищевых отходов в парниковые выбросы и обосновании критерия выбора Lean-инструментов, ориентированного не на массу отходов, а на удельный углеродный эквивалент. Результаты апробации показали, что годовой углеродный след кофейни-объекта исследования (300-400 посетителей в день) составляет 4,22 т CO2-экв., что эквивалентно сжиганию 1780 л бензина. Внедрение предложенных мер контроля позволяет снизить выбросы по категории «молочные отходы» на 42 % (390 кг CO2-экв./год).

Ключевые слова: углеродный след, пищевые отходы, кофейня, бережливое производство, Lean, коэффициенты эмиссии, протокол парниковых газов, Scope 3, диаграмма Парето, эколого-экономическая приоритетность

Для цитирования: Попович Д. А., Глебова Е. В., Лаптева Е. П. Повышение эффективности предприятий общественного питания малого формата на основе управления образованием пищевых отходов с учетом их углеродного следа // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 73–86.

© Попович Д. А., Глебова Е. В., Лаптева Е. П., 2026

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 73–86.

FOOD SYSTEMS

Original article

Improving the efficiency of small-format food service enterprises through food waste man-agement that accounts for the carbon footprint

Darya A. Popovich [1], Elena V. Glebova [2], Evgenia P. Lapteva [3]
Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
[1] alieksandrovma_daria@bk.ru
[2] glebova.ev@dgtru.ru
[3] lapteva.ep@dgtru.ru

Abstract. An original methodology has been proposed and tested for quantifying the carbon footprint of food waste in coffee-shop-style foodservice establishments, integrating approaches from the Intergov-ernmental Panel on Climate Change (IPCC) with research data from Poore & Nemecek. Unlike ex-isting studies, this methodology distinguishes between emissions generated during the product pro-duction stage and those resulting from anaerobic decomposition in landfills, thereby eliminating the methodological uncertainty characteristic of previous research. Based on fore key waste streams (dairy products, spent coffee grounds, pastries/desserts, and vegetable/fruit scraps), the carbon footprint was calculated in kg CO_2-equivalent per week and per year. An eco-economic priority coefficient was developed to rank waste streams based on their integrated contribution to the emissions profile and raw material costs rather than simply by mass. Waste generation "hotspots" were identified using Pareto analysis, and control points were proposed based on lean manufacturing tools. The scientific novelty lies in the development of a parametric formula for converting food waste into greenhouse gas emissions and the justification of a selection criterion for Lean tools based on specific carbon equivalent values rather than waste mass. Testing results demonstrated that the annual carbon footprint of the coffee shop under study (serving 300-400 customers daily) is 4.22 tonnes of CO_2-equivalent, an amount equivalent to burning 1,780 liters of gasoline. Implementing the proposed control measures enables a 42 % reduction in emissions within the "dairy waste" category (390 kg CO_2-equivalent/year).

Keywords: carbon footprint, food waste, coffee shop, lean production, Lean, emission factors, Greenhouse Gas Protocol, Scope 1–3, Pareto chart, environmental-economic priority

For citation: Popovich D. A., Glebova E. V., Lapteva E. P. Improving the efficiency of small-format foodservice enterprises through food waste management accounting for carbon footprint. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):73–86. (In Russ.).

Введение

Сектор общественного питания, особенно сегмент кофеен, характеризуется высокой интенсивностью образования пищевых отходов. Скоропортящиеся продукты (молочная продукция, выпечка, десерты) и технологические потери (кофейный жмых) формируют до 90 % углеродного следа предприятия (Girotto et al., 2015 [1]; Salemdeeb et al., 2017 [2]). В условиях глобальной климатической повестки и перехода к экономике замкнутого цикла проблема количественной оценки и сокращения выбросов парниковых газов от пищевых отходов приобретает критическое значение.

В концепции бережливого производства (Lean) пищевые отходы традиционно рассматриваются как один из видов потерь (муда), устранение которых дает экономический эффект

(Womack & Jones [3]; Ohno [4]). Однако в современном контексте устойчивого развития возникает необходимость интеграции экологической составляющей в Lean-подход. Эколого-ориентированный Lean (Green Lean) предполагает, что приоритизация мероприятий должна определяться не только экономией сырья, но и снижением углеродного следа (Verrier et al., [5]; Thanki et al. [6]).

Проблемное поле исследования заключается в отсутствии универсальной методики, позволяющей количественно сопоставить углеродный след различных потоков пищевых отходов в объектах общественного питания малого формата и на этой основе обосновать выбор Lean-инструментов. Существующие подходы (IPCC [7]; Clune et al. [8]; Poore & Nemecek [9]) либо дают общие коэффициенты без привязки к специфике предприятий общепита, либо не учитывают разделение эмиссий по этапам жизненного цикла продукта.

Цель настоящей работы – разработать и апробировать методику управления образованием пищевых отходов на предприятиях общественного питания малого формата на основе количественной оценки их углеродного следа, обеспечивающую повышение эффективности предприятия за счет обоснованного выбора Lean-мероприятий.

Задачи исследования:

1. Разработать методику управления образованием пищевых отходов на предприятиях общественного питания малого формата, включающую параметрическую формулу трансформации отходов в парниковые выбросы (на основе методологии МГЭИК и данных Poore & Nemecek) и критерий эколого-экономической приоритетности (*EEP*) для обоснования управленческих решений по сокращению отходов.

2. Определить «горячие точки» образования пищевых отходов и обосновать точки контроля на основе инструментов бережливого производства, ориентированных на удельный углеродный эквивалент, а не на массу отходов, для повышения эффективности предприятия.

3. Апробировать предложенную методику управления образованием пищевых отходов на примере типовой кофейни:

- выполнить количественную оценку углеродного следа по основным потокам отходов;
- провести ранжирование потоков по удельному вкладу в структуру выбросов с использованием диаграммы Парето;
- выполнить эколого-экономическое ранжирование потоков на основе критерия *EEP*;
- оценить потенциальный эффект от внедрения предложенных мер управления образованием отходов (Lean-мероприятий) и сформулировать практические рекомендации для предприятий малого формата;
- оценить повышение эффективности предприятия по результатам внедрения предложенных мер.

4. Разработать и обосновать практические рекомендации по управлению образованием пищевых отходов для предприятий общественного питания малого формата, обеспечивающие снижение углеродного следа и повышение эффективности предприятия.

В международной практике сложилось несколько подходов к количественной оценке выбросов парниковых газов от пищевых отходов. Базовым документом служит «Уточнения 2019 года к Руководящим принципам МГЭИК 2006 года по национальным кадастрам парниковых газов» (IPCC), который определяет коэффициенты эмиссии для различных типов отходов при сценариях захоронения на полигонах, компостирования и сжигания [7].

Принципиальное методологическое ограничение IPCC заключается в том, что коэффициенты эмиссии рассчитаны для разложения усредненной органической массы без учета специфики пищевых продуктов (молоко, мясо, растительные остатки). Данное ограничение было частично преодолено в работах Clune et al. [8]), которые провели систематический обзор и предложили дифференцированные коэффициенты для различных категорий свежих продуктов питания с учетом вариативности от региона и технологии производства.

Наиболее детальные данные по углеродному следу продовольственных товаров на этапе производства представлены в исследовании Poore & Nemecek, опубликованном в журнале Science [9]. Авторы проанализировали более 38 000 фермерских хозяйств и 1600 поставщиков,

что позволило получить статистически обоснованные коэффициенты для молочной продукции, мяса, зерновых, овощей и фруктов. Эти данные широко используются для расчета экологического следа продуктов питания, однако их применение к отходам требует учета дополнительных эмиссий на этапе депонирования (захоронения) [9].

Бережливое производство в пищевой промышленности (применение Lean-подходов в управлении пищевыми отходами) традиционно фокусируется на снижении операционных потерь: сокращение избыточных запасов (FIFO), стандартизация рецептур, визуальный контроль сроков годности (Liker [10]; Emiliani [11]). Однако, как отмечают Verrier et al. [5], классический Lean недостаточно учитывает экологический аспект, что привело к появлению концепции Green Lean.

Green Lean предполагает расширение традиционного понимания муда за счет включения экологических потерь (энергопотребление, выбросы, отходы) (Thanki et al. [6]). Для пищевой промышленности это означает, что мероприятия по сокращению отходов должны оцениваться не только по экономическому, но и по экологическому эффекту.

Однако в доступной литературе отсутствует методика, которая позволяла бы:

- количественно оценивать углеродный след каждого потока пищевых отходов в объектах общественного питания малого формата;
- разделять вклад эмиссий на этапе производства продукта и на этапе его разложения;
- ранжировать потоки отходов по интегральному критерию с учетом массы, удельного углеродного следа, стоимости сырья для обоснованного выбора Lean-инструментов.

Настоящее исследование направлено на заполнение данного пробела.

Объекты и методы исследования

Исследование проведено на базе кофейни формата «кофе с собственной кухней» (выпечка, сэндвичи, блюда из лаваша, обеды, кофе, горячие и холодные напитки), оснащенной следующим оборудованием: профессиональная кофемашина, холодильные и морозильные шкафы, линии раздачи, жарочное оборудование. Средняя проходимость составляет 300-400 посетителей в день.

Сбор данных проводился в течение 4 последовательных календарных недель (февраль-март 2026 года) для исключения сезонных колебаний, характерных для общественного питания (пиковые нагрузки в праздничные дни отсутствовали). Метод сбора данных – сплошной хронометраж с ежедневным взвешиванием отходов по четырем категориям. Обработка данных выполнена в MS Excel с использованием инструментов описательной статистики (среднее, стандартное отклонение, коэффициент вариации).

Результаты и их обсуждение

На основе анализа технологических процессов кофейни была разработана структурно-логическая схема авторской методики управления образования пищевых отходов на основе оценки углеродного следа (рис. 1).

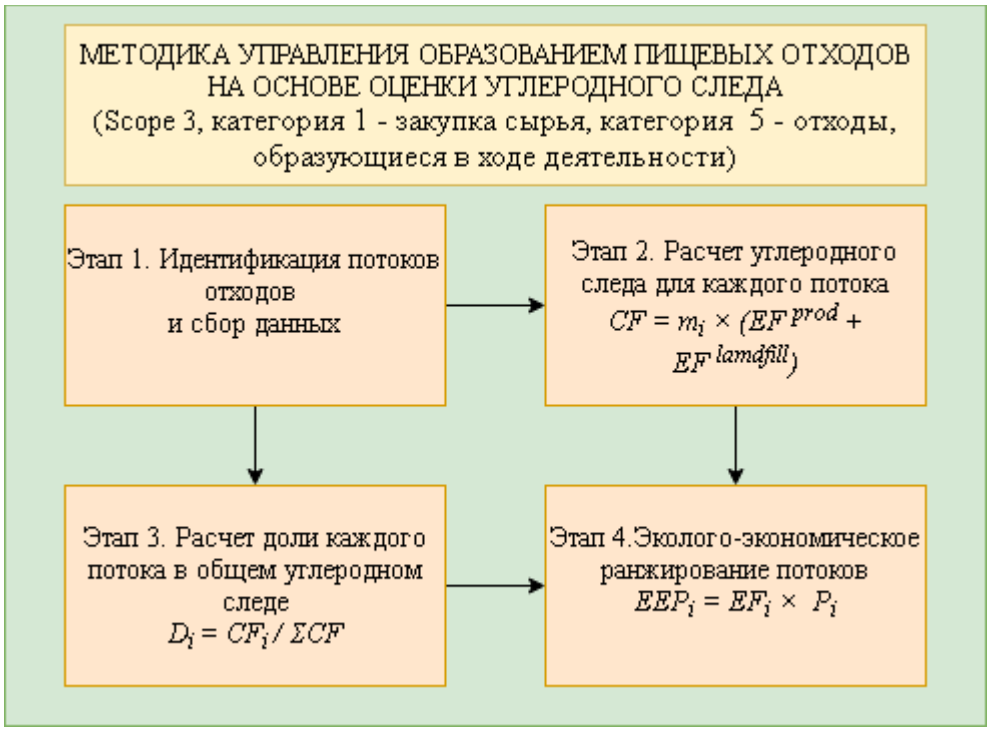


Рис. 1. Структурно-логическая схема авторской методики управления образованием пищевых отходов на основе оценки углеродного следа (Scope 3, категория 1 – закупка сырья, категория 5 – отходы, образующиеся в ходе деятельности GHG Protocol): четыре этапа от сбора данных до выбора Lean-инструментов [12]. Составлено авторами

Fig. 1. Structural-logical diagram of the authors' methodology for managing food waste generation based on carbon footprint assessment (Scope 3, Category 1 – raw material procurement, Category 5 – waste generated during operations under the GHG Protocol): four stages ranging from data collection to the selection of Lean tools [12]. Compiled by the authors

Следует отметить, что в разработанной модели (рис. 1) учитываются эмиссии, возникающие до поступления сырья в кофейню (производство у поставщика) и после утилизации отходов (разложение на полигоне ТБО), относящиеся к Scope 3. Выбросы от энергопотребления оборудования кофейни (относящиеся к Scope 1 и Scope 2) в рамках предлагаемого методического подхода не рассматриваются, так как не зависят от массы конкретного потока пищевых отходов и требуют отдельного инструментального учета. Такой подход позволяет ранжировать потоки именно по «пищевому» углеродному следу.

Представленная структурно-логическая схема задает границы системы для количественного расчета. На основе выделенных на рис. 1 двух источников эмиссий (производство у поставщика и разложение на полигоне) разработана авторская параметрическая формула (1). Она представляет собой аддитивную свертку удельных коэффициентов эмиссии EF_i^{prod} и $EF_i^{landfill}$, умноженных на массу отходов m_i. Именно данное суммирование, отсутствующее в предшествующих работах, составляет научную новизну методики, так как позволяет впервые разделить вклад двух этапов Scope 3 для потоков отходов общественного питания.

$$CF_i = CF_i^{prod} + CF_i^{landfill} = m_i \times \left(EF_i^{prod} + EF_i^{landfill}\right), \quad (1)$$

где CF_i – суммарный углеродный след i-го потока отходов, кг CO_2 - экв./нед;

m_i – масса отходов i-го типа, кг/нед;

EF_i^{prod} – коэффициент эмиссии на этапе производства продукта, кг CO_2 - экв./кг (по данным Poore & Nemecek);

$EF_i^{landfill}$ – коэффициент эмиссии на этапе анаэробного разложения на полигоне без улавливания газа, кг CO_2 - экв./кг (по данным IPCC [7], с дифференциацией по типам отходов).

Коэффициенты эмиссии, используемые в формуле (1), с обоснованием их выбора, представлены в табл. 1. Выбор конкретных значений из интервальных оценок обосновывался индивидуально для каждого потока (см. столбец «Метод обоснования», табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты эмиссии для потоков пищевых отходов кофейни

Table 1

Emission factors for coffee shop food waste streams

Поток отходов	EF_i^{prod}, кг CO_2-экв./кг	$EF_i^{landfill}$, кг CO_2-экв./кг	Принятый суммарный EF, кг CO_2-экв./кг	Метод обоснования
Молоко цельное, сливки	2,5–3,0 (Poore & Nemecek [9])	0,4–0,6 (IPCC, 2019, Vol. 5, Ch. 2)	3,0	Верхняя граница интервала EF_i^{prod} (3,0) взята как консервативная оценка, $EF_i^{landfill}$ не учитывается, так как такого вида отходы на полигон практически не вывозятся, а сливаются в канализацию
Кофейный жмых	0,5–0,9 (Starbucks [13]; собственные данные)	0,3–0,5 (IPCC, 2019, Vol. 5, Ch. 2)	1,2	Медианное значение интервала (0,7) для EF_i^{prod} и верхней границы (0,5) для $EF_i^{landfill}$ с учетом высокой влажности жмыха (60–70 %) и данных Starbucks [13]
Выпечка, десерты, заготовки	1,5–1,6 (Clune et al. [8])	0,2–0,3 (IPCC, 2019, Vol. 5, Ch. 2)	1,8	Сумма медианных значений интервалов EF_i^{prod} и $EF_i^{landfill}$ (1,8)
Овощи, фрукты	0,6–1,0 (Poore & Nemecek [9])	0,4–0,6 (IPCC, 2019, Vol. 5, Ch. 2)	0,8	Медианное значение интервала EF_i^{prod} (0,8) с учетом неопределенности $EF_i^{landfill}$, так как такие отходы частично компостируются

Примечание. Данные Starbucks получены из открытых отчетов компании по устойчивому развитию и скорректированы с учетом влажности кофейного жмыха (60–70 % влаги) [13]. Для жмыха, учитывая его высокую влажность и содержание органических кислот, принят консервативный повышенный коэффициент 1,2 кг CO_2-экв./кг.

Обобщая представленные выше теоретические положения, авторами разработана методика количественной оценки углеродного следа пищевых отходов для предприятия общественного питания. Методика представляет собой последовательный четырехэтапный алгоритм (см. рис. 1), реализация которого позволяет от первичных данных о массе отходов перейти к обоснованному выбору Lean-инструментов. Структура методики и ее математический аппарат приведены ниже.

Этап 1. Идентификация потоков отходов и сбор данных. На основе технологической карты предприятия выделяются ключевые потоки пищевых отходов (молочная продукция, выпечка, кофейный жмых, овощные/фруктовые остатки). Проводится сплошной хронометраж с ежедневным взвешиванием отходов по каждому потоку в течение не менее 4 недель.

Этап 2. Расчет углеродного следа потока. Для каждого потока определяется суммарный коэффициент эмиссии как сумма двух составляющих:

- EF_i^{prod} – эмиссии на этапе производства сырья (по данным Poore & Nemecek [9]);
- $EF_i^{landfill}$ – эмиссии на этапе анаэробного разложения на полигоне (по данным IPCC [7]).

Умножением суммарного *EF* на массу отходов m_i получается абсолютный углеродный след потока *CFi* (кг CO_2-экв./нед).

Ключевое отличие от известных подходов: в предшествующих работах [1, 2, 8] эмиссии на этапе производства и на этапе разложения рассматривались раздельно либо использовался только один из коэффициентов. В предлагаемой методике впервые применено их системное аддитивное суммирование для потоков отходов предприятий питания, что позволяет корректно учесть полный «пищевой» углеродный след в границах Scope 3 (категории 1 и 5 GHG Protocol [12]).

Этап 3. Расчет доли каждого потока в общем углеродном следе. Для сравнительного анализа потоков рассчитывается доля каждого потока в общем углеродном следе предприятия (*Di*). На основе кумулятивных долей строится диаграмма Парето, позволяющая визуально идентифицировать «горячие точки» – потоки, дающие наибольший вклад в выбросы.

Этап 4. Эколого-экономическое ранжирование потоков. Для выбора приоритетных Lean-мероприятий вводится авторский интегральный показатель эколого-экономической приоритетности (*EEP*). Он учитывает не только углеродный след потока, но и стоимость замещаемого сырья (*Pi*), что позволяет ранжировать потоки по критерию «высокий углеродный след × высокая стоимость сырья». Для потоков с нулевой стоимостью сырья (кофейный жмых) приоритет определяется напрямую по величине *CF*.

Предложенная четырехэтапная методика является универсальной и может быть адаптирована для любых объектов общественного питания малого формата при наличии данных о массе отходов и закупочных ценах на сырье.

Апробацию предложенной методики проводили в условиях предприятий общественного питания формата «кофейня» проходимостью 300–400 человек и на основе недельного баланса пищевых отходов, по всем четырем этапам.

Этап 1. Математически углеродный след для i-го потока отходов определяется по формуле (1):

Рассчитанные по формуле (1) абсолютные значения углеродного следа CF_i представлены в табл. 2 и позволяют оценить масштаб выбросов по каждому потоку, однако для сравнительного анализа и идентификации приоритетных категорий необходим показатель определяющий долю каждого потока в совокупном углеродном следе предприятия.

Этап 2. Доля углеродного следа i-го потока в общем углеродном следе предприятия (CF^{total}) рассчитывается по формуле (2):

$$D_i = \frac{CF_i}{\sum_{j=1}^{n} CF_j} \times 100\ \%. \qquad (2)$$

Расчетные значения D_i также представлены в табл. 2 и служит основой для построения диаграммы Парето (рис. 2), визуализирующей кумулятивный вклад потоков и позволяющей выделить «критические 20 %» категорий, формирующих основную массу выбросов (правило 80/20).

Таблица 2

Недельный баланс пищевых отходов и углеродного следа кофейни

Table 2

Weekly balance of food waste and carbon footprint for a coffee shop

Поток отходов	Масса, кг/нед. (m_i)	Суммарный CF_i, кг CO_2 - экв./нед. (CF_i,)	Доля в общем CF^{total}, % (D_i)	Кумулятивная доля, % (Парето)
Кофейный жмых	35,0 ± 5,2	42,0	51,7	51,7
Выпечка, десерты, заготовки	10,0 ± 1,8	18,0	22,2	73,9
Молоко	6,0 ± 0,9	18,0	22,2	96,1
Овощи, фрукты	4,0 ± 0,6	3,2	3,9	100,0
	55,0 ± 8,5	81,2	100,0	–

Примечание. Среднеквадратическое отклонение по массе отходов варьировалось от 15 до 18 % от недельной средней, что указывает на умеренную устойчивость технологического процесса.

Годовой углеродный след (52 недели, с учетом поправки на сезонность ± 10 %): CF^{total} = 81,2 × 52 = 4222,4 CO_2-экв. ≈ 4,22 т CO_2-экв./год, что соответствует следующему экологическому эквиваленту: 4,22 т CO_2-экв./год эквивалентно сжиганию 1780 л бензина (исходя из коэффициента 2,37 кг CO_2/л бензина согласно EPA, [14]).

На основе данных табл. 2 построена диаграмма Парето (рис. 2), которая визуализирует кумулятивный вклад каждого потока в общий углеродный след.

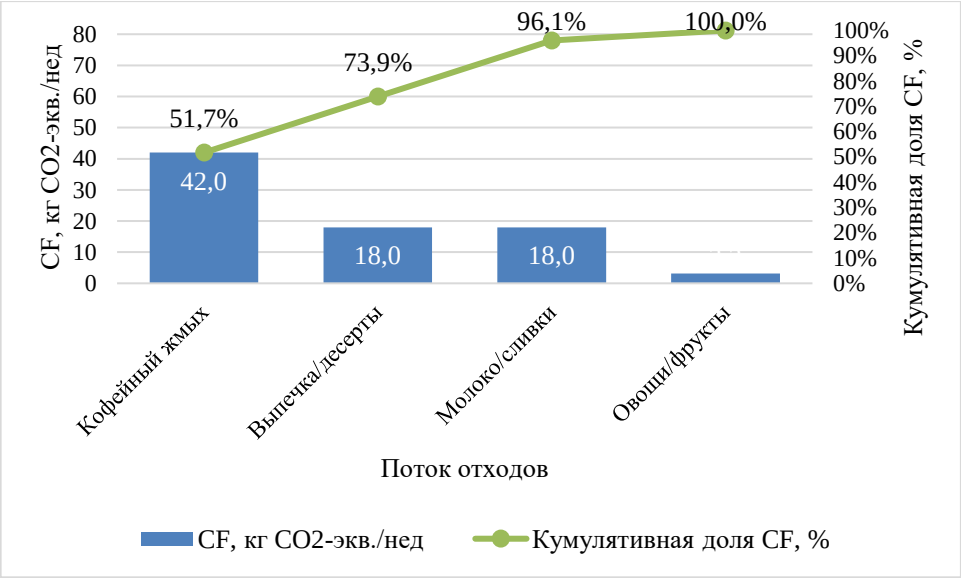


Рис. 2. Диаграмма Парето для потоков пищевых отходов кофейни: углеродный след потока (столбцы, кг CO_2-экв./нед.) и кумулятивная доля в общем углеродном следе (кривая, %). Составлено авторами
Fig. 2. Pareto chart for coffee shop food waste streams: stream carbon footprint (bars, kg CO2e/week) and cumulative share of the total carbon footprint (curve, %). Prepared by the authors

Исходя из рис. 2, кофейный жмых доминирует по массе (63,6 %), однако его вклад в углеродный след составляет лишь 51,7 %. Три из четырех потоков (75 % категорий) формируют 96,1 % совокупного углеродного следа, что свидетельствует о существенной концентрации выбросов в ограниченном числе категорий (при таком малом числе категорий классическое правило 80/20 применимо лишь условно). Разрыв между массой и *CF* для молока (10,9 % массы, 22,2 % *CF*) указывает на высокий приоритет данной категории для Green Lean. Овощи/фрукты имеют минимальный вклад как по массе (7,3 %), так и по *CF* (3,9 %).

В качестве ключевого научно значимого результата следует отметить, что три потока – кофейный жмых, выпечка и молочная продукция – формируют 96,1 % общего углеродного следа. При этом доминирование кофейного жмыха по массе (63,6 % от всей массы отходов) не является прямым отражением его углеродного вклада (51,7 %), что подтверждает необходимость дифференцированного подхода.

Если бы приоритет определялся только по массе отходов, первым в очереди на сокращение был бы кофейный жмых, однако его коэффициент эмиссии (1,2 кг CO_2-экв./кг) значительно ниже, чем у выпечки (1,8) и молока (3,0). Это подтверждает гипотезу о том, что классический Lean (ориентированный на массу) не эквивалентен Green Lean (ориентированному на углеродный след).

Этап 3. Для обоснованного выбора Lean-инструментов предложен интегральный показатель эколого-экономической приоритетности (*EEP*), определяемый по формуле (3):

$$EEP_i = \frac{CF_i \times P_i}{m_i} = EF_i \times P_i, \quad (3)$$

где EEP_i – эколого-экономическая приоритетность i-го потока отходов, кг CO_2-экв. × руб./кг^2;

P_i – средняя стоимость сырья i-го типа, руб./кг (по данным закупочных цен предприятия);

EF_i – суммарный коэффициент эмиссии, кг CO_2-экв./кг.

Данный показатель позволяет ранжировать потоки отходов по критерию «высокий углеродный след × высокая стоимость сырья», что определяет максимальный интегральный эффект от сокращения отходов. Показатель *EEP* применим для сопоставления потоков, обладающих ненулевой стоимостью замещаемого сырья; для потоков без рыночной стоимости сырья (например, кофейный жмых, $P = 0$) приоритет Lean-мероприятий должен определяться напрямую по величине *EF* или *CF*, поскольку при $P = 0$ значение *EEP* обнуляется независимо от реального вклада потока в углеродный след.

Расчет *EEP* (формула 3) показал неожиданные результаты (табл. 3), меняющие традиционные приоритеты Lean.

Таблица 3

Ранжирование потоков отходов по эколого-экономической приоритетности

Table 3

Ranking of waste streams by environmental and economic priority

Поток отходов	EF_i кг CO_2 -экв./кг	P_i, руб./кг	EEP_i *(EF×P)*	Приоритет для Lean
Молоко	3,0	180	540	1 (высший)
Выпечка, десерты	1,8	250	450	2
Кофейный жмых	1,2	0 (отход)	0	4 (низший)
Овощи/фрукты	0,8	120	96	3

Несмотря на то, что кофейный жмых доминирует по массе, его экономическая ценность равна нулю (отход), поэтому с точки зрения эффекта для бизнеса сокращение его потерь не дает прямой экономии. Напротив, молочные отходы, хотя и занимают лишь 10,9 % по массе, имеют максимальный *EEP* из-за высокого коэффициента эмиссии и высокой стоимости сырья. Таким образом, приоритет номер один для Lean-мероприятий по критерию *EEP* – молочная продукция. При этом низкий *EEP* кофейного жмыха отражает лишь нулевую стоимость сырья, а не малозначимость его углеродного следа (51,7 % от общего *CF*, наибольший показатель среди всех потоков) – соответствующее Lean-мероприятие для жмыха обосновывается напрямую по величине *CF*, а не по *EEP*.

Этап 4. На основе анализа операционной карты кофейни и данных табл. 2–3 выделены критические узлы образования отходов (табл. 4).

Таблица 4

Детализация «горячих точек» образования отходов и предлагаемые Lean-инструменты

Table 4

Detailed breakdown of waste generation hotspots and proposed Lean tools

Поток отходов	Операция возникновения	Тип потерь (муда) по Lean	Предлагаемый Lean-инструмент	Ожидаемое снижение отходов, %
Молоко, сливки	Приготовление напитков (капучинатор, дозирование)	Перепроизводство, дефекты (проливы), излишние запасы	- мерные дозаторы с фиксацией объема; - питчеры с метками; - система FIFO в холодильнике; - ежедневная проверка сроков годности	42

Выпечка, десерты	Приготовление и хранение готовых изделий	Ожидание (непроданная продукция), излишние запасы	- внедрение системы FIFO при выкладке (цветные стикеры); - ежечасный контроль наличия; - сокращение партий при низком трафике	25
Кофейный жмых	Приготовление эспрессо	Технологически неизбежные потери (невозможно устранить полностью)	- сбор в герметичную тару для компостирования/биогаза (изменение сценария утилизации, а не сокращение массы); - контроль массы через взвешивание	0 (снижение CF за счет изменения утилизации)
Овощи, фрукты	Предварительная обработка (чистка, нарезка)	Дефекты (обрезки), ожидание (порча)	- стандартизация нарезки; - контроль температуры хранения; - закупка частично обработанных овощей	30

Полученная величина 4,22 т CO_2-экв./год для кофейни с проходимостью 300–400 человек/день соотносится с результатами Salemdeeb et al. [2], которые оценивали углеродный след одного заведения общественного питания в Великобритании в диапазоне 3,5–5,0 т CO_2-экв./год. Однако прямое сравнение затруднено из-за различий в учете Scope (наша методика учитывает эмиссии Scope 3, возникающие на двух этапах жизненного цикла: при производстве сырья у поставщиков (категория 1 GHG Protocol) и при анаэробном разложении отходов на полигоне (категория 5 GHG Protocol) [12].

Если рассматривать показатель удельного углеродного следа на одного посетителя, то он составляет: 4,22 т/год / (365×350 посетителей) = 0,033 кг CO_2-экв. на посетителя = 33 г CO_2-экв.

Это значительно ниже, чем углеродный след от производства мяса или молочных продуктов в рационе (Poore & Nemecek [9]), что объясняется тем, что в кофейне преобладают растительные и мучные изделия, а не мясо.

Следует отметить, что настоящее исследование имеет следующие ограничения:

1. Исключение выбросов от упаковки. Выбросы от производства одноразовых стаканчиков, упаковочных материалов были исключены из анализа, так как в соответствии с методикой рассматривался только «пищевой» углеродный след.

2. Сезонная и территориальная вариативность. Данные собраны в зимне-весенний период (февраль-март) для одного региона (Дальний Восток). В летние месяцы структура отходов может меняться (увеличение доли фруктов, мороженого, холодных напитков), что требует повторных замеров для валидации.

3. Неопределенность коэффициентов эмиссии. Использование интервальных оценок из литературы (Poore & Nemecek, [9]; IPCC, [7]) требует учета неопределенности. В следующем этапе исследования планируется проведение Монте-Карло-анализа для построения доверительных интервалов *CF*.

4. Кофейный жмых. Принятый коэффициент 1,2 кг CO_2-экв./кг для влажного кофейного жмыха требует эмпирической верификации через лабораторное моделирование анаэробного разложения.

На основе полученных результатов сформулированы следующие практические рекомендации:

1. Пересмотр приоритетов управления образованием отходов. Внедрение системы FIFO и мерных дозаторов для молочной продукции дает наибольший эколого-экономический эффект, несмотря на малую массу отходов. Эффект от внедрения дозатора молока: снижение молочных отходов с 6,0 до 3,5 кг/нед (42 %), годовое предотвращение выбросов – 390 кг CO_2-экв./год (табл. 5). Данная мера рекомендуется к первоочередному внедрению на предприятиях общественного питания малого формата.

Таблица 5

Оценка эффекта от внедрения мер контроля (молочная продукция)

Table 5

Assessment of the impact of implementing control measures (dairy products)

Показатель	До внедрения	После внедрения	Снижение, %
Молочные отходы, кг/нед.	6,0 ± 0,9	3,5 ± 0,5	42
Углеродный след (молоко), кг CO_2-экв./нед.	18,0	10,5	42
Годовое предотвращение выбросов, кг CO_2-экв./год	–	390	–

2. Изменение сценария обращения с отходами для жмыха. Поскольку сокращение массы жмыха невозможно (технологический норматив), экологический эффект достигается за счет изменения сценария утилизации: передача на компостирование или в биогазовые установки. Из принятого суммарного *EF* = 1,2 кг CO_2-экв./кг на этап анаэробного разложения приходится 0,5 кг CO_2-экв./кг (верхняя граница интервала, табл. 1), на этап производства – оставшиеся 0,7 кг CO_2-экв./кг. При переходе от полигона к компостированию коэффициент эмиссии этапа разложения снижается с 0,5 до 0,1 кг CO_2-экв./кг (IPCC [7]), формируя новый суммарный *EF* = 0,8 кг CO_2-экв./кг, что позволяет снизить *CF* по жмыху на 33 % (с 42,0 до 28,0 кг CO_2-экв./нед.).

3. Внедрение ежедневного чек-листа управления образованием отходов. Разработана и предложена к внедрению форма еженедельного баланса и ежедневного чек-листа (в статье не приводится ввиду ограниченного объема), заполняемого ответственным сотрудником за 10 мин до закрытия. Это обеспечивает непрерывный мониторинг образования отходов и обратную связь для корректировки управленческих решений.

4. Адаптация методики для других объектов общественного питания. Предложенная четырехэтапная методика является универсальной и может быть адаптирована для любых объектов общественного питания малого формата при наличии данных о массе отходов и закупочных ценах на сырье.

Экономический эффект от предложенных мер можно оценить, используя уже приведенные в статье данные о закупочных ценах на сырье (табл. 3) и сокращении массы отходов (табл. 4, 5), без привлечения дополнительных данных. Для молочной продукции, где эффект подтвержден апробацией (табл. 5), сокращение отходов с 6,0 до 3,5 кг/нед. (экономия сырья 2,5 кг/нед.) при цене молока 180 руб./кг дает прямую экономию 450 руб./нед., или 23 400 руб./год. Для выпечки и овощей/фруктов, где эффект носит прогнозный характер (ожидаемое снижение отходов на 25 и 30 % соответственно, табл. 4), аналогичный расчет (2,5 кг/нед. выпечки при 250 руб./кг и 1,2 кг/нед. овощей/фруктов при 120 руб./кг) дает потенциальную экономию 32 500 руб./год и 7 488 руб./год соответственно. Для кофейного жмыха прямой экономический эффект отсутствует (P = 0), поскольку это сырье не имеет рыночной стоимости – эффект от изменения сценария его утилизации носит исключительно экологический характер. Таким образом, суммарный потенциальный экономический эффект от полного внедрения предложенных мер управления образованием отходов составляет около 63 400 руб./год (без учета затрат на внедрение самих мероприятий – дозаторов, маркировки FIFO и др.), что наряду со снижением углеродного следа обеспечивает повышение эффективности предприятия в его экономическом измерении.

Заключение

1. Разработана методика управления образованием пищевых отходов на предприятиях общественного питания малого формата, ядром которой является параметрическая формула

(1), интегрирующая эмиссии на этапе производства (Poore & Nemecek [9]) и на этапе анаэробного разложения на полигоне (IPCC [7]), что позволяет разделять два источника выбросов Scope 3 – категорию 1 и категорию 5 [12].

2. Определены «горячие точки» образования пищевых отходов с использованием диаграммы Парето (рис. 2): три из четырех потоков (кофейный жмых, выпечка, молочная продукция) формируют 96,1 % совокупного углеродного следа. Эмпирически подтверждена гипотеза о несовпадении приоритетов классического Lean и Green Lean при управлении образованием отходов: доминирующий по массе поток (кофейный жмых, 63,6 % массы) не является приоритетным по углеродному следу (51,7 % *CF*) и экономической эффективности (*EEP* = 0). Приоритетным для управленческих воздействий является молочная продукция (*EEP* = 540), что обеспечивает повышение эффективности предприятия за счет сокращения потерь наиболее ценного сырья.

3. Предложен критерий эколого-экономической приоритетности (*EEP*) как элемент методики, позволяющий ранжировать потоки отходов по интегральному показателю *CF* × стоимость сырья и обосновывать выбор мер управления образованием отходов (Lean-инструментов) для повышения эффективности предприятия.

4. Апробирована методика управления образованием пищевых отходов на примере типовой кофейни: выполнена количественная оценка углеродного следа по основным потокам отходов (табл. 2), проведено ранжирование потоков по удельному вкладу с использованием диаграммы Парето (рис. 2), выполнено эколого-экономическое ранжирование потоков на основе критерия *EEP* (табл. 3). Годовой углеродный след кофейни-объекта исследования составляет 4,22 т CO_2-экв., что эквивалентно сжиганию 1780 л бензина.

5. Оценен потенциальный эффект от внедрения предложенных мер управления образованием отходов: внедрение дозаторов молока и системы FIFO позволяет снизить выбросы по молочной категории на 42 % (390 кг CO_2-экв./год) и повысить эффективность предприятия за счет сокращения потерь сырья приблизительно на 63 400 руб./год.

6. Разработаны и обоснованы практические рекомендации по управлению образованием пищевых отходов для предприятий общественного питания малого формата: пересмотр приоритетов управления (молочная продукция – первоочередная мера); изменение сценария обращения с отходами для жмыха (компостирование/биогаз); внедрение ежедневного чек-листа управления образованием отходов; адаптация методики для других объектов общественного питания. Рекомендации обеспечивают снижение углеродного следа и повышение эффективности предприятия.

Список источников

1. Girotto F., Alibardi L., Cossu R. Food waste generation and industrial uses: A review // Waste Management. 2015. Vol. 45. P. 32–41. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26130171/ (дата обращения : 07.09.2026).

2. Salemdeeb R., Font Vivanco D., Al-Tabbaa A., zu Ermgassen E.K.H.J. A holistic approach to the environmental evaluation of food waste prevention // Waste Management. 2017. Vol. 59. P. 442–450. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27712945/ (дата обращения : 08.09.2026).

3. Womack J. P., Jones D. T. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York : Free Press, 2003. 396 p. ISBN: 978-0743249270.

4. Ohno T. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. - Cambridge, Mass.: Productivity Press, 1988. 143 p. ISBN: 0915299140. URL: https://doi.org/10.4324/9780429273018 (дата обращения : 08.09.2026).

5. Verrier B., Rose B., Caillaud E. Lean and Green strategy: The Lean and Green House and maturity deployment model // Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 116. P. 150–156. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.12.022. URL: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.022 (дата обращения : 09.09.2026).

6. Thanki S., Govindan K., Thakkar J. An investigation on lean-green implementation practices in Indian SMEs using analytical hierarchy process (AHP) approach // Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 135. P. 284–298. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.06.105. URL: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.105 (дата обращения : 07.09.2026).

7. Intergovernmental Panel on Climate Change. About the IPCC. URL: https://www.ipcc.ch/about/ (дата обращения : 07.09.2026).

8. Clune S., Crossin E., Verghese K. Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 140, Part 2. P. 766–783. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616303584?via%3Dihub (дата обращения : 08.09.2026).

9. Poore J., Nemecek T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers // Science. 2018. Vol. 360, Issue 6392. P. 987–992. URL: https://r.jordan.im/download/environmentalism/poore2018.pdf (дата обращения : 08.09.2026).

10. Liker J. K. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. New York : McGraw-Hill, 2004. 330 p. ISBN: 0071392319. URL: https://ebooks.mpdl.mpg.de/ebooks/Record/EB001951503 (дата обращения : 07.09.2026).

11. Emiliani B. Real Lean: Understanding the Lean Management System (Volume One). Kensington, Conn. : Center for Lean Business Management, 2007. 164 p. ISBN: 9780972259118. URL: https://www.researchgate.net/publication/235272181_Lean_behaviors (дата обращения : 08.09.2026).

12. Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition). Washington, DC : World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development, 2004/2015. URL: https://ghgprotocol.org/corporate-standard (дата обращения : 08.09.2026).

13. Starbucks. 2020 Global Environmental & Social Impact Report. - Seattle: Starbucks Corporation, 2021. 23 p. URL: https://www.starbucks.ca/en-CA/responsibility/reporting-hub/ (дата обращения : 08.09.2026).

14. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2018. Washington, DC : U.S. EPA, 2020. 430-R-20-002. URL: https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2018 (дата обращения : 09.09.2026).

Сведения об авторах

Д. А. Попович – аспирант.

Е. В. Глебова – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления техническими системами, SPIN-код: 9540-4656, AuthorID: 740901.

Е. П. Лаптева – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления техническими системами, AuthorID: 364951.

Information about the authors

D. A. Popovich – Postgraduate student.

E. V. Glebova – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Deartment of Technical Systems Management, SPIN-code: 9540-4656, AuthorID: 740901.

E. P. Lapteva – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Deartment of Technical Systems Management, AuthorID: 364951.

Статья поступила в редакцию 15.09.2026; одобрена после рецензирования 22.09.2026; принята к публикации 22.09.2026.

The article was submitted 15.09.2026; approved after reviewing 22.09.2026; accepted for publication 22.09.2026.

© Попович Д. А., Глебова Е. В., Лаптева Е. П., 2026.
«Повышение эффективности предприятий общественного питания малого формата на основе управления образованием пищевых отходов с учетом их углеродного следа» [Попович Д. А., Глебова Е. В., Лаптева Е. П., 2026] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 87–99.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 664.9:004.8 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-08 EDN: MPSAOI

Разработка интеллектуальной системы контроля степени готовности и качества копченой продукции из водных биологических ресурсов на основе глубокого обучения

Егор Геннадьевич Тимчук
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия
timchuk.eg@dgtru.ru, ORCID: 0000-0003-2473-2081

Аннотация. Стратегия повышения качества пищевой продукции в РФ до 2030 года указывает предприятиям пищевой промышленности тренд на увеличение их конкурентоспособности. Национальная программа «Цифровая экономика РФ» поддерживает этот тренд и предлагает один из способов такого увеличения – применение цифровых технологий. Такие цифровые технологии, как нейросети в последнее десятилетие плотно вошли в обиход как специалистов различных отраслей экономики РФ, так и обычных обывателей. Экспертные системы, построенные с их использованием, позволяют контролировать качество различного рода продукции от изделий машиностроения до пищевой продукции. В работе представлены результаты разработки интеллектуальной системы контроля степени готовности и качества копченой продукции из водных биологических ресурсов на основе глубокого обучения. Система на основе фотоизображений производимой копченой продукции и полуфабрикатов идентифицирует вид используемого сырья, определяет степень ее готовности, фиксирует ее качество и рассчитывает усредненные цветовые характеристики ее поверхности в МКО CIE L*a*b*.

Ключевые слова: интеллектуальная система контроля, готовность продукции, качество, копченая продукция из водных биологических ресурсов, глубокое обучение

Для цитирования: Тимчук Е. Г. Разработка интеллектуальной системы контроля степени готовности и качества копченой продукции из водных биологических ресурсов на основе глубокого обучения // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 87–99.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 87–99.

FOOD SYSTEMS

Original article

Development of an intelligent system for monitoring the degree of readiness and quality of smoked products made from aquatic biological resources based on deep learning

Egor G. Timchuk
Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
timchuk.eg@dgtru.ru, ORCID: 0000-0003-2473-2081

Abstract. The strategy for improving the quality of food products in the Russian Federation until 2030 indicates a trend for food industry enterprises to increase their competitiveness. The national program "Digital Economy of the Russian Federation" supports this trend and suggests one of the ways to increase it – the use of digital technologies. In the last decade, digital technologies such as neural networks have become widely used by both specialists in various sectors of the Russian economy and ordinary citizens. Expert systems built using them make it possible to

© Тимчук Е. Г., 2026

control the quality of various kinds of products, from mechanical engineering products to food products. The paper presents the results of the development of an intelligent control system for the degree of readiness and quality of smoked products made from aquatic biological resources based on deep learning. The system, based on photographic images of smoked products and semi-finished products, identifies the type of raw materials used, determines the degree of its readiness, records its quality and calculates the average color characteristics of its surface in the CIE L*a*b*.

Keywords: intelligent control system, product readiness, quality, smoked products from aquatic biological resources, deep learning

For citation: Timchuk E. G. Development of an intelligent system for monitoring the degree of readiness and quality of smoked products made from aquatic biological resources based on deep learning. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026;77(3):87–99. (In Russ.).

Введение

В настоящее время наблюдается тренд на цифровизацию экономики РФ для увеличения конкурентоспособности российских предприятий, что поддерживается национальной программой «Цифровая экономика РФ» до 2030 года [1, электронный ресурс]. Стремление к увеличению конкурентоспособности предприятий также заложено в стратегии повышения качества пищевой продукции в РФ до 2030 года [2, электронный ресурс].

Применение нейросетевых технологий, реализуемых на основе глубокого обучения при создании систем контроля технологических процессов при производстве пищевой продукции, позволяют создать средства автоматизированного измерения характеристик обрабатываемых изделий, что минимизирует число бракованной продукции и, как следствие, приведет к повышению требуемой конкурентоспособности предприятий пищевой промышленности.

Особенно разработка таких систем требуется при производстве копченой продукции из водных биологических ресурсов, так как стандартные коптильные камеры не позволяют постоянно следить за состоянием обрабатываемых изделий. Контрольные операции во время реализации процесса копчения требуют открытия коптильной камеры, что ведет к нарушению режимов технологического процесса.

Вопросами создания систем контроля производства пищевой продукции занимались такие отечественные и зарубежные ученые, как Андреев С. П. [3, с. 94], Ибрагимова Л. Р. [4, с. 89], Куприянов А. В. [5, с. 295], Козина А. М. [6, с. 106], Матисон В. А. [7, с. 8], Морозов В. Б. [8, с. 307], Юрк Н. А. [9, с. 96], Romsdal A. [10, электронный ресурс]. В перечисленных работах была разработана концепция системы обеспечения безопасности и качества продовольствия в России [3, с. 94], поднят вопрос интеграции систем качества и безопасности пищевой продукции [4, с. 89], рассматривались вопросы контроля качества сырья, материалов и готовой продукции в пищевом производстве Матисон В. А. [7, с. 8], в том числе был построен алгоритм процедуры непрерывного (выборочного) контроля качества продукции [8, с. 307]. Но вопросы создания систем контроля готовности копченой продукции из водных биологических ресурсов данными авторами не были рассмотрены.

Вопросами создания систем контроля на основе искусственного интеллекта занимались такие отечественные и зарубежные ученые, как Аллямшин М. А. [11, с. 73], Королева Л. А. [12, с. 33], Козин Е. С. [13, с. 46], Клячкин В. Н. [14, с. 412], Кучеренко С. А. [15, с. 107], Казанцева С. Ю. [16, с. 554], Кукушкин С. А. [17, с. 44], Марусин А. [18, с. 62], Kharisma Adi K., Lamastra L., Livio J., Zakaria M.Z., Vásquez R.P., Budiyanto G., Sipos A., Hernández-Vera B., Sumaryanti L., Nicolotti L., Blagoveshchenskiy I.G., Rajendra L. [19–30, электронный ресурс]. Представленные работы посвящены разработке систем контроля качества хлебобулочной продукции на основе нечеткой логики [11, с. 73], анализу мирового опыта использования IOT для целей повышения продовольственной безопасности [12, с. 33], вопросам создания экспертных систем визуального контроля [13, с. 46], системам многомерного статистического контроля [14, с. 412], внедрению искусственного интеллекта как инструмента внутреннего контроля [15,

с. 107], в том числе контроля финансов организации [16, с. 554] и качества выпускаемой продукции [17, с. 44; 19–30, электронный ресурс]. Но применение глубокого обучения в целях создания интеллектуальных систем контроля готовности копченой продукции из водных биологических ресурсов не рассматривались в перечисленных работах.

Следует отметить, что многими учеными создавались предпосылки создания систем контроля качества копченой рыбной продукции, основанные на измерении цветовых характеристик ее поверхности. Для этого Гороховым Ю. И. был создан колориметр для решения специальной измерительной задачи в области измерения цвета копченой рыбной продукции [31, с. 58], а Сушиной А. Д. и Мезеновой О. Я. использовался спектрофотометр утвержденного типа [32, с. 123].

Огромная роль в создании систем контроля готовности и качества копченой рыбной продукции принадлежит д.т.н., профессору Киму Э. Н. Длительное время под его руководством измерялись цветовые характеристики поверхности копченой продукции из различных рыбных и не рыбных объектов [33, с. 66] и было создано устройство управления готовности копченой рыбной продукции [34, электронный ресурс]. Логичным развитием которого являлось внедрение в его структуру искусственного интеллекта с целью оптимизации его деятельности.

Исходя из вышесказанного целью работы являлась интеллектуальная система контроля степени готовности и качества копченой продукции из водных биологических ресурсов на основе глубокого обучения.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

- анализ теоретических и практических аспектов создания системы контроля готовности копченой продукции из водных биологических ресурсов;
- анализ сущности глубокого обучения и принципов его применения при создании системы контроля готовности копченой продукции из водных биологических ресурсов;
- разработка предложений по созданию системы контроля готовности копченой продукции из водных биологических ресурсов.

Объектом исследования являлась интеллектуальная система контроля готовности копченой продукции из водных биологических ресурсов.

Предметом исследования являлось теоретические и практические аспекты применения глубокого обучения для создания интеллектуальных систем контроля готовности копченой продукции из водных биологических ресурсов.

Материалы и методы исследования

В качестве сырья использовали замороженную продукцию из водных биологических ресурсов согласно ГОСТ 32366-2013 «Рыба мороженая. Технические условия», ГОСТ 30314-2006 «Филе морского гребешка мороженое. Технические условия», ГОСТ 20414-2011 «Кальмар и каракатица мороженые. Технические условия». В качестве коптильной установки использовали экспериментальную коптильную установку, оснащенную устройством управления готовности копченой рыбной продукции, улучшенной при помощи искусственного интеллекта, обученного с использованием технологии «глубокого обучения».

Готовность копченой продукции определяли по достижению величины ее органолептической оценки значения в интервале от 18,5 до 20 баллов. Суммарную органолептическую оценку полученных образцов копченой продукции из водных биологических ресурсов проводили с использованием разработанных балльных шкал на основе требований ГОСТ 7447-2015 «Рыба горячего копчения. Технические условия», ГОСТ 11482-96 «Рыба холодного копчения. Технические условия», ГОСТ 11298-2002 «Рыбы лососевые и сиговые холодного копчения. Технические условия», ГОСТ 813-2002 «Сельди и сардина тихоокеанская холодного копчения. Технические условия», ТУ 10.20.32-623-2026 «Моллюски копченые. Технические условия» и классических методических приемов, описанных Сафроновой Т. М. [35, с. 8–48] с учетом коэффициентов весомости частных органолептических показателей. Максимально возможная суммарная органолептическая оценка составляла 20 баллов, что соответствовало оценке качества продукта в 10 баллов.

Результаты и их обсуждение

Термин «готовность пищевого продукта» в технологии продуктов питания повсеместно используется, но не закреплен документально. Он встречается в общественном питании в ГОСТ 31985-2013 «Услуги общественного питания. Термины и определения» и означает совокупность заданных физико-химических, структурно-механических, органолептических показателей продукции общественного питания, определяющих ее пригодность к употреблению в пищу. С учетом того, что физико-химические и структурно-механические показатели продукции имеют непосредственное влияние на ее органолептические показатели, то термин «готовность пищевого продукта» можно упростить и определять только исходя из его органолептических показателей.

Проведенные исследования показали корреляцию между такими органолептическими показателями копченой продукции из водных биологических ресурсов, как вкус, запах и консистенция с внешним видом готовой продукции в первую очередь с его цветом, что стало предпосылкой создания устройства управления готовности копченой рыбной продукции [33, с. 63].

Устройство управления готовности копченой рыбной продукции представляет собой систему, состоящую из следующих элементов: блока сбора данных, блока обработки данных, коммутационного блока, блока анализа данных, блока базы данных, блока принятия решений, блока управления заданиями, блока управления технологическим процессом и блока визуального и звукового оповещения [34, электронный ресурс].

Для реализации деятельности блока принятия решений указанного устройства была написана серия программ для ЭВМ, содержащих телеметрическую информацию о цветовых характеристиках копченой рыбной продукции различной степени готовности [36, 37, 38, электронный ресурс]. Сущность которых раскрыта в публикациях [39, с. 74; 40, с. 41; 41, с. 39].

Развитие искусственного интеллекта и анализ тенденций его применения в пищевой промышленности [42, с. 29] подтолкнули к идее развития блоков обработки данных и принятия решений устройства управления готовности копченой рыбной продукции путем внедрения в их структуру нейросети, одним из вариантов реализации которой является технология из раздела машинного обучения, имеющая название «deep learning» или «глубокое обучение».

Существуют много определений термина «глубокое обучение». Ян Гудфеллоу писал, что: «Глубокое обучение – это вид машинного обучения, наделяющий компьютеры способностью учиться на опыте и понимать мир в терминах иерархии концепций» [43, с. 6]. Эндрю Траск отмечал, что: «Глубокое обучение – это раздел искусственного интеллекта, цель которого научить компьютеры обучаться с помощью нейронных сетей – технологии, созданной по образу и подобию человеческого мозга» [44, с. 7].

Глубокое обучение – это элемент машинного обучения, которая в свою очередь является частью искусственного интеллекта, визуально это представляют следующим образом, рис. 1.

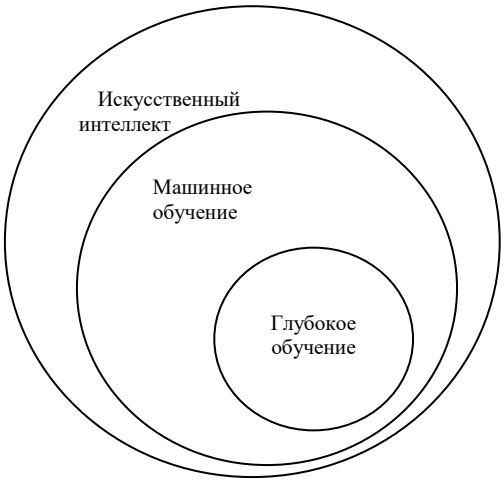


Рис. 1. Визуальное представление глубокого обучения как составной части искусственного интеллекта. Составлено автором

Fig. 1. Visual representation of deep learning as an integral part of artificial intelligence. Compiled by the author

Создатель фреймворка Keras Ф. Шолле характеризовал глубокое обучение как современную методологию извлечения представлений из данных, в основе которой лежит последовательное применение множества уровней (слоев), генерирующих семантически более насыщенные описания исходной информации [45, с. 10]. Ключевой характеристикой модели служит ее «глубина» – число таких уровней, на которые разбивается процесс преобразования данных. Поэтому данный подход нередко именуют иерархическим или многослойным обучением.

В современных реалиях глубокая архитектура включает десятки или даже сотни слоев, причем их внутреннее устройство и параметры формируются автоматически в ходе анализа обучающих выборок, без явного программирования правил.

Каждый слой выполняет преобразование, руководствуясь собственным набором весовых коэффициентов (параметров). Процесс обучения в свою очередь сводится к поиску такой конфигурации весов, при которой входной сигнал будет наиболее точно отображаться в требуемый выходной результат.

Для количественной оценки качества этого отображения вводится функция потерь (целевая функция). Она сопоставляет предсказание, сгенерированное сетью с эталонным ответом, вычисляет числовую меру расхождения между ними. Полученное значение служит индикатором того, насколько успешно модель справляется с текущей обучающей выборкой данных.

Главной особенностью глубокого обучения является использование этой оценки для настройки весов с целью минимизации ошибки. Данная корректировка возлагается на оптимизатор, который реализует алгоритм обратного распространения ошибки.

Схематическое изображение архитектуры искусственной нейронной сети, реализующей глубокое обучение, представлено на рис. 2.

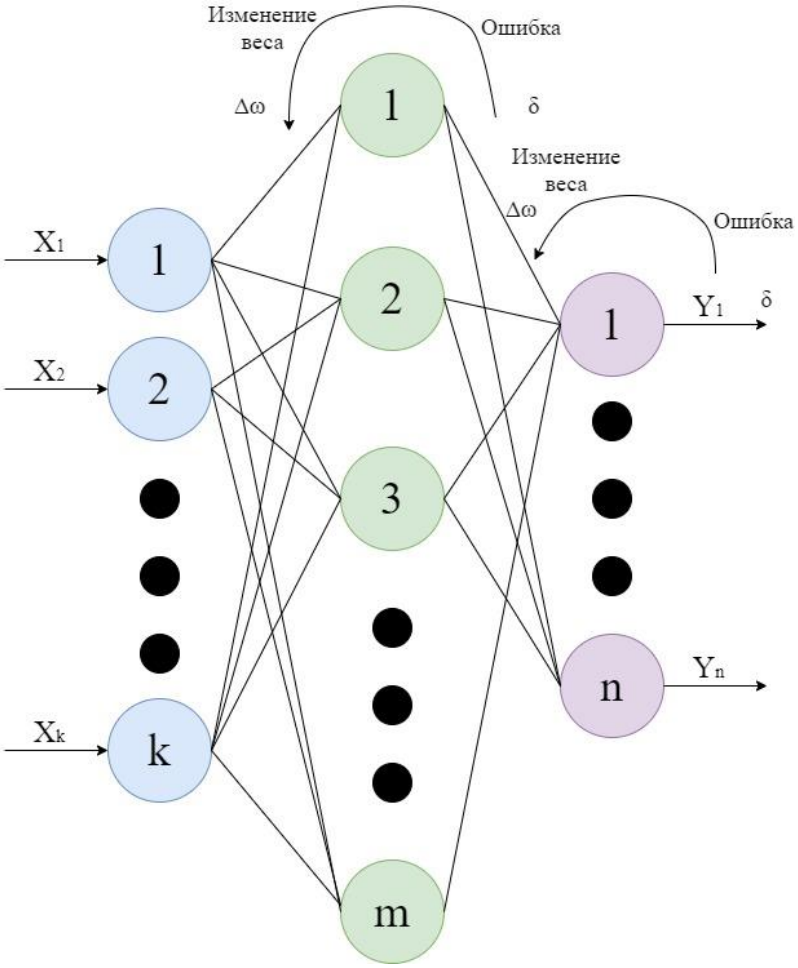


Рис. 2. Визуальное представление искусственной нейронной сети. Составлено автором
Fig. 2. Visual representation of an artificial neural network. Compiled by the author

Процесс обучения нейросети, представляющий собой многократные итерации, выполняется до тех пор, пока не будут найдены такие значения весовых коэффициентов, которые обеспечивают минимальное значение функции потерь. Архитектура, характеризующаяся наименьшей ошибкой, генерирующая выходные сигналы, наиболее соответствующие эталонным данным, считается обученной.

Применительно к рассматриваемой системе контроля готовности копченой продукции из водных биологических ресурсов входными данными служила информация о внешнем виде обрабатываемых изделий, полученная путем их фотографирования. Блоки обработки данных и принятия решений были модифицированы путем внедрения в их работу программы для ЭВМ «Обучаемая программа для определения степени готовности и качества копченой продукции из морепродуктов» [46, электронный ресурс]. Программа позволяет определять тип сырья из 12 вариантов: горбуша, сельдь, палтус, кальмар, окунь терпуг, скумбрия, корюшка, гребешок, осьминог, кета, нерка и другое, степень готовности копченой продукции в процентах и ее качество в баллах.

Разработанная программа на языке Python, с использованием библиотек PyTorch, TorchVision, Pillow, NumPy, scikit-image и встроенного графического модуля tkinter, реализует полный цикл интеллектуального анализа копченой продукции из водных биологических ресурсов по их фотоизображениям. Функциональный обзор программного обеспечения включает следующие ключевые подсистемы: подсистему сбора и разметки данных, подсистему глубокого обучения, подсистему колориметрического анализа, подсистему инференса и принятия решений и подсистему многопоточности и управления пользовательским опытом.

Подсистема сбора и разметки данных при помощи модуля tkinter обеспечивает интерактивный графический интерфейс для загрузки изображений и выделения области интереса, в пределах которого находится объект контроля. Библиотека Pillow осуществляет низкоуровневые операции с растровыми изображениями: декодирование, масштабирование для отображения на холсте и обрезку фрагментов по заданным координатам. Введённые пользователем аннотации (тип сырья, степень готовности в процентах и качество в баллах) совместно с путями к файлам и координатами ROI сериализуются в формат JSON посредством встроенного модуля json, формируя структурированную базу обучающих примеров.

Подсистема глубокого обучения с помощью библиотеки PyTorch служит вычислительным ядром для построения и тренировки нейросетевой архитектуры. В качестве базового экстрактора признаков задействована предобученная на ImageNet свёрточная сеть MobileNetV2, обеспечивающая оптимальный баланс между вычислительной эффективностью и точностью. Поверх неё надстроены три специализированных выходных головы: классификационная (для идентификации одного из 12 видов водных биологических ресурсов), регрессионная для предсказания степени готовности (значение в интервале от 0 до 100 %) и регрессионная для оценки качества, принимающая значение в интервале от 1 до 10. Для обучения применяется оптимизатор AdamW и планировщик скорости обучения CosineAnnealingLR, а в качестве функций потерь выступают кросс-энтропия для классификации и HuberLoss для регрессионных задач. Модуль torch.utils.data.DataLoader совместно с пользовательским классом Dataset организует подачу данных мини-батчами. Для увеличения обобщающей способности модели подмодуль torchvision.transforms выполняет стохастическую аугментацию: случайное кадрирование, горизонтальные и вертикальные отражения, повороты и вариации цветовых характеристик МКО CIE L*a*b* (яркость, контрастность, насыщенность).

В подсистеме колориметрического анализа для объективной оценки органолептических свойств продукта, коррелирующих с его товарным качеством, реализован модуль цветового анализа на основе воспринимаемого цветового пространства МКО CIE Lab. Библиотека scikit-image преобразует фрагмент изображения из цветового пространства RGB в универсальное аппаратно-независимое пространство CIE L*a*b*. Библиотека NumPy обеспечивает высокопроизводительные векторизованные вычисления для усреднения значений пикселей по трём каналам: L (светлота от 0 до 100), a (позиция на оси красный-зелёный) и b (позиция на оси

жёлтый-синий). Полученные метрики визуализируются в интерфейсе и служат дополнительным информативным критерием при принятии решения о качестве исследуемого образца.

Подсистема инференса и принятия решений выполняет следующие функции. После завершения обучения обученная модель сериализуется в файл формата .pth посредством torch.save. При загрузке нового фотоизображения и выделении ROI программа выполняет инференс: передаёт нормализованный тензор через нейросеть, получая прогнозные векторы. На основе значений softmax-вероятностей для класса вычисляется показатель уверенности модели. Регрессионные выходы масштабируются обратно в предметные области (готовность в %, качество в баллах). Результаты, включая предсказанный вид продукта, численные оценки готовности и качества, а также цветовые характеристики CIE L*a*b*, отображаются на панели результатов с одновременной графической подсветкой ROI на исходном изображении.

С целью предотвращения блокировки графического интерфейса на время длительных вычислительных операций (эпохи обучения нейросети и инференс на больших изображениях) задействован встроенный модуль threading. Это позволяет сохранять отзывчивость оконного интерфейса, обновлять индикаторы прогресса (Progressbar) и текстовые логи в реальном времени.

Внешний вид окна разработанной программы представлен на рис. 3.

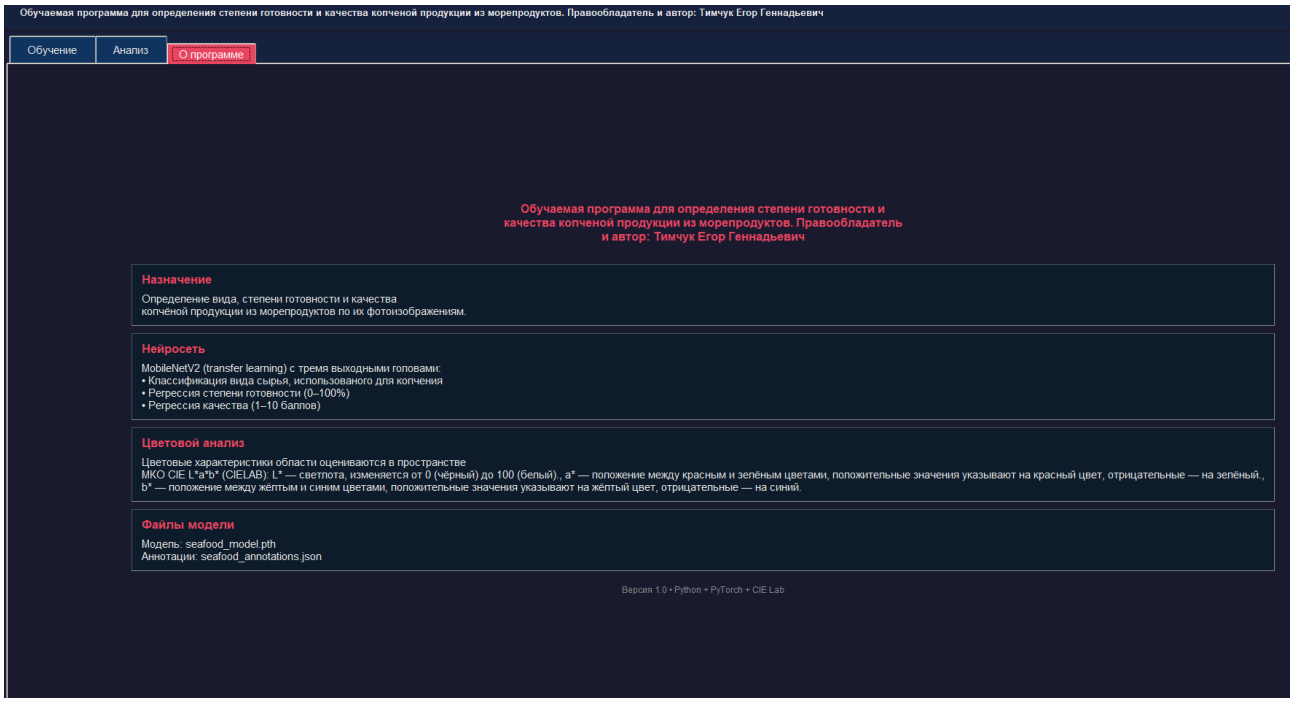


Рис. 3. Внешний вид диалогового окна обучаемой программы для определения степени готовности и качества копченой продукции из водных биологических ресурсов. Составлено автором

Fig. 3. The appearance of the dialog box of the training program for determining the degree of readiness and quality of smoked products made from aquatic biological resources. Compiled by the author

Диалоговое окно разработанной программы имеет 3 вкладки: обучение, анализ и о программе. На вкладке обучение доступна функция загрузки изображения копченой продукции, выделения пользователем области интереса (той части изделия, внешний вид которой наиболее полно отражает его качество и степень готовности). Пример выделения такой области представлен на рис. 4.

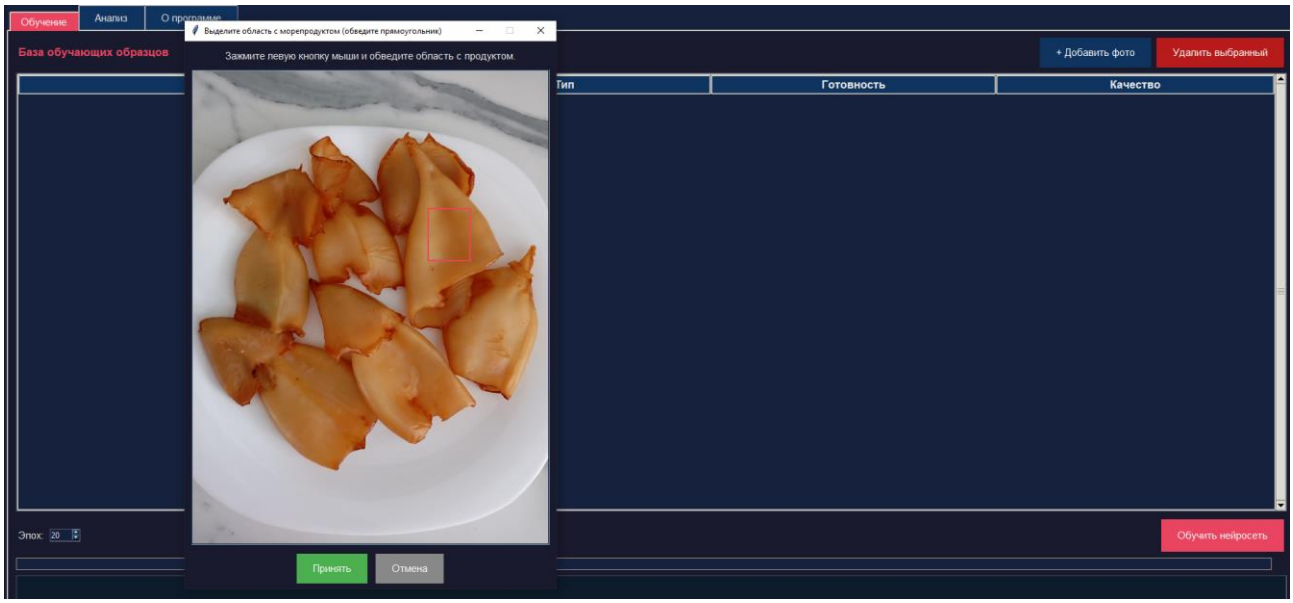


Рис. 4. Пример выделения пользователем области интереса на изображении копченой продукции. Составлено автором

Fig. 4. Example of user selection of the area of interest in the image of smoked products. Compiled by the author

После нажатия кнопки «Принять» появляется диалоговое окно «Параметры образца», позволяющие пользователю задать вид сырья (тип морепродукта), степень его готовности и качества, рис. 5.

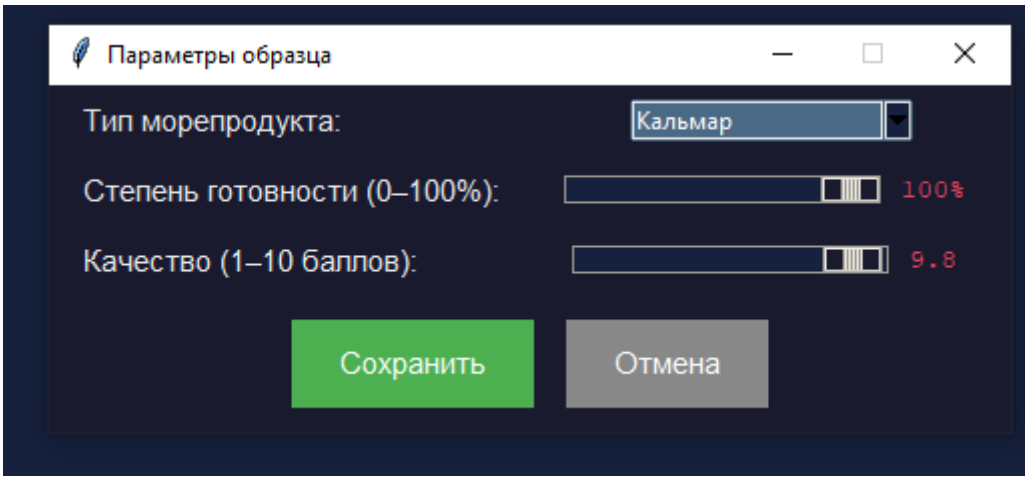


Рис. 5. Внешний вид диалогового окна «Параметры образца». Составлено автором

Fig. 5. Appearance of the Sample Settings dialog box. Compiled by the author

Заполнение пользователем значений степени готовности и качества образцов осуществлялось с использованием разработанных шкал органолептической оценки. Что позволило создать обучающую выборку данных.

Вкладка «анализ» позволяет загрузить изображение из контрольной выборки копченой продукции из водных биологических ресурсов, и нейросеть определит вид сырья, степень его готовности, его качество и его цвет в МКО CIE L*a*b*.

Размер обучающей выборки составил 3800 фотоизображений копченой продукции из водных биологических ресурсов при задании 20 обучающих эпох. Проверка на 100 контрольных изображениях показала достижение среднего значения уверенности модели 91 %. Что свидетельствует об ее обученности.

Таким образом, разработанная программа для ЭВМ «Обучаемая программа для определения степени готовности и качества копченой продукции из морепродуктов» позволила модифицировать блоки обработки данных и принятия решений устройства управления готовности копченой рыбной продукции.

Заключение

Технология глубокого обучения позволяет модифицировать интеллектуальную систему контроля степени готовности и качества копченой продукции из водных биологических ресурсов путем модификации блоков обработки данных и принятия решений посредством внедрения в них искусственного интеллекта.

Анализ теоретических и практических аспектов создания системы контроля готовности копчёной продукции из водных биологических ресурсов показал, что терминологически «готовность» не имеет унифицированного документального закрепления, однако в общественном питании она трактуется как совокупность физико-химических, структурно-механических и органолептических свойств, определяющих пригодность продукта к употреблению. Проведённые исследования подтвердили существование устойчивой корреляции между органолептическими показателями (вкус, запах, консистенция) и внешним видом, прежде всего цветом, что обосновывает возможность неразрушающего экспресс-контроля готовности по фотоизображениям. На основе этого сформулированы требования к структуре устройства управления: выделены блоки сбора, обработки, анализа, принятия решений и оповещения, что позволило определить функциональные задачи для последующей алгоритмической реализации.

Анализ сущности глубокого обучения показал, что данный раздел машинного обучения, базирующийся на многослойных нейросетях с автоматическим извлечением иерархических признаков, оптимально подходит для распознавания визуальных паттернов в пищевых продуктах. Использование предобученных архитектур с дообучением на специализированной выборке, комбинированных функций потерь и методов регуляризации (аугментация данных, планировщик скорости обучения) обеспечивает высокую точность прогнозирования при сравнительно низких вычислительных затратах. Внедрение глубокого обучения в блоки обработки и принятия решений устройства управления позволяет автоматически определять вид сырья, степень готовности и качество без явного программирования правил, что качественно повышает адаптивность системы к изменчивости сырья и условий копчения.

Разработана и реализована программа для ЭВМ на языке Python с использованием библиотек PyTorch, TorchVision, Pillow, NumPy, scikit-image и tkinter, объединяющая подсистемы разметки, обучения, колориметрического анализа и инференса. Программа предоставляет пользователю интуитивно понятный интерфейс для формирования обучающей выборки (с выделением области интереса и заданием эталонных значений), запуска обучения нейросети и анализа новых изображений с выводом прогнозов по трём параметрам (вид, готовность в %, качество в баллах), а также цветовых характеристик в пространстве CIE L*a*b*. Экспериментальная проверка на 100 контрольных изображениях при 20 эпохах обучения показала среднюю уверенность модели 91 %, что подтверждает её обученность и практическую пригодность для интеграции в устройство управления готовности копчёной рыбной продукции в качестве модуля поддержки принятия решений.

Список источников

1. Национальная программа «Цифровая экономика РФ» до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuP gu4bvR7M0.pdf (дата обращения : 25.06.2026).

2. Стратегия повышения качества пищевой продукции РФ до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: http://static.government.ru/media/files/9JUDtBOpqmoAatAhvT2wJ8UPT5Wq8qIo.pdf (дата обращения : 25.06.2026).

3. Андреев С. П. Концепция системы обеспечения безопасности и качества продовольствия в России // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2016. № 3(11). С. 94–99.

4. Ибрагимова Л. Р., Исламов М. Н., Салаватова К. Ш. Интегрированная система качества и безопасности пищевой продукции : сборник научных трудов преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов технологического факультета ДГТУ. Совершенствование технологических процессов в пищевой, химической, и перерабатывающей промышленности. Махачкала, 2023. С. 88–92.

5. Куприянов А. В. Контроль эффективности функционирования систем управления качеством и безопасностью на предприятиях пищевой промышленности // Фундаментальные исследования. 2016. № 6–2. С. 294–298.

6. Козина А. М. Организация контроля качества мяса и мясопродуктов : сборник научных статей 7-й Международной научно-практической конференции. Проблемы конкурентоспособности потребительских товаров и продуктов питания. Курск, 2025. С. 105–109.

7. Матисон В. А. Контроль качества сырья, материалов и готовой продукции в пищевом производстве // Пищевая промышленность. 2016. № 7. С. 8–11.

8. Морозов В. Б. Алгоритм процедуры непрерывного (выборочного) контроля качества продукции в технологических системах пищевых и перерабатывающих производств // Техника XXI века глазами молодых ученых и специалистов : материалы IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. Министерство образования и науки Российской Федерации; Тульский государственный университет. Тула, 2010. С. 307–310.

9. Юрк Н. А., Динер Ю. А. Разработка схемы управления качеством макаронных изделий // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 3. С. 96–102.

10. Romsdal, Anita. (2014). Differentiated production planning and control in food supply chains [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/264536294_ Differentiated_production_planning_and_control_in_food_supply_chains (дата обращения : 25.06.2026).

11. Аллямшин М. А., Мурашев П. М., Богатиков В. Н. Система контроля качества технологического процесса изготовления хлебобулочных изделий на основе нечетко-логических моделей // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2020. № 3(7). С. 73–88.

12. Королева Л. А., Фань И. Мировой опыт повышения продовольственной безопасности на основе интеграции технологий BLOCKCHAIN и IOT // Россия в глобальном мире. 2025. Т. 28, № 3. С. 32–48.

13. Козин Е. С., Рябов С. С., Винокуров В. В., Карпов С. В. Экспертная система визуального контроля в условиях технологического процесса // Технологии искусственного интеллекта в интересах развития вооружения, военной и специальной техники. Вопросы прототипирования и апробации : сборник статей научно-технической конференции. Анапа, 2021. С. 45–51.

14. Клячкин В. Н. Система многомерного статистического контроля технологического процесса // CAD/CAM/PDM системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2002) : материалы 2-й международной конференции: в 2 т. 2002. С. 412–420.

15. Кучеренко С. А., Заруба Д. С. Внедрение технологии искусственного интеллекта как инструмента внутреннего контроля в организации // Региональная и отраслевая экономика. 2024. № S1. С. 107–114.

16. Казанцева, С. Ю. Практика применения и перспективы развития технологий искусственного интеллекта и робототехники в сфере финансового контроля / С. Ю. Казанцева, Д. А. Казанцев // Вопросы инновационной экономики. 2021. Т. 11, № 2. С. 553–564. DOI 10.18334/vinec.11.2.112073. EDN DLLGHI.

17. Кукушкин С. А., Василевская С. П., Шейда Е. В. Цифровизация производства: применение искусственного интеллекта для контроля качества пищевой продукции // Сборник

статей XVI Международной научно-практической конференции. Новые научные исследования. Пенза, 2026. С. 43–45.

18. Марусин А. Система технического зрения SBRD-Q от FESTO: универсальность при малых размерах // Control Engineering Россия. 2019. № 1(79). С. 62–65.

19. Kharisma Adi K, Isnanto RR (2020) Rice crop management expert system with forwarding chaining method and certainty factor. J Phys Conf Ser 1524(1). https:// doi. org/ 10. 1088/ 1742-6596/ 1524/1/ 012037.

20. Lamastra L, Balderacchi M., Di Guardo A., Monchiero M., Trevisan M. (2016) A novel fuzzy expert system to assess the sustainability of the viticulture at the wine-estate scale. Sci Total Environ 572:724–733. https:// doi. org/ 10. 1016/j. scito tenv. 2016.07. 043.

21. Livio J., Hodhod R. (2018) AI cupper: a fuzzy expert system for sensorial evaluation of coffee bean attributes to derive quality scoring. IEEE Trans Fuzzy Syst 26(6):3418–3427. https:// doi.org/ 10. 1109/ TFUZZ. 2018. 28326 11.

22. Zakaria M. Z., Nordin N., Malik AMA, Elias S. J., Shahuddin A. Z. (2019) Fuzzy expert systems (FES) for halal food additive. Indones J Electr Eng Comput Sci 13(3):1073–1078. https:// doi.org/ 10. 11591/ ijeecs. Vol. 13, i 3. P. 1073–1078.

23. Vásquez R. P., Aguilar-Lasserre A. A., López-Segura M.V., Rivero L.C., Rodríguez-Duran A.A., Rojas-Luna M.A. (2019) Expert system based on a fuzzy logic model for the analysis of the sustainable livestock production dynamic system. Comput Electron Agric 161(January):104–120. https:// doi. org/ 10. 1016/j. compag.2018. 05. 015.

24. Budiyanto G., Ipnuwati S., Al Gifari S.A., Huda M., Jalal B., Abdul Latif A., Lia Hananto A. (2018). Web based expert system for diagnosing disease pest on banana plant. Int J Eng Technol (UAE) 7(4):4715–4721. https:// doi. org/ 10. 14419/ ijet.

25. Sipos A. (2020) A knowledge-based system as a sustainable software application for the supervision and intelligent control of an alcoholic fermentation process. Sustainability 12(23):10205. https:// doi. org/ 10. 3390/ su122 310205.

26. Hernández-Vera B., Aguilar Lasserre A.A., Gastón Cedillo-Campos M., Herrera-Franco L.E., Ochoa-Robles J. (2017a) Expert system based on fuzzy logic to define the production process in the coffee industry. J Food Process Eng 40(2). https:// doi. org/10. 1111/ jfpe. 12389.

27. Sumaryanti L., Istanto T., Pare S. (2020) Rule based method in expert system for detection pests and diseases of corn. J Phys Conf Ser 1569(2). https:// doi. org/ 10. 1088/ 1742–6596/ 1569/2/022023.

28. Nicolotti L., Mall V., Schieberle P. (2019) Characterization of key aroma compounds in a commercial rum and an Australian red wine by means of a new Sensomics-Based Expert System (SEBES) - an approach to use artificial intelligence in determining food odor codes. J Agric Food Chem 67(14):4011–4022. https:// doi. org/ 10. 1021/ acs. jafc. 9b007 08.

29. Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskiy V.G., Besfamilnaya E. M., Sumerin V.A. (2020) Development of databases of intelligent expert systems for automatic control of product quality indicators. J Phys Conf Ser 1705(1). https:// doi. org/ 10. 1088/ 1742- 6596/1705/1/ 012019.

30. Rajendra L., Azani H., Much I., Subroto I., Marwanto A. (2017) Expert system on soybean disease using knowledge representation method. Telemat Inform 5(1):36–46. https:// doi. org/ 10.12928/ jti. v5i1.

31. Горохов Ю. И., Полуяктов В. Ф. Оценка цвета поверхности копченой рыбы // Рыбное хозяйство, 1986. №4. С. 58–61.

32. Сушина А. Д., Мезенова О. Я. Оценка качества рыбы бездымного горячего копчения, приготовленной с применением коптильно-водорослевой композиции // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2024. № 1(395). С. 123–128.

33. Ким Э. Н., Тимчук Е. Г., Паначина В. С., Заяц Е. А. Оценка качества копченой рыбной продукции на основе определения ее цветовых характеристик // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 6(120). С. 62–67.

34. Ким Э. Н., Тимчук Е. Г., Сластён С. С. Устройство управления готовности копченой рыбной продукции // Патент на полезную модель RU 217961 U1, 26.04.2023. Заявка № 2022133278 от 16.12.2022.

35. Сенсорный анализ продуктов переработки рыбы и беспозвоночных : учебное пособие / Г. Н. Ким, И. Н. Ким, Т. М. Сафронова, Е. В. Мегеда. Санкт-Петербург : Лань, 2022. 512 с. ISBN 978-5-8114-1654-7. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: https://e.lanbook.com/book/211661 (дата обращения : 20.03.2026).

36. Тимчук Е. Г., Сластен С. С. Расчет оценки качества цвета горбуши горячего копчения на основе цветовых характеристик её кожного покрова // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024618302, 10.04.2024. Заявка № 2024617384 от 09.04.2024.

37. Тимчук Е. Г., Сластен С. С., Заяц Е. А. Расчет оценки качества цвета сельди горячего копчения на основе цветовых характеристик её кожного покрова // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024617484, 02.04.2024. Заявка № 2024616007 от 22.03.2024.

38. Тимчук Е. Г., Сластен С. С. Расчет оценки качества цвета окуня терпуга горячего копчения на основе цветовых характеристик его кожного покрова // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024662184, 24.05.2024. Заявка № 2024618548 от 11.04.2024.

39. Тимчук Е. Г. Цветовые характеристики и программа расчета оценки качества горбуши горячего копчения на основе цвета ее кожного покрова // Проблемы научно-практической деятельности. Поиск и выбор инновационных решений : сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2025. С. 72–74

40. Тимчук Е. Г. Цветовые характеристики и программа расчета оценки качества окуня терпуга горячего копчения на основе цвета ее кожного покрова // Научная инициатива: проблемы и перспективы реализации инновационных решений : сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2025. С. 39–41.

41. Тимчук Е. Г. Цветовые характеристики и программа расчета оценки качества сельди горячего копчения на основе цвета ее кожного покрова // Научная инициатива: проблемы и перспективы реализации инновационных решений : сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2025. С. 36–39.

42. Тимчук Е. Г. Применение искусственного интеллекта в пищевой промышленности // Научные труды Дальрыбвтуза. 2022. Т. 61,, № 3. С. 21–42.

43. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Cambridge, MA: MIT Press, 2016. 775 p. ISBN 978-0-262-03561-3.

44. Trask A. W. Grokking Deep Learning. Shelter Island, NY: Manning Publications, 2019. 309 p. ISBN 978-1-61729-370-2.

45. Chollet F. Deep Learning with Python. 2nd ed. Shelter Island, NY: Manning Publications, 2021. xxiv, 478 p. ISBN 978-1-61729-686-4.

46. Тимчук Е. Г. Обучаемая программа для определения степени готовности и качества копченой продукции из морепродуктов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2026665757, 26.05.2026. Заявка № 2026664856 от 05.05.2026.

Информация об авторе

Е. Г. Тимчук – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой управления техническими системами, SPIN-код: 8836-6556, AuthorID: 987987.

Information about the author

E. G. Timchuk – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technical Systems Management, SPIN-code: 8836-6556, AuthorID: 987987.

Статья поступила в редакцию 16.07.2026; одобрена после рецензирования 21.07.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 16.07.2026; approved after reviewing 21.07.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Тимчук Е. Г., 2026.

«Разработка интеллектуальной системы контроля степени готовности и качества копченой продукции из водных биологических ресурсов на основе глубокого обучения» [Тимчук Е. Г.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 100–109.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Обзорная статья
УДК 613.292:582.232-16 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-09 EDN: OGXCNQ

Разработка рецептуры получения зернистого продукта, обогащенного С-фикоцианином из спирулины

Ирина Алексеевна Харчук [1], Елена Анатольевна Бочарова [2], Армине Георгиевна Широян [3], Ольга Александровна Рылькова [4]
Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия
[1] seaferm@yandex.ru, kharchuk@ibss-ras.ru, ORCID: 0000-0002-5771-2143
[2] bocharova@ibss-ras.ru, ORCID: 0000-0001-6378-690X
[3] arshiroyan@ibss-ras.ru, ORCID: 0000-0001-8346-7172
[4] ol.rylkova@yandex.ru, ol.rylkova@ibss-ras.ru, ORCID: 0000-0002-2528-6223

Аннотация. Рассматривается актуальность и необходимость разработки рецептуры зернистого продукта функционального назначения, обогащенного экстрактом С-фикоцианина (С-ФЦ) из спирулины (*Limnospira platensis* (Gomont) K.R.S. Santos & Hentschke 2023). Цель исследования – разработать функциональный зернистый продукт с заданными свойствами, в котором функциональные ингредиенты сохраняют свою биологическую активность и терапевтический потенциал на протяжении всего технологического цикла (от приготовления до окончания срока годности). В ходе исследования был разработан оригинальный рецепт сферифицируемой смеси с рациональным содержанием альгинатного геля. Разработан технологический регламент приготовления зернистого продукта, который состоит из следующих этапов: подготовка раствора для сферификации, формирование сфер, промывка и финальная обработка. Определена, апробирована и рекомендована рациональная концентрация экстракта С-фикоцианина для введения в альгинатный гель. Полученные образцы были приятны на вкус, не имели постороннего запаха и привкуса, цветовая палитра изменялась (в зависимости от pH) от голубого до насыщено сине-фиолетового. Введение пигментного белка С-ФЦ позволило получить продукт с иммуностимулирующими, онко- и нейропротекторными, противовоспалительными, гепатотоксичными и антиоксидантными свойствами. Разработанный зернистый продукт может быть предложен потребителям в качестве диетического и лечебно-профилактического вспомогательного питания с широким спектром биологической активности.

Ключевые слова: С-фикоцианин, спирулина, *Limnospira platensis, Arthrospira platensis Spirulina platensis*, сферификация, зернистый продукт, органолептические показатели, пищевая ценность

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН» по теме «Разработка биотехнологической платформы создания инновационных продуктов и сырья на основе культур микроводорослей и цианобактерий для пищевой, косметической и фармацевтической промышленности» (регистрационный номер 126021016953-0).

Для цитирования: Харчук И. А., Бочарова Е. А., Широян А. Г., Рылькова О. А. Разработка рецептуры получения зернистого продукта, обогащенного С-фикоцианином из спирулины // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 100–109.

© Харчук И. А., Бочарова Е. А., Широян А. Г., Рылькова О. А., 2026

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 100–109.

FOOD SYSTEMS

Review article

Development of a recipe for producing a grainy product enriched with C-phycocyanin from spirulina

Irina A. Kharchuk [1], Elena A. Bocharova [2], Armine G. Shiroyan [3], Olga A. Rylkova [4]
A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia
[1] seaferm@yandex.ru, kharchuk@ibss-ras.ru, ORCID: 0000-0002-5771-2143
[2] bocharova@ibss-ras.ru, ORCID: 0000-0001-6378-690X
[3] arshiroyan@ibss-ras.ru, ORCID: 0000-0001-8346-7172
[4] ol.rylkova@yandex.ru, ol.rylkova@ibss-ras.ru, ORCID: 0000-0002-2528-6223

Abstract. The article discusses the relevance and necessity of developing a formulation for a granular functional product enriched with C-phycocyanin (C-PHC) extract from spirulina (*Limnospira platensis* (Gomont) K.R.S. Santos & Hentschke 2023). The aim of the study is to develop a functional granular product with specified properties, in which functional ingredients retain their biological activity and therapeutic potential throughout the entire technological cycle (from preparation to expiration date). In the course of the research, an original recipe for a spherified mixture with an rational alginate gel content was developed. A technological regulation for the preparation of a granular product has been developed, which consists of the following stages: preparation of a solution for spherification, formation of spheres, washing and final processing. The rational concentration of C-phycocyanin extract for injection into an alginate gel has been determined, tested and recommended. The samples obtained were pleasant to the taste, had no foreign smell or taste, and the color palette varied (depending on pH) from blue to rich blue-violet. The introduction of the C-PHC pigment protein made it possible to obtain a product with immunostimulating, oncological and neuroprotective, anti-inflammatory, hepatotoxic and antioxidant properties. The developed granular product can be offered to consumers as a dietary and therapeutic auxiliary food with a wide range of biological activity.

Keywords: C-phycocyanin, spirulina, *Limnospira platensis, Arthrospira platensis Spirulina platensis*, spherification, fibrous product, organoleptic parameters, nutritional value

Funding: this work was carried out within the framework of the state assignment of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences (IBSS RAS) on the topic "Development of a biotechnological platform for creating innovative products and raw materials based on microalgae and cyanobacteria cultures for the food, cosmetic, and pharmaceutical industries" (registration number 126021016953-0).

For citation: Kharchuk I. A., Bocharova E. A., Shiroyan A. G., Rylkova O. A. Development of a recipe for producing a grainy product enriched with C-phycocyanin from spirulina. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2026; 77(3):100–109. (In Russ.).

Введение

Здоровье человека, продолжительность жизни и даже его эмоциональная ежедневная составляющая, напрямую зависит от качества используемой пищи. Именно по этой причине в настоящее время набирает популярность правильное питание, которое, в первую очередь, основывается на функциональных продуктах, употребление которых благотворно влияет на одну или несколько физиологических функций организма, однако ассортиментный ряд подобных продуктов ограничен сырьевыми ресурсами.

Культивируемые микроводоросли и цианобактерии являются перспективными объектами для пищевой, фармакологической, косметологической промышленности, они богаты биологи-

чески активными веществами (БАВ), белками, углеводами, полиненасыщенными жирами, пигментами, витаминами и микроэлементами и другими веществами, которые обладают лечебными и лечебно-профилактическими свойствами и легко усваиваются. Процесс их выращивания несложный, и за короткий период времени можно получить достаточное количество биомассы с высоким содержанием БАВ. Кроме того, в пищевой промышленности и косметологии в настоящее время существует устойчивая тенденция перехода от синтетических к натуральным красителям, в связи с этим пигменты микроводорослей и цианобактерий (хлорофилл, С-фикоцианин, В-фикоэритрин, астаксантин и др.) становятся перспективным сырьем.

Состав и лечебные свойства спирулины широко освещены в научной литературе, биомасса и экстракты используются в современной медицине, косметологии и пищевой промышленности [1, 2, 3]. С-ФЦ – преобладающий пигмент в составе спирулины, водный раствор насыщенно темно-синего цвета, при разбавлении палитра может меняться от бледно-голубого до синего. С-фикоцианин является самым сильным природным иммуностимулятором и онкопротектором, обладает антиоксидантными, противовоспалительными и нейрозащитным свойствам [1]. Кроме того, пигмент обладает антиаллергенным, гепатопротекторным, радиопротекторным действием, регулирует выработку желчных солей, контролирует холестерин в крови [3, 4, 5, 6].

Еще одним полезным природным веществом, применяемым в медицине, пищевой промышленности, косметологии и других областях, является альгинат натрия (полисахарид, который получают из бурых морских водорослей (ламинарии и фукусах)), который положительно влияет на различные функции ЖКТ, укрепляет иммунную систему, блокирует выработку аллергенов, выводит тяжелые металлы, радионуклиды, тормозит развитие опухолевых заболеваний, положительно воздействует на состояние кожи и пр. В пищевой промышленности альгинат натрия чаще всего используют в роли загустителя и гелеобразователя.

Широкую популярность в свое время приобрела альгиновая икра, когда раствор альгината натрия с различными добавками раскапывали в хлорид кальция, при этом капля обретала округлую форму и становилась похожа на «икринку». Однако многие производители при ее изготовлении использовали различные искусственные красители, ароматизаторы и другие компоненты, не всегда полезные для организма человека, иногда процесс приготовления был очень трудоемок, состав продукта не имел биологически активного эффекта [7, 8, 9]. Наиболее полезным в лечебно-профилактическом плане, на наш взгляд, является «Желе капсулированное» [10], где в качестве растительного белкового компонента, вводимого в гранулы, использовали хлорофилл, каротиноиды, фосфолипиды из водоросли хлорелла и/или цианобактерии спирулины. Однако на одном из этапов технологического процесса авторами предлагалось нагревание до 80 °С, в результате чего часть полезных веществ могла разрушаться, кроме того, авторы использовали низкие концентрации белкового компонента, что приводило к невысокому содержанию БАВ.

Целью настоящего исследования стала разработка рецептуры зернистого продукта, обогащённого С-фикоцианином спирулины, который имел бы функциональные свойства и сохранял их в процессе приготовления продукта.

Объект и методы исследования

Объектом исследования служила альгологически чистая неаксеничная культура *Limnospira platensis (Gomont) K.R.S. Santos & Hentschke 2023 (*синонимы *Arthrospira platensis, Spirulina platensis)* (штамм IBBS–31) из коллекции ЦКП «Коллекция гидробионтов Мирового океана» ФИЦ ИнБЮМ (Севастополь).

Условия культивирования. Цианопрокариоты выращивали в режиме накопительного культивирования при постоянном круглосуточном освещении и автоматическом перемешивании с использованием насоса для удаления избытка кислорода из среды и равномерного прогрева всего слоя питательного раствора культуры. Барботаж проводили атмосферным возду-

хом с общей скоростью подачи 1,42 л·мин$^{-1}$, что составляло 0,35 л·мин$^{-1}$·л$^{-1}$ культуры. Интенсивность света на поверхности раствора составляла 10,7 клк. Измерение проводили квантометром Li-250A (“Li-Cor”, США). Температура среды колебалась в диапазоне 20–25 °С. В качестве питательной среды для спирулины использовали среду Заррук [11]. Культиваторами служили стеклянные стаканы объёмом 2 дм^3, объём суспензии в которых составлял 1 дм^3, при высоте слоя 14–15 см. Рост культур регистрировали ежедневно фотометрическим методом по оптической плотности суспензии водорослей в области 750 нм (D_{750}), измеряемой на спектрофотометре Unico-2100 (США) в кюветах с рабочей длиной 5 мм. На стационарной стадии роста трихомы спирулины концентрировали путем их фильтрации через мельничный газ 100 – 105 ПЭ [12]. Промывали дистиллированной водой в соотношении 1 : 3 (вода : клетки) для полного отмывания от солей и сохранения клеточных мембран и оболочек, затем сушили в термостате ТС-80м-2 (АО Медлабортехника, Украина) при температуре 50 °С в течение 10 ч до воздушно-сухого состояния.

Приготовление водного экстракта С-фикоцианина (С-ФЦ). Высушенную культуру цианобактерий (2 г) измельчали до порошкообразного состояния, насыпали в полипропиленовые пробирки объёмом 10 мл (количество пробирок 9 шт.), добавляли по 2,5 мл холодной дистиллированной воды (t$^{\circ}$= +10 °С), помещали в морозильную камеру, замораживали при t$^{\circ}$= – 14 С в течение 30 мин, вынимали и оставляли до полного размораживания, центрифугировали при 3000 об/мин$^{-1}$ в течение 15 мин, супернатант из каждой пробирки сливали в одну емкость. Осадок снова заливали холодной дистиллированной водой и замораживали, процедуру повторяли 4 раза. Суммарный объем водного раствора С-фикоцианина составлял 90 мл. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ СПЕКТР, Россия) при длине волны 540 нм. Содержание С-фикоцианина рассчитали по формуле [13]:

$$C_{фц} = \frac{0{,}154*D_{620} - 0{,}1*D_{655} - 0{,}034*D_{470} - 0{,}02*D_{700}}{m*(1-k)*l} * V * 100\ \%,$$

где D_{620}, D_{655}, D_{700}, D_{470} – оптическая плотность в области максимума водного экстракта С-фикоцианина (на длине волны 620 нм), оптическая плотность в области максимума аллофикоционина (655 нм) и неспецифичское поглощение на длине волны 700 и 470 нм, ед. опт. пл.; V – объем объединенного экстракта, мл; m – масса навески, мг; k – массовая доля воды в пробе; l – длина оптического пути, см.

Приведённым выше способом были пиготовлены экстракты С-ФЦ с таким же содержанием активного вещества (5,2 % от сухой массы спирулины), но более концентрированные за счёт увеличения навески, высушенной культуру цианобактерий (3 г, 4 г, 5 г). Это дало возможность получить на выходе зернистый продукт разного оттенка от нежно-голубого до насыщенного синего.

Рыбный бульон готовили на основе воды, голов и обрези красных сортов рыбы и соли в соотношении мас. %: 66,3 : 33,1 : 0,6.

Раствор для сферификации состоял из дистиллированной воды и лактата кальция в соотношении мас. %: 49 : 1.

Определение рационального состава альгинатного геля. Растворы с разной концентрацией альгината (0,2–2,5 г на 100 мл) капельным способом погружали в раствор для сферификации, выдерживали в растворе в течение 3–4 мин до образования устойчивых сфер и оценивали их органолептические свойства.

Приготовление сферифицируемой смеси. Измеряли водородный показатель рыбного бульона. Если его pH было ниже 7, то добавлением цитрата натрия доводили до нужного значения. Далее вводили альгината натрия, перемешивали и оставляли для набухания на 40–60 мин. Затем к полученной смеси прибавляли 90 мл водного экстракта С-ФЦ, перемешивали до образования гомогенного, равномерно окрашенного раствора. Получали смесь с соотношением мас. %: 91,07 : 0,73 : 8,2 .

Приготовление зернистого продукта. Сферифицируемую смесь активных компонентов (рыбный бульон, альгинат натрия, цитрат натрия, водный экстракт С-ФЦ) капельным способом погружали в раствор для сферификации, выдерживали в растворе в течение 2 мин до образования устойчивых сфер. Вынимали с помощью сита, дважды промывали дистиллированной водой, оставляли стекать до полного удаления воды. Получали сферы различных оттенков (от голубого до темно-синего цвета) в устойчивой альгиновой оболочке, в полученный продукт добавляли оливковое масло из расчета 1 мл масла на 100 г продукта.

Результаты и их обсуждение

На начальном этапе работ опытным путём была определена концентрация альгината натрия, необходимая для формирования качественных сфер. Установлено, что при использовании альгината натрия менее 0,8 % образовывались слабоструктурированные системы, которые нецелесообразно применять при производстве сфер. При увеличении доли альгината натрия от 0,8 до 1,5 % гель хорошо удерживал всю воду, находящуюся в коллоидной системе, и по физико-химическим характеристикам представлял собой вязкоупругую дисперсную систему. Дальнейшее увеличение доли альгината натрия от 2 до 2,5 % приводило к возрастанию прочности студня. Органолептические свойства приведены в табл. 1.

Одновременно устанавливали время сферификации, так как реакция идёт быстро и необратимо, с превращением в сплошной гель. Этот параметр критически важен, так как он определял толщину и прочность гелевой оболочки, а также стабильность сфер. При раннем извлечении оболочка не успевала полностью сформироваться, в результате сферы были слабыми, хрупкими и быстро теряли форму. Исследования и практический опыт показали [14, 15, 16], что для большинства жидкостей достаточное время выдержки сферы в растворе составляло 30–120 секунд. При передерживании сфер в ванне реакция гелеобразования продолжалась даже после извлечения их из раствора. Это приводило к избыточному загустеванию, образованию слишком жёстких, неэластичных сфер, которые теряли эффект «взрываемости» во рту. Нами было определено, что для получения круглых упругих сфер (сохраняющих свою форму в растворе и после извлечения, а также выделяющих жидкое содержимое при раздавливании) необходимо выдерживание в растворе для сферификации 2 мин (табл. 1).

Таблица 1

Органолептическая оценка сфер из альгината натрия

Table 1

Organoleptic evaluation of sodium alginate spheres

Доля альгината натрия, %	Продолжительность выдерживания в растворе для сферификации, мин	Органолептические свойства	
		Внешний вид сфер	Консистенция сфер
0,2	2	–	Сферы при пракапывании в сферифицируемый раствор не образовывались, растворялись в растворе
0,3	2	Сплюснутые капли	Не обладали стойкой формой, растекались при перемешивании раствора
0,5	2	Округлая, слегка вытянутая форма	Очень нежная не стойкая структура, растекается при извлечении из раствора
0,8	2	Круглая форма	Сохраняли форму в растворе и после извлечения, при раздавливании упругие, выделялась вода
1	2	Круглая форма	Сохраняли форму в растворе и после извлечения, при раздавливании упругие, выделялась вода
1,5	2	Круглая форма	Сохраняли форму в растворе и после извлечения, при раздавливании упругие, выделялась вода в небольшом количестве
2	2	Круглая форма	Гель вязкий, прокапывался с трудом.

			Сферы имели форму шара, плотной структуры, при раздавливании пружинили, ломались на мелкие вязкие кусочки
2,5	2	Вытянутая форма	Очень плотный гель, забивал пипетку. Сферы плотные, овальной и вытянутой формы, плохо раздавливались

Таким образом, опытным путем установлены параметры для успешной сферификации: рациональная концентрация альгината натрия составляла 0,8 %, выдерживание в растворе – 2 мин. При таком режиме сферификации образующиеся сферы по качеству больше всего напоминали «икру».

Определение рациональной концентрации экстракта С-фикоцианина для введения в альгинатный гель. Следующим этапом было определение концентрации экстракта С-фикоцианина для введения в альгинатный гель с последующей сферификацией и органолептической оценкой консистенции, цвета, запаха и вкуса получаемого продукта. Для этого в опытные растворы альгинатного геля вносили одинаковый объём белкового экстракта, однако содержание активного вещества отличалось.

Концентрация добавляемого раствора С-фикоцианина спирулины варьировало от 1,5 до 7,5 мг·мл$^{-1}$. В результате проведенного исследования было определено, что органолептические характеристики не менялись в зависимости от содержания С-ФЦ, однако цвет зернистого продукта зависел от его концентрации (табл. 2, рисунок).

Таблица 2

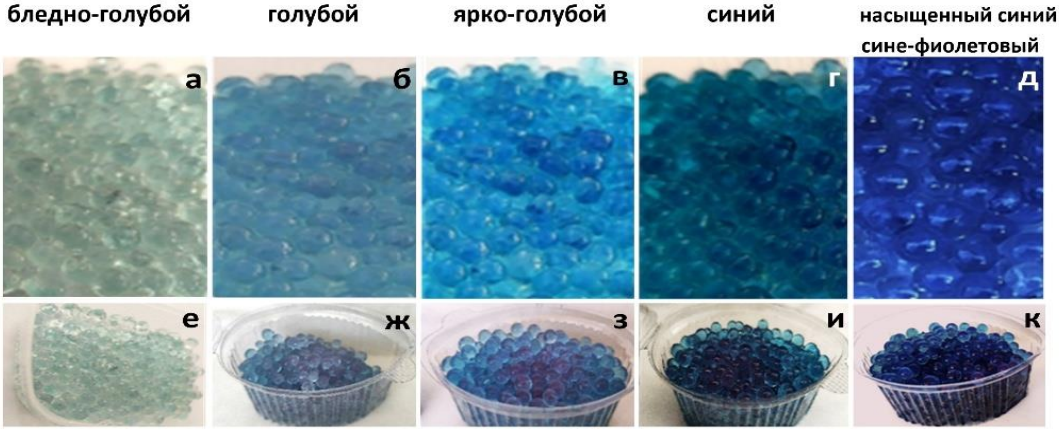
Органолептическая оценка зернистого продукта, обогащенного С- фикоцианином разной концентрации

Table 2

Organoleptic evaluation of a granular product enriched with C-phycocyanin of different concentrations

Масса навески, г	Содержание С-ФЦ, мг·мл$^{-1}$	Органолептические свойства	
		Внешний вид сфер	Консистенция сфер
1	1,5	Цвет бледно-голубой	Сферы целые однородные по цвету, стойкой формы, при раздавливании упругие, выделяется бульон с экстрактом, отделяются друг от друга, приятные на вкус, легко жуются, послевкусие рыбного бульона
2	3,0	Цвет голубой	Сферы целые однородные по цвету, стойкой формы, при раздавливании упругие, выделяется бульон с экстрактом, отделяются друг от друга, приятные на вкус, легко жуются, послевкусие рыбного бульона
3	4,5	Цвет ярко-голубой	Сферы целые однородные по цвету, стойкой формы, при раздавливании упругие, выделяется бульон с экстрактом, отделяются друг от друга, приятные на вкус, легко жуются, послевкусие рыбного бульона
4	6,0	Цвет синий	Сферы целые однородные по цвету, стойкой формы, при раздавливании упругие, выделяется бульон с экстрактом, отделяются друг от друга, приятные на вкус, легко жуются, послевкусие рыбного бульона
5	7,5	Цвет насыщенно синий, сине-фиолетовый	Сферы целые однородные по цвету, стойкой формы, при раздавливании упругие, выделяется бульон с экстрактом, отделяются друг от друга, приятные на вкус, легко жуются, послевкусие рыбного бульона

Полный состав сферифицируемой смеси содержал альгинат натрия, соленый рыбный бульон, водный экстракт С-фикоцианина, цитрат натрия. Использование приведённых выше ингредиентов позволяло изготовить продукт в традиционной для потребителя форме, но с повышенным содержанием БАВ.



Палитра оттенков зернистого продукта, обогащенного С- фикоцианином разной концентрации (а–д); общий вид «икринок» (е–к).
The color palette of the granular product enriched with C-phycocyanin of varying concentrations (а–д); the general appearance of the “eggs” (е–k)

Рыбный бульон из обрези красной рыбы (хребтов, хвостов, плавников) – это продукт, который сохраняет и даже концентрирует ценные нутриенты, присутствующие в рыбе. В обрези концентрация полезных жиров часто даже выше, чем в филе. Омега-3 поддерживают работу сердечно-сосудистой системы, помогают снижать уровень «плохого» холестерина, улучшают когнитивные функции (память, концентрацию) и обладают противовоспалительным действием. Рыба является источником легкоусвояемого белка, который выполняет функцию строительного материала для клеток и тканей организма, участвует в обмене веществ и поддерживает иммунную систему. Хрящи и соединительная ткань в обрези при варке отдают в бульон природный желатин (коллаген). Такой бульон получается насыщенным, а коллаген полезен для здоровья суставов, кожи и связок. Бульон содержит витамины (B_{12}, B_6, B_5 и д.р.), минералы (фосфор, йод, калий, цинк, магний и селен), различные аминокислоты, включая глицин [17].

Натрия альгинат – это природный полисахарид, извлекаемый из бурых водорослей, состоящий из блоков 1–4, связанных α-L-гулуроновой и β-Dманнуроновой кислот. В промышленности его также называют кальциевой солью альгиновой кислоты. Она выступает как загуститель, гелеобразователь и влагоудерживающий агент. Альгинат натрия способен связывать и элиминировать из организма соли тяжелых металлов, канцерогены, радионуклиды, задерживает всасывание радиоактивного стронция в кишечнике, выводя примерно 90 %, предотвращая его накопление в организме. Обладая сорбирующим эффектом, альгинаты удаляют из ЖКТ продукты распада протеинов, углеводов, липидов, радионуклеиды и другие вредные вещества, препятствующие развитию правильной микрофлоры кишечника [15].

С-фикоцианин – это пигментный белок, содержащийся в спирулине, является самым сильным природным иммуностимулятором и онкопротектором. Именно С-фикоцианин стимулирует основные части иммунной системы: стволовые клетки костного мозга, макрофаги, Т-клетки и естественные клетки-киллеры, селезенку и вилочковую железу. С-фикоцианин очень близок по составу к желчным пигментам человека, что объясняет его особую активность в детоксикации и защите печени. Многие исследования доказали, что С-фикоцианин обладает антиоксидантным, противоопухолевым, противовоспалительным, антиаллергенными и другими свойствами [2, 3, 4, 5, 6].

В целом технологическая схема производства зернистого продукта включает в себя: подготовку сырья; приготовление альгинатного геля; внесение экстракта из спирулины; приготовление раствора для сферификации; сферифицирование альгинатного геля; промывку; обсушку; добавление оливкового масла; упаковку; маркировку и хранение.

Готовый продукт обладает вкусом морепродуктов, имеет вид икры, голубого или синего цвета, правильную округлую форму, каждая икринка имеет диаметр 3–4 мм и содержит водный экстракт С-фикоцианина. Получаемый функциональный зернистый продукт, содержащий С-фикоцианин, позволяет расширить ассортимент полезных продуктов на основе спирулины, увеличить возможности их применения, сохранить все свойства, присущие природному продукту, в том числе направленное биологическое действие. Информация о пищевой и энергетической ценности 100 г зернистого продукта, обогащенного С-фикоцианином (расчетные значения), представлена в табл. 3.

Таблица 3

Пищевая и энергетическая ценность зернистого продукта, обогащенного С-фикоцианином (в 100 г)

Table 3

Nutritional and energy value of the granular product enriched with C-phycocyanin (per 100 g)

Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Пищевые волокна, г	Натрий, г	Энергетическая ценность,	
					ккал	кДж
5,2	93,7	1,2	1	0,09	35,8	149,644

Таким образом, предлагаемая разработка обеспечивает получение диетического продукта с широким спектром биологической активности, с выраженным пребиотическим, противоопухолевым, антиоксидантным и иммуномодулирующим эффектом и прекрасно дополняет дневной рацион для удовлетворения суточной потребности организма в различных нутриентах.

Образцы зернистого продукта не несут опасности при употреблении в качестве пищевого продукта, они соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и нормативной документации (СанПиН 2.3.2.1078-01, ГОСТ 33536-2012, ГОСТ 31747-2012, ГОСТ 10444.12-2013, ГОСТ 31659-2012).

Заключение

В результате проведенных исследований изучена возможность введения в состав зернистого продукта нетрадиционного растительного сырья – водного раствора экстракта С-фикоцианина, полученного из спирулины (*Limnospira platensis).* Пигмент синтезируется цианобактериями в процессе их жизнедеятельности и является природным иммуностимулятором и онкопротектором, обладает антиоксидантными, противовоспалительными, нейрозащитными, антиаллергенными, гепатопротекторными, радиопротекторными и другими свойствами, что позволяет усилить биологическую ценность конечного продукта.

Экспериментально установлен состав альгинатного геля. Наиболее рациональным предложено использование 0,8%-го альгината натрия, время сферификации составляло 2 мин, при этом образующиеся сферы максимально по качеству напоминали «икру». Водный раствор С-фикоцианина рекомендовано использовать в зависимости от цветовых предпочтений потребителя: чем выше концентрация С-фикоцианина, тем насыщеннее и глубже синий цвет. Если в продукт не добавлены консерванты, то при нагревании он не сохранял окраску.

Продукт, помимо хороших органолептических свойств, обладает лечебно-профилактическими свойствами и не содержит вредных примесей, так как спирулина культивируется в специально подобранных и контролируемых условиях. Предлагаемая разработка обеспечивает получение диетического продукта с широким спектром биологической активности, с выраженным пребиотическим, противоопухолевым, антиоксидантным и иммуномодулирующим

эффектом и прекрасно дополняет блюда для удовлетворения суточной потребности организма в различных нутриентах.

По результатам проведенной работы получен патент РФ: RU 2795704 C1 «Способ получения зернистого продукта, содержащего С-фикоцианин». Разработанный способ получения Продукта рассчитан на применение в промышленном производстве, при этом не требует приобретения сложного и дорогостоящего оборудования (возможно использование стандартного оборудования для изготовления «альгиновой икры»).

Список источников

1. Sorrenti, V., Castagna, D.A., Fortinguerra, S., Buriani, A., Scapagnini, G., Willcox, D.C. Spirulina Microalgae and Brain Health: A Scoping Review of Experimental and Clinical Evidence. // Mar. Drugs 2021, 19, 293. https:// doi.org/10.3390/md19060293.

2. Каленик Т. К., Добрынина Е. В., Остапенко В. М., Тори Ясуёши, Хироми Юро. Исследование пигментов сине-зеленой водоросли спирулины платенсис для практического использования в технологиях кондитерских изделий // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81, № 2, С. 170–176. doi:10.20914/2310-1202-2019-2-170-176.

3. Ashaolu T. J., Samborska K., Lee C. C., Tomas M., Capanoglu E., Tarhan Ö., Taze B., Jafari S. M. Phycocyanin, a super functional ingredient from algae; properties, purification characterization, and applications // Int J Biol Macromol. 2021. № 193(Pt B). P. 2320–2331.

4. Li B., Zhang X., Gao M., Chu X. Effects of CD59 on antitumoral activities of phycocyanin from Spirulina platensis // Biomed Pharmacother. 2005. Vol. 59, № 10. P. 551–560.

5. Bannu S. M., Lomada D., Gulla S., Chandrasekhar T., Reddanna P., Reddy M. C. Potential Therapeutic Applications of C-Phycocyanin // Curr Drug Metab. 2019. № 20 (12). P. 967–976. doi: 10.2174/1389200220666191127110857.

6. Belay A., Amer J. The potential Application of Spirulina (Arthrospira) as nutritional and therapeutic supplement in health management // Nutraceutical Assoc. 2002. № 2. P. 27–49.

7. Пивоваров П. П., Пивоваров Е. П. Способ получения аналога рыбной икры. Патент РФ 2413434, МПК A23L 1/328, опубл. 10.03.2011;

8. Пат. 151754, РФ, 2015, МПК A23L 1/328 «Икра альгиновая» (со сладким вкусом).

9. Пат. 2512024, РФ, 2014, МПК A23P 1/02(2006.01 «Способ получения пищевого гранулированного продукта».

10. Пат. 2666908, РФ, 2017, МПК A23L 33/195 (2006.01); A23J 3/20 (2006.01).

11. Faucher O., Coupal B., Leduy A. Utilization of scawater – urea as a culture medium for Spirulina maxima // Can Journ. Microbiol. 1979. Vol. 25. № 6. P. 752–759.

12. Richmond A., Lichtenberg E., Stahl B., Vonshak A. Quatitative assessment of the major limitations on productivity of Spirulina platensis in open raceways // Journ. Appl. Phycol. 1990. Vol. 2. № 3. P. 195–206.

13. Геворіз Р. Г., Нехорошев М. В. Количественное определение массовой доли С-фикоцианина и аллофикоцианина в сухой биомассе Spirulina (Arthrospira) platensis North. Гейтл. Холодная экстракция, Севастополь 2017 [Электронный ресурс]. https://repository.marine-research.org/handle/299011/46 (дата обращения : 19.01.2021)

14. Семенова Е. В., Чеботок В. В., Борисовская И. В. К вопросу об использовании альгинатов из бурых водорослей в медицине и фармации // Современные проблемы науки и образования. 2019. № 6. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=29235 (дата обращения : 12.08.2026).

15. Никитина М. М., Лакиза Н. В., Терзиян Т. В. Альгинат натрия – уникальный природный полисахарид и его применение // XXXII Зимняя школа по химии твердого тела. Екатеринбург, 2023. С. 64–65.

16. Ишевский А. Л., Успенская М. В., Гунькова П. И., Давыдов И. А., Василевская И. А. и др. Направления использования альгинатов в пищевой промышленности // Известия Санкт-

Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2019. №. 51(77). С. 61–69.

17. Электронный ресурс https://intellifishing.ru/kuhnya/rybnyy-bulon (дата обращения : 31.08.2026).

Сведения об авторах

И. А. Харчук – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Отдела биотехнологий и фиторесурсов.

Е. А. Бочарова – кандидат медицинских наук, научный сотрудник Лаборатории функциональной геномики.

А. Г. Широян – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Отдела аквакультуры и морской фармакологии.

О. А. Рылькова – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Отдела биотехнологий и фиторесурсов.

Information about the authors

I. A. Kharchuk – PhD in Biology, Senior Researcher of the Department of Biotechnologies and Phytoresources.

E. A. Bocharova – PhD in Medical Sciences, Researcher of the Laboratory of Functional Genomics.

A. G. Shiroyan – PhD in Biological Sciences, Senior Researcher of the Department of Aquaculture and Marine Pharmacology.

O. A. Rylkova – PhD in Biological Sciences, Senior Researcher of the Department of Biotechnology and Phytoresources.

Статья поступила в редакцию 10.09.2026; одобрена после рецензирования 21.09.2026; принята к публикации 22.09.2026.

The article was submitted 10.09.2026; approved after reviewing 21.09.2026; accepted for publication 22.09.2026.

© Харчук И. А., Бочарова Е. А., Широян А. Г., Рылькова О. А., 2026.

«Разработка рецептуры получения зернистого продукта, обогащенного С-фикоцианином из спирулины» [Харчук И. А., Бочарова Е. А., Широян А. Г., Рылькова О. А.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 110–118.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Обзорная статья
УДК 546.19:639.2:006.3:340.13 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-10 EDN: OKTRLR

Актуализация нормативов содержания мышьяка в рыбной продукции: проблемы и пути решения в рамках ЕАЭС

Антонида Викторовна Чернова
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия
nida11@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8143-7228

Аннотация. Рассмотрена актуальная проблема нормирования мышьяка в рыбной продукции на территории Евразийского экономического союза. Действующая система, основанная на определении общего содержания мышьяка без разделения на органические и неорганические соединения, не соответствует современным токсикологическим данным и международным подходам. Установлено, что доля токсичного неорганического мышьяка в рыбе составляет не более 1,5–2 % от общего содержания, тогда как органические формы (арсенобетаин) являются нетоксичными. Проведен сравнительный анализ международных нормативов, выявлено несоответствие российских требований практике стран-импортеров. Показано, что ежегодные экономические потери внутреннего рынка из-за устаревших нормативов достигают 160 тыс. т рыбной продукции. Обоснована необходимость перехода к нормированию неорганического мышьяка с введением дифференцированных предельных уровней в зависимости от таксономической принадлежности гидробионтов. Приведены метрологические характеристики альтернативного метода определения неорганического мышьяка на основе атомно-абсорбционной спектрометрии с твердофазной экстракцией, аттестованного и включенного в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Ключевые слова: мышьяк, неорганический мышьяк, органический мышьяк, нормирование, технический регламент, ЕАЭС, ТР ТС 021/2011, рыбная продукция, гармонизация нормативов, арсенобетаин, ВЭЖХ-ИСП-МС, SPE-GF-AAS

Для цитирования: Чернова А. В. Актуализация нормативов содержания мышьяка в рыбной продукции: проблемы и пути решения в рамках ЕАЭС // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 110–118.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 110–118.

FOOD SYSTEMS

Review article

Updating the standards for arsenic content in fish products: problems and solutions within the EAEU

Antonida V. Chernova
Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
nida11@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8143-7228

Abstract. The article discusses the current problem of arsenic regulation in fish products in the territory of the Eurasian Economic Union. The current system, based on the determination of the total content of arsenic without separation into organic and inorganic compounds, does not

© Чернова А. В., 2026

correspond to modern toxicological data and international approaches. It has been established that the share of toxic inorganic arsenic in fish is no more than 1.5–2 % of the total content, while organic forms (arsenobetaine) are non-toxic. A comparative analysis of international standards has been carried out, and a discrepancy between Russian requirements and the practice of importing countries has been revealed. It is shown that the annual economic losses of the domestic market due to outdated standards reach 160 thousand tons of fish products. The necessity of switching to the regulation of inorganic arsenic with the introduction of differentiated maximum levels depending on the taxonomic affiliation of aquatic organisms is substantiated. The metrological characteristics of an alternative method for the determination of inorganic arsenic based on atomic absorption spectrometry with solid-phase extraction, certified and included in the Federal Information Fund for Ensuring the Uniformity of Measurements, are presented.

Keywords: arsenic, inorganic arsenic, organic arsenic, regulation, technical regulations, EAEU, TR CU 021/2011, fish products, harmonization of standards, arsenobetaine, HPLC-ICP-MS, SPE-GF-AAS

For citation: Chernova A. V. Updating the standards for arsenic content in fish products: problems and solutions within the EAEU. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):110–118. (In Russ.).

Введение

Проблема нормирования содержания мышьяка в рыбной продукции обсуждается в Российской Федерации и странах Евразийского экономического союза (ЕАЭС) на протяжении более 15 лет. За этот период накоплен значительный массив научных данных о токсикологии различных форм мышьяка, разработаны высокочувствительные и селективные методы анализа, а также сформирован опыт международной торговли, демонстрирующий несостоятельность действующего подхода [7]. Тем не менее нормативная база ЕАЭС остается практически неизменной с момента принятия технического регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [1].

Действующий регламент устанавливает предельное содержание общего мышьяка на уровне 5 мг/кг для морской рыбы, моллюсков, ракообразных и водорослей, а для речной рыбы и икры –1 мг/кг [1]. При этом не учитывается форма нахождения мышьяка, что приводит к ситуации, когда продукция с высоким содержанием нетоксичного органического мышьяка (арсенобетаина AsB) формально признается небезопасной и подлежит утилизации на внутреннем рынке, тогда как за рубежом она пользуется стабильным спросом.

В соответствии с позицией федеральных органов исполнительной власти определение общего мышьяка без разделения на органическую и неорганическую формы является неактуальным, препятствует развитию промысла глубоководных объектов рыболовства и ограничивает поставки рыбной продукции на внутренний рынок. По данным отраслевых объединений, ежегодные потери внутреннего рынка из-за устаревшей нормативной базы оцениваются не менее чем в 160 тыс. т рыбной продукции [7, 11].

Цель настоящей работы – анализ существующих проблем нормирования мышьяка в рыбной продукции в Российской Федерации и странах ЕАЭС, обоснование необходимости перехода к регулированию содержания неорганического мышьяка с разработкой дифференцированных нормативов, а также оценка готовности нормативной, методической и приборной базы для реализации такого перехода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести сравнительный анализ токсикологического профиля органических и неорганических соединений мышьяка, присутствующих в гидробионтах;

- выполнить сравнительный анализ действующих нормативов содержания мышьяка в рыбной продукции в ЕАЭС и зарубежных странах;

- оценить масштаб экономических и социальных последствий применения устаревших нормативов;

- предложить дифференцированные нормативы неорганического мышьяка для различных видов гидробионтов;

- дать характеристику существующим методам определения неорганического мышьяка и оценить их пригодность для внедрения в лабораторную практику.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступает система нормирования содержания мышьяка в рыбной продукции, включая нормативно-правовую базу ЕАЭС, международные стандарты, а также методы количественного определения неорганического мышьяка (iAs) в пищевых матрицах.

Предметом исследования являются: содержание различных форм мышьяка в гидробионтах; метрологические характеристики методов определения неорганического мышьяка; экономические и социальные последствия применения действующих нормативов.

В работе использованы данные информационной системы «Веста» Россельхознадзора, результаты лабораторных исследований подведомственных учреждений (ФГБУ «НЦБРП», ФГБУ «ВГНКИ»), аналитические материалы отраслевых объединений (ВАРПЭ, Рыбный союз), международные нормативные документы, а также научные публикации по токсикологии мышьяка.

Методы определения неорганического мышьяка

Для определения неорганического мышьяка в пищевой продукции применяются два основных метода, различающихся по принципу детектирования и аппаратурному оформлению. Метод ВЭЖХ-ИСП-МС (высокоэффективная жидкостная хроматография – масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой) по ГОСТ 34462-2018 (разработан ФГБУ «ВГНКИ») [2] основан на извлечении неорганического мышьяка из пробы обработкой раствором азотной кислоты и пероксида водорода с последующим хроматографическим разделением на колонке PRP-X100 и количественным определением с помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Детектирование осуществляется по изотопу ^{75}As [2, 9].

Метод SPE-GF-AAS по МУ А-1/167 (альтернативная методика на основе европейского стандарта DIN EN 16278, разработанная ФГБУ «НЦБРСП») основан на селективном выделении неорганического мышьяка из сложных органических матриц с использованием твердофазной экстракции (SPE) на анионообменных картриджах Strata SAX с последующим количественным определением методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией (GF-AAS). В ходе микроволновой экстракции смесью соляной кислоты и пероксида водорода As(III) окисляется до As(V), который при pH 5,0-7,5 селективно сорбируется на анионообменной смоле, тогда как органические производные не удерживаются. 6 мая 2025 года методика аттестована и внесена в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (регистрационный номер ФР.1.31.2025.51305) [3, 4, 10]. Она является единственной альтернативой ГОСТ 34462-2018, внесенной в Федеральный информационный фонд.

Результаты и их обсуждение

Мышьяк присутствует в гидробионтах в двух принципиально различных формах, обладающих кардинально разной токсичностью [4]. Неорганический мышьяк (iAs), представленный арсенитами As(III) и арсенатами As(V), отнесен Международным агентством по изучению рака (IARC) к канцерогенам 1-й группы. Эти соединения обладают острым и хроническим токсическим действием, поражают желудочно-кишечную, сердечно-сосудистую, неврологическую, кожную и иммунную системы, легко всасываются в желудочно-кишечном тракте и быстро распространяются по всем органам и тканям [12].

Органический мышьяк представлен преимущественно арсенобетаином (AsB), а также арсенохолином, арсеноуглеводами, метил- и диметиларсонатами. Эти соединения характеризуются низкой токсичностью, быстро выводятся из организма с мочой в неизмененном виде,

не накапливаются в тканях человека и, по данным Европейского агентства по безопасности продуктов питания (EFSA), не создают рисков для здоровья даже при повышенном содержании в рыбопродукции [12].

Данные многолетних исследований показывают устойчивое распределение форм мышьяка в зависимости от вида гидробионта [7, 12]. Содержание неорганического мышьяка в различных видах гидробионтов представлено в табл. 1.

Таблица 1

Содержание неорганического мышьяка в различных видах гидробионтов

Table 1

Content of inorganic arsenic in various types of hydrobionts

Вид продукции	Доля iAs от общего As, %	Типичное содержание iAs, мг/кг
Рыба (морская)	0,5–2	0,03–0,10
Рыба (пресноводная)	0,1–27	0,01–0,30
Моллюски (мидии, устрицы)	5–20	0,10–0,50
Ракообразные (крабы, креветки)	3–15	0,10–0,40
Водоросли	5–30	0,50–5,00

Согласно данным Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, доля неорганического мышьяка в рыбе составляет около 1,5 %, в моллюсках – до 20 % [7]. Таким образом, при общем содержании мышьяка 5 мг/кг содержание неорганической формы в рыбе не превышает 0,075 мг/кг, что соответствует или даже ниже нормативов, установленных в КНР (0,1 мг/кг для рыбы).

Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» устанавливает следующие предельные уровни общего мышьяка: морская рыба, моллюски, ракообразные, водоросли – 5 мг/кг; речная рыба и икра – 1 мг/кг [1]. Принципиальная проблема этого подхода заключается в том, что он не учитывает форму нахождения мышьяка. В мировой практике, напротив, большинство стран нормирует исключительно неорганический мышьяк, представляющий реальную угрозу для здоровья человека, либо не нормирует мышьяк вовсе (табл. 2).

Таблица 2

Международные нормативы содержания мышьяка в рыбной продукции

Table 2

International standards for the content of arsenic in fish products

Страна/регион	Нормируемый показатель	Рыба, мг/кг	Ракообразные/ моллюски, мг/кг	Водоросли, мг/кг
ЕАЭС (действующий)	Общий As	5,0	5,0	5,0
Китай (GB 2762-2017)	Неорганический As	0,1	0,5	1,0–1,5
Австралия / Новая Зеландия	Неорганический As	2,0	1,0	1,0
Евросоюз	Не нормируется	–	–	3,0 (БАД из водорослей)
Япония	Не нормируется	–	–	–
Южная Корея	Не нормируется	–	–	–

Систематический характер проблемы подтверждается многолетней практикой контроля рыбной продукции. В ходе лабораторных исследований, проводимых подведомственными

Россельхознадзору учреждениями, регулярно фиксируются случаи превышения установленных нормативов по общему содержанию мышьяка. Специалистами Приморской межобластной ветеринарной лаборатории выявлены случаи превышения нормы в креветке гребенчатой и трубаче, причем отклонения достигали пятикратных значений [9]. Эти факты свидетельствуют не об объективной опасности продукции, а о несовершенстве самого подхода к нормированию.

Экономические последствия применения устаревших нормативов оцениваются отраслевыми экспертами как крайне значительные. Ежегодные потери внутреннего рынка составляют не менее 160 тыс. т рыбной продукции. В эту цифру входят глубоководные крабы (около 8,5 тыс. т ежегодно), различные виды креветок, некоторые виды рыб (навага, терпуг и др.), а также морские водоросли. Продукция, которая не может быть реализована на российском рынке из-за формального превышения норматива общего мышьяка, свободно поставляется на экспорт и пользуется спросом в Канаде, США, Японии, Республике Корея и Китае [7].

Социальные последствия выражаются в ограничении доступа российских потребителей к качественной и безопасной отечественной продукции. Как отмечалось на заседании рабочей группы по обеспечению транспортно-логистического и социально-экономического развития Арктической зоны РФ, целью изменений является открытие российского рынка для отечественных производителей с целью увеличения объема рыбной продукции на прилавках [11]. Кроме того, нерешенный вопрос нормирования мышьяка ставит под угрозу освоение квот на водные биологические ресурсы Баренцева моря, поскольку рыбаки не могут поставлять свою продукцию ни на внутренний рынок, ни на экспорт. В перспективе возможно уменьшение российских национальных квот, распределяемых Смешанной российско-норвежской комиссией по рыболовству.

Первоочередной задачей является внесение изменений в нормативную базу ЕАЭС, в частности – законодательное определение понятия «неорганический мышьяк» для учета его содержания в рыбной продукции [7]. Российскими учеными ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» обоснована необходимость разделения мышьяка на органическую и неорганическую формы при нормировании его содержания в рыбной и морепродукции, а также изменений в методиках расчета. На основании этих выводов Роспотребнадзор инициировал процедуру внесения изменений в ТР ТС 021/2011 [8].

На основе анализа научных данных и международной практики предлагается введение дифференцированных нормативов для неорганического мышьяка (табл. 3).

Таблица 3

Предлагаемые нормативы неорганического мышьяка для продукции водного промысла в ЕАЭС

Table 3

Suggested standards for inorganic arsenic in aquatic products in the EAEU

Группа продукции	Предлагаемый норматив iAs, мг/кг	Обоснование
Рыба (все виды)	0,1–0,2	Соответствие нормативу КНР (0,1 мг/кг) – крупнейшего импортера российской рыбы
Ракообразные (крабы, креветки)	0,5	Соответствие нормативу КНР для других водных животных
Моллюски (мидии, устрицы, гребешки, трубач)	0,5–1,0	С учетом более высокого содержания iAs в моллюсках
Водоросли морские	1,0–1,5	С учетом низкой биодоступности iAs из водорослей и малых объемов потребления

Ключевым условием перехода к новым нормативам является наличие аттестованных и доступных методов определения неорганического мышьяка [2, 3]. Для наглядности в табл. 4 приведена сравнительная характеристика двух основных методов.

Таблица 4

Сравнительная характеристика методов определения неорганического мышьяка

Table 4

Comparative characteristics of methods for determining inorganic arsenic

Параметр	ГОСТ 34462-2018 (ВЭЖХ-ИСП-МС)	МУ А-1/167 (SPE-GF-AAS)
Принцип метода	Хроматографическое разделение с масс-спектрометрической детекцией	Селективная твердофазная экстракция с атомно-абсорбционной детекцией
Диапазон измерений, мг/кг	0,03–10,00	0,03–10,00
Предел количественного определения, мг/кг	0,03	0,03
Ориентировочная стоимость оборудования	250-500 тыс. долл. США	50-80 тыс. долл. США
Доступность в региональных лабораториях	Низкая (единицы установок)	Высокая (широко распространены)
Сложность эксплуатации	Высокая	Средняя

ГОСТ 34462-2018 является «золотым стандартом», однако требует дорогостоящего оборудования, что ограничивает его широкое внедрение в региональных лабораториях [2]. Альтернативная методика МУ А-1/167 обладает существенными преимуществами: стоимость оборудования в 5–6 раз ниже, атомно-абсорбционные спектрометры широко распространены в региональных лабораториях, методика проста в эксплуатации [3, 10]. Как подчеркивается в официальном сообщении ФГБУ «НЦБРСП», данная методика создана как альтернатива ГОСТ 34462-2018 и может быть реализована в лабораториях, оснащенных атомно-абсорбционными спектрометрами [10].

Переход к нормированию неорганического мышьяка поддерживается всеми заинтересованными сторонами. Росрыболовство выступает за регулирование содержания неорганического мышьяка с ужесточением нормативов именно по этому показателю при одновременном смягчении требований к органическим соединениям [7]. Россельхознадзор отмечает, что введение понятия «неорганический мышьяк» в законодательство позволит бизнесу нарастить экспорт продукции [7]. На уровне Правительства Российской Федерации также неоднократно отмечалась необходимость гармонизации требований к рыбной продукции по мышьяку в соответствии с мировыми стандартами и научными исследованиями [11].

Обоснованность перехода к нормированию неорганического мышьяка подтверждается следующими аргументами. Во-первых, токсикологические исследования убедительно демонстрируют, что именно неорганические формы мышьяка представляют реальную угрозу для здоровья человека, тогда как органические формы безопасны. Во-вторых, большинство стран-импортеров российской рыбы нормируют именно неорганический мышьяк, поэтому гармонизация нормативов устранит технические барьеры в торговле. В-третьих, переход к новым нормативам позволит вернуть на внутренний рынок до 160 тыс. т качественной рыбной продукции ежегодно. В-четвертых, разработана и аттестована доступная методика МУ А-1/167, позволяющая определять неорганический мышьяк в лабораториях, оснащенных атомно-абсорбционными спектрометрами. В-пятых, Япония, Евросоюз и Южная Корея, имеющие самые высокие показатели потребления рыбы и продолжительности жизни, не нормируют мышьяк в рыбной продукции, что подтверждает безопасность органических форм.

При реализации нового подхода необходимо учитывать потенциальные риски. Недобросовестные производители могут пытаться маскировать высокое содержание неорганического мышьяка под органические формы, что требует внедрения метода ВЭЖХ-ИСП-МС в арбитражных лабораториях и проведения выборочного контроля. Часть региональных лабораторий может не иметь оборудования для определения неорганического мышьяка, поэтому целесообразно поэтапное внедрение: сначала в крупных референс-лабораториях, затем постепенное оснащение региональных лабораторий. В районах с высоким техногенным загрязнением содержание неорганического мышьяка может быть объективно высоким, что требует проведения мониторинга районов промысла и при необходимости установления временных ограничений на вылов в определенных акваториях.

Дорожная карта внесения изменений представлена в табл. 5. Сроки этапов являются прогнозными и могут корректироваться в зависимости от скорости принятия решений на уровне Евразийской экономической комиссии (ЕЭК).

Таблица 5

Дорожная карта внесения изменений в нормативную базу

Table 5

Roadmap for making changes to the regulatory framework

№	Этап	Планируемые сроки, г	Ответственные	Ожидаемый результат
1	Научные исследования по обоснованию нормативов iAs (завершены)	2025 (факт) [8]	ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», ФНЦ медико-профилактических технологий	Научное обоснование нормативов iAs (выполнено)
2	Подготовка проекта изменений в ТР ТС 021/2011 и ТР ЕАЭС 040/2016	2026-2027	Роспотребнадзор, Россельхознадзор, ЕЭК	Проект нормативных документов
3	Обсуждение и согласование с государствами-членами ЕАЭС	2027	ЕЭК, национальные органы стандартизации	Согласованный проект
4	Принятие изменений и установление переходного периода	2027-2028	Совет ЕЭК	Вступление в силу новых нормативов
5	Внедрение методического обеспечения в лабораториях	2028-2029	ФГБУ «НЦБРП», ФГБУ «ВГНКИ», региональные лаборатории	Готовность лабораторной сети

Заключение

Проблема нормирования мышьяка в рыбной продукции в Российской Федерации и странах ЕАЭС требует скорейшего решения. Действующий подход, основанный на определении общего содержания мышьяка без разделения на органические и неорганические формы, не соответствует современным научным данным о токсикологии этого элемента и международной практике.

Переход от нормирования общего мышьяка к нормированию исключительно неорганической формы является научно обоснованным, поскольку именно неорганические соединения мышьяка представляют реальную угрозу для здоровья человека. Органические соединения мышьяка (арсенобетаин), доминирующие в рыбе и морепродуктах, безопасны и не требуют жесткого регулирования.

Введение дифференцированных нормативов неорганического мышьяка с учетом таксономической принадлежности гидробионтов (рыба – 0,1–0,2 мг/кг, ракообразные – 0,5 мг/кг, моллюски – 0,5–1,0 мг/кг, водоросли – 1,0–1,5 мг/кг) является экономически целесообразным. Это позволит вернуть на внутренний рынок тысячи тонн качественной рыбной продукции ежегодно, снизив зависимость от импорта и обеспечив население доступной рыбой.

Для реализации нового подхода разработана и аттестована методика МУ А-1/167 (ФР.1.31.2025.51305), основанная на атомно-абсорбционной спектрометрии с твердофазной экстракцией. Метод характеризуется диапазоном измерений 0,03–10,00 мг/кг, пределом количественного определения 0,03 мг/кг и доступен для большинства региональных лабораторий, оснащенных атомно-абсорбционными спектрометрами.

Процедура внесения изменений в нормативную базу уже инициирована. Роспотребнадзор на основании отчета ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» начал процедуру внесения изменений в ТР ТС 021/2011. Новый подход поддерживается Росрыболовством, Россельхознадзором, а также отраслевыми объединениями, выступающими за гармонизацию нормативов в соответствии с международной практикой.

Необходимы решительные и скоординированные действия всех заинтересованных сторон. Дальнейшее промедление наносит ущерб как экономике рыбной отрасли, так и здоровью российских потребителей, которые неоправданно лишаются доступа к качественной и безопасной отечественной продукции. Гармонизация нормативов в рамках ЕАЭС позволит не только наполнить внутренний рынок доступной и безопасной рыбной продукцией, но и устранить технические барьеры для российских экспортеров.

Список источников

1. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». М. : ЕЭК, 2011. 242 с.

2. ГОСТ 34462-2018. Продукты пищевые, продовольственное сырье, корма. Определение содержания неорганического мышьяка методом высокоэффективной жидкостной хроматографии – масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. М. : Стандартинформ, 2018. 11 с.

3. МУ А-1/167. Метод определения количественного содержания неорганического мышьяка в рыбе, нерыбных объектах и кормах методом атомно-абсорбционной спектрометрии. М. : ФГБУ «НЦБРСП», 2025. (ФР.1.31.2025.51305).

4. DIN EN 16278:2012. Animal feeding stuffs - Determination of inorganic arsenic by hydride generation atomic absorption spectrometry (HG-AAS) after microwave extraction and separation by solid phase extraction (SPE). Berlin : Beuth Verlag, 2012. 18 p.

5. GB 2762-2017. National Food Safety Standard - Maximum Levels of Contaminants in Foods. Beijing : China National Standard, 2017. 52 p.

6. ANZFA Standard 1.4.1. Contaminants and Natural Toxicants. Canberra : Australia New Zealand Food Authority, 2011. 24 p.

7. Алексеев Д. Вредные советы: почему в России действуют устаревшие нормы по мышьяку // Известия. 2021. 14 июля. С. 1–8.

8. Макеева Ю. Россия запустила процедуру изменения норм по мышьяку в рыбной продукции // Ветеринария и жизнь. 2024. 12 марта.

9. ФГБУ «НЦБРП». НЦБРП проводит регулярные исследования рыбной продукции на содержание неорганического мышьяка [Электронный ресурс]. 2021. Режим доступа: https://www.fishnet.ru/ (дата обращения : 10.04.2026).

10. ФГБУ «НЦБРСП». На базе испытательной референс-лаборатории ФГБУ «НЦБРСП» разработана методика определения содержания «неорганического мышьяка» в пищевой рыбной продукции [Электронный ресурс]. 2025. Режим доступа: https://fishquality.ru/ (дата обращения : 10.04.2026).

11. Интерфакс. Ведомствам предложено к апрелю определиться с нормой мышьяка в рыбе [Электронный ресурс]. 2024. Режим доступа: https://www.interfax.ru/russia/948105 (дата обращения : 10.04.2026).

12. Сфера Медиа. Определение неорганического мышьяка в продукции водного промысла и аквакультуре [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: https://sfera.fm/ (дата обращения : 10.04.2026).

Сведения об авторе

А. В. Чернова – старший преподаватель кафедры «Управление техническими системами», SPIN-код: 7330-0188, AuthorID: 1015935.

Information about the author

A. V. Chernova – Senior Lecturer of the Department of Technical Systems Management, SPIN-code: 7330-0188, AuthorID: 1015935.

Статья поступила в редакцию 28.04.2026; одобрена после рецензирования 21.06.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 28.04.2026; approved after reviewing 21.06.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Чернова А. В., 2026.

«Актуализация нормативов содержания мышьяка в рыбной продукции: проблемы и пути решения в рамках ЕАЭС» [Чернова А. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 119–136.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 663.35 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-11 EDN: ORMVBZ

Разработка технологии регионального плодово-ягодного алкогольного напитка на основе черники с оценкой биотехнологического потенциала импортозамещенного штамма *Saccharomyces cerevisiae*

Юлия Валерьевна Шокина [1], Елена Викторовна Макаревич [2], Никита Андреевич Аминов [3], Диана Сергеевна Щербакова [4], Галина Алексеевна Ефименко [5]
Мурманский арктический университет, Мурманск, Россия
[1] shokinayuv@mauniver.ru, ORCID: 0000-0002-6513-1912
[2] makarevichev@mauniver.ru, ORCID: 0000-0003-1987-275X
[3] aminovna2@mainiver.ru, ORCID: 0009-0009-7909-2537
[4] scherbakovads@mauniver.ru, ORCID: 0009-0009-9746-076X
[5] flower_25.04g@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты научного обоснования и разработки технологии регионального плодово-ягодного напитка на основе дикороса Кольского полуострова – черники *Vaccínium myrtíllus* (L. 1753). Особенности химического состава ягоды, в частности, высокое содержание фруктовых кислот и низкое содержание сахаров, требует введения в состав рецептуры сусла ингредиентов, обеспечивающих условия для протекания процесса спиртового брожения – чистой культуры винных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, яблочного сока и сахара. Предложен комплексный безразмерный показатель К, принимающий значения в диапазоне от 0 до 1 (от 1 до 100 %), для оценки биотехнологического потенциала штамма дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и качества алкогольного плодово-ягодного напитка на основе ягод-дикоросов. Предложен перечень микробиологических показателей для оценки функциональных свойств дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в технологии напитка и экспериментально обоснована целесообразность замещения импортного штамма винных дрожжей («Gervin GV8», Франция) в разработанной технологии на штамм белорусского производителя, гарантирующий более высокое качество и превосходные потребительские свойства напитка. Оптимизация многокомпонентной рецептуры сусла выполнена с использованием математического метода нечеткого вывода в программе MatLab, критерий оптимальности – достижение максимального значения комплексного показателя К.

Ключевые слова: дикорос, черника, алкогольный плодово-ягодный напиток, технология, сусло, оптимизация, биотехнологический потенциал, дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*

Для цитирования: Шокина Ю. В., Макаревич Е. В., Аминов Н. А., Щербакова Д. С., Ефименко Г. А. Разработка технологии регионального плодово-ягодного алкогольного напитка на основе черники с оценкой биотехнологического потенциала импортозамещенного штамма *Saccharomyces cerevisiae* // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 119–136.

© Шокина Ю. В., Макаревич Е. В., Аминов Н. А., Щербакова Д. С., Ефименко Г. А., 2026

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 119–136.

FOOD SYSTEMS

Original article

Development of a technology for a regional fruit and berry alcoholic beverage based on bilberries, with an assessment of the biotechnological potential of an imported strain of *Saccharomyces cerevisiae*

Yulia V. Shokina [1], Elena V. Makarevich [2], Nikita A. Aminov [3], Diana S. Scherbakova [4], Galina A. Efimenko [5]

Murman Arctic University, Murmansk, Russia

[1] shokinayuv@mauniver.ru, ORCID: 0000-0002-6513-1912

[2] makarevichev@mauniver.ru, ORCID: 0000-0003-1987-275X

[3] aminovna2@mainiver.ru, ORCID: 0009-0009-7909-2537

[4] scherbakovads@mauniver.ru, ORCID: 0009-0009-9746-076X

[5] flower_25.04g@mail.ru

Abstract. The article presents the results of scientific substantiation and development of a technology for a regional fruit and berry drink based on a wild plant of the Kola Peninsula – bilberry *Vaccínium myrtíllus* (L. 1753). The specific features of the berry's chemical composition, in particular, the high content of fruit acids and low sugar content, require the inclusion in the wort recipe of ingredients that create the conditions for the alcoholic fermentation process – a pure culture of wine yeast *Saccharomyces cerevisiae*, apple juice, and sugar. A comprehensive dimensionless indicator K is proposed, taking values in the range from 0 to 1 (from 1 to 100 %) to assess the biotechnological potential of the Saccharomyces cerevisiae yeast strain and the quality of an alcoholic fruit-and-berry drink based on wild berries; five levels of indicator assessment are also ranked in relation to the desirability of achieving them. A list of microbiological indicators has been proposed for assessing the functional properties of *Saccharomyces cerevisiae* yeast in beverage technology, and the feasibility of replacing the imported strain of wine yeast ("Gervin GV8", France) in the developed technology with a strain from a Belarusian producer has been experimentally substantiated; this strain guarantees higher quality and superior consumer properties of the beverage. The optimization of the multicomponent wort recipe was carried out using the mathematical method of fuzzy logic in the MatLab program; the optimality criterion is achieving the maximum value of the complex indicator K.

Keywords: wild plants, bilberries, alcoholic fruit and berry drink, technology, wort, optimization, biotechnological potential, *Saccharomyces cerevisiae* yeast

For citation: Shokina Yu. V., Makarevich E. V., Aminov N. A., Scherbakova D. S., Efimenko G. A. Development of a technology for a regional fruit and berry alcoholic beverage based on bilberries, with an assessment of the biotechnological potential of an imported strain of *Saccharomyces cerevisiae*. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):119–136. (In Russ.).

Введение

Кольское заполярье – уникальный во всех отношениях арктический регион России, который за последние 10 лет стал одним из наиболее востребованных направлений внутреннего туризма России и уникальным направлением туризма международного. На развитие внутреннего туризма в Мурманскую область повлияло бурное развитие туризма международного. Для иностранных туристов наибольшую привлекательность составили путешествия полярного маршрута с обязательным посещением районов области с гарантированным наблюдением полярных сияний в зимний период и морской экскурсией для наблюдения за китами, а также

морские туры к Северному полюсу на атомоходе летом. Таким образом, главными популяризаторами туризма на Кольский север для россиян стали иностранные туристы, оставляющие неизменно восторженные отзывы о путешествиях [1].

Сопутствующим развитию внутреннего и международного туризма в регион стало создание и развитие гастрономического феномена под названием «Арктическая кухня». Формирующийся под влиянием национальных традиций коренных народов Севера на сырьевом богатстве региональных морских биоресурсов, учитывающий самые модные тренды гастрономического искусства бренд «Арктическая кухня» постепенно занял достойное место в турах на Крайний Север и стал самостоятельным предложением для туристов [2, 3].

В настоящее время бренд «Арктическая кухня» представлен широким ассортиментом блюд из рыбы и морепродуктов, безалкогольными напитками и мучными изделиями на основе растительного сырья Крайнего Севера, прежде всего, ягод-дикоросов, обладающих мощным адаптогенным действием на организм человека и прекрасными органолептическими свойствами – брусники, черники, вороники. При этом абсолютно уникальным и органичным дополнением бренда может стать предложение региональных алкогольных плодово-ягодных напитков на основе ягод-дикоросов Кольского полуострова [4].

На кафедре технологий пищевых производств Мурманского арктического университета в период с 2021 по 2024 гг. была разработана технология регионального алкогольного плодово-ягодного напитка на основе ягод-дикоросов – черники *Vaccínium myrtíllus* (L. 1753) и вороники *Empetrum* (L. 1753), произрастающих в Мурманской области. В научно обоснованной технологии была решена основная проблема алкогольных напитков натурального брожения на основе ягодного сырья, а именно разработана рецептура сусла, в состав которого введены ингредиенты, способствующие активизации комплексного биотехнологического процесса, формирующего букет и потребительские свойства напитка [4, 5, 6].

Для стимулирования спиртового брожения в состав сусла были включены: плодовый сок прямого отжима – яблочный – в массовой доле 12,5 %, сахар – в массовой доле 17 %, чистая культура винных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* («Gervin GV8» производства Франция) в количестве, установленном производителем добавки. Ягодную основу сусла составляла смесь из ягодных пюре черники и вороники, полученных методом прямого отжима, соединенная с водой в соотношении пюре : вода 1 : 2, оптимальная доля черники в двухкомпонентном ягодном пюре составила 20 %, доля пюре вороники – 80 % от массы смеси до соединения с водой. Для усиления формирования типичных ягодных нот в аромате и вкусе напитка в состав сусла введена тонко измельченная мезга ягод черники, подвергнутая перед измельчением конвективной полугорячей воздушной сушке при экспериментально обоснованных режимах, а именно при температуре и относительной влажности воздуха 50±1 °С и 55±5 % соответственно, скорость циркуляции воздуха в сушильной камере 0,5±0,1 м/с. Сушку завершали при достижении в мезге массовой доли воды 6±1 %. Оптимальные технологические параметры внесения в сусло порошка сушеной мезги черники для достижения максимального значения квалиметрической оценки готового напитка, установленные экспериментально с применением математического метода нечеткого вывода, составили: длительность настаивания сусла с мезгой – 9 сут, массовая доля порошка сушеной мезги черники – 2 % на массу сусла [7, 8].

Однако в настоящее время с введением дискриминационных санкций против Российской Федерации и с учетом ключевых положений Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации на период до 2030 года актуальной задачей развития пищевой отрасли в долгосрочной перспективе является отказ от импортных пищевых добавок и ингредиентов и поиск альтернативных технологических решений до полного перехода на отечественные добавки [9, 10].

С учетом вышеизложенного цель исследования – разработка усовершенствованной технологии алкогольного плодово-ягодного напитка на основе ягод-дикоросов Кольского полуострова с использованием импортозамещенных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*.

Задачи исследования:

– предложить усовершенствованную технологию изготовления регионального алкогольного плодово-ягодного напитка на основе ягод-дикоросов Кольского полуострова (далее – Напитка);

– исследовать биотехнологический процесс импортозамещенных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и процесс спиртового брожения в технологии Напитка, изготовленного по разработанной рецептуре, и описать характеризующие процесс зависимости;

– предложить комплексный показатель для оценки биотехнологического потенциала винных дрожжей и качества Напитка натурального брожения, изготовленного по усовершенствованной технологии;

– получить математическую модель, формализующую зависимость комплексного показателя от выбранных параметров, и спроектировать с ее помощью оптимальную рецептуру сусла;

– провести оценку качества Напитка, а также оценку биотехнологического потенциала сухих дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* (производства ООО «Минский дрожжевой комбинат», г. Минск, Республика Беларусь) в сравнении с импортными («Gervin GV8» производства Франция) и обосновать выбор импортозамещенной чистой культуры винных дрожжей для изготовления Напитка.

Объект и методы исследования

Исследования проводили на базе учебно-исследовательских лабораторий кафедры технологий пищевых производств Естественно-технологического института и кафедры микробиологии и биохимии Медико-биологического института ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет».

Объекты исследования являлись:

– коммерческий образец сухих дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* производства ООО «Минский дрожжевой комбинат» (г. Минск, Республика Беларусь);

– опытные образцы сусла и готового Напитка, изготовленные по разработанной технологии и рецептуре.

Предмет исследования: биотехнологический потенциал импортозамещенных сухих дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* (производства ООО «Минский дрожжевой комбинат» г. Минск, Республика Беларусь); биотехнологический процесс спиртового брожения в технологии изготовления Напитка; показатели качества Напитка, изготовленного по усовершенствованной технологии.

В работе были использованы современные органолептические, физико-химические, микробиологические, квалиметрические и математические методы исследования.

Биотехнологический потенциал дрожжей в технологии алкогольных напитков наилучшим образом характеризуют следующие микробиологические показатели – жизнеспособность микроорганизмов, их спирто- и осмоустойчивость, способность микроорганизмов сбраживать углеводы и накапливать гликоген в клетках [11].

Схема пробоподготовки сухих дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* включает приготовление водного раствора сахарозы, инокуляцию штамма в раствор и термостатирование в течение 48 ч при температуре 25±0,1 °С.

Жизнеспособность дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* оценивали микроскопированием сусла, представляющего собой культуральную жидкость, отобранную на 4-е сутки брожения при заданных условиях (температура 25±0,1 °С, хранение в защищенном от света месте). Жизнеспособность микроорганизма оценивали по количеству живых и мертвых клеток подсчетом на стекле в микроскопе в 25 полях.

Изучение способности исследуемого штамма дрожжей сбраживать сахара (рис. 3) проводили с использованием суточной культуры и реактива Гисса, включающего 7 стандартных водных растворов сахаров – глюкозы, сахарозы, фруктозы, рафинозы, D-маннозы, D-мальтозы

и лактозы. Определение проводили после инокуляции культуры в реактив и суточного термостатирования при температуре 25 °С. Изменение цвета пробы свидетельствовало о способности сбраживать углевод.

Спиртоустойчивость является важным функциональным свойством штамма дрожжей в технологии алкогольных напитков, которое характеризует способность микроорганизмов к выживанию в агрессивной среде с высоким содержанием этилового спирта, накапливающегося в напитках вследствие спиртового брожения. Суточную культуру *Saccharomyces cerevisiae* вносят в два штатива с пробирками, в 1-м штативе культуру вносят в реактив Гисса (контроль), а во 2-м – в реактив Гисса, к которому добавлен этиловый спирт в концентрации от 10 до 20 % с шагом 2 и 3 %. Пробы термостатируют при температуре 25 °С в течение 24 ч, после чего по характеру и интенсивности изменения окраски и признаках роста в каждой пробирке во втором штативе относительно контроля оценивают устойчивость микроорганизмов к этиловому спирту в растворе с разной концентрацией.

Схема исследования дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* на осмоустойчивость аналогична исследованию их спиртоустойчивости. Готовят два штатива с пробирками, в который вносят суточную культуру дрожжей, в первый ее добавляют к реактиву Гисса (контроль), а во второй штатив ее добавляют к реактиву Гисса, в который добавлен также водный раствор сахарозы в разной массовой концентрации – от 10 до 20 % с шагом 2 и 3 %. Изменение характера и интенсивности окраски и признаки роста в каждой пробирке во втором штативе относительно контроля свидетельствует о наличии и выраженности осмоустойчивости дрожжей.

Для изучения способности клеток изучаемого штамма дрожжей накапливать гликоген используют сусло, представляющего собой культуральную жидкость, отобранную на 4-е сут брожения при заданных условиях (температура 25±0,1 °С, хранение в защищенном от света месте). При микроскопировании окрашенных по Люголю проб в 5 полях подсчитывали количество окрашенных йодом клеток, т.е. содержащих гликоген. Наличие 70–75 % окрашенных клеток свидетельствует о хорошем состоянии клеток и сохранении способности питаться.

Органолептические показатели Напитка оценивали в ходе расширенных дегустаций по разработанной десятибалльной шкале, метод оценки – по ГОСТ 32051-2013. В готовом Напитке определяли физико-химические показатели: объемную долю этилового спирта – отгонкой по ГОСТ 32095-2013; массовую долю сахаров – прямым титрованием по ГОСТ 13192-73; массовую концентрацию титруемых кислот – по ГОСТ 32114-2013.

В сусле в динамике процесса брожения и дображивания оценивали изменение объемной доли этилового спирта и массовой концентрации сахаров при помощи портативного рефрактометра АТС40 для определения массовой концентрации сахарозы в диапазоне от 0 до 40 °Вх (градус Brix (Брикс) – мера массовой концентрации растворенных веществ в растворе, 1 °Вх соответствует массовой концентрации 1 г на 100 г раствора или 1 %) и объемной доли спирта в диапазоне от 0 до 25 %, с минимальным делением 0,2 % и погрешностью измерения ±0,2 %об. Результаты измерения показателей рефрактометром устойчиво коррелировали с результатами физико-химических исследований. Активную кислотность сусла в процессе брожения и дображивания оценивали потенциометрическим методом при помощи pH-метра с точностью ±0,1.

Комплексный показатель для оценки биотехнологического потенциала дрожжей, а также для оценки качества готового Напитка разработан на основе базовых принципов квалиметрии, групповые и внутригрупповые коэффициенты весомости назначены экспертным методом [12].

Автоматизированное проектирование оптимальной рецептуры сусла выполнено методом нечеткого вывода в программе MatLab (блок Fuzzy Logic Toolbox) [13]. Статистическая обработка результатов экспериментов и построение графических зависимостей проведены с использованием компьютерной программы Microsoft Office Exel 2012.

Результаты и их обсуждение

С целью расширения ассортимента ранее разработанных региональных алкогольных плодово-ягодных напитков на основе ягод-дикоросов Кольского полуострова (черники и вороники, брусники) [4–6] предложена новая рецептура, включающая, наряду с ранее обоснованными ингредиентами (вода, яблочный сок, сахар, порошок сушеной мезги черники), черничное пюре и сушеные ягоды можжевельника, которые обогатят букет напитка, придав ему терпкие ноты во вкусе и легкие хвойные ноты в аромате. Для замещения импортных винных дрожжей «Gervin GV8» производства Франции предложено использовать доступные для поставки в Россию сухие дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* производства ООО «Минский дрожжевой комбинат» (г. Минск, Республика Беларусь). Усовершенствованная технологическая схема изготовления Напитка представлена на рис. 1.

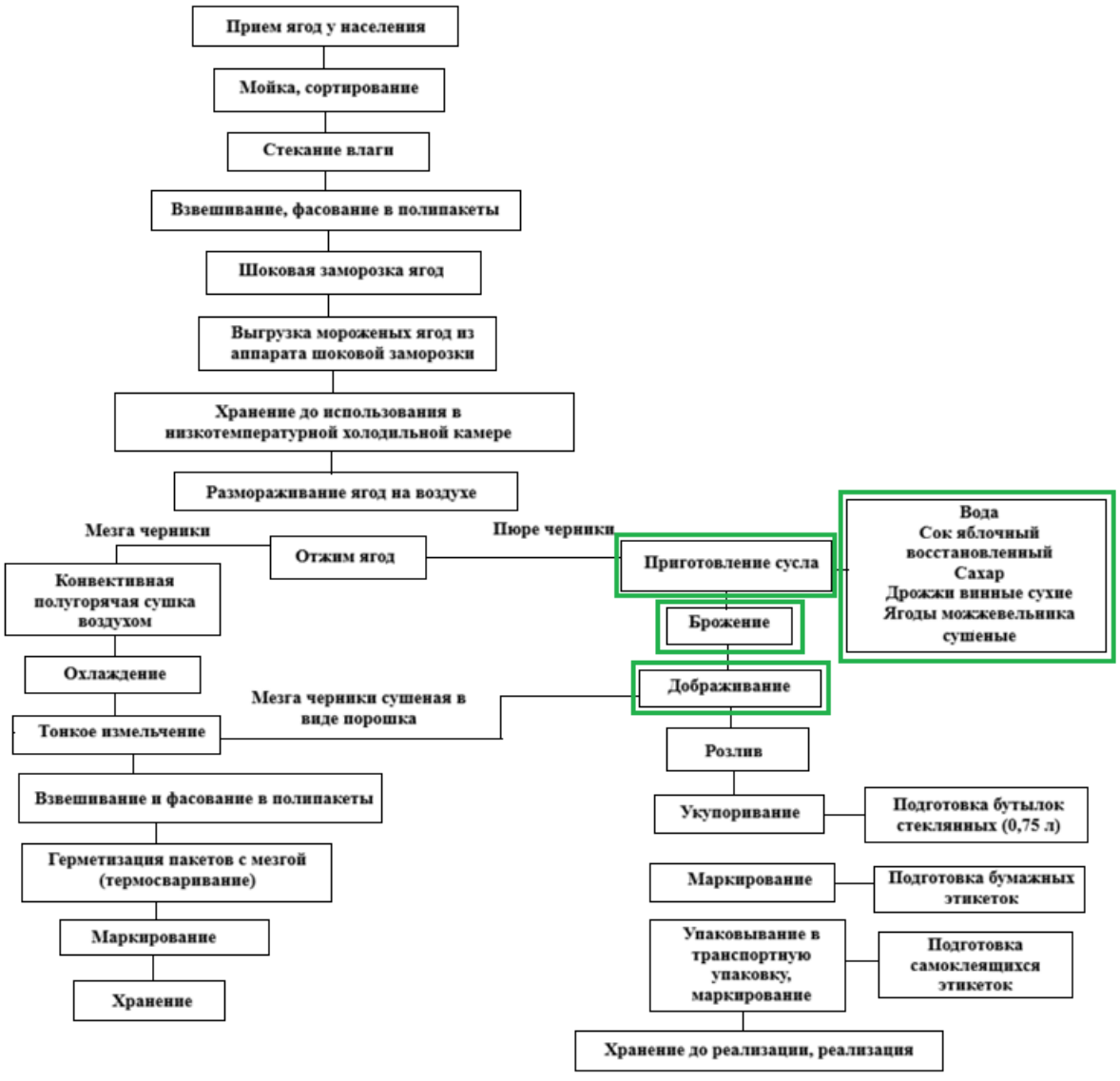


Рис. 1. Технологическая схема изготовления плодово-ягодного алкогольного напитка из черники и ягод можжевельника. Составлено авторами
Fig. 1. Technological process for producing a fruit and berry alcoholic beverage from bilberries and juniper berries. Compiled by the authors

Обоснованные в работе технологические операции выделены на рис. 7 цветом.

При разработке рецептуры сусла в усовершенствованной технологии Напитка использовали следующее сырье и вспомогательные материалы:

– сок яблочный восстановленный по ГОСТ 32103-2013 «Консервы. Продукция соковая. Соки фруктовые и фруктово-овощные восстановленные. Общие технические условия»;

– сахар-песок по ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия»;

– дрожжи сухие (*Saccharomyces cerevisiae*), изготавливаемые ООО «Минский дрожжевой комбинат» (г. Минск, Республика Беларусь);

– черника мороженая по ГОСТ 33823-2016 «Фрукты быстрозамороженные. Общие технические условия», урожая 2025 года, собранная в Мурманской области, изготовитель ООО «Кольский край» (г. Мурманск);

– ягоды можжевельника сушеные по ТУ 10-84-23-001-0165041204-2022.

При выборе методического подхода к решению задачи сравнительного анализа импортного и импортозамещенного штаммов винных дрожжей исходили из определения их биотехнологического потенциала как совокупности возможностей и ресурсов, предоставляемых живыми микроорганизмами, а также их биологическими процессами, для решения технологических и производственных задач.

В технологии алкогольных плодово-ягодных напитков основной технологической и производственной задачей, на решение которой направлено использование чистой культуры винных дрожжей, является активация и поддержание спиртового брожения для получения Напитка с высокой органолептической оценкой.

С учетом принятого определения понятия биотехнологического потенциала винных дрожжей для его максимально объективизированной оценки целесообразно применить квалиметрический подход – то есть оценку посредством комплексного показателя, который включает органолептические свойства Напитка, а также его физико-химические показатели качества – объемную долю спирта, титруемую или активную кислотность и массовую концентрацию сахаров. Такой подход позволит в полной мере увязать оцениваемые функциональные свойства винных дрожжей с полнотой и качеством решаемых технологической и производственной задач, поскольку все перечисленные выше показатели используют для оценки глубины и интенсивности биотехнологического процесса спиртового брожения, формирующего качество и потребительские свойства Напитка. В табл. 1 представлена разработанная шкала комплексного показателя *К* для оценки биотехнологического потенциала винных дрожжей в технологии алкогольных плодово-ягодных напитков, а также для оценки биотехнологического процесса спиртового брожения и качества разработанного Напитка.

Таблица 1

Шкала комплексного показателя *К*

Table 1

Scale of the complex indicator *K*

Показатели, включенные в комплексную оценку качества винного напитка	Групповой коэффициент весомости	Внутригрупповые показатели качества продукции	Внутригрупповые коэффициенты весомости	Значение показателя для эталона
Группа Б, органолептические показатели	0,52	Цвет и кристальность, балл	0,20	5
		Аромат, балл	0,25	5
		Вкус, балл	0,45	5
		Типичность, балл	0,10	5
Г, физико-химические	0,48	Объемная доля этилового спирта, %	0,60	12,4[1]
		Активная кислотность, балл	0,25	7,11[1]
		Массовая концентрация сахаров, %	0,15	8,4[1]

Примечание:
[1]определены по результатам предварительных экспериментов, значения соответствуют характеристике опытных образцов Напитка, получивших максимальную оценку органолептических свойств в ходе расширенных дегустаций.

В табл. 2 представлено ранжирование уровней показателя *К* во взаимосвязи с желательностью достижения уровня.

Таблица 2

Ранжирование уровней комплексного показателя *К*

Table 2

Ranking of the levels of the complex indicator *K*

Показатель *К*	Диапазон значений, соответствующих уровню				
	менее 60 % (мнее 0,6)	свыше 60 до 68 % (свыше 0,60 до 0,68)	свыше 68 до 76 % (свыше 0,68 до 0,76)	свыше 76 до 84 % (свыше 0,74 до 0,84)	свыше 84 до 100 % (свыше 0,84 до 1)
Словесная характеристика уровня желательности	Низкий	Низкая желательность	Средняя желательность	Желательный	Высокая желательность

Формула для расчета *К* приведена ниже

$$К = 0{,}52 \cdot \frac{Орг_{фактич.}}{Орг_{эталон}} + 0{,}48 \cdot \left(0{,}60 \cdot \frac{С_{фактич.}}{С_{эталон}} + 0{,}25 \cdot \frac{АК_{фактич.}}{АК_{эталон}} + 0{,}15 \cdot \frac{Сах_{фактич.}}{Сах_{эталон}}\right), \quad (1)$$

где 0,52 и 0,48 – групповые коэффициенты весомости, назначенные экспертным методом на группы органолептических и физико-химических показателей, характеризующих сусло и готовый Напиток соответственно;

$Орг_{фактич.}$, $С_{фактич.}$, $АК_{фактич.}$, $Сах_{фактич.}$ – фактически достигнутые значения показателей, характеризующих качество сусла и Напитка и зависимых от интенсивности процесса спиртового брожения, а именно суммарный балл органолептической оценки (балл), объемная доля этилового спирта (% об.), активная кислотность (ед.), массовая концентрация сахаров (%) соответственно;

$Орг_{эталон}$, $С_{эталон}$, $АК_{эталон.}$, $Сах_{эталон}$ – показатели, характеризующие эталон сусла и Напитка;

0,60, 0,25 и 0,15 – внутригрупповые коэффициенты весомости, назначенные экспертным методом на показатели, учитываемые в группе физико-химических показателей качества сусла и Напитка.

С учетом имеющегося научного задела по теме исследования и обзора литературы были выделены три технологических фактора, имеющих ключевое значение для формирования качества и потребительских свойств Напитка, тем самым – для оценки биотехнологического потенциала используемого штамма винных дрожжей и характеристики процесса спиртового брожения при условии соблюдения рекомендаций производителя сухих дрожжей по их дозированию и ранее установленной оптимальной массовой доли сахара (17 % от массы нетто сусла [6–8]):

X_1 – массовая доля ягодного пюре, % на общую массу смеси «ягодное пюре : вода»;

X_2 – массовая доля плодового (яблочного) сока, % от массы нетто сусла;

X_3 – массовая доля сушеных ягод можжевельника, % от массы нетто сусла.

На основании результатов предварительных экспериментов были установлены границы областей факторного пространства по каждому влияющему фактору (табл. 3).

Таблица 3

Матрица эксперимента

Table 3

Experiment matrix

Переменная	Диапазон значений переменной	Лингвистические термы	Значения терма
Входные переменные (влияющие факторы)			
X_1, массовая доля пюре черники, % от массы нетто смеси «ягодное пюре : вода»	От 30 до 50	«мало» (malo)	30
		«средне» (sredne)	40
		«много» (mnogo)	50
X_2, массовая доля сока яблочного, % от массы нетто сусла	От 5 до 30	«мало» (malo)	5
		«средне» (sredne)	17,6
		«много» (mnogo)	30
X_3, массовая доля сушеных ягод можжевельника, % от массы нетто сусла	От 0,3 до 0,5	«мало» (malo)	0,3
		«средне» (sredne)	0,4
		«много» (mnogo)	0,5
Выходная переменная (параметр оптимизации)			
X_4, комплексный показатель, единица	От 0,60 до 1,00	«очень нежелательно» (ochennezhelatelno)	От 0,60 до 0,68
		«не очень желательно» (neochenzhelatelno)	Свыше 0,68 до 0,76
		«удовлетворительно» (udovletvorytelno)	Свыше 0,76 до 0,84
		«желательно» (zhelatelno)	Свыше 0,84 до 0,92
		«очень желательно» (ochenzhelatelno)	Свыше 0,92 до 1,00

Также сформулированы правила эксперимента в алгоритме нечеткого вывода для последующей математической обработки в компьютерной программе MatLab, обеспечивающие варьирование влияющих факторов, и разработаны 7 соответствующих им опытных вариантов рецептур сусла (табл. 4).

Таблица 4

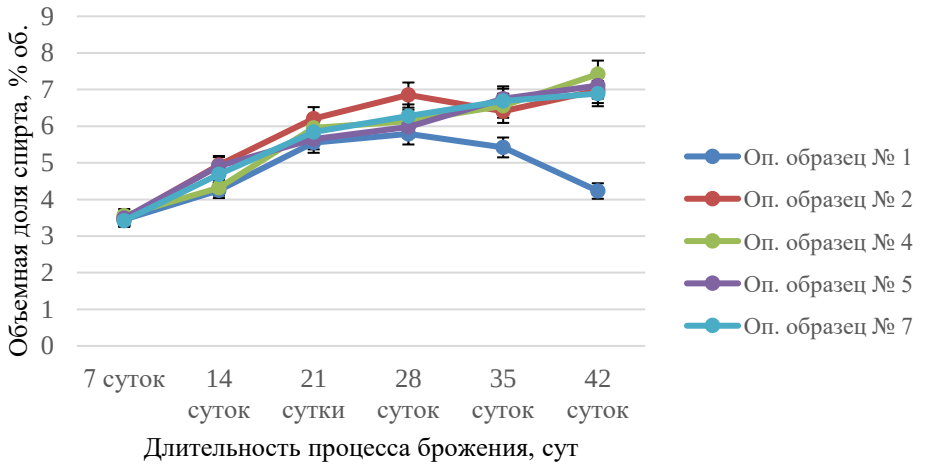
Опытные варианты рецептур сусла для изготовления Напитка (в процентах от массы сусла)

Table 4

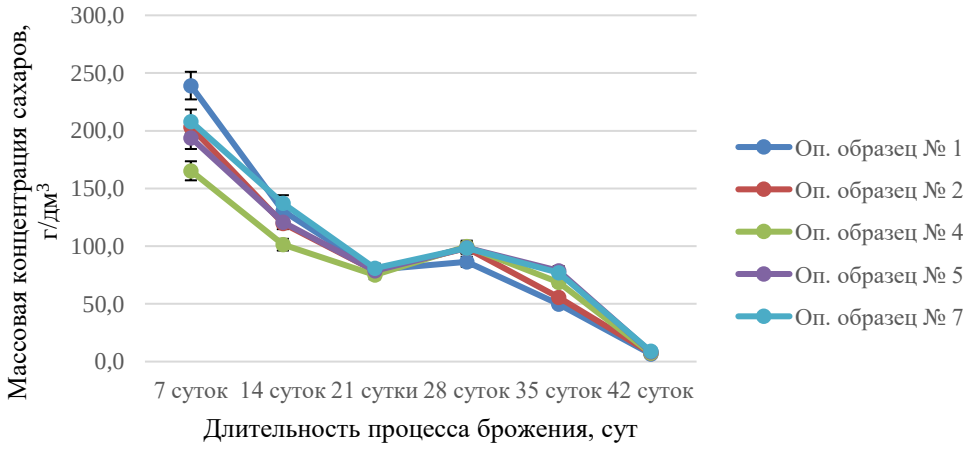
Experimental variants of wort recipes for the production of a beverage (in percent of the net mass of the wort)

Вариант рецептуры	Пюре черничное	Вода	Сок яблочный	Сахар	Ягоды можжевельника сушенные измельченные	Мезга черники сушеная измельченная
1	19,0	44,0	17,6	17	0,4	2
2	31,5	31,5	17,6		0,4	
3	30,2	45,4	5		0,4	
4	20,2	30,4	30		0,4	
5	31,6	31,6	17,5		0,3	
6	31,6	31,6	17,3		0,5	
7	31,6	31,6	17,4		0,4	
Примечание. Дрожжи винные сухие вносили в сусло в количестве, соответствующем рекомендациям производителя ООО «Минский дрожжевой комбинат» из расчета на единицу массы сусла (0,026 %).						

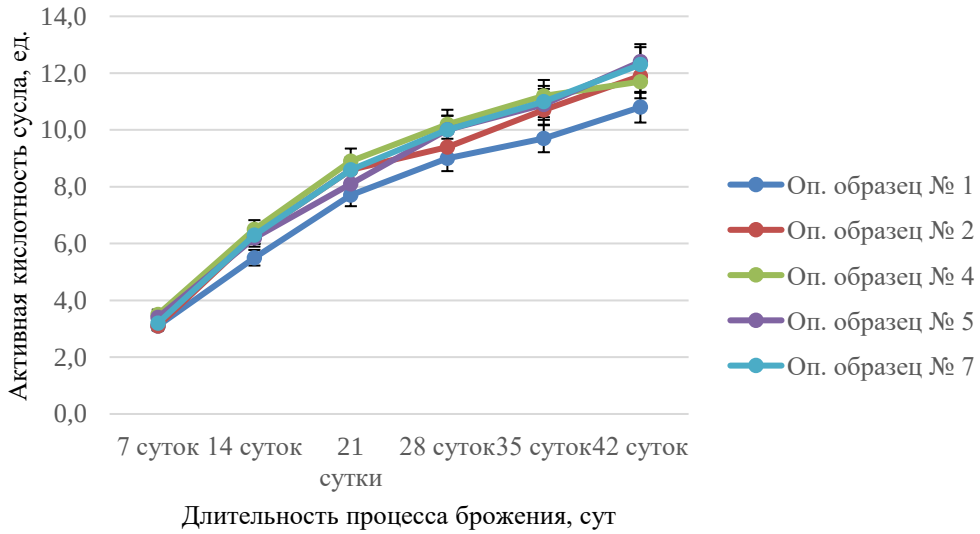
На рис. 2 представлены результаты исследования физико-химических показателей опытных образцов Напитка, изготовленных по принятым вариантам рецептур в процессе брожения и дображивания.



а



б

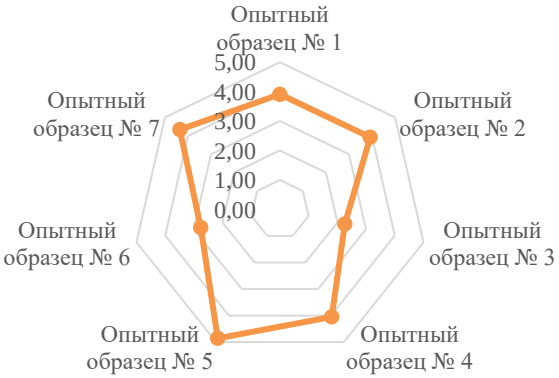


в

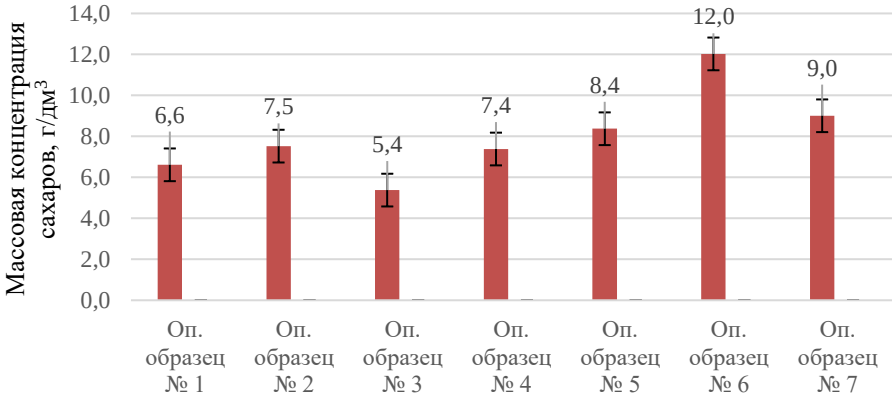
Рис. 2. Изменение физико-химических показателей, характеризующих процесс брожения сусла: а – объемной доли этилового спирта; б – массовой концентрации сахаров; в – активной кислотности. Составлено авторами

Fig. 2. Changes in the physicochemical parameters characterizing the wort fermentation process: a – the volume fraction of ethyl alcohol; б – the mass concentration of sugars; в – the active acidity. Compiled by the authors

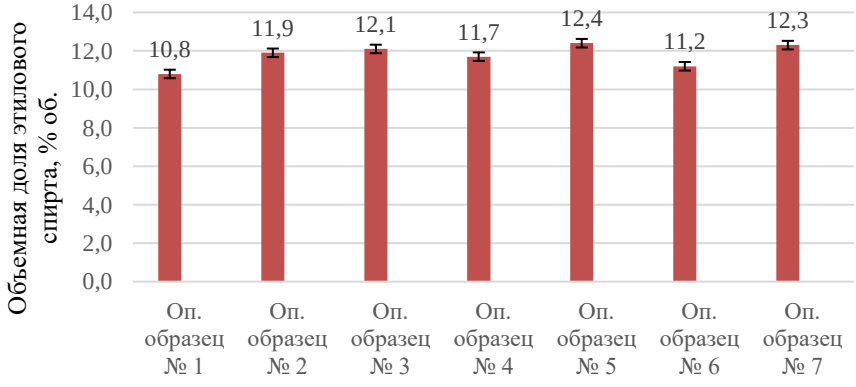
Из рис. 2 видно, что рецептура сусла в принятых диапазонах варьирования пюре черники, яблочного сока и сушеных ягод можжевельника не оказывает влияния на характер изменения физико-химических показателей. В процессе брожения происходит плавное снижение массовой концентрации сахаров (рис. 2, б) вследствие протекания процесса спиртового брожения и нарастание объемной доли этилового спирта (рис. 2, а). По мере накопления этилового спирта в результате взаимодействия с фруктовыми кислотами в составе сусла снижается его активная кислотность, о чем свидетельствует рост значения pH. По завершении процесса активного брожения – примерно на 42–45-е сут, в сусло вносят порошок сушеной мезги черники и дробленые сушеные ягоды можжевельника для насыщения Напитка в процессе дображивания полифенольными и ароматическими соединениями ингредиентов и обогащения его «букета». Характеристика показателей Напитка, учитываемых в комплексной оценке *К*, на момент завершения процесса дображивания, который длится от 9 до 12 сут, приведена на рис. 3.



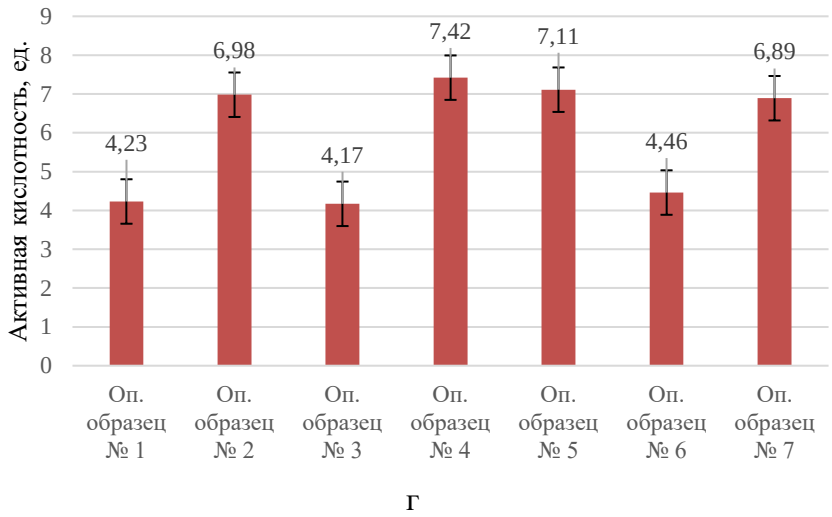
а



б



в



г

Рис. 3. Изменение показателей, характеризующих Напиток, изготовленный по усовершенствованной технологии в семи вариантах опытных рецептур, на 51–54-е сут (после завершении дображивания): а – органолептическая оценка, суммарный балл; б – массовая концентрация сахаров; в – объемная доля этилового спирта, %; г – активная кислотность, ед. Составлено авторами

Fig. 3. Changes in the indicators characterizing the Drink produced using the improved technology in seven variants of experimental recipes on days 51–54 (after the completion of secondary fermentation): a – organoleptic assessment, total score; б – mass concentration of sugars; в – volumetric fraction of ethyl alcohol, %; г – active acidity, units. Compiled by the authors

Результаты расчета комплексного показателя *K*, характеризующего биотехнологический потенциал использованных импортозамещенных винных дрожжей, биотехнологический процесс спиртового брожения и качества разработанного Напитка, расчет которого осуществляли по формуле (1), приведены на рис. 4.

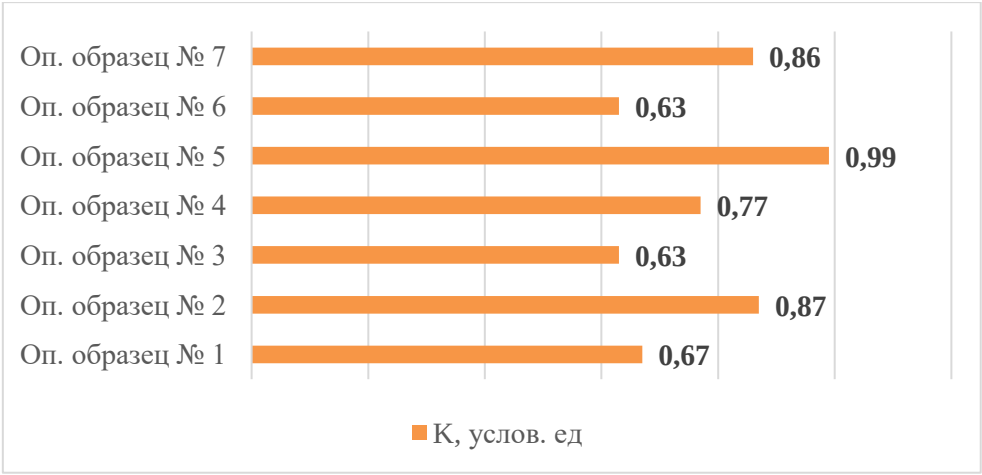


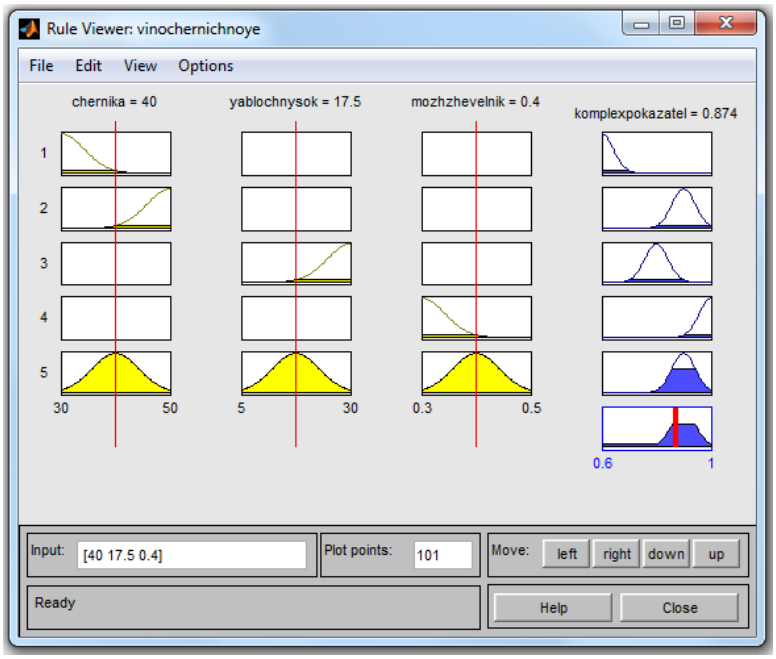
Рис. 4. Комплексный показатель *K*. Составлено авторами

Fig. 4. Complex indicator *K*. Compiled by the authors

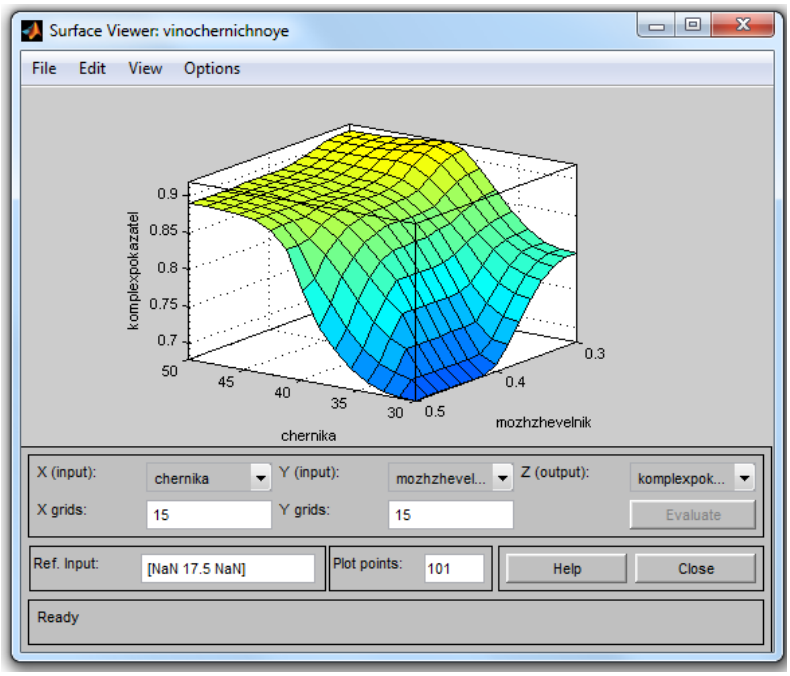
Из рис. 4 видно, что высокую оценку качества получили опытные образцы Напитка, изготовленные по вариантам рецептур № 2, № 4 и № 7, а опытный образец Напитка, изготовленный по рецептуре № 5, эксперты оценили как близкий к эталону, его характеризуют прекрасные потребительские свойства – насыщенный темно-рубиновый цвет, кристалльность – отсутствие осадка и мутности, насыщенный гармоничный букет вкуса и аромата с выраженными черничными нотами, с легкой ягодной терпкостью и тонким хвойным послевкусием от

можжевеловых ягод. Объемная доля этилового спирта и массовая концентрация сахаров, характеризующие Напиток, позволяют классифицировать его как «полусухую» продукцию (в соответствии с требованиями ГОСТ 59942-2021 «Продукция плодовая алкогольная. Общие технические условия»).

Оптимальная рецептура сусла спроектирована с использованием программы MatLab методом нечеткого вывода, результаты представлены в виде визуализации нечеткого вывода и поверхности отклика на рис. 5.



а



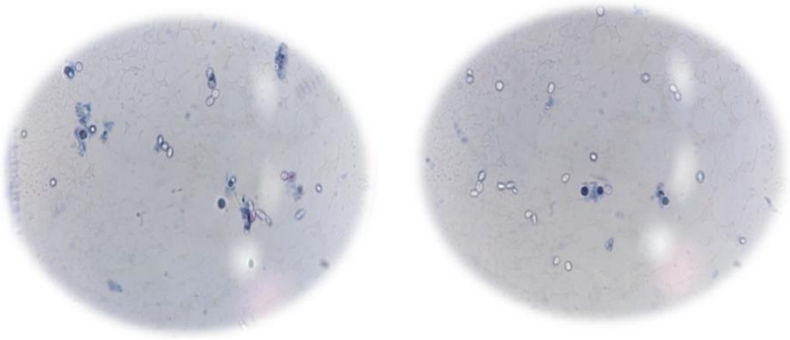
б

Рис. 5. Результаты автоматизированного проектирования оптимальной рецептуры сусла: а – визуализация нечеткого вывода; б – поверхность отклика. Составлено авторами

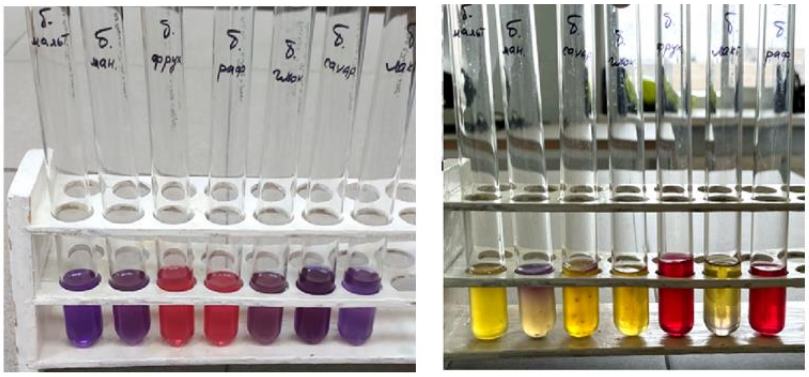
Fig. 5. Results of automated design of the optimal wort formulation: a – visualization of fuzzy inference; б – response surface. Compiled by the authors

Как следует из рис. 5, в состав оптимальной рецептуры сусла входят: пюре черники – 40 % от массы смеси «ягодное пюре : вода»; остальные ингредиенты приведены в процентах от массы нетто сусла: сок яблочный восстановленный – 17,5 %, сахар – 17 %, порошок сушеной мезги черники – 2 %, ягоды можжевельника сушеные дробленые – 0,4 %. Данная рецептура соответствует опытному варианту рецептуры № 5, для которого экспериментально установленное значение комплексного показателя составило 0,99, что близко к характеристике эталона.

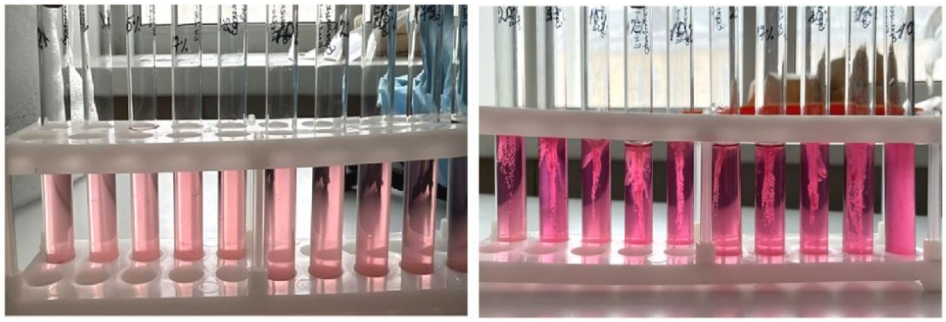
На завершающем этапе исследования оценивали функциональные свойства (жизнеспособность микроорганизмов, способность сбраживать углеводы, осмо- и спиртоустойчивость, способность клеток накапливать гликоген) импортозамещенных сухих дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Эксперименты проводили с использованием опытных образцов сусла, изготовленного по оптимальной рецептуре. Результаты определения микробиологических показателей, характеризующих потенциал исследуемого штамма винных дрожжей, представлены на рис. 6.



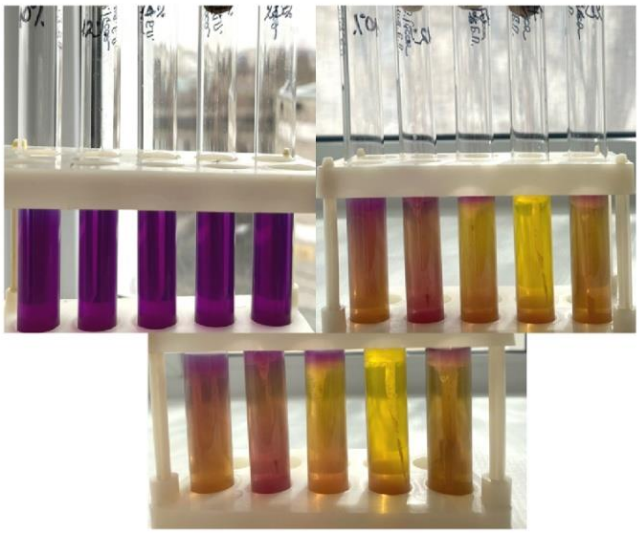
а



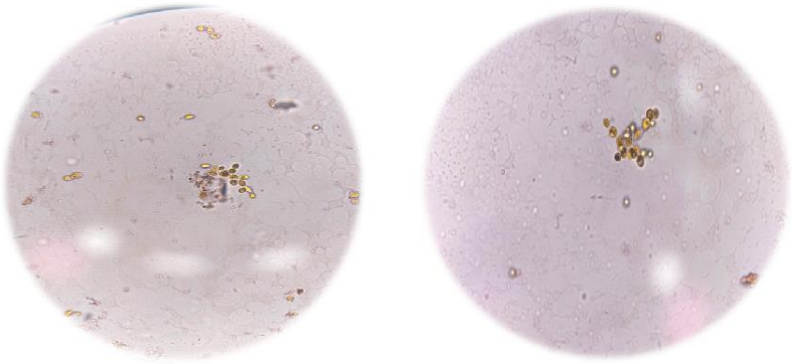
б



в



г



д

Рис. 6. Результаты исследования биотехнологического потенциала импортозамещенных сухих дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*: а – оценка жизнеспособности микроорганизмов; б – способности микроорганизмов сбраживать углеводы; в – оценка осмоустойчивости микроорганизмов; г – оценка спиртоустойчивости микроорганизмов; д – оценка способности клеток микроорганизмов накапливать гликоген. Составлено авторами

Fig. 6. Results of the study of the biotechnological potential of imported dry *Saccharomyces cerevisiae* yeast: а – assessment of the viability of microorganisms; б – assessment of microorganisms' ability to ferment carbohydrates; в – assessment of microorganisms' osmotic resistance; г – assessment of microorganisms' alcohol resistance; д – assessment of microorganisms' ability to accumulate glycogen. Compiled by the authors

Экспериментальное исследование показало, что белорусские дрожжи сохраняют высокую жизнеспособность, о чем свидетельствует обнаружение около 60 % живых клеток в 25 полях при микроскопировании опытного сусла на 4-е сут брожения (рис. 6, а), полностью сбраживают мальтозу, маннозу, сахарозу, глюкозу и лактозу и демонстрируют рост по месту для фруктозы и раффинозы (рис. 6, б). Исследуемый штамм демонстрирует высокую осмоустойчивость и спиртоустойчивость, сохраняя активность в средах с концентрацией растворенных веществ от 10 до 20 % (рис. 6, в), а также в средах, содержащих от 10 до 20 % этанола (рис. 6, г) соответственно. Свойство клеток белорусского штамма *Saccharomyces cerevisiae* сохранять активность в агрессивной среде винного сусла подтверждают результаты оценки способности микроорганизмов накапливать гликоген, так исследование показало, что около 70 % клеток

окрашивается раствором Люголя (рис. 6, д). В табл. 5 приведены результаты сравнения биотехнологических потенциалов импортозамещенного белорусского штамма и импортного французского.

Таблица 5

Результаты оценки биотехнологического потенциала импортного и импортозамещенного штамма *Saccharomyces cerevisiae*

Table 5

Results of the assessment of the biotechnological potential of the imported and import-substituted strain of *Saccharomyces cerevisiae*

Штамм	Пюре черники, % от массы смеси «ягодное пюре:вода»	Сок яблочный, % от массы нетто сусла	Порошок сушеной мезги черники, % от массы сусла	Температура сушки мезги, °С	Длительность настаивания сусла с мезгой, сут	*К*, ед.
«Gervin GV8» (Франция)	40	17,5	2	50	9	0,76
ООО «Минский дрожжевой комбинат» (Республика Беларусь)	40	17,5	2	50	9	0,99
Примечание. Дрожжи винные сухие вносили в сусло в количестве, соответствующем рекомендациям производителя ООО «Минский дрожжевой комбинат» из расчета на единицу массы сусла (0,026 %).						

Анализ полученных результатов позволяет сделать обоснованный вывод о высоком биотехнологическом потенциале сухих дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* производства ООО «Минский дрожжевой комбинат» (г. Минск, Республика Беларусь) и целесообразности замены импортных винных дрожжей «Gervin GV8» (производство Франция) в усовершенствованной технологии регионального алкогольного плодово-ягодного напитка на основе черники.

Заключение

Предложена усовершенствованная технология изготовления регионального алкогольного плодово-ягодного напитка на основе ягоды-дикороса – черники, произрастающей на Кольском полуострове, потенциально интегрируемого в развивающийся бренд «Арктическая кухня».

Проведенные комплексные исследования позволили обосновать выбор импортозамещенных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в разработанной технологии алкогольного плодово-ягодного напитка, характеризуемых высокой жизнеспособностью, осмо- и спиртоустойчивостью, высокой способностью сбраживать углеводы мальтозу, маннозу, сахарозу, глюкозу и лактозу и способностью сбраживать фруктозу и раффинозу, а также способностью микроорганизмов накапливать гликоген в агрессивной среде сусла.

Использование импортозамещенных дрожжей не отразилось негативно на характере изменений физико-химических показателей сусла – объемной доли этилового спирта, массовой концентрации сахаров и активной кислотности, свидетельствующих об интенсивности протекания спиртового брожения в сусле.

Предложен комплексный показатель *К* для оценки биотехнологического потенциала винных дрожжей и качества Напитка натурального брожения, изготовленного по усовершенствованной технологии, и получена математическая модель, формализующая зависимость показателя от соотношения ключевых ингредиентов рецептуры сусла. С помощью модели спроектирована оптимальная рецептура сусла.

Выполнена оценка качества Напитка, а также оценка биотехнологического потенциала импортозамещенных сухих дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* (производства ООО «Минский дрожжевой комбинат», г. Минск, Республика Беларусь) в сравнении с импортными («Gervin GV8» производства Франция), подтвердившая более высокую эффективность белорусского штамма по сравнению с импортным.

Список источников

1. Турпоток из Китая в Мурманскую область вырос на 48 % [Электронный ресурс]. URL: https://ria.ru/20260830/kitay-2114108985.html?ysclid=mtg5p3njzv679951478 (дата обращения : 10.08.2026)

2. Валькова Т. М., Глемейда А. С. Гастрономический туризм в Русской Арктике: туристские ресурсы территории // Географическая среда и живые системы. 2023. № 4 [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/gastronomicheskiy-turizm-v-russkoy-arktike-turistskie-resursy-territorii (дата обращения : 10.08.2026).

3. Рестораторы смогут использовать бренд «Арктическая кухня» только после аттестации [Электронный ресурс]. https://murmantv.ru/news-n-27781--restoratory-smogut-ispolzovat-brend-arkticheskaya-kuhnya-tolko-posle-attestacii?ysclid=mtg5veg982640254962&utm_source=ya.ru&utm_medium=referral&utm_campaign=ya.ru&utm_referrer=ya.ru (дата обращения : 10.08.2026).

4. Разработка технологии винного напитка из регионального ягодного сырья в целях развития гастрономического туризма в Кольском Заполярье / Г. А. Ефименко, К. В. Инкола, Е. В. Дудина [и др.] // Известия высших учебных заведений. Арктический регион. 2022. № 1. С. 45–62.

5. Разработка и совершенствование технологии винных напитков на основе ягод-дикоросов Кольского полуострова / Г. А. Ефименко, К. В. Инкола, Ю. В. Шокина, П. Е. Баланов // Проблемы Арктического региона : труды XX Международной научной конференции студентов и аспирантов, Мурманск, 17–18 мая 2023 года. Апатиты : Кольский научный центр РАН, 2023. С. 64–77. DOI 10.37614/978.5.91137.510.2.009.

6. Разработка технологии винных напитков на основе ягод-дикоросов кольского полуострова / Ю. В. Шокина, Г. А. Ефименко, К. В. Инкола, П. Е. Баланов // Актуальные проблемы развития биотехнологий на федеральном и региональном уровнях : материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 19 мая 2023 года. Мурманск : Мурманский государственный технический университет, 2023. С. 71–75.

7. Совершенствование технологии винных напитков на основе ягод-дикоросов Кольского полуострова / Г. А. Ефименко, К. В. Инкола, Ю. В. Шокина, П. Е. Баланов // Проблемы Арктического региона : тезисы докладов XX Международной научной конференции студентов и аспирантов, Мурманск, 17–18 мая 2023 года. Мурманск : Кольский научный центр Российской академии наук, 2023. С. 55–56.

8. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации (с изменениями и дополнениями) утверждена Указом Президента РФ от 21 января 2020 года № 20 [Электронный ресурс]. URL : https://base.garant.ru/73438425/?ysclid=mtd78yaa92451314534.

9. Стратегия экономической безопасности РФ на период до 2030 года утверждена Указом Президента от 13 мая 2017 года № 208 [Электронный ресурс]. URL : http://www.kremlin.ru/acts/bank/41921?ysclid=mtd7arnp6c757953552.

10. Чернова А. П., Батжаргал Халиунаа. Метод оценки ферментативной активности хлебопекарных дрожжей // Пищевая промышленность. 2019. № 8 [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metod-otsenki-fermentativnoy-aktivnosti-hlebopekarnyh-drozhzhey (дата обращения : 30.08.2026).

11. Криштафович, В. И. Товароведение и экспертиза продовольственных товаров : методические рекомендации по подготовке и защите выпускной квалификационной работы / В. И.

Криштафович, И. А. Жебелева, В. И. Заикина, О. В. Памбухчиянц. М. : Дашков и К, 2012. 184 с.

12. Автоматизированное проектирование сложных многокомпонентных продуктов питания : учебное пособие / Е. И. Муратова, С. Г. Толстых, С. И. Дворецкий, О. В. Зюзина, Д. В. Леонов. Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. 154 с.

Сведения об авторах

Ю. В. Шокина – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий пищевых производств, SPIN-код: 2456-9909, AuthorID: 780781.

Е. В. Макаревич – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой микробиологии и биохимии, SPIN-код: 4071-5531, AuthorID: 767927.

Н. А. Аминов – магистрант кафедры микробиологии и биохимии, направление подготовки 06.04.01 Биология, профиль Микробиология и биохимия.

Д. С. Щербакова – магистрант кафедры микробиологии и биохимии, направление подготовки 06.04.01 Биология, профиль Микробиология и биохимия.

Г. А. Ефименко – магистрант кафедры микробиологии и биохимии, направление подготовки 06.04.01 Биология, профиль Микробиология и биохимия.

Information about the authors

Yu. V. Shokina – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Food Production Technologies, SPIN-code: 2456-9909, AuthorID: 780781.

E. V. Makarevich – PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Microbiology and Biochemistry, SPIN-code: 4071-5531, AuthorID: 767927.

N. A. Aminov – Master's degree student of the Department of Microbiology and Biochemistry, field of study 06.04.01 Biology, profile Microbiology and Biochemistry.

D. S. Scherbakova – Master's degree student of the Department of Microbiology and Biochemistry, field of study 06.04.01 Biology, profile Microbiology and Biochemistry.

G. A. Efimenko – Master's degree student of the Department of Microbiology and Biochemistry, field of study 06.04.01 Biology, profile Microbiology and Biochemistry.

Статья поступила в редакцию 31.08.2026; одобрена после рецензирования 11.09.2026; принята к публикации 22.09.2026.

The article was submitted 31.08.2026; approved after reviewing 11.09.2026; accepted for publication 22.09.2026.

© Шокина Ю. В., Макаревич Е. В., Аминов Н. А., Щербакова Д. С., Ефименко Г. А., 2026.

«Разработка технологии регионального плодово-ягодного алкогольного напитка на основе черники с оценкой биотехнологического потенциала импортозамещенного штамма *Saccharomyces cerevisiae*» [Шокина Ю. В., Макаревич Е. В., Аминов Н. А., Щербакова Д. С., Ефименко Г. А.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 137–145.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья
УДК 639.3 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-12 EDN: OVEIAR

Индекс формы желточного мешка предличинок шипа как критерий оценки выживаемости предличинки

Виктория Бекбергенова [1], Юлия Анатольевна Гусева [2], Алексей Алексеевич Васильев [3], Михаил Дмитриевич Качалин [4]

[1] Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия
[2-4] Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия
[1] vveritas18@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8595-3545
[2] yuliyguseva@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9604-4280
[3] alekseyvasiliev@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0067-7719
[4] kachalinmd@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5942-8771

Аннотация. Желточный мешок предличинок осетровых рыб служит единственным источником энергетических и пластических ресурсов вплоть до перехода на экзогенное питание, а его размерная и качественная неоднородность, наряду с темпом линейного роста тела, отражается на жизнеспособности молоди на данном этапе. Цель работы — предложить морфометрический индекс формы желточного мешка (hj/lj) и соотношения тела к желточному мешку (lj/L) в качестве ранних диагностических критериев выживаемости предличинок осетровых на примере шипа (*Acipenser nudiventris*) при выдерживании и переходе на активное питание. Материалом послужили предличинки шипа, исследованные на трёх этапах вылупления (начало, массовый, конец). Измеряли высоту (hj) и длину (lj) желточного мешка, общую длину тела (L) и длину хвостового отдела, рассчитывали индексы hj/lj и lj/L. Установлено, что общая длина тела предличинок достоверно возрастает от начала к концу выклева (с 9,24±0,14 до 9,79±0,21 мм; $p<0,001$), опережающий рост хвостового отдела сопровождается закономерным снижением относительной доли желточного мешка (lj/L снижается с 0,332 до 0,308; $p<0,001$). Среднее значение hj/lj по выборке составило 0,545±0,006 при диапазоне 0,450–0,655; 93,1 % предличинок соответствовали нормативным значениям индекса (0,50–0,69), тогда как 6,9 % особей имели значения ниже 0,50. У предличинок с уплощённым желточным мешком и низкими значениями lj/L документированы сопутствующие морфологические аномалии — деформации желточного мешка разной степени тяжести, укорочение хвостового отдела и краниальные нарушения, вплоть до комплексных полиморфных дефектов с нулевым прогнозом выживания. Полученные результаты рекомендуется использовать при производственном мониторинге качества посадочного материала на предприятиях, занимающихся сохранением и разведением осетровых рыб.

Ключевые слова: шип, *Acipenser nudiventris*, желточный мешок, индекс hj/lj, предличинки, линейный рост, соотношение тела и желтка, аномалии развития, выживаемость, осетровые рыбы

Для цитирования: Бекбергенова В., Гусева Ю. А., Васильев А. А., Качалин М. Д. Индекс формы желточного мешка предличинок шипа как критерий оценки выживаемости предличинки // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 137–145.

© Бекбергенова В., Гусева Ю. А., Васильев А. А., Качалин М. Д., 2026

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 137–145.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Yolk sac shape index of ship sturgeon prelarvae as a criterion for assessing prelarval survival

Victoria Bekbergenova [1], Yulia A. Guseva [2], Alexey A. Vasiliev [3], Mikhail D. Kachalin [4]

[1] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

[2-4] Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K. I. Skryabin, Moscow, Russia

[1] vveritas18@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8595-3545

[2] yuliyguseva@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9604-4280

[3] alekseyvasiliev@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0067-7719

[4] kachalinmd@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5942-8771

Abstract. The yolk sac of prelarval sturgeon fish serves as the sole source of energy and plastic resources until the transition to exogenous feeding; its size and quality heterogeneity, along with the rate of linear body growth, affects the viability of the young fish at this stage. The aim of the study is to propose a morphometric index of the yolk sac shape (hj/lj) and the body-to-yolk sac ratio (lj/L) as early diagnostic criteria for the survival of sturgeon prelarvae, using the ship sturgeon (*Acipenser nudiventris*) as an example, during rearing and the transition to active feeding. The material consisted of ship sturgeon prelarvae studied at three stages of hatching (early, peak, late). The height (hj) and length (lj) of the yolk sac, the total body length (L), and the length of the caudal region were measured; the hj/lj and lj/L indices were calculated. It has been established that the total body length of prelarvae significantly increases from the beginning to the end of hatching (from 9.24 ± 0.14 to 9.79 ± 0.21 mm; $p < 0.001$); the accelerated growth of the caudal region is accompanied by a consistent decrease in the relative proportion of the yolk sac (lj/L decreases from 0.332 to 0.308; $p < 0.001$). The average hj/lj value for the sample was 0.545 ± 0.006, with a range of 0.450–0.655; 93.1 % of the prelarvae met the standard index values (0.50–0.69), while 6.9 % of the individuals had values below 0.50. In prelarvae with a flattened yolk sac and low lj/L values, accompanying morphological anomalies have been documented — deformations of the yolk sac of varying severity, shortening of the caudal region, and cranial disorders, up to complex polymorphic defects with a zero survival prognosis. The obtained results are recommended for use in the industrial monitoring of the quality of stocking material at enterprises engaged in the conservation and breeding of sturgeon fish.

Keywords: ship sturgeon, *Acipenser nudiventris*, yolk sac, hj/lj index, prelarvae, linear growth, body-to-yolk ratio, developmental anomalies, survival rate, sturgeon fish

For citation: Bekbergenova V., Guseva Yu. A., Vasiliev A. A., Kachalin M. D. Yolk sac shape index of ship sturgeon prelarvae as a criterion for as-sessing prelarval survival. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):137–145. (In Russ.).

Введение

Шип (*Acipenser nudiventris* Lovetsky, 1828) – редкий полупроходной вид осетровых рыб, включённый Международным союзом охраны природы в категорию видов, находящихся в критической опасности. Естественное воспроизводство вида в границах исторического ареала практически прекращено, поэтому искусственное разведение остаётся фактически единственным способом сохранения его генофонда [1, 2].

Период вылупления и предличиночного развития осетровых сопровождается быстрым линейным ростом тела и одновременной резорбцией желточного мешка – единственного источника энергетических и пластических ресурсов предличинки вплоть до момента, когда пищеварительная система оказывается достаточно сформированной для перехода на экзогенное питание [3, 4].

Ряд авторов указывает, что соотношение высоты к длине желточного мешка (индекс hj/lj) может служить интегральным диагностическим показателем при мониторинге качества потомства осетровых рыб в условиях искусственного воспроизводства, при этом нормативные значения индекса для разных видов рода Acipenser заметно различаются в зависимости от исходной формы желточного мешка [5]. Помимо формы желточного мешка, диагностическую ценность имеет и его размер относительно тела предличинки (индекс lj/L): по данным зарубежных источников, особи с пониженным относительным желточным резервом составляют группу риска, быстрее достигающую «точки невозврата» – состояния необратимого истощения при переходе к экзогенному питанию [4, 6].

Цель настоящей работы – оценить динамику морфометрических показателей предличинок осетра (рода Acipenser) в ходе вылупления – общей длины тела, длины хвостового отдела, относительных индексов желточного мешка (lj/L и hj/lj) – для определения изменчивости размерно-пропорциональных характеристик на разных этапах выклева, выявления группы риска с пониженным желточным резервом и разработки нормативных критериев оценки качества предличинок к моменту перехода на экзогенное питание.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования являлись предличинки шипа северокаспийской популяции заводского воспроизводства (поколение F2), полученные от икры маточного стада F1, сформированного в условиях установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) научно-экспериментальной базы «Кагальник» Южного научного центра Российской академии наук (Ростов-на-Дону). Морфометрическое обследование выполнено на трёх последовательных этапах стадии выклева: в начале выклева (n = 31), при массовом выклеве (n = 35) и в конце выклева (n = 35); суммарный объём выборки составил 101 предличинку.

У каждой предличинки под бинокулярным микроскопом с использованием видеокамеры измеряли следующие линейные промеры: общую длину тела (L, мм), длину хвостового отдела (lхв, мм), высоту (hj, мм) и длину (lj, мм) желточного мешка согласно рекомедациями Snyder D.E. [4] На основании измерений рассчитывали индекс относительной длины хвостового отдела (lхв/L), индекс относительного желточного резерва (lj/L, отношение длины желточного мешка к общей длине тела) и индекс формы желточного мешка (hj/lj). Для оценки качества предличинок использованы литературные нормативные диапазоны индекса hj/lj: 0,55–0,69 – для белуги, русского осетра и севрюги; расширенный нижний порог 0,50 – для шипа и осетра, обладающих более округлой формой желточного мешка.

Статистическая обработка данных включала расчёт средних значений, стандартных ошибок среднего, минимальных и максимальных значений, коэффициентов вариации (CV). Различия между этапами выклева оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с апостериорным тестом Тьюки. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Динамика линейного роста тела предличинок в период выклева

Известно, что у осетровых рыб динамика линейного роста в раннем постэмбриогенезе характеризуется неравномерностью: разные отделы тела развиваются с неодинаковой скоростью, что отражает видоспецифические закономерности морфогенеза и адаптации к условиям среды [4, 7]. Хвостовой отдел, обеспечивающий локомоторную функцию, относится к структурам, претерпевающим наиболее интенсивные изменения на ранних этапах развития,

поскольку от его сформированности напрямую зависит способность предличинок к активному перемещению, поиску пищи и избеганию хищников.

Вместе с тем характер изменчивости линейных промеров и пропорций тела предличинок осетровых в процессе вылупления изучен недостаточно. Большинство опубликованных работ посвящено либо эмбриональному развитию, либо более поздним личиночным стадиям, тогда как морфометрическая характеристика предличинок в динамике выклева – от первых до последних вылупившихся особей – остаётся малоисследованной областью. Отсутствие чётких данных о том, как меняются длина тела, размеры отдельных отделов и их соотношение в течение периода вылупления, затрудняет объективную оценку качества партий посадочного материала и выделение групп риска.

Проведенные нами измерения отражают общую морфометрическую характеристику выклева, данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Динамика линейного роста тела и относительных индексов предличинок шипа по этапам выклева (M±m)

Table 1

Dynamics of linear body growth and relative indices of ship sturgeon pre-larvae across hatching stages (M±m)

Показатель	Начало (n = 31)	Массовый (n = 35)	Конец (n = 35)	F; p (ANOVA)
L, мм (общая длина тела)	9,24±0,14	9,51±0,30	9,79±0,21	F=15,06 p<0,001
lхв, мм (длина хвостового отдела)	2,77±0,07	3,03±0,14	3,30±0,09	F=63,29 p<0,001
lхв/L (доля хвостового отдела)	0,300±0,002	0,318±0,002	0,336±0,002	F=57,56 p<0,001
lj/L (доля желточного мешка)	0,332±0,003	0,329±0,002	0,308±0,004	F=15,06 p<0,001

Общая длина тела предличинок закономерно и статистически достоверно увеличивалась с начала к концу вылупления: 9,24±0,14 мм в начале, 9,51±0,30 мм при массовом и 9,79±0,21 мм в конце (ANOVA, $F = 15,06$; $p < 0,001$); апостериорный тест Тьюки подтвердил значимость различий между всеми тремя группами. Наиболее выраженный и статистически значимый прирост среди всех линейных промеров показала длина хвостового отдела (lхв): от 2,77±0,07 мм в начале вылупления до 3,30±0,09 мм в конце ($F = 63,29$; $p < 0,001$), при этом все попарные различия между этапами статистически значимы ($p < 0,001$). Соответственно возрастала и относительная доля хвостового отдела у предличинки (lхв/L): с 0,300±0,002 в начале до 0,336±0,002 в конце вылупления ($F = 57,56$; $p < 0,001$). Столь выраженный и стабильный (CV = 2,4–4,7%) прирост lхв/L отражает динамику увеличение длины тела за счет хвостового отдела.

Соотношение тела и желточного мешка (lj/L)

Традиционно для оценки обеспеченности предличинок желточным резервом используют относительные индексы, отражающие соотношение размеров желточного мешка и тела. Одним из наиболее распространённых является индекс lj/L – отношение длины желточного мешка к общей длине тела, который характеризует долю желточного резерва в общей массе организма. Этот показатель широко применяется в сравнительных исследованиях разных видов осетровых и позволяет сопоставлять полученные данные с известными видоспецифическими диапазонами. Однако индекс lj/L, взятый изолированно, отражает лишь линейные пропорции и не учитывает форму желточного мешка, которая может существенно изменяться по мере резорбции желтка и нести дополнительную диагностическую информацию.

Особенность нашего исследования заключается в комплексном подходе: для характеристики энергетической обеспеченности предличинок одновременно используются два взаимодополняющих индекса – lj/L (относительный размер желточного резерва) и hj/lj

(индекс формы желточного мешка, отражающий соотношение его высоты и длины). Такое сочетание позволяет, с одной стороны, оценить объём остаточного желтка относительно размеров тела, а с другой – выявить качественные изменения формы мешка, связанные с прогрессирующей резорбцией. Подобный двухпараметрический подход даёт более полную и дифференцированную картину состояния предличинок, чем каждый из показателей в отдельности. Результаты измерений и полученных индексов представлены в табл. 2.

Дополнительная ценность применяемого подхода состоит в возможности выявления групп риска внутри партии потомства. Наличие особей с пониженным желточным резервом (lj/L ниже видовой нормы), обнаруживаемых на фоне общей однородности выборки, свидетельствует о внутренней гетерогенности партии по качеству предличинок [8]. Идентификация таких особей на ранней стадии – до перехода к экзогенному питанию – имеет прямое практическое значение, поскольку позволяет своевременно корректировать условия содержания и кормления, дифференцировать предличинок по степени готовности к смешанному питанию и минимизировать потери в критический период онтогенеза.

Таблица 2

Морфометрические показатели желточного мешка предличинок шипа по этапам выклева (M±m, min–max)

Table 2

Morphometric parameters of the yolk sac of ship sturgeon pre-larvae at hatching stages (M±m, min–max)

Показатель	Начало выклева (n = 31)	Массовый выклев (n = 35)	Конец выклева (n = 35)	Вся выборка (n = 101)
hj, мм	1,67±0,03 (1,43–1,90)	1,65±0,02 (1,41–1,81)	1,79±0,03 (1,63–1,94)	1,68±0,01 (1,41–1,94)
lj, мм	3,07±0,03 (2,87–3,18)	3,13±0,02 (2,91–3,34)	3,02±0,04 (2,78–3,32)	3,09±0,02 (2,78–3,34)
hj/lj	0,546±0,010 (0,490–0,646)	0,528±0,006 (0,450–0,597)	0,594±0,009 (0,531–0,655)	0,545±0,006 (0,450–0,655)
lj/L	0,332±0,003 (0,316–0,347)	0,329±0,002 (0,314–0,348)	0,308±0,004 (0,288–0,337)	0,326±0,002 (0,288–0,348)
CV hj/lj, %	6,9	6,7	5,2	7,9
CV lj/L, %	2,9	3,1	4,7	4,3

Опережающий рост тела предличинок по сравнению с желточным мешком закономерно отражается в динамике индекса lj/L, характеризующего относительный размер желточного резерва: его значение статистически достоверно снижалось от 0,332±0,003 в начале выклева до 0,308±0,004 в конце ($F = 15,06$; $p < 0,001$), что соответствует нарастающей резорбции желтка у более физиологически зрелых поздних предличинок. Все полученные значения lj/L (0,288–0,348) укладываются в видовой диапазон, характерный для рода Acipenser (0,30–0,35), и сопоставимы с данными по персидскому осетру (*A. persicus*, 0,32–0,35) и лопатоносому осетру (*Scaphirhynchus platorynchus*, около 0,33) [4].

Вместе с тем в группе массового и позднего вылупления отмечено присутствие отдельных особей со значением lj/L < 0,30 (левосторонняя асимметрия распределения признака), что по данным зарубежных источников указывает на подгруппу с пониженным желточным резервом – группу риска при переходе к экзогенному питанию, характеризующуюся ускоренным достижением «точки невозврата» при недостаточности трофических запасов. Таким образом, соотношение тела и желточного мешка (lj/L) в сочетании с индексом его формы (hj/lj) позволяет более полно охарактеризовать

обеспеченность предличинки энергетическими резервами к моменту перехода на активное питание, чем каждый из показателей в отдельности.

Индекс формы желточного мешка (hj/lj)

Индекс hj/lj, рассматриваемый как ключевой диагностический показатель качества предличинок, варьировал по всей выборке от 0,450 до 0,655, составляя в среднем 0,545±0,006. Наиболее высокие значения индекса отмечены в конце выклева (0,594±0,009) относительно массового выклева (0,528±0,006), что указывает на более округлую форму желточного мешка у поздно вылупившихся предличинок. Коэффициент вариации индекса hj/lj закономерно снижался от начала выклева (6,9 %) к его завершению (5,2 %), что свидетельствует об уменьшении морфологической разнокачественности партии предличинок по данному признаку по мере продвижения выклева.

Распределение предличинок по нормативным диапазонам индекса hj/lj представлено в табл. 3. В целом по выборке 82,2 % предличинок имели значения hj/lj в базовом нормативном диапазоне (0,50–0,64), ещё 10,9 % – в расширенном диапазоне (0,65–0,69). Таким образом, суммарно 93,1 % предличинок могут быть отнесены к нормально развивающимся по форме желточного мешка, что согласуется с ранее опубликованными данными по маточному стаду шипа, где в аналогичный диапазон укладывалось порядка 87,8 % предличинок (Бекбергенова, 2018).

Таблица 3

Распределение предличинок шипа по значениям индекса hj/lj на разных этапах выклева

Table 3

Distribution of ship sturgeon pre-larvae according to hj/lj index values at different hatching stages

Диапазон hj/lj	Начало выклева	Массовый выклев	Конец выклева	Всего
< 0,50 (ниже нормы)	2 (6,45 %)	5 (14,3 %)	0 (0 %)	7 (6,9 %)
0,50–0,64 (норма)	23 (74,2 %)	28 (80,0 %)	32 (91,4 %)	83 (82,2 %)
0,65–0,69 (расширенная норма)	6 (19,4 %)	2 (5,7 %)	3 (8,6 %)	11 (10,9 %)
≥ 0,70 (выше нормы)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
Итого норма (≥ 0,50)	**29 (93,6 %)**	**30 (85,7 %)**	**35 (100 %)**	**94 (93,1 %)**

Ниже нормативного диапазона (hj/lj < 0,50) оказались 7 предличинок, что составило 6,9 % выборки, причём 5 из них (71 %) выявлены именно в группе массового выклева – наиболее многочисленной и морфологически неоднородной по составу. Такая концентрация особей с пониженным индексом в срединной по времени группе выклева согласуется с представлением о том, что группа массового выклева объединяет предличинок из икринок с исходно неодинаковыми условиями питания и созревания в яичнике самки, что и определяет её повышенную гетерогенность по сравнению с крайними по времени группами.

Морфологические аномалии развития, ассоциированные со сниженными индексами

У части предличинок со значениями hj/lj ниже 0,50 и lj/L < 0,30 зарегистрирован широкий спектр морфологических аномалий развития, что согласуется с представлением об уплощённой форме и малом объёме желточного мешка как факторе, сопряжённом с нарушениями раннего онтогенеза [8, 9]. Наиболее многочисленную группу составили аномалии самого желточного мешка, которые по степени тяжести подразделяются на три категории: лёгкую (мелкие тёмные пигментные вкрапления на поверхности желточного мешка при сохранении его основной жёлтой окраски, занимающие не более 20–30 % видимой площади), умеренную (диффузная зернистая желтовато-коричневая дегенерация

значительной части поверхности, нередко сочетающаяся с деформацией плавниковой складки, рисунок) и тяжёлую (тотальный некроз с полным замещением жёлтой окраски желтка коричнево-бурой, как правило, сочетающийся с краниальными нарушениями).



Предличинка шипа с аномалиями: 1 – гидроцефалия; 2 – деформированный и увеличенный желточный мешок с пигментными вкраплениями на поверхности; 3 – нарушение целостности плавниковой складки; 4 – искривление и укорочение тела. Фото сделано авторами
Ship sturgeon (*Acipenser nudiventris*) pre-larva with anomalies: 1 – hydrocephaly; 2 – deformed and enlarged yolk sac with pigment spots on the surface; 3 – disruption of the fin fold integrity; 4 – curvature and shortening of the body. Photo by the authors

Таким образом, снижение индексов hj/lj и lj/L ниже нормативных значений сопряжено не только с дефицитом трофических резервов как таковым, но и с повышенной частотой сопутствующих морфологических аномалий разной степени тяжести – от условно благоприятных лёгких нарушений желточного мешка до полиморфных дефектов с нулевым прогнозом выживания. Это позволяет рассматривать морфометрические индексы желточного мешка в сочетании с показателями линейного роста тела как доступный неинвазивный инструмент раннего прогноза жизнестойкости партии предличинок и обоснования дифференцированного подхода к дальнейшему выращиванию при переходе на активное питание.

Заключение

Проведённая оценка линейного роста и морфометрических показателей желточного мешка предличинок шипа северокаспийской популяции показала, что общая длина тела предличинок достоверно возрастает от начала к концу вылупления (с 9,24±0,14 до 9,79±0,21 мм; $p<0,001$) преимущественно за счёт роста хвостового отдела (lхв/L возрастает с 0,300 до 0,336; $p<0,001$), что сопровождается закономерным снижением относительной доли желточного мешка (lj/L снижается с 0,332 до 0,308; $p<0,001$).

Индекс формы желточного мешка (hj/lj) варьирует в диапазоне 0,450–0,655 при среднем значении 0,545±0,006, а 93,1 % предличинок соответствуют нормативным значениям индекса, принятым для видов осетровых с округлой формой желточного мешка. Доля предличинок с пониженными значениями индексов hj/lj и lj/L закономерно возрастает в группе массового выклева и сопряжена с повышенной частотой и тяжестью сопутствующих морфологических аномалий развития.

Совместный анализ динамики линейного роста, соотношения тела и желточного мешка (lj/L) и индекса его формы (hj/lj) рекомендуется использовать в качестве дополнительного инструмента производственного мониторинга качества посадочного материала на предприятиях, занимающихся искусственным воспроизводством осетровых, для раннего выявления партий повышенного риска и планирования их дальнейшего выращивания.

Список источников

1. Бекбергенова В. Анализ данных по биологии и воспроизводству шипа (Acipenser nudiventris) / В. Бекбергенова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 3. С. 50–60. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-3-50-60. EDN: BQBSOI.

2. Hu G., Chen F., Zhang Y., Luan P., Luo Z., Niu J., Zheng P., Wang S., Zhang T., Shu Y., Ji F. Estimates of the Effective Population Size and Genetic Structure of the Critically Endangered Ship Sturgeon (Acipenser nudiventris) in the Chinese Section of the Ili River // Fishes. 2023. Vol. 8, № 7. Art. 354. DOI: 10.3390/fishes8070354.

3. Детлаф Т. А., Гинзбург А. С., Шмальгаузен О. И. Развитие осетровых рыб. М. : Наука, 1981. 224 с.

4. Snyder D. E. Invited overview: conclusions from a review of larval fish identification method literature // Fish and Fisheries. 2002. Vol. 2, № 4. P. 261–285.

5. Чебанов М. С., Галич Е. В. Руководство по искусственному воспроизводству осетровых рыб. Рим : ФАО, 2013. 325 с.

6. Shah M. A., Xie X., Rodina M., Stundl J., Braasch I., Šindelka R., Rzepkowska M., Saito T., Pšenička M. Sturgeon gut development: a unique yolk utilization strategy among vertebrates // Frontiers in Cell and Developmental Biology. 2024. Vol. 12. Art. 1358702. DOI: 10.3389/fcell.2024.1358702.

7. Сытина Л. А., Шагаева В. Г. Изменчивость и разнокачественность потомства осетровых рыб в раннем онтогенезе // Вопросы ихтиологии. 1986. Т. 26, № 5. С. 815–826.

8. Deslauriers D., Svendsen J. C., Genz J., Wall A. J., Baktoft H., Enders E. C., Anderson W. G. Environmental calcium and variation in yolk sac size influence swimming performance in larval lake sturgeon (Acipenser fulvescens) // Journal of Experimental Biology. 2018. Vol. 221, № 7. Art. jeb164533. DOI: 10.1242/jeb.164533.

9. Богданова Л. С. Влияние обеспеченности желтком на дальнейшее развитие личинок осетровых рыб // Труды ЦНИОРХ. 1972. Т. 4. С. 112–120.

Сведения об авторах

В. Бекбергенова – старший преподаватель кафедры технических средств аквакультуры.

Ю. А. Гусева – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры кормления и кормопроизводства, SPIN-код: 4091-2052, AuthorID: 717272.

А. А. Васильев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, декан факультета зоотехнологий и агробизнеса, заведующий кафедрой кормления и кормопроизводства, SPIN-код: 7833-2852, AuthorID: 683295.

М. Д. Качалин – доктор ветеринарных наук, доцент, профессор кафедры ветеринарной хирургии, SPIN-код 3890-1481, AuthorID: 830338.

Information about the authors

V. Bekbergenova – Senior Lecturer of the Department of Technical Means of Aquaculture.

Yu. A. Guseva – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Feeding and Feed Production, SPIN-code: 4091-2052, AuthorID: 717272.

A. A. Vasiliev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Zootechnology and Agribusiness, Head of the Department of Feeding and Feed Production, SPIN-code: 7833-2852, AuthorID: 683295.

M. D. Kachalin – Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Veterinary Surgery, SPIN-code: 3890-1481, AuthorID: 830338.

Статья поступила в редакцию 08.09.2026; одобрена после рецензирования 18.09.2026; принята к публикации 21.09.2026.

The article was submitted 08.09.2026; approved after reviewing 18.09.2026; accepted for publication 21.09.2026.

© Бекбергенова В., Гусева Ю. А., Васильев А. А., Качалин М. Д., 2026.

«Индекс формы желточного мешка предличинок шипа как критерий оценки выживаемости предличинки» [Бекбергенова В., Гусева Ю. А., Васильев А. А., Качалин М. Д.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 146–157.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО
(Технические науки)

Научная статья
УДК 639.2.081.16 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-13 EDN: QKBZZF

Ставные невода с криволинейными формами и автоматизированной выгрузкой улова

Александр Александрович Грачев
Астраханское региональное отделение ООО «Всероссийское общество охраны природы» (на базе Астраханского государственного технического университета), Астрахань, Россия
agrach30@mail.ru, ORCID: 0009-0005-0992-9320

Аннотация. Проведены исследования по разработке новой схемы ставного невода, включающей полусферические камеры для накопления рыбы и криволинейные элементы крыла, усынков и двора, повышающие эффективность лова. Для автоматизированной выливки улова предложены различные схемы, опробованные в условиях реки Урал для лова осетровых рыб, приведены примеры криволинейных и автоматизированных ловушек древности. Показаны возможности использования нового автоматизированного устройства для сбора и транспортировки рыбы с помощью гибкой сетчатой конструкции в ставном неводе. Выполнены расчеты показателей уловистости для новой схемы, где веротяность удержания рыб ловушкой равна 37,5 % для криволинейной и 23,1 % – для традиционной ловушки, что на 61,6 % выше.

Ключевые слова: ставной невод, схемы орудий лова, криволинейные формы, математическое моделирование показателей уловистости, автоматизированные системы выгрузки, показатели вероятности удержания рыб ловушками

Для цитирования: Грачев А. А. Ставные невода с криволинейными формами и автоматизированной выгрузкой улова // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 146–157.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 146–157.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES
(Technical sciences)

Original article

Set-nets with curved shapes and automated unloading of catch

Alexander A. Grachev
Astrakhan Regional Branch of the All-Russian Society for Nature Conservation (based on Astrakhan State Technical University). Astrakhan, Russia
agrach30@mail.ru, ORCID: 0009-0005-0992-9320

Abstract. Research has been conducted on the development of a new scheme for a set-net, which includes hemispherical chambers for accumulating fish and curved elements of the wing, whiskers, and yard, which increase the efficiency of fishing. Various schemes have been proposed for the automated pouring of the catch, which have been tested in the Ural River for the fishing of sturgeon, and examples of curved and automated ancient traps have been provided.

© Грачев А. А., 2026

The possibilities of using a new automated device for collecting and transporting fish using a flexible mesh structure in a set net have been demonstrated. Calculations have been performed to determine the catch rates for the new scheme, where the probability of fish being retained by the trap is 37.5 % for the curved trap and 23.1 % for the traditional trap, which is 61.6 % higher.

Keywords: set-nets, fishing gear patterns, curvilinear shapes, mathematical modeling of catch rates, automated unloading systems, and probability of fish retention in traps

For citation: Grachev A. A. Set-nets with curved shapes and automated unloading of catch. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):146–157. (In Russ.).

Введение

Лов рыбы стационарными орудиями отличается автоматичностью, непрерывностью, малой трудоемкостью и энергоемкостью; процесс лова хорошо управляем и может быть автоматизирован. Рыба, находящаяся в ловушке, может безпрепятственно и с наименьшими повреждениями выпущена в водоем, в случае ее не промысловой длинны или запрещенной к вылову. Размещение стационарного орудия лова на основных путях нерестовой миграции промысловых обьектов позволяет считать способ ставного сетного лова подлинно активным.

Крупномасштабный сетной лов широко используется в России и зарубежом – это тип стационарного орудия лова с ловушечными сетями, применяемый на побережье Японии, Южной Кореи, Канады и других стран. Будучи крупным пассивным орудием лова, полагающимся на активный ход мигрирующих рыб, сетной промысел считается энергоэффективным и экологически чистым по сравнению с традиционным траловым, и может обеспечить высокое качество улова, позволяя рыбакам собирать рыбу живой, не причиняя ей вреда, что дает операторам возможность повысить ценность улова за счет дополнительных возможностей. С развитием технологий ловушки становятся все более избирательными (позволяя мелкой рыбе уйти и предотвращая нежелательный вылов охраняемых рыб, млекопитающих и черепах). В целом, сетной лов ловушками в последние годы становится все более привлекательным методом рыболовства благодаря низкому энергопотреблению и незначительному воздействию на среду обитания и окружающую среду в районе промысла. Более того, конструкции ловушек позволяют автоматизировать наиболее трудоемкие процессы лова и оптимизировать их обслуживание с целью повышения эффективности.

Объекты и методы исследования

Лов большими ловушками применялся более 400 лет назад на промысловых астраханских ватагах на реке Волга, где ловили осетровых рыб (рис. 1) с элементами автоматизации вылова. Устроенная поперек реки деревянная забойка из бревен и жердей задерживала идущую на нерест рыбу (Равинский,1809). При подходе к заграждению рыба поворачивала в одну из сторон и шла вдоль стены забойки, попадая в открытую с одной стороны деревянную камеру, на дне которой размещался деревянный щит – всплываюшая подьеманя площадка, опускаемая по углам рыбаками на дно с помошью шестов и фиксирующаяся внизу специальными зацепами. Над входом в ловушку располагалась приоткрытая на 1 м от грунта вертикальная «западная дверь», которая падала, перекрывая рыбе выход из ловушки, когда та, войдя в ловушку, задевала веревочные сторожки внутри ловушки, соединенные с канатом через блок, на котором висела «дверь», и с зацепами. При этом одновременно подьемная площадка всплывала, автоматически поднимая остеровых на поверхность воды. Рыбаки выбирали улов на лодки из сработавшей ловушки и восстанавливали ловушку в рабочее полоджение, опуская подьемную площадку вниз и поднимая дверь. На ватажной забойке устравили от 6 до 12 ловушек, в зависимости от ширины реки.

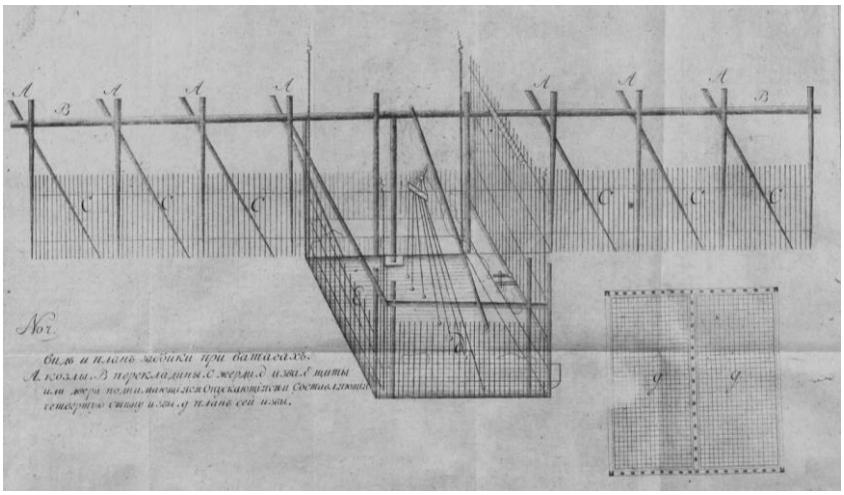


Рис. 1. Вид и план забойки при ватагах: А – козлы, В – перекладины, С – жерди, Е – щиты или двери, поднимающиеся или опускающиеся и составляющие четвертую стену, q – план избы
Fig. 1. View and plan of the slaughterhouse: A – goats, B – crossbars, C – poles, E – shields or doors that rise or fall and form the fourth wall, q – plan of the house

Подобными орудиями лова типа «Ватажная забойка» и «Учуг», где рыбу выбирали баграми из ловушек криволинейной формы в виде лабиринта, куда рыба заходила и не могла развернуться, были перегорожены все основные устья реки до 1805 г., когда был принят Правительственный Указ об их ликвидации, с целью развития судоходства и торговли с Персией.

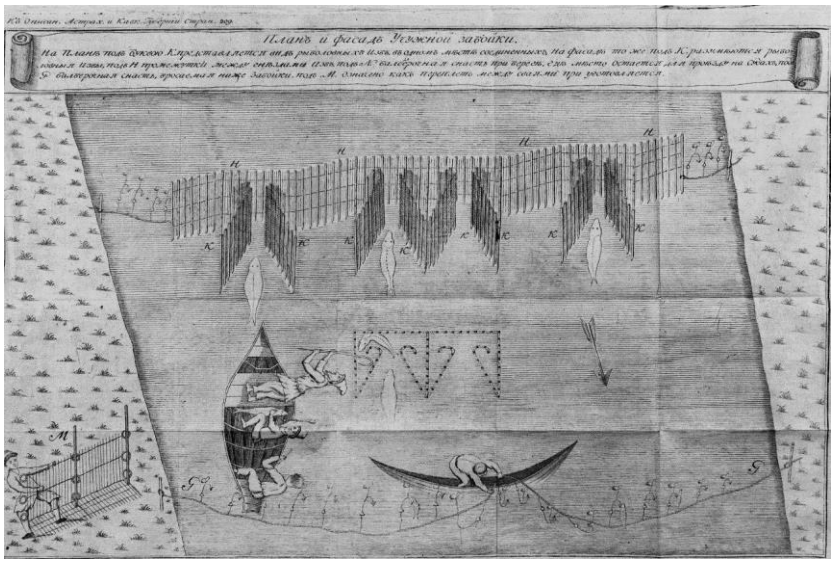


Рис. 2. План и фасад Учужной забойки: К – рыболовные избы, Н – промежутки между избами в виде забойки из свай и прикрепленных к ним, М – решеток «кошаков», N – балберочная крючковая снасть
Fig. 2. Plan and facade of the Uchuzhny fence: K – fishing huts, H – gaps between the huts in the form of a fence made of piles and attached, M – grates "koshakov", N – balber hook tackle

Автоматизированая ловушка для лова остеровых в реке Урал Н-30. ИЛАК, была спроектирована в ПТО Касптехрыбпром автором в 1984–1985 гг., проводившим в 1980–1985 гг. экспериментальные работы с макетом осетровой ловушки (Грачев ,1990; Никоноров, Духовской, Грачев, 1991), показавшим ее хорошую работоспособность (рис. 3).



Рис. 3. Экспериментальная ловушка для механизированного лова осетровых в реке Урал, 1981–1985 гг.
Fig. 3. Experimental trap for mechanized sturgeon fishing in the Ural River, 1981–1985

В качестве крыльев использовались стальные канаты диаметром 3 мм, натянутые между забитыми в грунт сваями диаметром 76-92 мм с интервалом 60-90 мм, которые создавали низкочастотные вихревые звуки в диапазоне 30-80 Гц превышающие естественные шумы реки на 20-40 дБ, задерживающие и направляющие осетровых рыб к входу в ловушку коробчатой формы с входными усынками, доставляемую на место лова и обслуживаемую с палубы катамарана (Воловова, Грачев 1992, 1993). В концевой части ловушки в нише на дне располагалась подъемная металлическая решетка. Для подъема решетки в макете использовали портал и ручную лебедку, в опытной установке электрическую лебедку (рис. 4).

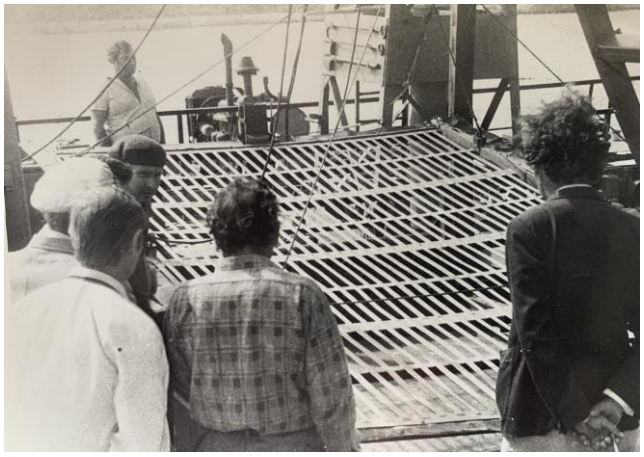


Рис. 4. Подъёмная площадка рыбоуловителя Н30-ИЛА.К в верхнем положении, автор и члены приемочной комиссии Каспрыбы, май 1986 г.
Fig. 4. Lifting platform of the H30-ILA.K in the upper position, author and members of the Kaspryba Acceptance Committee, May 1986

Управление ловом осуществлял оператор в полуавтоматическом режиме. Для концентрации рыбы в рыбоуловителе на верхних балках каркаса ловушки размерами 18 х 6 х 4,5 м и весом 12 т вместе с оборудованием для выборки улова устанавливались рельсы, по которым перемещалась каретка с вертикально опускаемой/поднимаемой побуждающей решеткой с электроприводами. В исходном положениии побуждающая решетка поднята на 1 м над полом рыбоуловителя располагается в крайнием положении у входных усынок. Цикл лова включает опускание решетки, перемещение каретки до подъемной площадки, ее подъем, наклон и выгрузка рыбы. Операция выполняется либо последовательным включением приводов, либо одной кнопкой на пульте оператора «переборка». Кнопкой «возврат» автоматически опускается подъемная площадка, после чего поднимается побуждающая решетка и каретка откатывается в крайнее рабочее положение. Цикл переборки выполнялся за 90 с. Схема работы ловушки была заимствована нами из рыбопропускных сооружений ГЭС, (Никоноров, Малеванчик, 1984), в отличие от которых нами использовались задерживающие и направляющие крылья из

канатов, устанавливаемые под углами 45–30 %, которые значительно увеличивали эффективность лова.

Исторический опыт лова осетровых рыб ватажными и учужными забойками и проведенные автором эксперименты по автоматизированному лову осетровых и других видов рыб в реках Урал и Волга показывают, что автоматизация переборки рыболовных ловушек возможна и целесообразна.

Трудоемкий метод перегрузки улова в сетном рыболовстве сталкивается с проблемами снижения производительности, эффективности и повышенного операционного риска из-за проблемы старения и нехватки рабочей силы. Для решения этих проблем в исследовании японских авторов (Дайсуке Китазава и др., 2020, 2021) было предложено новое устройство для перегрузки улова с использованием гибких пожарных шлангов и сети, которая помещается на дно камеры рыболовной ловушки. Шланги надувались воздухом, нагнетаемым в один край сачка, и сила плавучести увеличивалась: сачок постепенно всплывал, загоняя рыбу в противоположный край. Для того чтобы эффективно и безопасно загнать рыбу в угол и добыть ее, изменение параметров формирования и движения шланговой сети имеет большое значение и подробно исследовано авторами.

Результаты и их обсуждение

Результаты показали, что шланговая сеть может постепенно всплывать в идеальной форме и плавно тонуть за счет естественной вытяжки и растяжения на дне резервуара с водой. Время и средняя скорость процессов всплытия и погружения зависели от давления воздуха и скорости воздушного потока, что позволяло на практике управлять движением сетки путем регулировки воздушного потока.

В ходе испытаний по захвату живой рыбы большая часть рыбы до 78,25 % была направлена в мешок для рыбы. Также наблюдались два основных явления, связанных с неудачей при захвате. В целом авторы ожидают, что это разработанное ими автоматизированное устройство для захвата рыбы будет успешно использоваться в современном рыболовстве. Однако в настоящее время японская рыбная промышленность сталкивается с проблемой: нехваткой преемников, вызванной старением населения. При внедрении новых технологий будет достаточно нескольких рыбаков, хотя бы одного. Поэтому для решения этой проблемы необходимо разработать автоматизированную систему переборки ловушки и транспортировки улова.

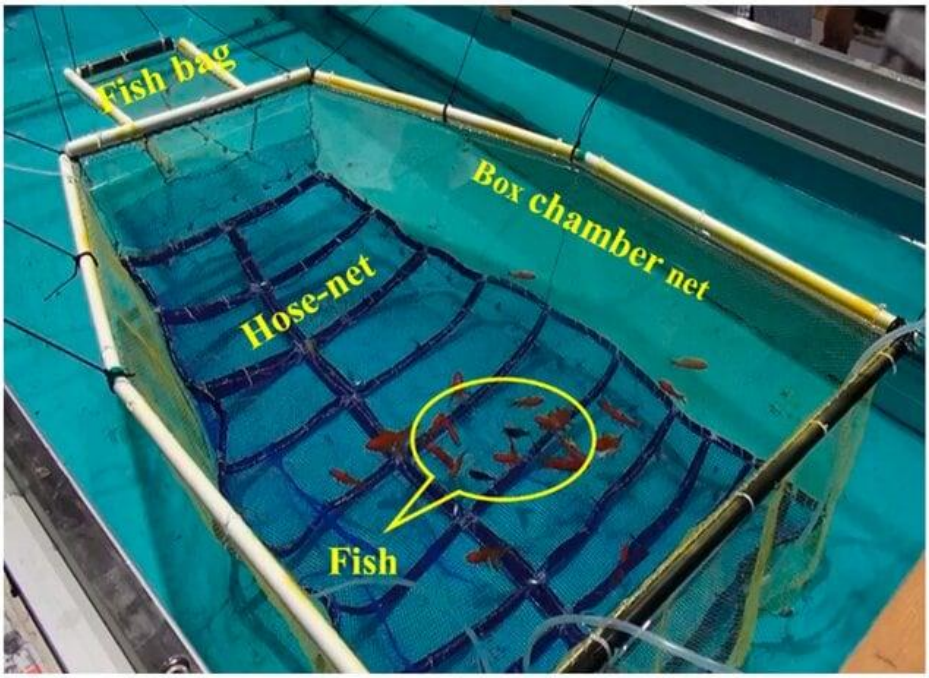


Рис. 5. Макет концевой ловушки 1 : 10 ставного невода в опытовом бассейне
Fig. 5. Layout of the 1 : 10 end trap of the shut-off seine in the experimental pool

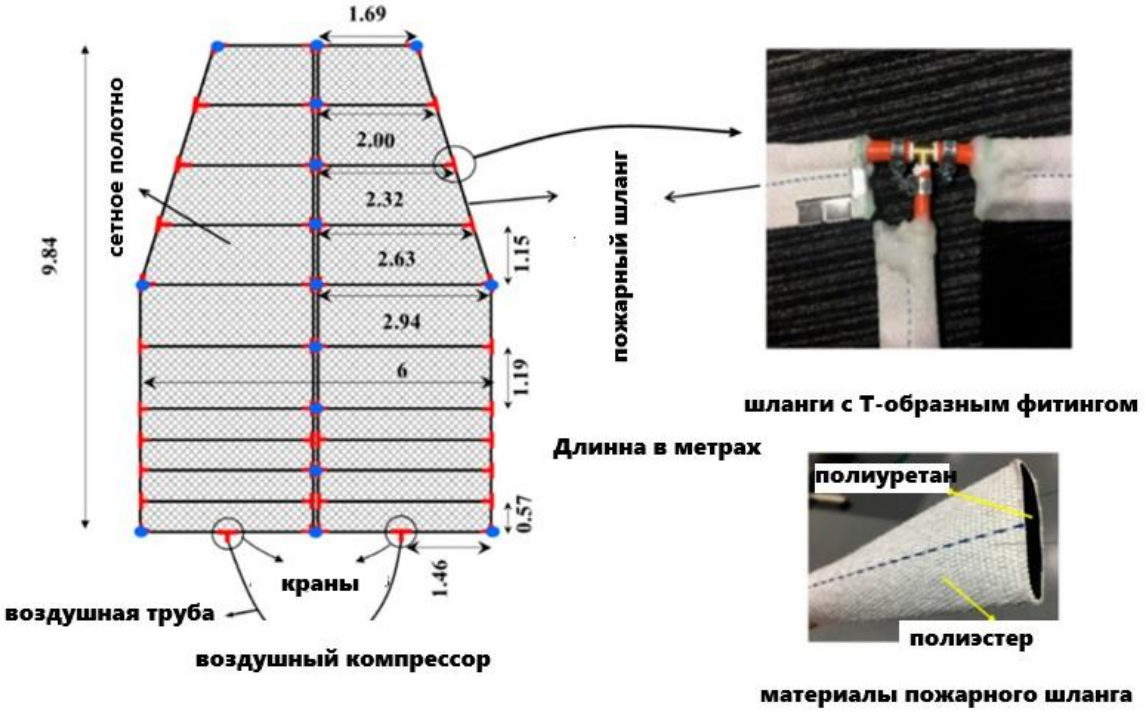


Рис. 6. Структура новой разработанной шланговой сети. Составлено автором
Fig. 6. The structure of the newly developed hose net

Были использованы три вида экспериментальных рыб: японская золотая рыбка вакин, бахромчатохвостая золотая рыбка и золотая рыбка с жемчужной чешуей размерами от 3 до 7 см. При этом опытная рыба с вероятностью до 75 % успешно перемещалась к зоне выгрузки, побуждаемая всплывающей сетной конструкцией с воздушными шлангами.

Традиционная коробчатая форма ловушки, на наш взгляд, не способствует полной выгрузке рыбы, так как в процессе переборки образуются карманы и зазоры, в которые уходит до четверти перемещаемых рыб.

При повторных переборках ловушки в реальных условиях промысла этот процесс будет возрастать, так как рыбы самообучаются.

С целью улучшения процесса побуждения рыбы в сторону сливной части шланговой сеткой и снижения доли не перемещенных рыб нам представляется целесообразным концевые коробчатые камеры ловушки выполнять в виде полусфер, при этом использовать входные тунели в виде криволинейных усынок по типу горла кувшина с переменным углом атаки сетного полотна к направлению входящей рыбы, плавно уменьшая его до паралельного расположения в конце усынок. В полусферах нет углов и карманов, и побуждающая сетка будет подниматься, перемещая рыб в выбранную сторону сегмента эффективнее, способствуя полной выгрузке улова.

На рис. 7 приведена схема наиболее распространенной японской сетной ловушки типа Отоши-Ами, где две камеры ловушки традиционной коробчатой формы заменены на полусферические с удлиненными входными устройствами криволинейной формы. Полуферическая форма не имеет углов и карманов, где может оставаться рыба при переборке, причем выгрузку можно производить в любом секторе сегмента, либо из центра ловушки, если подавать воздух от стенок по шлангу в виде спирали, при этом выгрузка рыбы может быть выполнена с помощью рыбонасосных устройств.

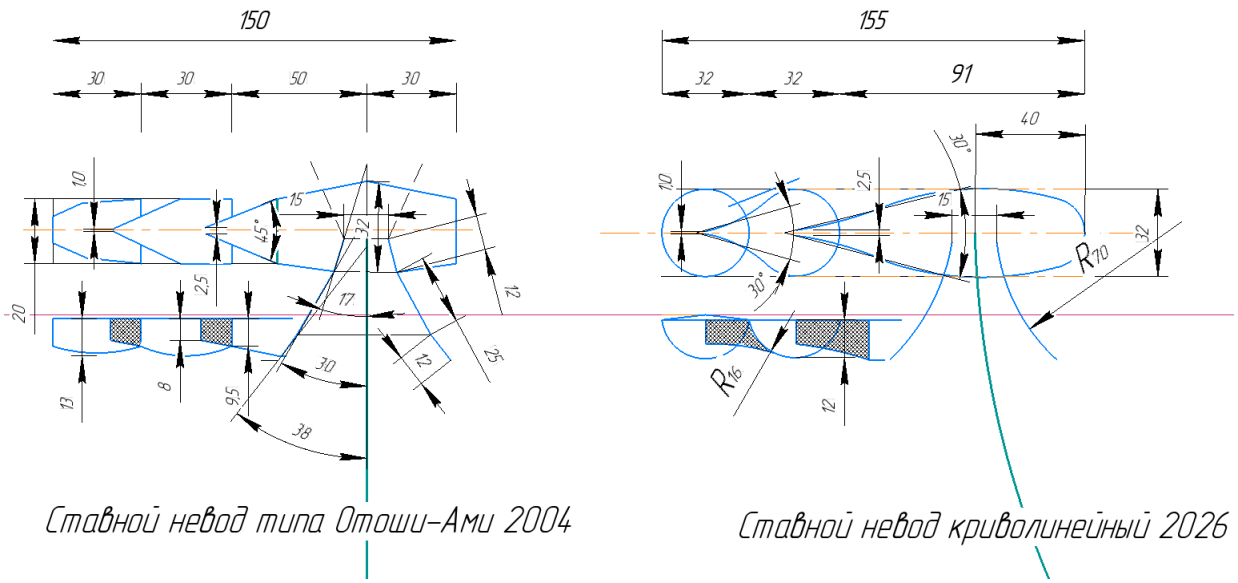


Рис. 7. Схема ставного невода типа Отоши-Ами и криволинейного ставного невода
Fig.7. Scheme of an Otoshi-Ami type set-net and curved set-net

Простые расчеты показывают, что эквивалентные по обьему традиционным коробчатым камерам ставного невода типа Отоши-Ами полусферические должны иметь диаметр 28 м, что соответствует объему около 5700 м^3. Учитывая возможность автоматизированной выгрузки улова при использовании подьемных сеток, приводимых в движение с помошью подаваемого в шланги воздуха, целесообразно увеличить диаметр до 32 м и, соответсвенно, обьем камер будет станет более 8500 м^3, вписав их в существующую систему удержания сетной части невода на плаву (каркас). В работе (Сиеджи Акиява, Сатоши Каихара, 2006) было установлено, что увеличение объема ловушек способствовало накоплению лососевых рыб (рис. 8). При этом площадь поперечного сечения на входе усынок в традиционных камерах ловушки равна 234 м^2, а в сферических – уже 308 м^2, при одинаковой площади сечения усынок в первой камере 20 м^2, а во второй 8 м^2, которая остается неизменной.

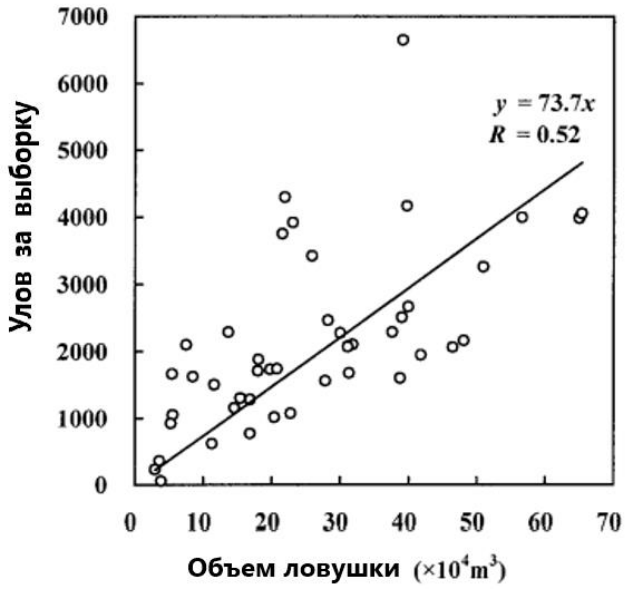


Рис. 8. Соотношение между объемом мешка-нетто и уловом лосося в расчете для крупномасштабных сетей в префектуре Иватэ
Fig. 8. The ratio between net bag volume and salmon catch calculated for large-scale nets in Iwate Prefecture

Предложеные формы и изменения конструкции ловушки, с одной стороны, позволяют эффективнее побуждать рыбу в сливную часть камеры с использованием сжатого воздуха по приведеной выше схеме японских исследователей, снижая вероятность не полной выгрузки рыбы, с другой, изменение размеров и форм ловушки, включая криволинейную форму крыла, способствет повышению эффективности лова.

Наши исследования в области математического моделирования поведения рыб в ловушках показали, что вероятность нахождения рыбой выхода зависит от отношения площади входного устройства к поперечной площади ловушки, а также от угла установки усынок к диаметральной плоскости ловушки (углу встречи рыбы с сетной стенкой входных усынок). Удерживающую способность ловушки Q в зависимости от углов установки открылков α и относительной величины площади входного устройства к площади поперечного сечения камеры можно определить как разницу между вероятностью входящей и выходящей рыбы (Грачев, 2012).

$$Q = [(1 - Sg)/S][[(1 + \cos\alpha)/2] - [(1 - \cos\alpha)/2]]e^{-k(Sg)}. \quad (1)$$

Данные расчетов показывают, что с уменьшением относительной площади входного устройства и углов установки усынок вероятность удержания рыб в ловушке возрастает, при этом необходимо учитывать, что уменьшение площади входного устройства заметно снижает вероятность прохода рыбы в ловушку, поэтому целесообразно обеспечивать достаточно большую площадь поперечного сечения ловушки исходя из вида рыб и размеров стаи.

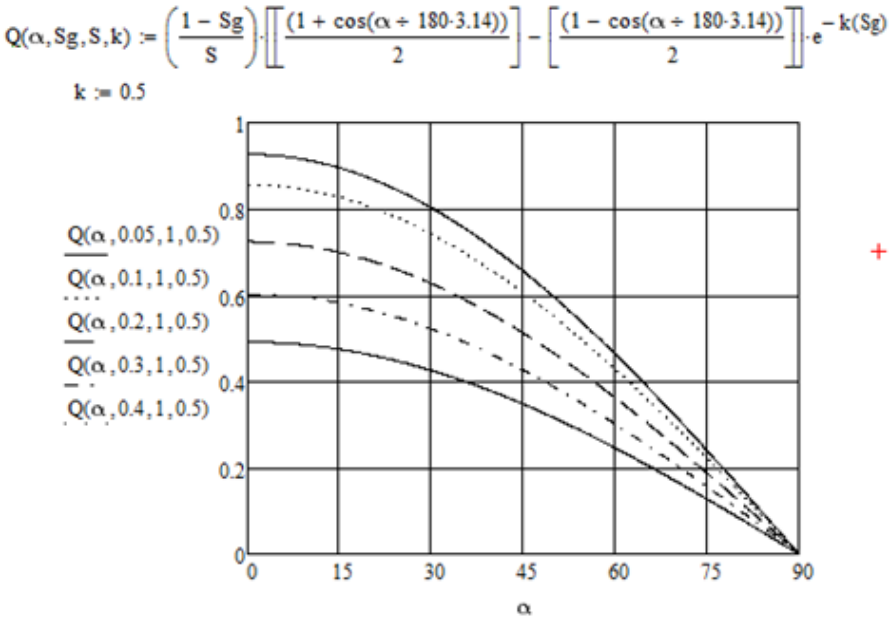


Рис. 9. Зависимость коэффициента удерживающей способности камеры ловушки Q = f (α, Sg, S, k) от относительной величины площади входного устройства усынок Sg к площади поперечного сечения камеры S и угла установки усынок к направлению перемещения рыб α

Fig. 9. Dependence of the retention coefficient of the trap chamber Q = f (α, Sg, S, k) on the relative size of the area of the inlet device of the entrance device Sg to the cross-sectional area of the chamber S and the angle of installation of the entrance device to the direction of movement of the fish α

Для традиционных коробчатых камер вероятность удержания рыбы Q в соответсвии с формулой (1) составляет для первой камеры 64 %, для второй – 71 %, а в случае полусферической формы 77 и 0,84 % соответственно. При этом для дворов этот показатель равен 51 и 58 % соотвественно. Таким образом, вероятность удержания рыб традиционной ловушкой равна 23,1 %, а криволинейной – 37,5 %, что на 61,6 % выше.

Вероятность направления рыб криволинейном крылом к входу в ловушку (Грачев, Грачев, 2013) мы оцениваем до 65 %, против 50 % прямым крылом, перпендикулярным береговой линии в соответсвии с формулой

$$Q(b) := \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\left[1 + \cos\left[\alpha - i\cdot\left(b\cdot\frac{\pi}{180}\right)\right]\right]\cdot e^{-kL}\cdot z(i)\cdot \sin\left[\alpha - i\cdot\left(b\cdot\frac{\pi}{180}\right)\right]}{2n}, \quad (2)$$

где L – длина крыла; k – коэффициент, учитывающий долю рыб, идущих вдоль крыла, которая дойдет до входа в ловушку; α – начальный угол установки крыла (береговой секции); n – количество секций крыла; i – номер секции; z – закон распределения плотности рыбы; b – угол между соседними секциями; b0 – оптимальный угол между двумя смежными секциями.

Как мы ранее показали, веротяности направления рыб крыльями зависят от углов и способов их установки.

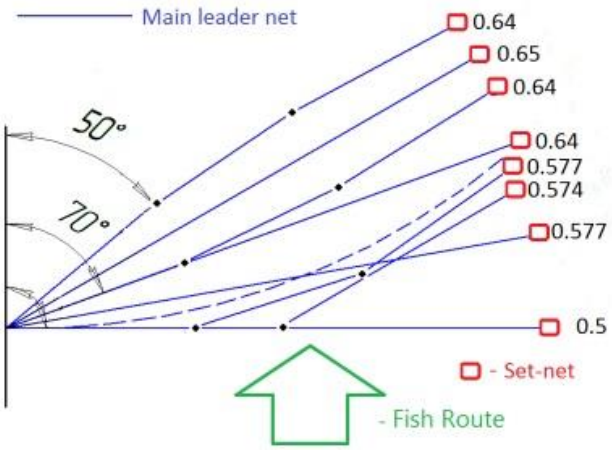


Рис. 10. Значение относительных долей рыб, направляемых крыльями в ловушку при различных схемах установки

Fig. 10. The value of the relative proportions of fish guided by the wings into the trap under various installation schemes

С учетом изменений конструктивных элементов полная уловистость традиционной ловушки оценивается нами как произведение вероятностей направления рыб в ловушку крылом и удержания рыб на разных этапах лова (Грачев, Мельников, 2006) без учета ухода через сетное полотно и другими способами величиной 13 %, а криволинейной 22 %. При этом мы не учитывали криволинейную форму всех усынок, которая, с одной стороны, повышает вероятность входа рыбы в камеру, с другой, снижает вероятность ее выхода в сравнении с традиционными прямыми. Необходимо отметить, что японские рыбаки в схемах неводов типа Отоши-Ами используют входные усынки во двор из трех секций с постепенным уменьшением угла атаки с 40 до 15 градусов, приближая их форму к криволинейной и увеличивая вероятность захода рыб во двор. Эту практику считаем целесообразно перенести и на остальные элементы конструкции, включая пары усынков и «подъемных дорог», плавно уменьшая углы их установки до параллельных друг другу и поверхности воды, как показано на нашей схеме.

Таким образом, рыболовная ловушка с криволинейными элементами в виде полусферических камер с криволинейнми усынками, двором и крылом с автоматизацией выгрузки улова будет обладать увеличенной до 60 % уловистостью в сравнении с традиционной ловушкой коробчатой формы и способствовать эффективной выгрузке улова. Кроме того, полусферическая форма камер и эллипсоидная форма двора ловушки с криволинейными усынками и крылом будут иметь значительно меньшее гидродинамическое сопротивление течению, лучшую штормоустойчивость при любом направлении, сохраняя работоспособность в свежую погоду. Проектирование и изготовление сетных камер в виде полусфер не представляется трудоемким и сложным, кроме того, поверхность сферы всегда меньше коробчатой аналогичного обьема, в связи с чем расход сетематиалов может быть снижен, а остальные элементы силового каркаса

невода могут оставаться без изменений. Дополнительно в новую схему ловушки следует включить гидроакустические датчики для оценки концентрации рыбы в камерах с целью оптимизации процессов выгрузки улова, которые в послдние годы широко применяют японские рыбаки.

Заключение

Предложена инновационная схема ставного невода с полусферическими камерами и криволинейными крыльями и усынками с увеличенной вероятностью лова рыб до 60 % в сроавнении с традиционной коробчатой, позволяющая надежнее выполнять автоматизированные операции по вызрузке рыбы в любую сторону сегмента полусферы, применяя шланговые сетные системы при подаче сжатого воздуха.

Благодарности

Выражаю признательность профессору Дайсукэ Китазава, доктору технических наук, профессору Токийского университета в Касиве, автору статьи «Исследование эффективности и целесообразности использования нового автоматизированного устройства для сбора и транспортировки рыбы с помощью гибкой сетчатой конструкции в ставном неводе» за отзыв на наши предложения по криволинейной форме ловушек.

«Большое спасибо за ваши ценные замечания. Несмотря на то, что в нашей статье речь идет об общей форме ловушечной сети, в зависимости от вида рыбы используются различные формы сетей. В настоящее время мы сосредоточены на разработке системы, которую можно будет использовать с существующими коробчатыми сетями. Однако в будущем ловушечный промысел может претерпеть изменения. Форма сетей может существенно измениться, а в самих сетях может отпасть необходимость. (Несколько сотен лет назад коробчатые сети не использовались.) Я надеюсь, что ваша инновационная идея получит дальнейшее развитие!» С наилучшими пожеланиями, Дайсукэ

Acknowledgments

I would like to express my gratitude to Professor Daisuke Kitazawa. Doctor of Engineering, Professor at The University of Tokyo, Kashiwa, Japan, the author «Performance and Feasibility Study of a Novel Automated Catch-Hauling Device Using a Flexible Hose Net Structure in Set-Net» for your feedback on our suggestions on the curved shape of traps.

«Thank you very much for your valuable comments. Although our paper focuses on a general shape for the box chamber net, various forms of the net are used depending on the fish species. We are currently focusing on developing a system that can be used with existing box chamber nets. However, set-net fishery may be reformed in the future. The shape of box chamber nets may change significantly, or box chamber nets may no longer be necessary. (We did not use a box chamber net a few hundred years ago.) I hope that your innovative idea will develop more!» With best regards, Daisuke

Список источников

1. Равинский И. В. Хозяйственное описание Астраханской и Кавказской губерний по гражданскому и естественному их состоянию в отношении к земледелию, промышленности и домоводству / Сочиненное по начертанию Императорского Вольного экономического общества высочайше одобренному, и тщанием и иждивением оного Общества изданное. Санкт-Петербург : Императорская тип., 1809. VI, 527, XIV, [1] с., [13] л. ил., пл., черт., карт., табл. ; 19,8 х 12,7 см.

2. Грачев А. А. О целесообразности замены речного закидного невода ловушкой // Рыбное хозяйство. 1990. № 12. С. 99.

3. Никоноров И. В., Духовской В. В., Грачев А. А. О возможности лова осетровых стационарными установками // Рыбное хозяйство. 1992. № 11. С. 91–92.

4. Воловова Л. А., Грачев А. А. Применение вибрирующих в потоке воды элементов для направления нерестующих рыб в рыбоуловители // Доклады научно-технического симпозиума «Использование физических раздражителей в целях развития морского рыбного промысла». М., 1992. С. 93–94.

5. Воловова Л. А., Грачев А. А. Аномалии низкочастотного акустического поля направляющих крыльев рыбоуловителя «Н30-ИЛАК» // Сб. научных трудов ВНИРО. М., 1993. С. 94-99.

6. Малеванчик Б. С., Никоноров И. В. Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. 256 с.

7. Грачев А. А., Мельников В. Н. Промыслово-экологические проблемы повышения эффективности использования запасов промысловых рыб : монография. Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2006. 207 с. ISBN 5-88200−939−1.

8. Грачев А. А. Оценка показателей вероятности задержания и направления рыб крылом ловушки // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2012. № 1. С. 30–35.

9. Грачев А. А. Оценка уловистости ловушки с учетом времени застоя // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2012. № 1. С. 36–43.

10. Грачев А. А., Грачев Д. А. Новый способ установки крыла ставного невода // Научные Труды Дальрыбвтуза. 2013. Т. 28. С. 44–49.

11. Грачев А. А., Сокольский А. Ф., Рабазанов Н. И., Курбанов М. С., Вагабова Н. А-В. Эколого-биологическое и техническое обоснование рационального промысла биоресурсов в Каспийском море. Махачкала : Издательство ДГУ, 2024. 206 с.: ил. ISBN 978-5-9913-0282.

12. Grachev A. A. (2024) Theoretical Foundations of Effective Trap Fishing, 65. https://www.researchgate.net/publication/380185091.

13. Li Q., Li Y., Mizukami Y., Dong S. C., Yoshida T., Kitazawa D. Experimental Study on Fish-Harvest Performance of the Flexible Hose Net. In Proceedings of the ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Virtual, 3–7 August 2020. OMAE2020-18513.

14. Li Q., Li Y., Mizukami Y., Dong S. C., Yoshida T., Kitazawa D. Performance and Feasibility Study of a Novel Automated Catch-Hauling Device Using a Flexible Hose Net Structure in Set-Net. September 2021 Journal of Marine Science and Engineering (JMSE) 9(9):1015 https://www.researchgate.net/publication/354663707.

15. Seiji Akiyama, Satoshi Kihara. Accumulation performance of large-scale set nets in Iwate Prefecture for chum salmon Oncorhynchus keta Nihon-Suisan-Gakkai-Shi, July 2006. https://www.ResearchGate.net/publication/238449490.

16. Li, Q.; Dong, S.; Furuichi, D.; Mizukami, Y.; Kitazawa, D. Water-Tank and Semi-Field Experimental Investigation of a Hose Net Fish-Hauling Device for Next-Generation Set-Net Fishing. J. Mar. Sci. Eng. 2024, 12.

Сведения об авторе

А. А. Грачев – кандидат технических наук, доцент, член президиума Астраханского регионального отделения ООО «Всероссийское общество охраны природы».

Information about the author

A. A. Grachev – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Member of the Presidium Astrakhan Regional Branch of the All-Russian Society for Nature Conservation LLC.

Статья поступила в редакцию 04.08.2026; одобрена после рецензирования 28.08.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 04.08.2026; approved after reviewing 28.08.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Грачев А. А., 2026.

«Ставные невода с криволинейными формами и автоматизированной выгрузкой улова» [Грачев А. А.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 158–168.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья
УДК 581.526 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-14 EDN: QSRVIE

Оценка состояния фитопланктона дельты Волги

Татьяна Николаевна Зимина [1], Вячеслав Федорович Зайцев [2], Владимир Александрович Чаплыгин [3], Татьяна Сергеевна Ершова [4], Наталья Георгиевна Шабоянц [5]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Волжско-Каспийский филиал («КаспНИРХ»), Астрахань, Россия
[2, 3, 4] Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия
[5] Астраханский государственный медицинский университет, Астрахань, Россия
[1] tanyshka_0704@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2095-8035
[2] Viacheslav-zaitsev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6350-2129
[3] wladimirchap@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-0509-702X
[4] Ershova.tsp@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4089-6115
[5] shaboyants@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8615-0517

Аннотация. Фитопланктон играет важную роль в экосистеме реки. Он составляет кормовую базу ценных видов рыб дельты Волги. Развитие фитопланктона определяет биологическую продуктивность и качество воды. Кроме того, он участвует в естественном самоочищении водоёма. Фитопланктон, его структура и функционирование во многом определяют ее состояние. Для оценки изменений показателей фитоценоза необходимо первоначально провести анализ качественного состава организмов. В статье исследован видовой состав фитопланктонных организмов, определено количество видов в летний и осенний период. Сравнение показателей определяет доминирующую группу микроводорослей, которой на всем этапе были диатомовые водоросли. Группы синезеленых и зеленых водорослей включали меньшее число видов и выступали субдоминантами. Данные по соотношению экологических групп водорослей необходимы для регистрации изменений альгофлоры. Экологические комплексы фитопланктона включали пресноводные, солоноватоводно-пресноводные, солоноватоводные и морские виды по происхождению. Преобладали пресноводные виды, так как диатомовые водоросли в большей степени определяли качественный состав, соответственно, формировали и экологическое соотношение групп фитоценоза. Приведенные результаты исследований количественного состава фитопланктона позволяют проанализировать развитие кормовой базы, что необходимо при изучении всех последующих звеньев трофической цепи. Количественный состав фитопланктона, включая численность и биомассу, изучен постанционно. Определен максимум развития, который в летний период приходился на станции «Порт Оля» и «Остров Большой», а в осенний – на станцию 2 («Волга-Порт»). Проведен сапробиологический анализ, установлен индекс, который соответствует умеренному загрязнению вод, где идут процессы самоочищения для Астраханского морского порта. Воды Волго-Каспийского морского канала относятся к зоне «Чистой воды». Фитопланктон исследованных районов Волго-Каспийского бассейна развивался без существенных различий в отношении многолетних данных, довольно разнообразное качественное и высокое количественное развитие способствует формированию приемлемой кормовой базы.

Ключевые слова: фитопланктон, сапробность, таксономический состав, количественное развитие, диатомовые водоросли

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-68-00031, https://rscf.ru/project/25-68-00031/.

© Зимина Т. Н., Зайцев В. Ф., Чаплыгин В. А., Ершова Т. С., Шабоянц Н. Г., 2026

Для цитирования: Зимина Т. Н., Зайцев В. Ф., Чаплыгин В. А., Ершова Т. С., Шабоянц Н. Г. Оценка состояния фитопланктона дельты Волги // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 158–168.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 158–168.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Assessment of the condition of phytoplankton in the Volga delta

Tatyana N. Zimina [1], Vyacheslav F. Zaitsev [2], Vladimir A. Chaplygin [3], Tatyana S. Ershova [4], Nataya G. Shaboyants [5]

[1] Volga-Caspian Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Astrakhan, Russia

[2, 3, 4] Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

[5] Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia

[1] tanyshka_0704@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2095-8035

[2] Viacheslav-zaitsev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6350-2129

[3] wladimirchap@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-0509-702X

[4] Ershova.tsp@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4089-6115

[5] shaboyants@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8615-0517

Abstract. Phytoplankton plays a vital role in the river ecosystem. It provides food for valuable fish species in the Volga Delta. Phytoplankton development determines biological productivity and water quality. Furthermore, it participates in the natural self-purification of the reservoir. Phytoplankton, its structure, and functioning largely determine its condition. To assess changes in phytocenosis parameters, it is necessary to first analyze the qualitative composition of organisms. This article examines the species composition of phytoplankton organisms and determines the number of species in summer and autumn. A comparison of these parameters reveals the dominant group of microalgae, which was diatoms throughout the entire period. Blue-green and green algae groups included fewer species and acted as subdominants. Data on the ratio of ecological groups of algae is necessary for recording changes in the algal flora. Phytoplankton ecological complexes included freshwater, brackish-freshwater, brackish-water, and marine species by origin. Freshwater species predominated, as diatoms largely determined the qualitative composition and, accordingly, shaped the ecological relationships of phytocoenosis groups. The presented results of studies of the quantitative composition of phytoplankton allow us to analyze the development of the food supply, which is necessary when studying all subsequent links in the food chain. The quantitative composition of phytoplankton, including abundance and biomass, was studied station by station. A peak in development was determined, which occurred in the summer at Port Olya and Ostrov Bolshoy stations, and in the autumn at Station 2 (Volga-Port). A saprobiological analysis was conducted, and an index corresponding to moderate pollution of waters where self-purification processes occur was established for the Astrakhan Seaport. The waters of the Volga-Caspian Sea Canal have been designated a “Clean Water” zone. Phytoplankton of the studied areas of the Volga-Caspian basin developed without significant differences in relation to long-term data; a fairly diverse qualitative and high quantitative development contributes to the formation of an acceptable food base.

Keywords: phytoplankton, saprobity, taxonomic composition, quantitative development, diatoms

Financial Support: this work was supported by the Russian Science Foundation under grant № 25-68-00031, https://rscf.ru/en/project/25-68-00031/.

For citation: Zimina T. N., Zaitsev V. F., Chaplygin V. A., Ershova T. S., Shaboyants N. G. Assessment of the condition of phytoplankton in the Volga delta. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):158–168. (In Russ.).

Введение

Фитопланктон дельты Волги имеет важное рыбохозяйственное значение, поскольку он является основным источником питания для множества промысловых видов рыб, и особенно на ранних этапах развития и роста. Численность и разнообразие фитопланктонных сообществ оказывает влияние на устойчивость рыбных запасов. Высокая продуктивность фитопланктона способствует увеличению промысловых биоресурсов, что имеет важное значение для экономики региона. Исследования видового состава фитопланктонных сообществ позволит лучше понять динамику экосистемы и дать оценку изменениям, происходящим в ней. В последнее время антропогенное влияние на водную экосистему и фитопланктон в частности Нижней Волги характеризуется усилением влияния отдельных отраслей (в частности, нефтегазового комплекса в дельте), ухудшением состояния флота, сопровождающимся периодическими разливами нефтепродуктов, сбросом в водоемы промышленных и бытовых сточных вод, значительным поступлением загрязняющих веществ из рассеянных источников и др. [1, 2]. По изменениям численности, видового состава и биомассы фитопланктона можно обнаружить экологические проблемы в водоёме, в том числе связанные с загрязнением токсическими веществами [3].

На основании вышесказанного целью исследования являлось оценить состояние фитопланктона дельты Волги в летний и осенний периоды по показателям видового разнообразия, численности и биомассы.

Объекты и методы исследований

Отбор проб для научно-исследовательской работы осуществлялся в летний и осенний периоды в 2025 г., по маршруту: Астраханский морской порт (5 станций: ст. «Грузовой порт», ст. «Волга-порт», ст. «Остров», ст. «Астраханский порт», ст. «Армада») – Волго-Каспийский морской судоходный канал (6 станций: ст. «Остров Большой», ст. «Порт им. Ленина», ст. «Нефтебаза (напротив Асадуллаева)», ст. «Ниновка», ст. «Порт Оля», ст. «Трудфронт»).

Сбор и обработка проб проводились, основываясь на руководстве по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений [4], с соблюдением требований РД 51-01-11-85[5]. Отбор проб производился батометрическим методом. Пробы отбирали в стеклянную тару 0,5 л, фиксировали 40 % раствором формалина, доводя до 4 %. Каждая проба снабжается этикеткой, на которой указывают название водного объекта, номер станции, глубину, орудие лова, дату сбора. Этикетка пишется на пергаментной бумаге и вкладывается под прокладку крышки. Обработка проб проводится в лабораторных условиях, с предварительным отстаиванием в течение 10–14 дней, затем при помощи стеклянного сифона сливается поверхностный слой воды до объема 50–100 мл. Оставшуюся часть концентрировали с помощью центрифуги. После отстаивания остаток пробы в 10–15 мл переливают в склянку. Туда же сливают воду после ополаскивания стенок сосуда, в котором происходило осаждение.

Пробу просматривают два раза. В первом просмотре определяют качественный состав фитопланктона. Для определения видовой принадлежности водорослей использованы определители [6, 7].

Количественный анализ проводили путем просчета клеток всех встреченных видов и производили замеры необходимых параметров для последующего вычисления объема клеток. Форма клетки того или иного вида приравнивалась к наиболее близкой по форме геометрической фигуре [8]. В результате массовых промеров определяли средние размеры клеток и объем клетки данного вида. Все расчеты численности и биомассы проводили на кубический метр воды для каждого вида водорослей. Определение индекса сапробности производилось на основе метода Пантле и Букка в модификации Сладечека. Данный метод основан на характеристике степени загрязнения индексом сапробности (S). Определив индикаторную значимость (s) для олигосапробов, α-мезосапробов и β-мезосапробов, устанавливается частота встречаемости данных видов в общем фитосоставе [9]. На основе вышеизложенного рассчитывается индекс сапробности с применением формулы

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{N}(s_i \cdot h_i)}{\sum_{i=1}^{N} h_i},$$

где N – число выбранных видов-индикаторов; hi – относительная численность i-го вида; si – индивидуальный индекс сапробности i-го вида. С учетом индекса сапробности определяется класс качества вод [10].

Результаты и их обсуждение

В летний период качественный состав на всех станциях включал 80 видов фитопланктона из 4 групп водорослей. Преобладали диатомовые водоросли, группы зеленых и синезеленых развивались в равной степени, среди динофлагилят встречен лишь один представитель группы (рис. 1).

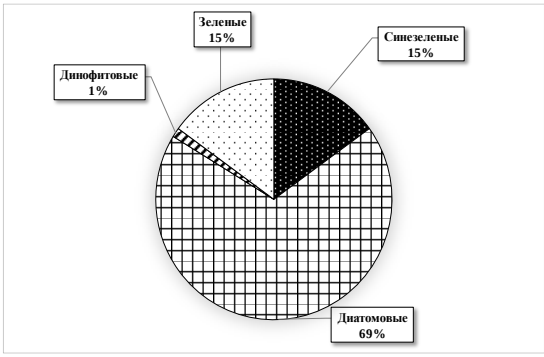


Рис. 1. Качественный состав фитопланктона в среднем по станциям в летний период. Составлено авторами

Fig. 1. Qualiative composition of phytoplankton by stations in summer. Compiled by the authors

В распределении групп фитопланктона на изучаемых станциях существенных различий в летний период в развитии фитоценоза не обнаружено. Повсеместно доминировали диатомовые водоросли, и число видов этой группы не сильно разнилось от 13 до 17 видов на станции, при этом максимальное качественное их развитие наблюдалось у станции «Трудфронт» (24 вида), а наименьшее – у «Нефтебазы (напротив Асадуллаева)» (8 видов). Развитие группы синезеленых было незначительным. Практически так же развивались зеленые водоросли; на станциях «Астраханский порт», «Порт им. Ленина», «Порт Оля», «Трудфронт» число видов этой группы было немного выше, чем на остальных станциях (рис. 2).

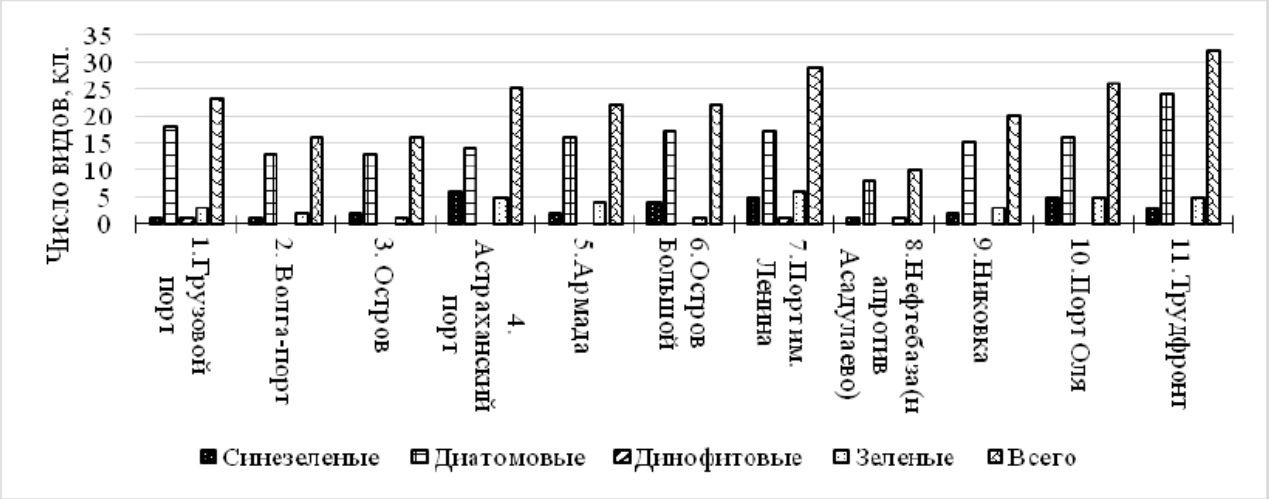


Рис. 2. Качественный состав фитопланктона на станциях в летний период. Составлено авторами

Fig. 2. Species diversity phytoplankton at the stations in summer. Compiled by the authors

Экологические комплексы исследуемых участков (станций) летом чаще были представлены видами пресноводного или же солноватоводно-пресноводного происхождения, что соответствует данным прошлых исследований [11] (рис. 3).

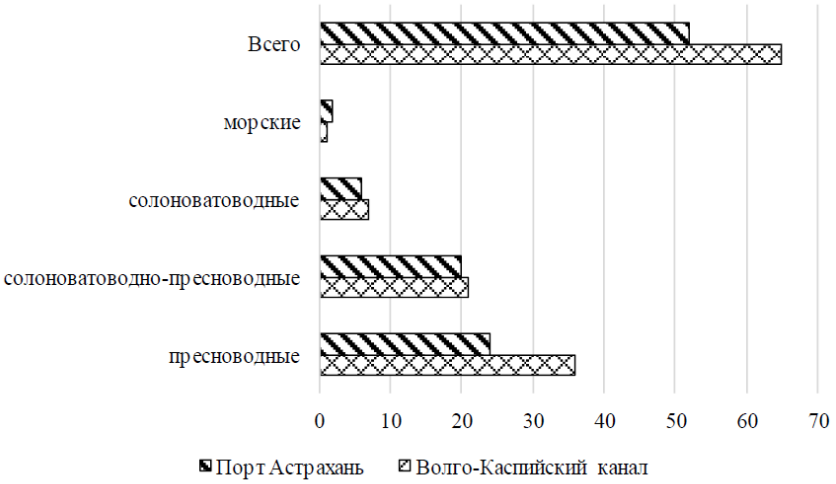


Рис. 3. Экологический комплекс фитопланктона изучаемых станций в летний период. Составлено авторами

Fig. 3. Ecological complex of phytoplankton at the studied stations in summer. Compiled by the authors

В летний период количественный состав фитопланктона изучаемой акватории в среднем составил 0,1 г/м^3 по биомассе и 109,3 млн кл./м^3 по численности. Доминирующие по качеству диатомеи преобладали и в количественном составе как в численности, так и в биомассе. Преобладание диатомовых водорослей на станциях изучаемой акватории зависело в основном от активной вегетации двух нитчатых видов микроводорослей – *Aucolosira granulata* и *Sceletonema subsalsum*. Развиваясь массово на всех станциях, эти виды занимали значительную долю общих показателей. Наибольшее развитие *A. granulata* наблюдалось на станции 10 («Порт Оля»), ее численность занимала 80 % общей численности станции, а биомасса почти 70 % общей на станции. По данным авторов, среди группы синезеленых водорослей чаще встречалась *Oscillatoria* sp., а среди зеленых – *Binuclearia lauterbornii*. Эти виды довольно часто являются доминантами и по литературным данным [12] (табл. 1).

Таблица 1

Численность фитопланктона исследуемых станций в летний период (млн кл./м^3)

Table 1

Phytoplankton abundance at the stations studied in summer (mil. cel./ m^3)

Численность по станциям	1.Грузовой порт	2.Волга-порт	3.Остров	4.Астраханский порт	5.Армада	6.Остров Большой	7.Порт им. Ленина	8.Нефтебаза (напротив Асадула-	9.Никовка	10.Порт Оля	11.Трудфронт
Синезеленые			1,8	6,7	0,2	2,6	1,2	0,8	2,2	1,0	0,9
Диатомовые	91,8	42,8	34,8	83,0	119,4	185,0	47,0	85,4	83,8	263,2	90,0
Зеленые	7,0	2,6	5,6	5,1	4,8	2,0	6,4	5,6	9,8	4,8	5,4
Всего	98,8	45,4	42,2	94,8	124,4	189,6	54,6	91,8	95,8	269,0	96,3

Наиболее высокие биомассы наблюдались на станциях «Остров Большой» и «Порт Оля», определение уровня развития биомасс основано на литературных данных [13]. Фитоценоз здесь отличался от прочих станций значительными показателями видов *Navicula cryptocephala* и *Amphora ovalis*, их биомасса занимала 27 и 28 % общей на станции соответственно. Биомасса *A. granulata* здесь также достигала высоких значений (более 25 % общей массы). Динофитовые водоросли были встречены лишь при изучении качественного состава и не встречались в количественном (табл. 2).

Таблица 2

Биомасса фитопланктона исследуемых станций в летний период (г/м^3)

Table 2

Phytoplankton biomass at the stations studied in summer (g/m^3)

Биомасса по станциям	1.Грузовой порт	2.Волга-порт	3.Остров	4.Астраханский порт	5.Армада	6.Остров Большой	7.Порт им. Ленина	8.Нефтебаза (напротив Асадула-)	9.Никовка	10.Порт Оля	11.Трудфронт
Синезеленые			0,003	0,004	0,004	0,006	0,002	0,0008	0,001	0,02	0,03
Диатомовые	0,09	0,04	0,05	0,08	0,1	0,3	0,06	0,08	0,1	0,2	0,09
Зеленые	0,0001	0,0002	0,0001	0,0004	0,0001	0,0001	0,002	0,0001	0,006	0,004	0,001
Всего	0,09	0,04	0,005	0,08	0,1	0,3	0,07	0,08	0,1	0,3	0,1

Относительно многолетних данных значительных изменений не зафиксировано [2, 11, 14]. Наибольшая численность отмечена на станции «Порт Оля», а биомасса, кроме этого, и у станции «Остров Большой».

В осенний период качественное разнообразие фитопланктона исследуемой акватории увеличилось и составило 109 видов из пяти групп фитопланктона. Как и в летний период, осенью количество видов в группе диатомовых было наибольшим, составив 54 таксономических единицы. В группе зеленых водорослей присутствовали 29 видов. Менее активно развивались синезеленые водоросли, включая 19 таксонов, и лишь 5 видов было обнаружено в группе динофлагилят. Эвгленовые водоросли встретились в двух экземплярах (рис. 4).



Рис. 4. Видовое разнообразие фитопланктона на станциях в осенний период. Составлено авторами
Fig. 4. Qualiative composition of phytoplankton at the stations in autumn. Compiled by the authors

Качественное развитие фитопланктона осенью не сильно разнилось от станции к станции. Наибольшее число видов зафиксировано на станции 5 (41 вид), наименьшее – на станции 9 (25 видов) (рис. 5).

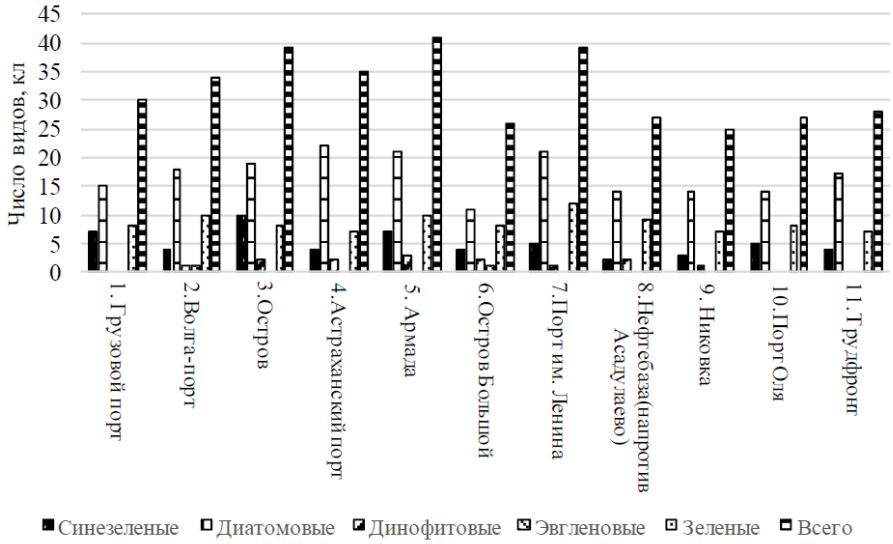


Рис. 5. Видовое разнообразие фитопланктона на станциях в осенний период. Составлено авторами
Fig. 5. Species diversity phytoplankton at the stations in autumn. Compiled by the authors

В экологических комплексах осенью преобладающими были виды пресноводного происхождения, в связи с развитием пресноводных зеленых водорослей, которые чаще всего формируют пресноводный комплекс исследуемой акватории [15]. Виды солоноватоводно-пресноводного происхождения субдоминировали по развитию и состояли в основном из группы диатомовых водорослей (рис. 6).

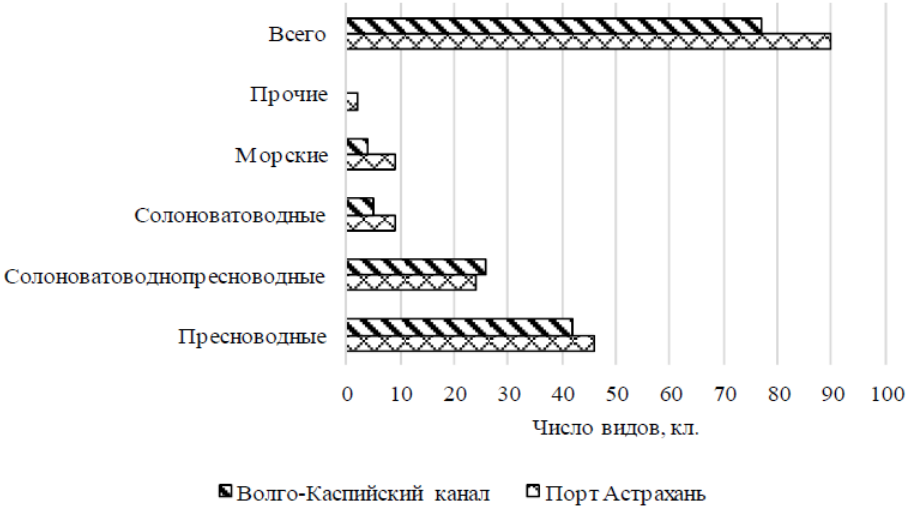


Рис. 6. Экологические комплексы фитопланктона на станциях в осенний период. Составлено авторами
Fig. 6. Ecological complex of phytoplankton at the studied stations in autumn. Compiled by the authors

Количественные показатели в осенний период на исследуемой акватории в среднем составили 0,6 г/м^3 по биомассе и 447,5 млн кл./м^3 по численности.

Диатомовые водоросли занимали более 90 % как общей численности, так и биомассы. На участке «Порт» среди видов диатомовых водорослей массово развивалась *Sceletonema subsalsum*, дополняли количественные показатели такие виды, как *Aulacoseira granulata, Synedra ulna* и *Thalassionema nitzschioides*. На участке «Волго-Каспийский канал» значительно развивались виды рода Stephanodiscus, повлиявшие на биомассу группы, и *Aulacoseira granulata*, влияющая на численность.

На всей акватории динофитовые водоросли занимали лишь 1 % общей биомассы и менее 1 % общей численности. Среди видов группы чаще встречался вид *Prorocentrum cordatum,*

являющийся ранее доминантом группы по многолетним данным [16]. А количественные показатели синезеленых водорослей были связаны с активным развитием вида *Oscillatoria sp*., которая занимала 75 % численности группы.

Количественное развитие группы зеленых водорослей на участке «Порт Астрахань» формировалось в основном за счет вегетации *Binuclearia lauterbornii,* видов рода *Ankistrodesmus, Actinastrum* и *Scenedesmus.* Те же представители выделялись и на участке «Волго-Каспийский канал», значительно развивался вид *Actinastrum hantzschii v. gracile.*

Единственным представителем группы эвгленовых был вид *Euglena viridis*, количественное развитие которого зафиксировано на участке «Волго-Каспийский канал».

Наибольшие показатели численности зафиксированы на станции 2 (1119,2 млн кл./м^3). Именно здесь активно развивалась *S. subsalsum,* занимая более 80 % численности группы диатомовых водорослей. Значительные показатели численности отмечены на станции 7 (798,0 млн кл./м^3) за счет развития видов *Stephanodiscus binderanus* и *A. granulata*. На остальных станциях численность изменялась в пределах от 251,4 до 462,4 млн кл./м^3 (табл. 3).

Таблица 3

Численность фитопланктона исследуемых станций в осенний период (млн кл./м^3)

Table 3

Phytoplankton abundance at the stations studied in autumn (mil. cel./ m^3)

Численность по станциям	1.Грузовой порт	2.Волга-порт	3.Остров	4.Астраханский порт	5.Армада	6.Остров Большой	7.Порт им. Ленина	8.Нефтебаза (напротив	9.Никовка	10.Порт Оля	11.Трудфронт
Синезеленые	12,9	15,6	4,4	2,8	2,5	6,0	41,6	13,2	11,6	2,7	10,4
Диатомовые	348,6	1084,0	302,8	262,4	240,8	336,4	743,6	233,4	439,2	304,5	413,2
Динофитовые		0,8	3,2	1,2	1,2	2,0	2,8	0,6			
Эвгленовые						0,6					
Зеленые	1,8	18,8	4,0	4,4	7,6	2,8	10,0	4,5	11,6	5,1	4,4
Всего	363,3	1119,2	314,4	270,8	254,8	347,8	798,0	251,4	462,4	312,3	428,0

Как и численные показатели, значительные биомассы зафиксированы на станциях 2 (1,3 г/м^3) и 7 (0,9 г/м^3) за счет тех же доминирующих видов, как и по численности. На остальных станциях биомасса варьировала от 0,4 до 0,6 г/м^3 (табл. 4).

Таблица 4

Биомасса фитопланктона в осенний период (г/м^3)

Table 4

Phytoplankton biomass at the stations studied in autumn (g/m^3)

Биомасса по станциям	1.Грузовой порт	2.Волга-порт	3.Остров	4.Астраханский порт	5.Армада	6.Остров Большой	7.Порт им. Ленина	8.Нефтебаза (напротив	9.Никовка	10.Порт Оля	11.Трудфронт
Синезеленые	0,01	0,04	0,008	0,005	0,01	0,06	0,04	0,01	0,02	0,003	0,01
Диатомовые	0,4	1,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,8	0,4	0,6	0,4	0,6

Динофитовые		0,002	0,02	0,01	0,01	0,01	0,006	0,001			
Эвгленовые						0,003					
Зеленые	0,003	0,001	0,02	0,003	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Всего	0,4	1,3	0,5	0,4	0,4	0,5	0,9	0,4	0,6	0,4	0,6

В ходе сапробиологического анализа в летне-осенний период установлена принадлежность вод акватории «Порт» к β-мезосапробной зоне. Индекс сапробности составил 1,5. А воды участка «Волго-Каспийский канал» к олигосапробной зоне, которая характеризует их качество как «Чистые». Индекс сапробности составил 1,4 [9].

Заключение

Развитие фитопланктона на участке Рекомендованного морского пути было довольно высоким, составив 80 видов летом и 109 осенью. Изменение качественного и количественного состава фитопланктона происходило в основном за счет диатомовых водорослей, которые доминировали на всех исследованных станциях экологического мониторинга. Количественные показатели изменялись от лета к осени от 0,1 г/м^3 до 0,6 г/м^3 по биомассе и от 109,3 млн кл./м^3 до 447,5 млн кл./м^3 по численности.

Выявленные значения индекса сапробности соответствуют β-мезосапробной зоне и характеризуют воды акватории «Порт» как «умеренно-загрязненные», где происходят процессы самоочищения, а воды акватории «Волго-Каспийского канала» – зоне «чистых вод».

Фитопланктон исследованных районов Волго-Каспийского бассейна развивался без существенных различий в отношении данных прошлых лет [2] и способствует формированию приемлемой кормовой базы последующих звеньев трофических цепей изучаемой акватории. Изменения зафиксированы в зависимости от сезонности изучения, что характерно для развития фитоценозов региона.

Список источников

1. Смирнова, В. С. Фитопланктон как индикатор состояния экосистемы Кондопожской губы Онежского озера в условиях садкового выращивания форели / В. С. Смирнова, Е. В. Теканова, Н. М. Калинкина // Трансформация экосистем. 2024. 7(1). С. 177–195.

2. Ардабьева А. Г. Исследование фитопланктона дельты реки Волги // Инновационные направления интеграции науки, образования и производства : материалы V Международной научно-практической конф. Феодосия, 2024. С. 612–617.

3. Сахарова Е. Г., Корнева Л. Г. Устойчивость водных объектов к росту трофии как результат процессов в их экотонных участках (по показателям фитопланктона) // Биология внутренних вод. 2023. № 6. С. 796–800.

4. Абакумов В. А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. Л. : Гидрометеоиздат, 1983. 240 с.

5. РД 51-01-11-85. Экологические исследования при инженерных изысканиях. Требования к методам и результатам: руководящий документ: утвержден и введен в действие Министерством газовой промышленности СССР 15.05.1985.

6. Киселев И. А. Изучение планктона водоемов. М. ; Л. : Изд-во Академии наук СССР, 1950. 40 с.

7. Макарова И. В., Прошкина-Лавренко А. И. Водоросли планктона Каспийского моря. Л., 1968. 291с.

8. Нестерова Д. А. Расчет среднего веса клеток массовых видов фитопланктона на мелководье северо-западной части Черного моря // Гидробиологический журнал. 1976. Т. 12, № 6. С. 69–72.

9. Унифицированные методы исследования качества вод. Часть III. Методы биологического анализа вод // Атлас сапробности организмов. М., 1977. 100 с.

10. Абакумов В. А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Ин-т глобал. климата и экологии СПб. : Гидрометеоиздат, 1992. 317 с.

11. Ардабьева А. Г., Зимина Т. Н. Видовое разнообразие фитопланктона Нижней Волги и Каспийского моря // Материалы Всероссийской конференции ученых и специалистов, посвященной 160-летию Н. М. Книповича. Мурманск, 2023. С. 32–37.

12. Ардабьева А. Г., Попова Е. В., Никулина Л. В., Блинкова О. В., Зимина Т. Н., Кострыкина Т. А. Гидробиологические исследования на акватории коренного русла реки Волги // Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции (Балашов, 22–23 апреля 2021 года). Балашов, 2021. С. 136–141.

13. Ардабьева А. Г., Терлецкая О. В., Татаринцева Т. А. Фитопланктон Нижней Волги и ее дельты. Природные экосистемы Каспийского региона: прошлое, настоящее, будущее : материалы Всероссийской научной конференции посвященной 100-летию Астраханского государственного заповедника. Астрахань. 2019. С. 128–131.

14. Ардабьева А. Г., Зимина Т. Н., Котельников А. В. Особенности развития фитопланктона коренного русла реки Волги // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2022. № 4. С. 13–21.

15. Ардабьева, А. Г. Гидробиологические исследования на акватории дельты реки Волги / Ардабьева А. Г., Попова Е. В., Николенкова К. В., Блинкова О. В. : материалы II Междунар. Науч.-практ. конф., Керчь, 2020. Симферополь, 2020. С. 423–428.

16. Ардабьева А. Г., Татаринцева Т. А., Терлецкая О. В. Характеристика фитопланктона Каспийского моря : тезисы докладов VI Всерос. конф. по пробл. Промысловых прогнозов. Мурманск, 1995. С. 34–36.

Сведения об авторах

Т. Н. Зимина – специалист лаборатории гидробиологии, SPIN-код: 2219-3547.

В. Ф. Зайцев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры гидробиологии и общей экологии, SPIN-код: 3198-0578.

В. А. Чаплыгин – кандидат биологических наук, доцент кафедры гидробиологии и общей экологии, SPIN-код: 5933-77.

Т. С. Ершова – доктор биологических наук, доцент кафедры гидробиологии и общей экологии, SPIN-код: 5879-1121.

Н. Г. Шабоянц – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры биологии и ботаники, SPIN-код: 3308-70-59.

Information about the authors

T. N. Zimina – Specialict of the Hydrobiology laboratory, SPIN-code: 2219-3547.

V. F. Zaitsev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology, SPIN-code: 3198-0578.

V. A. Chaplygin – PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology, SPIN-code: 5933-77.

T. S. Ershova – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology, SPIN-code: 5879-1121.

N. G. Shaboyants – PhD in Biological Sciences, Senior Lecture of the Department of Biology and Botany, SPIN-code: 3308-70-59.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 09.07.2026; одобрена после рецензирования 01.08.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 09.07.2026; approved after reviewing 01.08.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Зимина Т. Н., Зайцев В. Ф., Чаплыгин В. А., Ершова Т. С., Шабоянц Н. Г., 2026.

«Оценка состояния фитопланктона дельты Волги» [Зимина Т. Н., Зайцев В. Ф., Чаплыгин В. А., Ершова Т. С., Шабоянц Н. Г.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 169–183.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья
УДК 639.3.043.2 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-15 EDN: RVTIXL

Влияние экструдированного корма с инновационным премиксом на продукционные показатели и размерно-массовую структуру стада гибрида осетра в условиях УЗВ

Александр Александрович Коробов [1], Алексей Алексеевич Васильев [2], Юлия Анатольевна Гусева [3], Алексей Иванович Никитенко [4], Дмитрий Юрьевич Тюлин [5], Илья Алексеевич Жернаков [6], Аделина Владимировна Солодовник [7], Михаил Дмитриевич Качалин [8]

[1] ООО «Тамбовский осетр», Тамбов, Россия
[1, 2, 3, 8] Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К. И. Скрябина, Москва, Россия
[4-7] Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Филиал по пресноводному рыбному хозяйству («ВНИИПРХ»), Московская область, Дмитровский муниципальный округ, пос. Рыбное, Россия
[1] sasha.corobov2012@yandex.ru
[2] alekseyvasiliev@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0067-7719
[3] yuliyguseva@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9604-4280
[4] alexey_nikitenko90@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8123-5810
[5] dmityul@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7979-336X
[6] ilazernakov52010@gmail.com, ORCID:0009-0008-2572-911X
[7] a.solodovnik@vniiprh.vniro.ru, ORCID: 0009-0005-3921-8562
[8] kachalinmd@gmail.com

Аннотация. В производственных условиях установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) проведено 51-суточное испытание экструдированного корма с инновационным премиксом (БИО-МОС, БИОплекс, Актиген) при выращивании гибрида осетра (ленский осетр × калуга) со средней начальной массой тела 376 г. Рыбу вырастили до конечной средней массы 716 г; среднесуточный прирост составил 6,80 г/сут, удельная скорость роста – 1,29 %/сут. Кормовой коэффициент составил 0,86, выживаемость достигла 99,65 %, что свидетельствует о высокой эффективности корма и его биологической полноценности. Фракционный анализ стада по окончании эксперимента выявил крупную фракцию (средняя масса 886 г), составившую 41,4 % от численности и 51,3 % от общей биомассы, тогда как мелкая фракция (средняя масса 493 г, 26,0 % от численности) по-прежнему превышала минимальную товарную массу для осетровых. Коэффициент вариации массы тела (22,3 %) указывает на умеренную неоднородность стада при отсутствии глубоко отстающих в росте особей. Гидрохимические показатели воды (температура 17,4 ± 0,7 °C, кислород 12,1 ± 1,8 мг/л, pH 6,8 ± 0,3, NH_3/NH_4^+ 0,6 ± 0,2 мг/л, NO_2^- 0,1 ± 0,03 мг/л, NO_3^- 6,1 ± 2,1 мг/л) оставались стабильными на фоне почти двукратного увеличения плотности посадки (с 16,7 до 31,7 кг/м^2), что указывает на высокую усвояемость корма и минимальные потери питательных веществ в среду выращивания. Замедление темпов роста, отмеченное в последний период эксперимента, объясняется методическими причинами — трёхсуточной голодной выдержкой перед финальным взвешива-

© Коробов А. А., Васильев А. А., Гусева Ю. А., Никитенко А. И., Тюлин Д. Ю., Жернаков И. А., Солодовник А. В., Качалин М. Д., 2026

нием, – а не снижением качества корма. Полученные результаты обосновывают рекомендацию исследованного корма для товарного выращивания осетровых в УЗВ при температуре воды 17–18 °С.

Ключевые слова: осетровые, гибрид осетра, ленский осетр, калуга, УЗВ, экструдированный корм, кормовой коэффициент, среднесуточный прирост, удельная скорость роста, фракционный состав, однородность стада, коэффициент вариации, гидрохимия, премикс, пробиотики

Благодарности: коллектив авторов признателен администрации и сотрудникам ООО «Тамбовский осетр» за организационную поддержку, предоставленную производственную базу и открытый доступ к исходным материалам, что сделало возможным проведение данного испытания.

Для цитирования: Коробов А. А., Васильев А. А., Гусева Ю. А., Никитенко А. И., Тюлин Д. Ю., Жернаков И. А., Солодовник А. В., Качалин М. Д. Влияние экструдированного корма с инновационным премиксом на продукционные показатели и размерно-массовую структуру стада гибрида осетра в условиях УЗВ // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 169–183.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 169–183.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Effect of extruded feed with an innovative premix on productive performance and size–weight structure of sturgeon hybrid stock in RAS

Alexander A. Korobov [1], Alexey A. Vasilyev [2], Yulia A. Guseva [3], Alexey I. Nikitenko [4], Dmitriy Yu. Tyulin [5], Ilya A. Zhernakov [6], Adelina V. Solodovnik [7], Mikhail D. Kachalin [8]

[1] Tambovsky Osetr LLC, Tambov Region, Russia

[1, 2, 3, 8] Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K. I. Skryabin, Moscow, Russia

[4-7] Branch for Freshwater Fisheries of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIIPRKH), Rybnoye settlement, Moscow Region, Russia

[1] sasha.corobov2012@yandex.ru

[2] alekseyvasiliev@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0067-7719

[3] yuliyguseva@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9604-4280

[4] alexey_nikitenko90@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8123-5810

[5] dmityul@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7979-336X

[6] ilazernakov52010@gmail.com, ORCID:0009-0008-2572-911X

[7] a.solodovnik@vniiprh.vniro.ru, ORCID: 0009-0005-3921-8562

[8] kachalinmd@gmail.com

Abstract. A 51-day production trial was conducted under commercial recirculating aquaculture system (RAS) conditions to assess the productive performance and size-weight structure of a sturgeon hybrid (Lena sturgeon × kaluga) fed an extruded diet supplemented with an innovative premix (BIO-MOS, Bioplex, Actigen). Fish with an initial average body weight of 376 g were reared to a final average weight of 716 g, yielding an average daily gain of 6,80 g/day and a specific growth rate of 1,29%/day. The feed conversion ratio was 0.86, and survival reached 99,65%, indicating high feed efficiency and biological soundness of the diet. Size-fractional analysis at the end of the trial identified a large fraction (mean weight 886 g) representing 41,4% of stock number and 51,3% of total biomass, while the small fraction (mean weight 493 g, 26,0% of stock

number) still exceeded the minimum marketable weight for sturgeon. The coefficient of variation in body weight (22,3%) indicated moderate stock heterogeneity with no severely stunted individuals. Water quality parameters (temperature 17,4 ± 0,7 °C, dissolved oxygen 12,1 ± 1,8 mg/L, pH 6,8 ± 0,3, NH_3/NH_4^+ 0,6 ± 0,2 mg/L, NO_2^- 0,1 ± 0,03 mg/L, NO_3^- 6,1 ± 2,1 mg/L) remained stable despite a near two-fold increase in stocking density (from 16,7 to 31,7 kg/m2), suggesting high feed digestibility and minimal nutrient loss to the rearing environment. The observed slowdown in growth rate during the final period is attributed to methodological factors – namely, a three-day fasting period preceding the final weighing – rather than to a decline in feed quality. These findings support the use of the tested feed for commercial sturgeon production in RAS at water temperatures of 17–18°C.

Keywords: Sturgeon, sturgeon hybrid, Lena sturgeon, kaluga, RAS, extruded feed, feed conversion ratio, average daily gain, specific growth rate, fractional composition, stock uniformity, coefficient of variation, water chemistry, premix, probiotics

Acknowledgments: the authors are grateful to the management and staff of Tambovsky Osetr LLC for their organizational support, the provision of production facilities, and open access to source materials, all of which made this trial possible.

For citation: Korobov A. A., Vasiliev A. A., Guseva Yu. A., Nikitenko A. I., Tyulin D. V., Zhernakov I. A., Solodovnik A. V., Kachalin M. D. Effect of extruded feed with an innovative premix on productive perfor-mance and size–weight structure of sturgeon hybrid stock in RAS. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):169–183 (In Russ.).

Введение

Интенсификация аквакультуры, особенно при переходе на установки замкнутого водоснабжения (УЗВ), неизбежно сталкивается с проблемой внутрипопуляционной вариабельности роста [1]. Для осетровых рыб, характеризующихся сложной социальной иерархией и асинхронностью питания, эта проблема приобретает особое значение. Даже в условиях, казалось бы, гомогенной среды, у рыб формируются устойчивые группы «быстро-» и «медленнорастущих» особей, что приводит к разбросу массы в 2–3 раза [2]. Это создает технологические сложности при переходе на следующие этапы выращивания, вызывает каннибализм (в меньшей степени у осетровых) и снижает общую рентабельность производства. Для минимизации неоднородности размеров рыб необходима разработка рациональной стратегии кормления [3].

Традиционно основными факторами, влияющими на однородность стада, считаются плотность посадки, гидрохимический режим и, прежде всего, качество корма. Однако, если первые два параметра регулируются инженерными решениями, то кормовой фактор является наиболее гибким инструментом управления ростом [4]. Высокие показатели усвояемости корма и роста достигаются при оптимальных значениях содержания белка в рационе [5]. Высококачественные экструдированные корма с улучшенными физико-химическими свойствами (стабильность гранулы, скорость намокания) и обогащенным составом (химически связанные микроэлементы, пребиотики, иммуностимуляторы) могут не просто ускорять рост, но и нивелировать различия в индивидуальной скорости потребления и усвоения питательных веществ [6].

В литературе широко представлены данные о продукционных характеристиках кормов (кормовой коэффициент, среднесуточный прирост). Однако анализу внутригруппового распределения масс при использовании кормов нового поколения, особенно в производственных масштабах УЗВ, уделяется недостаточно внимания. Как правило, исследования ограничиваются средней массой, маскируя существенные биологические процессы дифференциации стада.

В связи с этим целью настоящей работы являлся анализ не только общих продукционных показателей, но и динамики размерно-массовой структуры гибрида осетра при выращивании на экструдированном корме с применением инновационного премикса в условиях промышленной УЗВ. Особый интерес представляла оценка доли «отстающих» особей и скорости их подтягивания к средним показателям.

Материалы и методы

Эксперимент проведён в производственных условиях ООО «Тамбовский осетр» (Тамбовская область) в период с 19 августа по 08 октября 2025 г. Продолжительность выращивания составила 51 сут. Использовалась установка замкнутого водоснабжения (УЗВ) с площадью бассейна 19,4 м², оборудованная механической и биологической фильтрацией, системой аэрации и терморегуляции.

Объектом исследования служил гибрид осетра, полученный от скрещивания ленского осетра (*Acipenser baerii*) и калуги (*Huso dauricus*). Посадочный материал был получен из отдела «Конаковский» Филиала по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ») в январе 2025 г. На момент начала эксперимента (19 августа 2025 г.) численность рыб составляла 863 шт., средняя масса тела – 376 г, общая биомасса – 324,5 кг, плотность посадки – 16,7 кг/м².

Для кормления использовали экструдированный корм МК «Нейма» с размером гранулы 4 мм (дата выработки 25.06.2025, срок годности 6 месяцев). Согласно информации производителя, корм содержал: протеин – 51–53 %, жир – 14–16 % (в пересчёте на натуральное вещество).

Кормление осуществляли вручную 6 раз в сутки через равные промежутки времени (каждые 4 ч). Суточную норму корма рассчитывали как 1,09–1,32 % от биомассы в зависимости от температуры воды и аппетита рыбы. Корректировку рациона проводили каждые 14 дней по результатам контрольных взвешиваний. Общий расход корма за период эксперимента составил 250 кг.

Ежедневно в утренние часы (до начала кормления) проводили мониторинг следующих гидрохимических показателей: температура воды (T), концентрация растворённого кислорода (O_2), водородный показатель (pH), содержание аммонийного азота (NH_3/NH_4^+), нитритов (NO_2^-) и нитратов (NO_3^-). Измерения выполняли с помощью портативного многопараметрического анализатора. Всего за период эксперимента выполнено 51 измерение.

Контрольные взвешивания проводили каждые 14 сут: 2, 16, 30 сентября и 08 октября. Для исключения влияния наполнения желудочно-кишечного тракта на результат, на всех промежуточных этапах рыбу перед взвешиванием не кормили в течение 4 ч. Финальное взвешивание (08 октября) выполняли после трёхсуточной голодной выдержки для полного опорожнения кишечника, что обеспечило получение наиболее точных данных по итоговой биомассе.

На финальном этапе проведён фракционный анализ стада с разделением всех особей на три размерно-массовые группы: крупные, средние и мелкие. Критерием разделения служили визуальная оценка и контрольное взвешивание каждой особи с отнесением к определённой фракции на основании массы тела. После разделения рыб на фракции для каждой из них мы получили набор стандартных характеристик: сколько особей вошло в группу, их общую массу, среднюю навеску и процент от общей выборки.

Имея данные индивидуальных взвешиваний, динамику роста оценивали через два параметра. Первый – абсолютный прирост ($АП$, г), который вычисляли просто как разницу массы на конец и начало периода ($m_2 - m_1$). Второй – среднесуточный прирост (AGR, г/сут), для расчёта которого $АП$ делили на длительность соответствующего временного отрезка (t).

Удельную скорость роста (SGR, %/сут) – по формуле

$$SGR = (\ln m_2 - \ln m_1) / t \times 100\ \%.$$

Кормовой коэффициент (FCR, корм. ед.) – как отношение массы потреблённого корма к приросту биомассы.

$$FCR = M_корма / (M_биомассы_конечная - M_биомассы_начальная).$$

Выживаемость (S, %) – по формуле

$$S = (N_конечная / N_начальная) \times 100\ \%.$$

Для характеристики размерно-массовой неоднородности стада дополнительно рассчитывали коэффициент вариации (CV, %) массы тела по формуле

$$CV = (\sigma / \bar{m}) \times 100\ \%,$$

где σ – стандартное отклонение массы тела в группе; m̄ – средняя масса тела в группе.

Коэффициент вариации позволяет количественно оценить степень разброса индивидуальных масс и однородность стада: чем ниже *CV*, тем более выровненной является популяция.

Ввиду производственного характера испытания и отсутствия репликации бассейнов, статистическая обработка результатов методом сравнения средних не проводилась. Данные представлены в виде абсолютных значений, средних арифметических и процентных долей. Гидрохимические показатели обработаны методами описательной статистики с расчётом среднего арифметического (*M*) и стандартного отклонения (*SD*). Графическое оформление результатов выполнено с использованием стандартного пакета офисных программ.

Результаты

За 50 сут выращивания средняя масса гибрида осетра увеличилась с 376 до 716 г, абсолютный прирост составил 340 г. Среднесуточный прирост (*AGR*) равнялся 6,80 г/сут, удельная скорость роста (*SGR*) – 1,29 %/сут.

За период эксперимента общая биомасса стада выросла с 324,5 кг до 615,8 кг, т.е. валовой прирост составил 291,3 кг. Соответственно, увеличилась и плотность посадки – с начальных 16,7 кг/м² она поднялась до 31,7 кг/м². Говоря об эффективности кормления, следует отметить, что на всю рыбу за время опыта было израсходовано 250 кг корма, что позволило получить очень низкий кормовой коэффициент (*FCR*) на уровне 0,86.

Сохранность поголовья оказалась исключительно высокой – 99,65 %. За весь период было потеряно всего 3 особи, причём в итоговых документах как падёж зафиксирована лишь одна, что и даёт те самые 0,35 % от первоначальной численности. Ход изменения средней массы отражён на графике (рис. 1). Судя по этим данным, самый заметный скачок роста произошёл в последнюю декаду, между 30 сентября и 8 октября, когда значения среднесуточного прироста были максимальными. Здесь важно помнить о методической особенности: на финале рыб взвешивали пустыми (после трёх суток голодания), тогда как на всех промежуточных этапах – спустя 4 ч после раздачи корма.

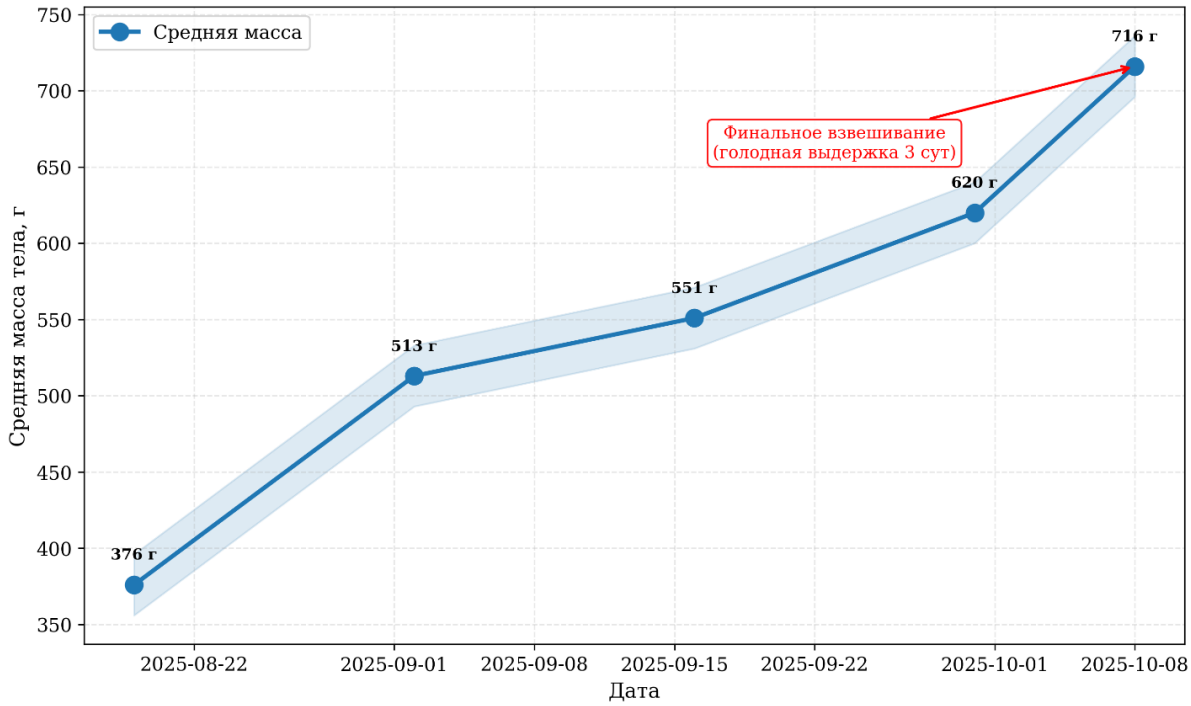


Рис. 1. Изменения средней массы тела гибрида осетра (Ленский × Калуга) за 51 сут выращивания на экструдированном корме. Составлено авторами

Fig. 1. Changes in the mean body weight of the sturgeon hybrid (Lena × Kaluga) over 51 days of rearing on extruded feed. Compiled by the authors

Что касается удельной скорости роста (рис. 2), то её значения плавали в коридоре от 0,51 до 2,22 % в сутки. В целом динамика оставалась положительной, хотя в отдельные моменты наблюдались небольшие просадки. Мы связываем это с естественной адаптацией рыбы к условиям содержания, а также с видовыми особенностями обмена веществ у осетровых на этапе товарного выращивания.

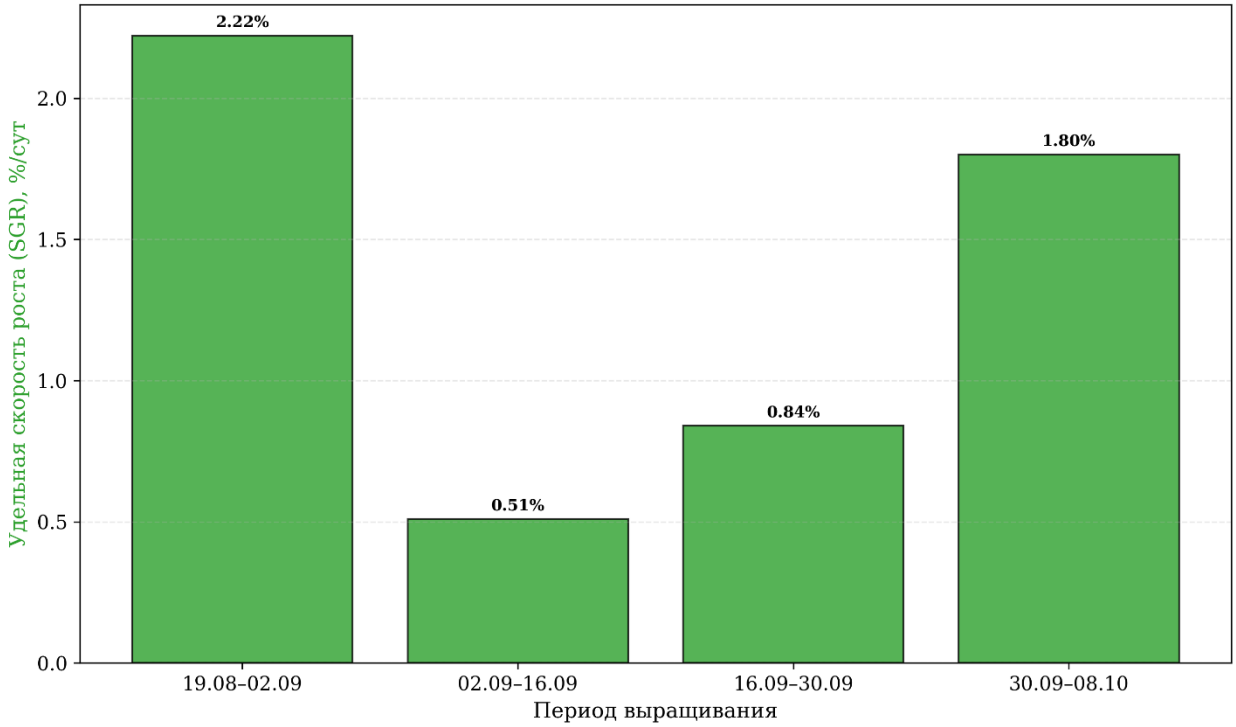


Рис. 2. Удельная скорость роста (*SGR*) гибрида осетра (Ленский × Калуга) по периодам выращивания. Составлено авторами

Fig. 2. Specific growth rate (SGR) of the sturgeon hybrid (Lena × Kaluga) by rearing period. Compiled by the authors

Гидрохимические параметры на протяжении всего опыта оставались в границах, безопасных для осетровых (подробнее табл. 1 и рис. 3). Температурный режим был довольно ровным: среднее значение за период составило 17,4 °C, а вода прогревалась в пределах от 15,7 до 18,3 °C. Единственный кратковременный спад до нижней границы случился в первых числах октября, но на состоянии рыбы это негативно не сказалось. Более того, совпав с плановой трёхсуточной голодовкой перед финальным взвешиванием, похолодание, вероятно, даже помогло снизить общий стресс.

Кислородный режим был далёк от критических значений: концентрация O_2 в среднем держалась на отметке 12,1 мг/л при разбросе от 6,9 до 15,6 мг/л. Это с большим запасом перекрывает пороговый для осетровых уровень в 6 мг/л, поэтому и корм рыба потребляла активно, и обмен веществ шёл без сбоев. Водородный показатель колебался в нейтральном диапазоне – от 6,0 до 7,5 (среднее 6,8).

Что касается биогенов, то аммонийный азот (NH_3/NH_4^+) в основной массе проб не поднимался выше 0,6 мг/л, хотя единично фиксировали до 1,0 мг/л. Нитриты в среднем составляли 0,1 мг/л, нитраты – 6,1 мг/л. Хочется особо подчеркнуть: даже когда плотность посадки выросла почти вдвое (с 16,7 до 31,7 кг/м²), гидрохимия не ухудшилась. Это хороший косвенный признак того, что корм усваивался эффективно и в толще воды не разлагались его излишки.

Таблица 1

Гидрохимические показатели воды в период выращивания гибрида осетра (Ленский × Калуга)

Table 1

Hydrochemical water parameters during the rearing period of the sturgeon hybrid (Lena × Kaluga)

Показатель	Ед. изм.	*Min*	*Max*	*Среднее ± SD*
Температура (*T*)	°C	15,7	18,3	17,4 ± 0,7
Кислород (O_2)	мг/л	6,9	15,6	12,1 ± 1,8
pH	–	6,0	7,5	6,8 ± 0,3
NH_3/NH_4^+	мг/л	0,5	1,0	0,6 ± 0,2
NO_2^-	мг/л	0,1	0,2	0,1 ± 0,03
NO_3^-	мг/л	5,0	10,0	6,1 ± 2,1

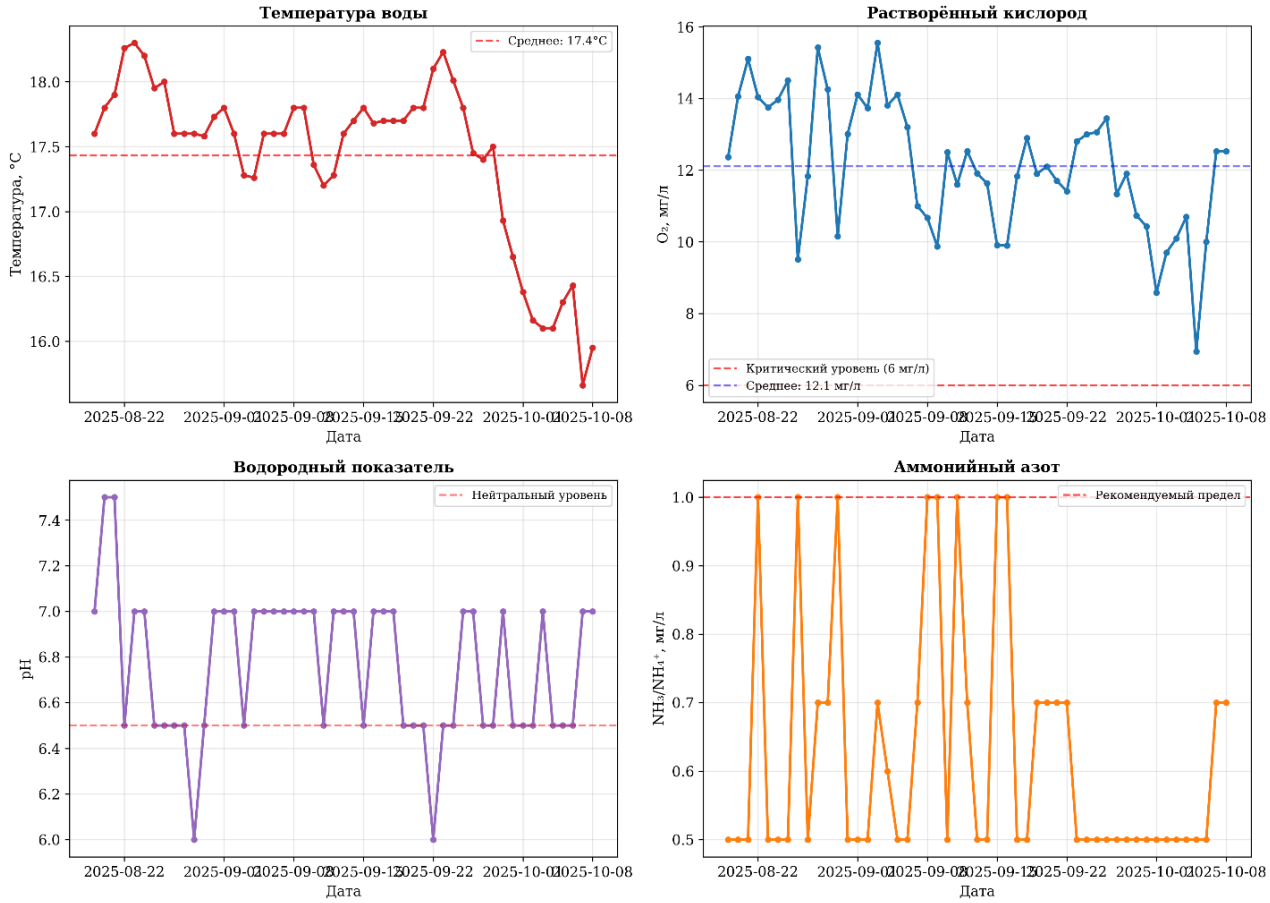


Рис. 3. Гидрохимические показатели воды в период выращивания гибрида осетра (Ленский × Калуга). Составлено авторами

Fig. 3. Hydrochemical water parameters during the rearing period of the sturgeon hybrid (Lena × Kaluga). Compiled by the authors

Финальный этап (8 октября 2025 г.) завершили фракционным анализом всего поголовья. Рыбу разбили на три размерно-массовые группы, сводка по которым приведена в табл. 2 и на рис. 4.

Самой представительной и весомой ожидаемо оказалась крупная фракция. В неё вошло 356 особей со средней навеской 886 г – это 41,4 % от общего числа рыб и 315,7 кг биомассы, т.е. более половины (51,3 %) всего выращенного стада. Средняя группа насчитывала 280 шт. (32,6 %) при массе тела 677 г в среднем; их суммарный вклад в биомассу составил 189,8 кг, или 30,8 %. Мелкая фракция включила оставшиеся 224 особи (26,0 %) с самой скромной средней массой 493 г и биомассой 110,5 кг (17,9 %).

Таким образом, к моменту завершения опыта общая численность составляла 860 экземпляров при суммарной биомассе 616,0 кг. Средневзвешенная масса одной особи по всему стаду достигла 716 г.

Таблица 2

Фракционный состав стада гибрида осетра (Ленский × Калуга) по окончании эксперимента (08.10.2025)

Table 2

Size-class composition of the sturgeon hybrid (Lena × Kaluga) stock at the end of the experiment (October 8, 2025)

Фракция	Численность, шт.	Доля, %	Накопленная доля, %	Биомасса, кг	Средняя масса, г
Крупные	356	41,4	41,4	315,7	886
Средние	280	32,6	74,0	189,8	677
Мелкие	224	26,0	100,0	110,5	493
Всего	**860**	**100,0**	–	**616,0**	**716**

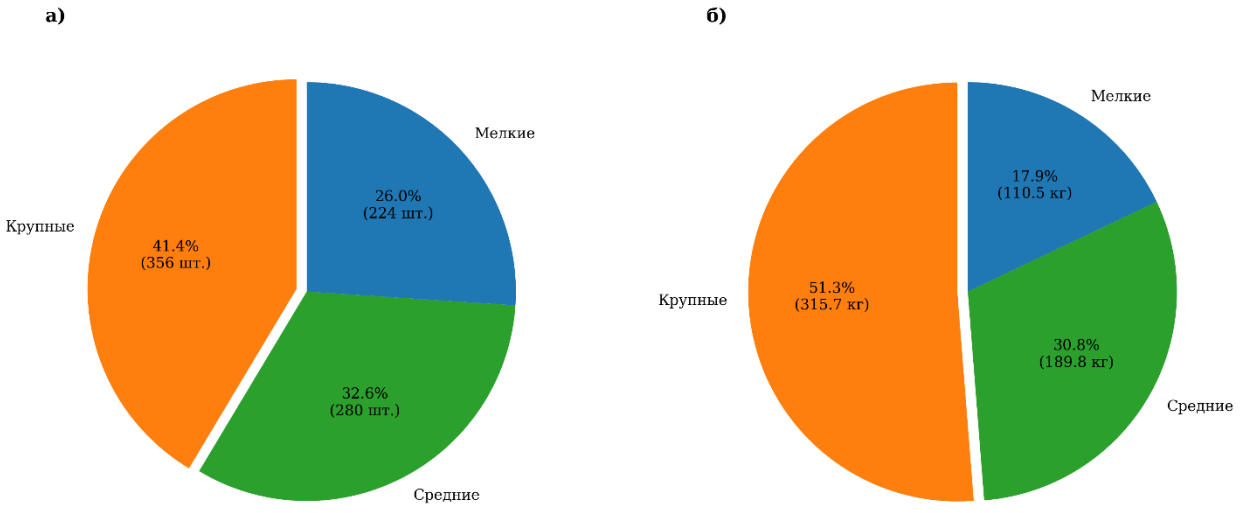


Рис. 4. Фракционный состав стада гибрида осетра (Ленский × Калуга) по окончании эксперимента: а – по численности; б – по биомассе. Составлено авторами

Fig. 4. Size-class composition of the sturgeon hybrid (Lena × Kaluga) stock at the end of the experiment: а – by number; б – by biomass. Compiled by the authors

Фракционное распределение позволило оценить однородность стада через коэффициент вариации (*CV*) по массе тела – он составил 22,3 %. Это умеренный разброс, при котором даже в самой мелкой группе средняя навеска (493 г) уверенно перекрывает нижнюю планку товарной массы, установленную для осетровых на уровне 400–500 г. Если же говорить о структуре стада в целом, то 74,0 % всего поголовья пришлось на рыб с массой выше среднего – это крупная и средняя фракции вместе. Иными словами, распределение заметно смещено в сторону более тяжёлых классов, что для группового содержания осетровых без сортировки является вполне типичной картиной. Львиную долю биомассы (51,3 %) аккумулировала именно крупная фракция.

Насколько чистым получилось разделение, видно на рис. 5. Разброс значений внутри каждой фракции невелик, а зоны перекрытия между соседними группами минимальны – это говорит о том, что визуальные и весовые критерии отбора сработали адекватно. Отдельно стоит отметить, что в стаде не оказалось «глубокого хвоста»: особей с массой тела ниже 300–350 г не было вовсе. Даже в мелкой фракции мы не увидели критически отставшей в росте рыбы, которая могла бы тянуть вниз общую продуктивность.

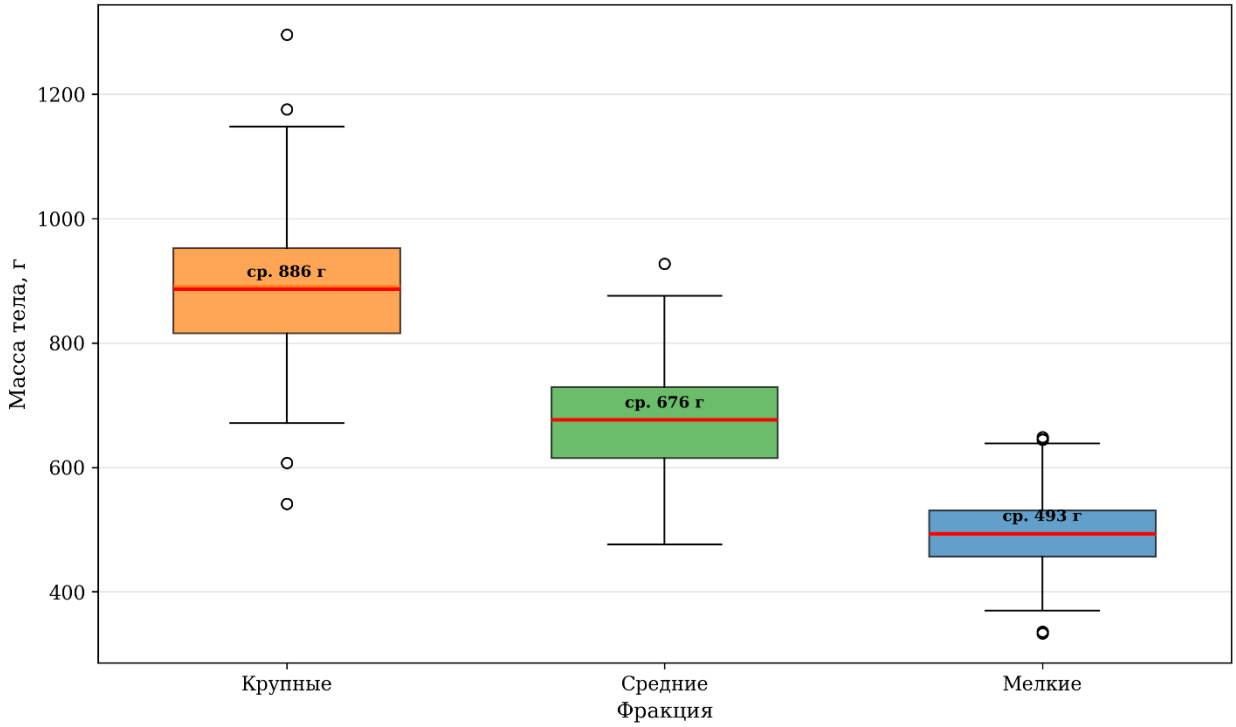


Рис. 5. Распределение массы тела гибрида осетра (Ленский × Калуга) по фракциям. Составлено авторами

Fig. 5. Distribution of body mass of the sturgeon hybrid (Lena × Kaluga) by fraction. Compiled by the authors

На рис. 6 представлена динамика удельной скорости роста *(SGR*) и температуры воды в четырех периода. В первом интервале (19.08–02.09) *SGR* составила 2,22 %/сут при температуре 17,9 °C. Во втором периоде (02.09–16.09) отмечено снижение *SGR* до 0,51 %/сут на фоне понижения температуры до 17,5 °C. В третьем интервале (16.09–30.09) *SGR* повысилась до 0,84 %/сут, а температура возросла до 17,7 °C. В заключительный период (30.09–08.10) температура снизилась до минимального значения 17,2 °C, тогда как *SGR*, напротив, увеличилась до 1,62 %/сут. Таким образом, максимальная *SGR* зафиксирована в первом периоде (2,22 %/сут), минимальная – во втором (0,51 %/сут), при этом в последнем интервале рост *SGR* происходил при самой низкой температуре.

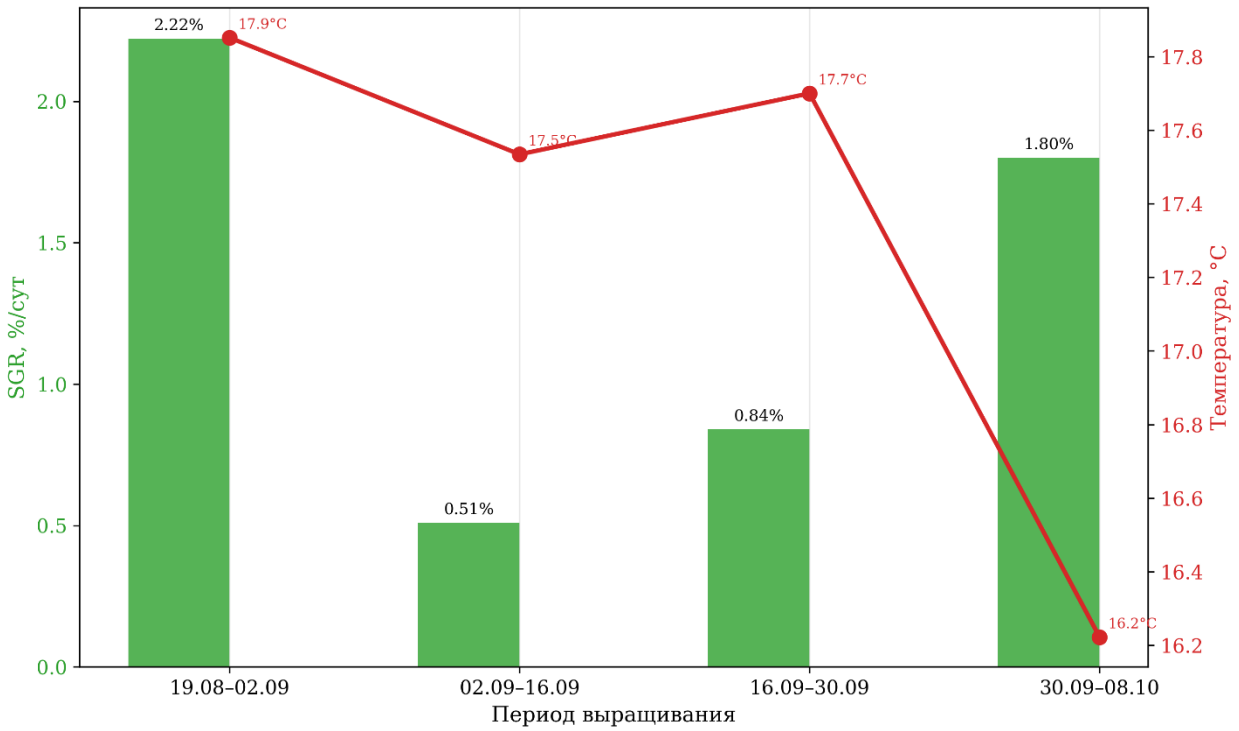


Рис. 6. Связь удельной скорости роста гибрида осетра с температурой воды. Составлено авторами
Fig. 6. Relationship between the specific growth rate of the sturgeon hybrid and water temperature. Compiled by the authors

Обсуждение

Полученный в настоящем исследовании кормовой коэффициент (*FCR*) 0,86 является одним из лучших показателей для осетровых рыб, выращиваемых в установках замкнутого водоснабжения. В большинстве публикаций для осетровых видов при использовании полнорационных экструдированных кормов *FCR* составляет от 1,0 до 1,4 в зависимости от температуры, плотности посадки и гидрохимических условий [1, 2]. Достижение *FCR* ниже 1,0 означает, что прирост биомассы превысил массу потреблённого корма, что возможно только при очень высокой усвояемости корма и оптимальных условиях содержания.

Такой высокий результат может быть объяснён несколькими факторами. Во-первых, использованный корм содержал 51–53 % протеина и 14–16 % жира, что соответствует физиологическим потребностям осетровых в товарный период выращивания [4]. Высокое содержание жира обеспечивает рыбу доступными источниками энергии, позволяя использовать протеин преимущественно на пластические цели, а не на энергетический обмен. Во-вторых, согласно каталогу производителя, в состав корма включены инновационный премикс, БИО-МОС (маннан-олигосахариды), БИОплекс (хелатные микроэлементы: цинк, медь, марганец, железо) и Актиген (продукт на основе клеточных стенок дрожжей), что способствует нормализации кишечной микрофлоры, укреплению слизистого барьера, улучшению пищеварения и повышению неспецифического иммунитета. Эти компоненты, особенно в комплексе, обеспечивают более полное усвоение питательных веществ и снижают потери протеина с экскретами. Это согласуется с выводами Хоссеини Шекараби с коллегами [4], которые показали, что смесь мультиэнзимов и пробиотиков достоверно увеличивает переваримость сухого вещества и сырого протеина у сибирского осетра, улучшает морфологию кишечника (высоту ворсинок и количество бокаловидных клеток) и повышает неспецифический иммунитет.

Почти стопроцентная выживаемость (99,65 %) – это ещё и независимый показатель качества корма, в том числе его санитарной безопасности. Даже в моменты, когда аммонийный азот кратковременно поднимался до 1,0 мг/л (а это уже близко к верхней допустимой границе для чувствительных видов), ни повышенного отхода, ни отказа от корма мы не зафиксировали.

Скорее всего, здесь сыграли роль два фактора: собственная неплохая резистентность гибрида Ленский × Калуга и, не исключено, поддержка иммунитета за счёт пробиотических компонентов, заложенных в рецептуру корма.

Если смотреть на кривую роста (динамику средней массы), то на протяжении всех 51 сут она шла только вверх. Среднесуточные приросты плавали по периодам в диапазоне от 6,80 до 4,64 г/сут, и это нормально. Самый бурный рост пришёлся на август–сентябрь, когда вода держалась в пределах 17,6–18,3 °C – это, кстати, хорошо согласуется с данными литературы по температурному оптимуму осетровых [7].

А вот «проседание» темпа на финише (30 сентября – 8 октября) нуждается в оговорке, иначе можно сделать неверные выводы. Напомним методический нюанс: все промежуточные взвешивания делались через 4 ч после кормления. Рыба взвешивалась с наполненным кишечником, что неизбежно завышало её фактическую массу. Финальное же взвешивание – после трёх суток голода, т.е. это уже «чистый» вес тела. Часть видимого снижения прироста в последний период – это артефакт методики, а не реальное замедление роста. Финальное же взвешивание выполняли после трёхсуточной голодной выдержки для полного опорожнения кишечника, что даёт более точное, но закономерно более низкое значение «чистой» массы тела. Следовательно, рассчитанное снижение темпа роста в последнем периоде в значительной степени является артефактом, связанным с разной методикой взвешиваний, и не отражает реального ухудшения продукционных качеств корма или физиологического состояния рыбы [8].

Кратковременное снижение температуры воды до 15,7 °C, наблюдавшееся в этот же период, могло оказать дополнительное, но не определяющее влияние на метаболизм рыб. Более того, умеренное снижение температуры сыграло положительную роль, снизив физиологический стресс от трёхсуточной голодной выдержки и последующего взвешивания, так как у осетровых, как и у многих других рыб, чувствительность к стресс-факторам при пониженной температуре уменьшается. Таким образом, температурный режим в конце эксперимента не ухудшал, а скорее, способствовал благополучному проведению контрольных мероприятий.

Фракционный анализ стада выявил, что доля крупных особей (масса тела более 886 г) составила 41,4 % от численности и 51,3 % от общей биомассы. Это свидетельствует о том, что значительная часть стада опережает средние темпы роста, что характерно для группового выращивания осетровых без индивидуальной сортировки [9]. При этом даже мелкая фракция (26,0 % от численности) имела среднюю массу 493 г, что превышает минимальную товарную массу для осетровых (400–500 г). С практической точки зрения важно, что всё поголовье вышло на товарную массу. Это значит, что хозяйству не придётся тратить время и ресурсы на доращивание отставших – проблема, хорошо знакомая тем, кто работает с осетровыми в УЗВ.

Коэффициент вариации по массе тела (*CV*) у нас получился 22,3 %. Для группового содержания осетровых это умеренный, вполне рабочий показатель. Если ориентироваться на литературу, у сибирского осетра в схожих условиях CV обычно варьирует от 18 до 35 % – разброс зависит и от плотности, и от корма [10, 11]. На этом фоне наши 22,3 % выглядят, скорее, как нижняя половина диапазона, что говорит о приличной однородности: стадо не развалилось на горстку лидеров и массу аутсайдеров.

Отдельно подчеркнем, что у нас вообще не оказалось рыб с массой тела ниже 300–350 г. Это показательный момент, потому что при групповом выращивании осетровых практически всегда формируется «хвост» из откровенно отставших особей – их вес может быть в два, а то и в три раза меньше среднего по стаду [11]. В нашем случае даже в мелкой фракции минимальная масса, по прикидкам из нормального распределения внутри группы, составила около 370–400 г. Иными словами, корм сработал как инструмент гомогенизации – рыба росла дружно, без критических разрывов.

Ещё один аргумент в пользу качества корма – гидрохимия. Плотность посадки за время опыта выросла почти вдвое, с 16,7 до 31,7 кг/м², а вода при этом не ухудшилась. Для УЗВ это принципиально: плохой корм – это неусвоенные остатки, которые быстро портят среду и загоняют рыбу в стресс [12]. У нас же аммонийный азот в среднем держался на 0,6 мг/л, нитриты – на 0,1 мг/л, и эти цифры не поползли вверх даже на пике плотности. Косвенно, но весьма

убедительно это указывает на высокую переваримость корма и минимальное его разложение в толще воды.

По нитратам картина тоже спокойная: в среднем 6,1 мг/л, максимум – 10 мг/л. С учётом того, что биофильтр справлялся, а корм задавали без перекорма, азотная нагрузка на систему оставалась низкой. По сути, почти весь азот, попавший в бассейн с кормом, пошёл в рост рыбы, а не в среду обитания. Это хорошо стыкуется и с низким *FCR* (0,86), и с общей логикой эффективного кормления [13].

Если сравнивать с литературой, использованная рецептура показывает себя весьма достойно. Мирзахани с соавторами [2] оценили коэффициенты переваримости десяти кормовых ингредиентов для сибирского осетра и показали, что рыбная мука, мясокостная мука, мука из птичьих субпродуктов, а также кукурузный и пшеничный глютен обладают наиболее высокой переваримостью протеина (от 74,3 до 92,9 %). Высокий *FCR* в нашем исследовании, вероятно, обусловлен именно использованием легкоперевариваемых источников животного белка (рыбная и кровяная мука) и глютенов, которые наилучшим образом усваиваются осетровыми. Ли с соавторами отмечают, что замена рыбной муки на соевый протеиновый концентрат без метионина значительно снижает прирост массы тела и FCR [14].

Богевик с соавторами [6] на атлантическом лососе показали, что корма с пониженной устойчивостью к дезинтеграции ускоряют пассаж корма через желудочно-кишечный тракт и увеличивают потребление корма, однако не всегда приводят к значимому росту, если снижается усвояемость питательных веществ. В нашем эксперименте сочетание ферментов, пробиотика и высококачественных белковых ингредиентов, напротив, способствовало не только увеличению переваримости, но и улучшению морфологии кишечника (увеличение высоты ворсинок и количества бокаловидных клеток), что согласуется с выводами Хоссеини Шекараби с коллегами [4] для сибирского осетра.

Хуанг с соавторами [1] продемонстрировали, что соотношение углерода и азота (C/N) в корме влияет на качество воды в УЗВ: диеты с более высоким содержанием углеводов и жиров (и, соответственно, более высоким C/N) снижают накопление нитритов и нитратов, уменьшают микробную активность и повышают прозрачность воды. В нашем исследовании при вдвое возросшей плотности посадки не наблюдалось критического ухудшения гидрохимических показателей, что косвенно подтверждает выводы о роли макронутриентного состава корма в поддержании азотного баланса в системах замкнутого водоснабжения.

Полученные данные имеют высокую практическую ценность именно для товарных хозяйств, работающих в аналогичном диапазоне масс. Высокий *FCR*, стабильный гидрохимический режим и хорошая однородность стада позволяют рекомендовать использованный корм для товарного выращивания осетровых в УЗВ.

Заключение

Проведённое производственное испытание показало, что экструдированный корм (гранула 4 мм) с добавлением ферментов и пробиотика обеспечивает высокие продукционные показатели при выращивании гибрида осетра (Ленский × Калуга) в условиях УЗВ. За 50 сут средняя масса рыбы увеличилась с 376 до 716 г при среднесуточном приросте 6,80 г/сут и удельной скорости роста 1,29 %/сут. Кормовой коэффициент составил 0,86 – один из лучших показателей для осетровых в индустриальной аквакультуре. Выживаемость достигла 99,65 %, что подтверждает биологическую полноценность и санитарную безопасность корма.

При интерпретации динамики роста в завершающей фазе эксперимента важно учитывать методический нюанс, что итоговое определение массы тела производилось после трёхдневной пищевой депривации, необходимой для очищения желудочно-кишечного тракта. В предыдущие контрольные точки взвешивание выполнялось спустя всего 4 ч после кормления. Именно это различие, а не кормовые факторы или колебания гидрохимии объясняет кажущееся сни-

жение темпов прироста в конце цикла. Стоит отметить, что эпизодическое понижение температуры воды до 15,7 °С в указанный отрезок времени, напротив, сыграло положительную роль, снизив метаболический стресс у рыб во время голодной выдержки и процедуры манипуляции.

Анализ размерно-массовой структуры поголовья показывает, что даже наиболее мелкая группа особей достигла средней массы 493 г, что уверенно перекрывает нижний порог товарной кондиции для осетровых. Крупная фракция, представляющая наиболее ценный в коммерческом плане материал, составила 41,4 % от общего числа рыб, аккумулируя при этом 51,3 % суммарной биомассы. Значение коэффициента вариации на уровне 22,3 % указывает на приемлемую степень гомогенности стада – отсутствуют явно выраженные тугорослые особи, а доля рыб с массой, превышающей среднегрупповой показатель (суммарно крупная и средняя фракции), достигает 74,0 %.

Контроль гидрохимических параметров на всех этапах не выявил отклонений от референтных значений. Устойчивость среды обитания, зафиксированная при увеличении посадочной плотности с 16,7 до 31,7 кг/м², служит косвенным свидетельством эффективной утилизации корма и отсутствия процессов его гнилостного разложения в толще воды. Даже на пике загрузки системы концентрации токсичных метаболитов сохранялись на безопасном уровне: аммонийный азот – 0,6 мг/л, нитриты – 0,1 мг/л, нитраты – 6,1 мг/л.

На основании полученных данных можно обоснованно рекомендовать апробированный кормовой продукт для индустриального выращивания осетровых в замкнутых системах водоснабжения при температурном режиме 17–18 °С. Сочетание эффективного кормления, стабильной гидрохимии и выравненности посадочного материала обеспечивает не только рентабельность производства, но и сокращает временной интервал до достижения рыбой товарных размеров.

Список источников

1. Huang, X. Can dietary C:N ratio influence water quality and microbiology in recirculating aquaculture systems? / X. Huang, S. L. Aalto, J. Dalsgaard, P. B. Pedersen // Aquacult Int 32. 2024. P. 7789–7805. DOI:10.1007/s10499-024-01541-0.

2. Mirzakhani, M. K. Apparent digestibility coefficients of crude protein, amino acids, crude lipid, dry matter and gross energy of ten feedstuffs for yearling Siberian sturgeon (Acipenser baerii, Brandt 1869) / M. K. Mirzakhani, A. Abedian Kenari, A. Motamedzadegan, A. Banavreh // Iranian Journal of Fisheries Sciences. 2020. Vol. 19. P. 1500–1516. DOI: 10.22092/ijfs.2020.120754.

3. Guriencu, Raluca & Cristea, Victor & Cretu, Mirela & Lorena, Dediu & Docan, Angela. (2018). The effect of feeding rate on growth performance and body composition of Russian sturgeon (Acipenser gueldenstaedtii) juveniles. AACL Bioflux. 11. https://bioflux.com.ro/docs/2018.645-652.pdf.

4. Shekarabi, S. P. H. The multi-enzymes and probiotics mixture improves the growth performance, digestibility, intestinal health, and immune response of Siberian sturgeon (Acipenser baerii) / S. P. H. Shekarabi, M. Ghodrati, A. S. Masouleh, A. F. Roudbaraki // Annals of Animal Science. 2022. – Vol. 22, №. 3. P. 1063–1072. DOI: 10.2478/aoas-2022-0006.

5. Wang C., Liu E., Zhang H., Shi H., Qiu G., Lu S., Han S., Jiang H., Liu H. Dietary Protein Optimization for Growth and Immune Enhancement in Juvenile Hybrid Sturgeon (Acipenser baerii × A. schrenckii): Balancing Growth Performance, Serum Biochemistry, and Expression of Immune-Related Genes. Biology (Basel). 2024 May 6;13(5):324. doi: 10.3390/biology13050324. PMID: 38785806; PMCID: PMC11117904. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38785806/.

6. Bogevik, A. S. Disintegration stability of extruded fish feed affects gastric functions in Atlantic salmon (Salmo salar) / A. S. Bogevik, T. A. Samuelsen, T. A., O. H. Romarheim, T. S. Aas, T. Kalananthan, I. Rønnestad // Aquaculture. 2021. Vol. 543. 737006. DOI:10.1016/j.aquaculture.2021.737006.

7. Привезенцев, Ю. А. Рыбоводство : учебник для вузов / Ю. А. Привезенцев, В. А. Власов. М. : Мир, 2004. 234 с.

8. Матишов, Г. Г. Выращивание осетровых рыб в условиях замкнутого водоснабжения / Г. Г. Матишов, Е. Н. Пономарёва, П. А. Балыкин // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и Северо-Западной части Тихого океана, 2008. Вып. 8. 168 с.

9. Gessner, J. . Biology and Conservation of the European Sturgeon Acipenser sturio L. 1758. 2011. DOI: 10.1007/978-3-642-20611-5.

10. Dediu L., Docan A., Crețu M., Grecu I., Mogodan A., Maereanu M., Oprea L. Effects of Stocking Density on Growth Performance and Stress Responses of Bester and Bester ♀ × Beluga ♂ Juveniles in Recirculating Aquaculture Systems. Animals. 2021; 11(8):2292. DOI:10.3390/ani11082292.

11. Pourali Fashtomi, H. R. and Mohseni, M. (2006). Survival and growth of larval and juvenile Persian sturgeon (Acipenser persicus) using formulated diets and live food. Journal of Applied Ichthyology, 22: 303-306. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2007.00974.x.

12. Pillay, T. V. R. Aquaculture: Principles and Practices / T. V. R. Pillay, M. N. Kutty. 2nd ed. Blackwell Publishing, 2005. 624 p.

13. Койшибаева, С. К. Рекомендации по технологии выращивания осетровых рыб в условиях рыбоводных хозяйств Казахстана / С. К. Койшибаева, Н. С. Бадрызлова, Е. В. Федоров. В.В. Фефелов. В.Н. Уфимцев. Алматы, 2011. 40 с. https://www.slideshare.net/slideshow/ss-11868688/11868688.

14. Li, Z.; Xie, K.; Gu, J.; Li, X.; Shi, Y.; Zhang, J.; Hu, Y.; Zhu, X. An Evaluation of Soybean Protein Concentrate as a Replacement for Fish Meal with Methionine Supplementation in Diets for Hybrid Sturgeon (Acipenser baerii ♀ × A. schrenckii ♂). Animals 2025, 15, 787. DOI:10.3390/ani15060787 https://www.mdpi.com/2076-2615/15/6/787.

Сведения об авторах

А. А. Коробов – главный рыбовод ООО «Тамбовский осетр»; соискатель кафедры кормления и кормопроизводства.

А. А. Васильев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, декан факультета зоотехнологий и агробизнеса, заведующий кафедрой кормления и кормопроизводства.

Ю. А. Гусева – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры кормления и кормопроизводства.

А. И. Никитенко – кандидат биологических наук, руководитель группы гидробиологии.

Д. Ю. Тюлин – кандидат биологических наук, главный специалист группы гидробиологии.

И. А. Жернаков – главный специалист группы гидробиологии.

А. В. Солодовник – младший специалист группы гидробиологии.

М. Д. Качалин – доктор ветеринарных наук, доцент, профессор кафедры ветеринарной хирургии.

Information about the authors

A. A. Korobov – Chief fish breeder of Tambov Sturgeon LLC, PhD in the Department of Feeding and Feed Production.

A. A. Vasiliev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Zootechnology and Agribusiness, Head of the Department of Feeding and Feed Production.

Yu. A. Guseva – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Feeding and Feed Production.

A. I. Nikitenko – PhD in Biological Sciences, Head Group of the Hydrobiology.

D. Yu. Tyulin – PhD in Biological Sciences, Head Specialist of the Hydrobiology.

I. A. Zhernakov– Chief Specialist of the Hydrobiology.

A. V. Solodovnik – Junior Specialist of the Hydrobiology Group.

M. D. Kachalin – Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Veterinary Surgery.

Статья поступила в редакцию 23.07.2026; одобрена после рецензирования 14.08.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 23.07.2026; approved after reviewing 14.08.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Коробов А. А., Васильев А. А., Гусева Ю. А., Никитенко А. И., Тюлин Д. Ю., Жернаков И. А., Солодовник А. В., Качалин М. Д., 2026.

«Влияние экструдированного корма с инновационным премиксом на продукционные показатели и размерно-массовую структуру стада гибрида осетра в условиях УЗВ» [Коробов А. А., Васильев А. А., Гусева Ю. А., Никитенко А. И., Тюлин Д. Ю., Жернаков И. А., Солодовник А. В., Качалин М. Д.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 184–193.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья
УДК 338.439.5:639.2/3(470) DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-16 EDN: SUHPLR

Система распределения квот на вылов водных биологических ресурсов в России: эволюция, механизмы и перспективы регулирования

Светлана Валерьевна Кузьмина
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия
kuz_s.v@bk.ru, ORCID: 0009-0007-4724-4554

Аннотация. Рассматривается эволюция системы распределения квот на вылов водных биологических ресурсов в Российской Федерации за период с 1991 г. по настоящее время. Анализируются основные этапы развития квотного механизма: от советской централизованной системы и разрушительных аукционов начала 2000-х гг. до современной модели долгосрочного закрепления долей на основе исторического принципа и инвестиционных квот. Особое внимание уделяется правовым основам, экономическим последствиям каждого этапа, сравнению с зарубежными системами квотирования (США, Норвегия, Исландия) и оценке эффективности действующего механизма регулирования рыболовства. В заключении предлагаются направления совершенствования системы с учётом современных вызовов — санкционных ограничений, необходимости импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности.

Ключевые слова: квоты на вылов водных биологических ресурсов, исторический принцип, инвестиционные квоты, аукционы, рыболовство, государственное регулирование, исключительная экономическая зона, рыбопромысловые суда

Для цитирования: Кузьмина С. В. Система распределения квот на вылов водных биологических ресурсов в России: эволюция, механизмы и перспективы регулирования // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 184–193.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 184–193.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

The quota allocation system for aquatic biological resources in Russia: evolution, mechanisms, and regulatory prospects

Svetlana V. Kuzmina
Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
kuz_s.v@bk.ru, ORCID: 0009-0007-4724-4554

Abstract. The article examines the evolution of the quota allocation system for the harvesting of aquatic biological resources in the Russian Federation from 1991 to the present. It analyzes the main stages in the development of the quota mechanism: from the Soviet centralized system and the destructive auctions of the early 2000s to the current model of long-term share allocation based on the historical principle and investment quotas. Special attention is paid to the legal foundations, economic consequences of each stage, comparison with foreign quota systems

© Кузьмина С. В., 2026

(USA, Norway, Iceland), and assessment of the effectiveness of the current fisheries management mechanism. In conclusion, directions for improving the system are proposed, taking into account contemporary challenges – sanctions restrictions, the need for import substitution, and ensuring food security.

Keywords: quotas for the harvesting of aquatic biological resources, historical principle, investment quotas, auctions, fisheries, state regulation, exclusive economic zone, fishing vessels

For citation: Kuzmina S. V. The quota allocation system for aquatic biological resources in russia: evolution, mechanisms, and regulatory prospects. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2026; 77(3):184–193. (In Russ.).

Введение

Рыбная отрасль России представляет собой сложный производственно-хозяйственный комплекс, объединяющий не только рыболовство и производство пищевой продукции, но и судостроение, судоремонт, портовые службы, научно-исследовательские институты и товарные хозяйства по разведению рыбы [2, с. 1]. Страна обладает одним из крупнейших в мире рыболовных флотов, а её исключительная экономическая зона (ИЭЗ) простирается на миллионы квадратных километров – от Баренцева моря до Берингова и Охотского.

Эффективность функционирования отрасли во многом зависит от правовых, организационных и экономических предпосылок, создаваемых государством. Центральным элементом государственного регулирования выступает система распределения квот на вылов водных биологических ресурсов (ВБР), которая за последние три десятилетия претерпела кардинальные изменения. Нестабильность правил доступа к ресурсу, многократные реформы и смена принципов распределения оказывали как позитивное, так и негативное влияние на состояние запасов, инвестиционную активность и социально-экономическое положение прибрежных регионов.

Цель исследования – провести комплексный анализ эволюции системы распределения квот на вылов водных биологических ресурсов в Российской Федерации, выявить её проблемные зоны и обосновать направления совершенствования с учётом отечественного и зарубежного опыта.

Задачи исследования:

1. Систематизировать этапы развития системы распределения квот в России с 1991 года по настоящее время.

2. Выявить экономические и правовые последствия каждого этапа (советская модель, период хаоса 1990-х гг., аукционная система 2000–2003 гг., переход к историческому принципу, инвестиционные квоты).

3. Провести сравнительный анализ российской системы квотирования с зарубежными моделями (Норвегия, Исландия, США, Европейский союз).

4. Оценить эффективность действующей модели распределения квот на основе статистических показателей 2023–2024 гг.

5. Разработать предложения по совершенствованию механизма квотирования с учётом современных вызовов (закредитованность отрасли, санкционные ограничения, климатические изменения).

Объект и методы исследования

Объект исследования – система распределения квот на вылов водных биологических ресурсов как институт государственного регулирования рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации. Для достижения поставленной цели и решения сформулированных задач в работе использован комплекс общенаучных и специальных методов исследования, адекватных природе изучаемого объекта.

Анализ и синтез нормативно-правовых актов позволил выявить ключевые принципы распределения квот (исторический, долевой, инвестиционный), сроки закрепления долей, пороговые значения освоения квот и механизмы контроля.

Историко-генетический метод позволил проследить эволюцию системы распределения квот в хронологической последовательности: советская централизованная модель (до 1991 г.) → период дезорганизации (1991–1999 гг.) → аукционная система (2000–2003 гг.) → переход к историческому принципу (2004–2016 гг.) → внедрение инвестиционных квот (с 2017 г.) → крабовые аукционы (2019 г.). Для каждого этапа определены причины перехода, ключевые нормативные акты и последствия.

Сравнительно-правовой метод использован для сопоставления российской системы квотирования с зарубежными моделями: индивидуальные передаваемые квоты (Норвегия, Исландия), система доли общего допустимого улова (США, Аляска), общедоступные квоты с элементами аукционов (Европейский союз). Сравнение проводилось по следующим критериям: срок закрепления квот, возможность передачи/продажи, наличие инвестиционных обязательств, доля береговой переработки, участие малого флота.

Системный подход позволил изучить распределение квот как элемента более широкой системы государственного регулирования рыбохозяйственного комплекса, находящейся во взаимосвязи с налоговой, инвестиционной, внешнеторговой и экологической политикой. Выявлены прямые и обратные связи между изменениями в квотной политике и показателями вылова, объёмами инвестиций, уровнем браконьерства и налоговыми поступлениями.

Проанализированы статистические данные Росрыболовства, Федеральной службы государственной статистики (Росстат), Федеральной таможенной службы за период 1990–2024 гг. (ежегодный объём вылова (в млн т); объём инвестиций в основной капитал рыбной отрасли (в млрд руб.); налоговые поступления от рыбопромышленных предприятий (в тыс. руб. на тонну вылова); кредиторская задолженность и чистая прибыль отрасли; объём производства продукции аквакультуры; динамика экспорта и импорта рыбопродукции). На основе этих данных построены временные ряды, позволяющие оценить эффективность каждого этапа реформирования квотной системы.

Результаты и их обсуждение

Квота на вылов водных биологических ресурсов представляет собой ограничение объёма изъятия определённого вида биоресурсов из среды обитания на установленный период времени (обычно календарный год) в пределах конкретного района промысла [8, с. 2]. В российской правовой системе квоты классифицируются по нескольким основаниям.

Во-первых, по целевому назначению: промышленные квоты (для добычи в целях производства рыбной продукции), прибрежные квоты (для вылова с последующей доставкой улова в живом, свежем или охлаждённом виде в российские порты), квоты для коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока (для обеспечения традиционного образа жизни), научные и контрольные квоты, а также квоты для аквакультуры (рыбоводства) [8, с. 3].

Во-вторых, по способу распределения: аукционные (продаваемые на торгах), исторические (закрепляемые на основе данных о вылове за предыдущие периоды) и инвестиционные (предоставляемые в обмен на обязательства по созданию новых мощностей).

В-третьих, по сроку действия: разовые (на один промысловый сезон), краткосрочные (до 5 лет) и долгосрочные (от 10 до 15 лет и более). Мировой опыт показывает, что долгосрочные квоты создают стимулы для рационального использования ресурсов, тогда как краткосрочные провоцируют «гонку за рыбой» и переловы [4, с. 77].

С экономической точки зрения, доступ к водным биоресурсам создаёт природную ренту – разницу между ценой реализации продукции и издержками на её добычу. Вопрос о том, кому должна доставаться эта рента – государству (как собственнику ресурсов), предприятиям (как инвесторам) или территориям (как социальной среде) – является ключевым в любой системе распределения квот [5, с. 15].

В советской модели рента полностью аккумулировалась государством через систему централизованного ценообразования и распределения прибыли. В аукционный период (2000-2003 гг.) государство пыталось изымать ренту непосредственно через плату за квоты. Однако

этот подход привёл к парадоксальному результату: вместо роста бюджетных доходов началось массовое уклонение от налогов и расцвет теневого сектора [2, с. 3].

Современная модель исторического принципа фактически передаёт значительную часть ресурсной ренты в распоряжение предприятий, которые должны направлять её на модернизацию флота и переработку. Механизм инвестиционных квот представляет собой попытку «привязать» получение ренты к выполнению социально значимых инвестиционных проектов.

Система распределения квот на вылов водных биологических ресурсов прошла несколько этапов развития, каждый из которых характеризуется определенным механизмом распределения ВБР, эффективностью этого механизма, последствиями для рыбной промышленности и экономики. Рассмотрим их более подробно.

1. Советская система управления рыболовством: централизация и эффективность

В советский период управление рыбохозяйственным комплексом строилось на трёх основных принципах: сочетание централизованного управления и децентрализованного выполнения хозяйственных функций; наличие государственной поддержки отрасли (дотации, льготное кредитование, налоговые преференции); недопустимость нарушения единого технологического процесса [2, с. 2].

Были созданы государственные производственные объединения на каждом рыбодобывающем бассейне – Дальневосточном, Северном, Западном, Азово-Черноморском, Каспийском. В состав этих объединений входили морские рыбные порты, базы флота, рыбоперерабатывающие предприятия, судоремонтные заводы и холодильники. Это обеспечивало единую технологическую цепочку – от добычи и первичной обработки на судах до глубокой переработки на берегу и реализации через систему рыбной торговли.

Функции центрального органа управления выполняло Министерство рыбного хозяйства СССР (Минрыбхоз), созданное в 1965 г. В его ведении находились не только добыча и переработка, но и наука – Всесоюзный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО) и бассейновые институты [5, с. 17]. Такая интеграция позволяла оперативно корректировать объёмы вылова на основе научных рекомендаций.

Результаты советской модели впечатляют: к 1990 г. душевое потребление рыбных продуктов в РСФСР достигло 20,3 кг при медицинской норме 18,6 кг; среднегодовой улов составлял 7,5 млн т; рентабельность продукции в 1991 г. – 36,8 % [2, с. 2]. Экспорт рыбопродукции приносил около 1,5 млрд долларов в год (в ценах конца 1980-х гг.).

Однако с началом экономических реформ 1990-х гг. система оказалась разрушена. Приватизация привела к дроблению крупных объединений на множество мелких компаний. Управленческие связи были утрачены, наука лишилась финансирования, а государственный контроль за соблюдением правил промысла практически исчез. В этих условиях потребовалось формирование новых механизмов распределения ресурсов.

2. Период хаоса 1990-х гг.: отсутствие системы и рост браконьерства

После распада СССР и ликвидации Минрыбхоза в 1992 г. рыбная отрасль оказалась в правовом вакууме. Формально квоты на вылов распределялись региональными органами исполнительной власти и бассейновыми комитетами по рыболовству, но единые правила отсутствовали.

Результатом стало резкое падение вылова: с 7,5 млн т в 1990 г. до 4,0 млн т в 1995 г. [2, с. 2]. При этом, по оценкам экспертов, реальный объём изъятия водных биоресурсов оставался высоким за счёт нелегального промысла. Браконьерство, особенно на Дальнем Востоке (вылов краба, минтая, лососёвых), приняло катастрофические масштабы. По разным оценкам, в середине 1990-х гг. до 40–50 % вылова осуществлялось нелегально или без оформления разрешений [3, с. 1].

Этот период часто называют «золотой лихорадкой» в рыбной отрасли: компании, имевшие административный ресурс, получали квоты практически бесплатно и продавали их «теневым» переработчикам или зарубежным покупателям. Государство практически не получало налогов от рыбного промысла, а рыбные запасы истощались. К концу 1990-х гг. стало очевидно, что необходима радикальная реформа.

3. Аукционная система (2000–2003 гг.): эксперимент с негативными последствиями

Постсоветский период характеризовался поиском эффективных рыночных механизмов. 27 декабря 2000 г. Правительство РФ приняло постановление № 1010, утвердившее систему аукционов для распределения части промышленных квот [2, с. 3]. Средства, полученные от аукционов, должны были поступать в федеральный бюджет в качестве платы за пользование водными биоресурсами.

Технически аукционы проводились по следующей схеме: для каждого вида ВБР в каждом промысловом районе определялся стартовый размер платы за тонну (например, для минтая в Охотском море – около 15–20 долларов). Участники торгов делали ставки, и квота доставалась тому, кто предложил наибольшую цену. Право на вылов предоставлялось на один год. Такой механизм казался экономистам «идеальным рыночным инструментом», но практика оказалась иной.

Последствия аукционной системы оказались крайне негативными. Анализ на примере Магаданской области, проведённый О. В. Акулич (2008), показывает, что налоговая нагрузка на рыбную отрасль увеличилась в 4 раза. При этом поступления в региональный бюджет сократились вдвое, а в федеральный выросли в 8,85 раза. Заработная плата в отрасли упала более чем на треть [2, с. 3].

Основные системные последствия аукционной системы включали:

1. Высокие цены на квоты (в ряде случаев цена достигала 50–70 % от выручки) подорвали конкурентоспособность российских рыбодобывающих компаний на международном рынке. Российский минтай стал дороже американского, что привело к потере традиционных рынков сбыта в Китае и Корее.

2. Аукционные цены сделали легальный лов практически нерентабельным, что привело к взрывному развитию браконьерства. По оценкам специалистов, практика продажи квот через аукционы увеличила объёмы переловов с 20 до 50 % [2, с. 4]. Браконьерские суда работали без квот, продавая улов по демпинговым ценам.

3. Произошло сокращение рыбных запасов из-за отсутствия стимулов к их сохранению. По сравнению с 1998 г. общие допустимые уловы в исключительной экономической зоне РФ уменьшились к 2003 г. на 800 тыс. т [2, с. 4]. Особенно пострадала популяция камчатского краба и некоторых видов лососёвых. В 2004 г. российские рыбаки добыли около 2,9 млн т – исторический минимум со времён СССР [1, с. 1]. Стало очевидно, что аукционная модель требует безотлагательной замены.

4. Переход к историческому принципу: становление долгосрочного регулирования

Переломным моментом стало принятие Федерального закона от 20 декабря 2004 года № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов», который закрепил долевой и долгосрочный принцип распределения квот [3, с. 1]. Доли рассчитывались на основании данных об объёме вылова за предыдущие пять лет (1999–2003 гг.), что означало переход к так называемому «историческому принципу» – квотирование в соответствии с промысловой историей предприятий начала 2000-х гг.

Постановление Правительства РФ от 20 ноября 2003 года № 704 заложило основу для закрепления долей за пользователями путём заключения договоров. С 2008 г. система долгосрочного закрепления квот (сроком на 10 лет) создала условия, при которых финансовые институты, получив гарантии кредитоспособности заемщиков, стали выдавать рыбопромысловым компаниям долгосрочные кредиты на модернизацию флота [10, с. 77].

Суть исторического принципа заключается в том, что объём квоты для конкретного предприятия определяется как произведение общего допустимого улова (ОДУ) по данному виду ресурса на долю предприятия, которая остаётся фиксированной на долгосрочный период. Например, если предприятие в базовый период (1999–2003 гг.) вылавливало 5 % от всего минтая в Охотском море, то и в последующие годы оно получало ровно 5 % от ежегодно утверждаемого ОДУ.

Результаты не заставили себя ждать. Уже к 2007 г. объём вылова начал расти. В 2007 г. каждая тонна вылова обеспечивала 2,9 тыс руб. налоговых поступлений, а в 2017 г. – уже 10

тыс руб. с тонны. Отраслевые инвестиции выросли с менее 1,5 млрд руб. в 2007 г. до почти 14 млрд руб. в 2017 г. [10, с. 78].

Особенно показателен пример крабового промысла. До перехода к историческому принципу крабовые запасы находились на грани истощения. Введение долгосрочных квот и усиление контроля привели к восстановлению популяций. К 2015 г. допустимый улов краба в дальневосточных морях увеличился на 40 % по сравнению с кризисным 2004 г.

5. Инвестиционные квоты (2017 г. – настоящее время): «квоты под киль»

С 2017 г. стартовала программа, получившая неформальное название «квоты под киль» – механизм, стимулирующий инвестиции в отрасль. В рамках этого механизма квоты получили предприятия, обязавшиеся построить на отечественных верфях промысловые суда и береговые перерабатывающие заводы [1, с. 1]. Юридически это было оформлено через внесение изменений в Федеральный закон «О рыболовстве» (Федеральный закон № 349-ФЗ от 3 июля 2016 г.).

Первый этап программы (2017–2021 гг.) предусматривал строительство 105 промысловых судов (в том числе 70 судов для донного и пелагического траления и 35 краболовных судов) и 27 береговых перерабатывающих заводов. Инвестиционные обязательства распределялись через аукционы: на торги выставлялись доли квот на вылов краба и некоторых видов рыб, а победитель обязывался построить судно или завод на российской верфи в установленные сроки.

В 2019–2020 гг. инвестиции в отрасль составили 45 и 68,1 млрд руб. соответственно. Однако реализация столкнулась с серьёзными трудностями. По состоянию на начало 2024 г. сдано 25 рыбоперерабатывающих производств и лишь 22 судна из 105 запланированных [1, с. 2]. Строительство на отечественных верфях в условиях санкций (2014–2024 гг.) и дефицита импортных комплектующих (двигатели, гидравлика, навигационное оборудование) оказалось сложной задачей.

Тем не менее есть и успешные примеры. Группа компаний «Норебо» построила на Выборгском судостроительном заводе серию траулеров-процессоров для промысла в Баренцевом море. Компания «Русский краб» ввела в эксплуатацию несколько краболовных судов на судостроительном комплексе «Звезда» в Большом Камне (Приморский край). Эти суда оснащены современными линиями для заморозки и варки краба прямо на борту.

Второй этап программы начался в 2023 г. Всего на двух этапах планируется построить 46 судов, 11 береговых заводов и 6 логистических комплексов для холодильного хранения рыбопродукции [1, с. 3]. Как отметил глава Росрыболовства Илья Шестаков в интервью 2024 г. : «Важнейший механизм – квоты под инвестиции. Нигде в других отраслях экономики такого нет, когда, по сути, за счёт нематериальных активов стимулируются вложения в отрасль» [1, с. 3].

6. Крабовые аукционы 2019 г.: перераспределение ресурсной ренты

Отдельным этапом развития системы стали крабовые аукционы 2019 г. В соответствии с поручениями Президента РФ, 50 % крабовых квот были изъяты у исторических пользователей и выставлены на аукционы с инвестиционными обязательствами [5, с. 2]. Этот шаг вызвал ожесточённые споры в отрасли.

Сторонники реформы утверждали, что исторический принцип привёл к монополизации крабового промысла небольшой группой компаний («Сигма Марин Технолоджи», «Антей», «Русский краб», «Тихрыбком»), которые получали сверхприбыль (рентабельность крабового промысла достигала 100–150 %) без обязательств перед государством. Противники указывали на нарушение прав добросовестных пользователей, которые десятилетиями инвестировали в промысел и сохранение запасов.

Аукционы 2019 г. принесли в федеральный бюджет около 142 млрд руб. – рекордную сумму для рыбной отрасли. Победители обязались построить 35 краболовных судов на российских верфях. Однако к 2024 г. сроки строительства были нарушены по вине верфей, что привело к судебным разбирательствам [1, с. 4].

При этом зарубежные системы квотирования имеют другие правила, проведем их сравнительный анализ.

1. Система индивидуальных передаваемых квот (ИПК) в Норвегии и Исландии

Норвегия считается мировым лидером в области управления рыболовством. Система индивидуальных передаваемых квот (Individual Transferable Quotas – ITQ) была введена здесь в 1990 г. после нескольких лет экспериментальных механизмов [4, с. 78]. Основные принципы норвежской системы:

- Квоты закреплены за конкретными судами (а не за компаниями).
- Квоты являются передаваемыми – их можно продавать, сдавать в аренду или обменивать.
- Государство ежегодно устанавливает общий допустимый улов на основе научных рекомендаций.
- Часть квот (обычно 5–10 %) резервируется для малого прибрежного флота.

Исландия пошла ещё дальше: здесь квоты были закреплены за судами бессрочно и с правом полной передачи. Это привело к высокой концентрации: 10 крупнейших компаний контролируют около 80 % квот. Многие мелкие рыбаки были вынуждены продать свои квоты и уйти из отрасли. Это вызвало социальные протесты («тресковые войны» 2000-х гг.), но экономические показатели отрасли остаются высокими [4, с. 79].

Отличие российской системы в том, что квоты в РФ не являются в полном смысле передаваемыми – их нельзя свободно продать или купить на рынке. Закрепление доли происходит за компанией (юридическим лицом), а при смене собственника компания сохраняет право на долю, но сама доля не отделена от предприятия. Это снижает риски спекуляции, но ограничивает гибкость.

2. Американская система: доля общего допустимого улова (ДОО)

В США используется механизм «доля общего допустимого улова» (catch share), который имеет много общего с российским историческим принципом, но с существенными отличиями. Наиболее известен пример Аляскинского промысла минтая – одного из крупнейших рыболовств в мире [7, с. 2].

Американская система (введена в 2006 г.) характеризуется следующими чертами:

- Квоты распределяются на основе истории вылова с 1998 г. по 2002 г.
- Существует обязательная доля для береговой переработки – 40 % квоты должно быть переработано на территории США.
- Созданы кооперативы, которые управляют квотами и распределяют их между участниками.
- Введены строгие ограничения на иностранное владение: только граждане США и американские компании могут иметь квоты.

Россия при разработке механизма инвестиционных квот в 2016–2017 гг. частично ориентировалась на американский опыт, особенно в части обязательств по береговой переработке. Однако российская система больше акцентирует строительство новых судов, тогда как американская – собственно переработку улова.

3. Опыт стран Европейского союза: системы с общедоступными квотами

В Евросоюзе единой системы квотирования нет – каждая страна-член имеет свою модель, что создаёт постоянные конфликты. Общим для всех является Общая рыболовная политика (Common Fisheries Policy – CFP), которая устанавливает общие допустимые уловы по бассейнам (например, в Северном море, Балтике, Средиземноморье).

Характерные черты европейских систем:

- Высокая доля «общедоступных» квот, которые распределяются на аукционах или через лотереи.
- Существенные ограничения для промышленного флота в прибрежной зоне (до 12 морских миль).

• Обязательная выгрузка улова в портах ЕС (запрещён сброс недоразмерной рыбы).

Опыт ЕС показывает, что избыточная доля аукционных квот (как это было в России в 2000–2003 гг.) приводит к тем же проблемам: росту издержек, уходу в тень и падению вылова. В 2014 г. ЕС провёл реформу CFP, увеличив долю долгосрочных квот с 30 до 50 % [8, с. 4].

В настоящее время система регулирования рыболовства в России опирается на следующие основные нормативные акты:

1. Федеральный закон от 20 декабря 2004 г. № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» (с изм. от 25 декабря 2023 г.) – базовый закон, определяющий виды квот, принципы распределения и права пользователей.

2. Постановление Правительства РФ от 15 декабря 2005 г. № 768 «О распределении общих допустимых уловов водных биологических ресурсов применительно к видам квот их добычи (вылова)» (с изм. от 7 августа 2023 г.) – детализирует порядок закрепления долей [8, С. 1–6].

3. Постановление Правительства РФ от 20 ноября 2003 г. № 704 «О порядке распределения квот на вылов (добычу) водных биологических ресурсов...».

4. Приказ Росрыболовства от 22 июня 2018 г. № 434 «Об утверждении перечней заявителей, за которыми закрепляются доли квот» [6, с. 1–4].

5. Распоряжение Правительства РФ от 26 ноября 2019 г. № 2798-р «Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 года» [10, с. 15–42].

В 2018 г. система исторического принципа была продлена на 15 лет – до 2034 г. Это дало предприятиям долгосрочный горизонт планирования. В 2019 г., как отмечалось выше, 50 % крабовых квот переведено на инвестиционные аукционы. Федеральным законом № 349-ФЗ от 3 июля 2016 г. срок заключения договоров о предоставлении квот увеличен с 10 до 15 лет, а порог освоения квоты повышен с 50 до 70 % за два года подряд (в противном случае доля может быть перераспределена) [10, с. 79].

В 2023 г. российские рыбаки достигли значительных результатов. Общий вылов составил более 5,3 млн т – максимальный показатель с 1991 г. [1, с. 3]. Производство рыбной продукции выросло на 6 % по сравнению с 2022 г., экспорт – на 12 %, до 2,3 млн т [1, с. 3].

Объёмы аквакультуры (товарного рыбоводства) превысили 400 тыс. т, увеличившись более чем вдвое с 2014 г. Это свидетельствует о диверсификации отрасли и снижении зависимости исключительно от дикого вылова.

Однако сохраняются и серьёзные проблемы. Кредиторская задолженность рыбопромышленных компаний достигла 140 млрд руб. при совокупной чистой прибыли 117 млрд руб. [1, с. 4]. Инвестиционные программы финансируются преимущественно за счёт кредитных средств, а высокая ключевая ставка (16 % годовых в 2023–2024 гг.) делает обслуживание долгов крайне обременительным.

Кроме того, сохраняется проблема так называемых «серых» схем вывоза краба. Несмотря на усиление контроля, часть продукции (по некоторым оценкам, до 15–20 %) по-прежнему вывозится в Китай и Корею без надлежащего таможенного оформления, что приводит к потерям бюджета и искажению статистики.

Перед системой распределения квот в России стоят следующие ключевые вызовы:

1. *Высокая закредитованность отрасли.* При действующей ключевой ставке 16 % годовых даже льготные кредиты под 5–7 % (по программе «квоты под киль») становятся недоступными для ряда компаний. Возможное решение – государственное субсидирование процентных ставок или увеличение срока кредитования до 20–25 лет.

2. *Невыполнение обязательств по строительству судов.* В условиях санкций российские верфи не всегда могут выполнить контракты в срок. Это создаёт риски для заказчиков – компаний-инвесторов, которые могут лишиться квот в случае срыва сроков. Необходимо создать механизм продления сроков при подтверждении форс-мажора.

3. *Необходимость баланса между федеральным центром и регионами.* В 2000–2003 гг. аукционы привели к обеднению региональных бюджетов. Сегодня часть прибрежных квот распределяется регионами, но этот механизм нуждается в расширении. Мурманская область,

Камчатский край, Приморье, Сахалинская область заинтересованы в большем объёме полномочий.

4. *Борьба с браконьерством***.** Несмотря на прогресс, нелегальный промысел остаётся проблемой, особенно в отдалённых районах Дальнего Востока. Требуется более широкое внедрение спутникового мониторинга (система ОСКМ – отраслевая система космического мониторинга) и усиление береговой охраны.

5. *Адаптация к климатическим изменениям.* Изменение ареалов обитания промысловых видов (треска уходит на север, в Баренцевом море появляются теплолюбивые виды) требует более гибкой системы корректировки квот. Научные рекомендации ВНИРО должны иметь более высокий юридический статус.

На основе проведённого анализа можно предложить следующие меры по развитию системы распределения квот:

1. Ввести дифференцированный подход к разным бассейнам. Проблемы Дальневосточного бассейна (доминирование минтая, большая удалённость, значительный крабовый промысел) отличаются от проблем Северного бассейна (треска, пикша, взаимодействие с Норвегией) и Азово-Черноморского бассейна (ограниченность запасов, значительный объём браконьерства).

2. Создать биржевую площадку для вторичного оборота долей квот (без полной приватизации, но с правом долгосрочной аренды). Это повысило бы эффективность использования ресурсов без риска спекуляций.

3. Расширить практику общественного контроля за использованием квот с участием отраслевых ассоциаций и региональных общественных палат.

4. Разработать отдельный механизм квотирования для аквакультуры – на сегодняшний день рыболовные квоты и квоты на выращивание рыбы регулируются разнородными актами, что создаёт правовые коллизии.

5. Увязать распределение квот с экологическими показателями: например, предоставлять дополнительные объёмы компаниям, использующим селективные орудия лова с минимальным приловом.

Заключение

Эволюция системы распределения квот на вылов водных биологических ресурсов в России прошла путь от централизованного управления через разрушительные аукционы 2000–2003 гг. к сбалансированной модели долгосрочного закрепления долей с инвестиционными обязательствами. Исторический принцип, дополненный механизмом «квот под киль», позволил остановить падение вылова, привлечь инвестиции в объёме более 100 млрд руб. и обеспечить технологическое обновление отрасли.

Сравнительный анализ с зарубежными системами (Норвегия, Исландия, США, ЕС) показывает, что российская модель занимает промежуточное положение между жёстко централизованным распределением и полной приватизацией ресурса. Российская система сохраняет значительную роль государства в определении правил, но при этом оставляет предприятиям долгосрочные стимулы для рационального использования ресурса.

Дальнейшее развитие системы должно учитывать необходимость снижения кредитной нагрузки на предприятия (через субсидирование ставок и реструктуризацию долгов), совершенствования механизмов контроля за освоением квот (с использованием новых технологий спутникового мониторинга), обеспечения баланса между федеральными и региональными интересами (путём увеличения доли прибрежных квот), а также адаптации к климатическим изменениям (на основе более тесной интеграции науки и управления). Мировой опыт ведущих рыболовных держав подтверждает, что долгосрочная предсказуемость правил доступа к ресурсу является ключевым условием устойчивого развития отрасли.

Список источников

1. Как повлияла на рыбную отрасль в ДФО программа «квоты под киль» / Интервью с И. Шестаковым // Российская газета. 2024. 21 марта. С. 1–4.

2. Акулич О. В. Государственное регулирование рыбной отрасли: подходы и результаты // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2008. № 4(60). С. 1–5.

3. Кац Е. Долгосрочное управление водными биоресурсами – залог их эффективного использования и сохранения // РИА Fishnews.ru/. 2011. Октябрь. С. 1–4 (электронный ресурс).

4. Корельский В. Ф. Зарубежные системы квотирования вылова: опыт Норвегии, Исландии и США // Вопросы рыбного хозяйства. 2022. № 3. С. 76–82.

5. Лайус Ю. А., Соколова Ф. Х. История рыболовства в России: от империи до постсоветского пространства. СПб. : Европейский университет, 2017. 284 с. (С. 15–42, 155–178).

6. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 22 июня 2018 г. № 434 «Об утверждении перечней заявителей, за которыми закрепляются доли квот добычи (вылова) водных биологических ресурсов…» (с изм. от 15 марта 2023 г.). С. 1–4 (официальный текст).

7. Ступаченко И. Russia mulls expansion of auctions for all fishing quotas // SeafoodSource (международный аналитический обзор). 2020. 3 April. P. 1–2.

8. Постановление Правительства РФ от 15 декабря 2005 г. № 768 «О распределении общих допустимых уловов водных биологических ресурсов применительно к видам квот их добычи (вылова)» (с изм. от 7 августа 2023 г.). С. 1–6.

9. ФАС пошла на принцип. Рыбакам грозит полная смена правил игры / Аналитический материал // Коммерсантъ. 2013. 23 сентября. С. 1–3.

10. Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 26 ноября 2019 г. № 2798-р). С. 15–42, 77–81.

Сведения об авторе

С. В. Кузьмина – кандидат социологических наук, доцент, доцент кафедры «Социально-гуманитарные дисциплины», SPIN-код: 8880-1450.

Information about the author

S. V. Kuzmina – PhD in Sociological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Social and Humanitarian Disciplines, SPIN-code: 8880-1450.

Статья поступила в редакцию 28.05.2026; одобрена после рецензирования 07.07.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 28.05.2026; approved after reviewing 07.07.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Кузьмина С. В., 2026.

«Система распределения квот на вылов водных биологических ресурсов в России: эволюция, механизмы и перспективы регулирования» [Кузьмина С. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 194–201.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья
УДК 639.2/.3:51-7; 639.2/.3:007 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-17 EDN: TGLUPW

Физическое и математическое моделирование сетных инженерных конструкций с учетом внешних факторов воздействия

Александр Алексеевич Недоступ [1], Карина Витальевна Коновалова [2], Павел Владимирович Насенков [3], Алексей Олегович Ражев [4]

Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия
[1] nedostup@klgtu.ru, ORCID: 0000-0002-3851-0984
[2] karina.konovalova@klgtu.ru, ORCID: 0009-0009-9679-3247
[3] pavel.nasenkov@klgtu.ru, ORCID: 0000-0002-8841-1562
[4] aleksej.razhev@klgtu.ru, ORCID: 0000-0002-0983-834X

Аннотация. В статье приводятся результаты физического и математического моделирования сетных инженерных конструкций с учетом внешних факторов воздействия. Физическое моделирование сетных конструкций, имитирующих траловые мешки, основано на теории мультифизического подобия Недоступа А. А., базой которой является обоснование и вывод критериев подобия с учетом линейного масштаба C_l. Экспериментальные исследования с сетными инженерными конструкциями проводились в гидроканале ООО «Фишеринг Сервис». Конструктивные параметры шести сетных конструкций в виде траловых мешков варьировались в диапазонах: длина $3{,}4 \le L \le 5{,}1$ м; диаметр обруча $0{,}35 \le D_{об} \le 0{,}64$ м; диаметр шнура d=3,1 мм; шаг ячеи $60 \le a \le 100$ мм; ориентация ячеи Т0 и Т90. Скорость потока воды в гидроканале составляла $1{,}0 \le v \le 2{,}5$ м/с, числа Рейнольдца $1{,}938 \times 10^3 \le \mathrm{Re} \le 4{,}844 \times 10^3$. В ходе экспериментов измерялось гидродинамическое сопротивление сетной инженерной конструкции R_x. Имитацией внешнего воздействия на сетную инженерную конструкцию составляли пластиковые шары, диаметром $D_ш$=45 мм с нейтральной плавучестью. Математическое моделирование сетных инженерных конструкций выполнялось на основании программного обеспечения, разработанного авторами статьи.

Ключевые слова: физическое моделирование, математическое моделирование, гидромеханика, Т0, Т90, сетная конструкция, траловый мешок

Финансирование: исследование выполнено в ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» за счет гранта Российского научного фонда № 25-21-00008 «Физическое, математическое и компьютерное моделирование сетных инженерных конструкций с учетом внешних факторов воздействия», https://rscf.ru/project/25-21-00008/.

Для цитирования: Недоступ А. А., Коновалова К. В., Насенков П. В., Ражев А. О. Физическое и математическое моделирование сетных инженерных конструкций с учетом внешних факторов воздействия // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 194–201.

© Недоступ А. А., Коновалова К. В., Насенков П. В., Ражев А. О., 2026

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 194–201.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Physical and mathematical modeling of grid engineering structures taking into account external factors of influence

Aleksandr A. Nedostup [1], Karina V. Konovalova [2], Pavel V. Nasenkov [3], Aleksej O. Razhev [4]
Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
[1] nedostup@klgtu.ru, ORCID: 0000-0002-3851-0984
[2] karina.konovalova@klgtu.ru, ORCID: 0009-0009-9679-3247
[3] pavel.nasenkov@klgtu.ru, ORCID: 0000-0002-8841-1562
[4] aleksej.razhev@klgtu.ru, ORCID: 0000-0002-0983-834X

Abstract. The article presents the results of physical and mathematical modeling of grid engineering structures, taking into account external factors of influence. The physical modeling of net structures simulating trawl bags is based on the theory of A.A. Nedostup multiphysical similarity, which is based on the substantiation and derivation of similarity criteria taking into account the linear scale of C_l. Experimental studies with grid engineering structures were carried out in the hydrochannel of LLC "Fishering Service". The design parameters of the six net structures in the form of trawl bags varied in the ranges: length $3{,}4 \le L \le 5{,}1$ m; hoop diameter $0{,}35 \le D_h \le 0{,}64$ m; cord diameter d=3,1 mm; mesh pitch $60 \le a \le 100$ mm; mesh orientation T0 and T90. The water flow rate in the hydraulic channel was $1{,}0 \le v \le 2{,}5$ m/s, and the Reynolds numbers were $1{,}938 \times 10^3 \le \mathrm{Re} \le 4{,}844 \times 10^3$. During the experiments, the hydrodynamic resistance R_x of the grid engineering structure was measured. Plastic balls with a diameter of D_b = 45 mm with neutral buoyancy were used to simulate the external impact on the grid engineering structure. Mathematical modeling of grid engineering structures was performed on the basis of software developed by the authors of the article.

Keywords: physical modeling, mathematical modeling, hydromechanics, T0, T90, net construction, trawl bag

Funding: the research was carried out at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kaliningrad State Technical University" under the grant of the Russian Science Foundation, No. 25-21-00008 «Physical, mathematical and computer modeling of grid engineering structures taking into account external factors of influence», https://rscf.ru/project/25-21-00008/.

For citation: Nedostup A. A., Konovalova K. V., Nasenkov P. V., Razhev A. O. Physical and mathematical modeling of grid engineering structures taking into account external factors of influence. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2026; 77(3):194–201. (In Russ.).

Введение

Сетные инженерные конструкции применяются в широких областях производственной деятельности человека, это рыболовство, рыбоводство, транспорт, промышленная сфера. Исследование гидромеханики сетной конструкции представляет собой сложную задачу, связанную с определением ее формы и сопротивления под влиянием жесткости, гидроподпора, коллизий, возникающих при столкновении объектов.

Физическое и математическое моделирование сетных инженерных конструкций с учетом внешних факторов воздействия является важной задачей для определения ее формы и сопротивления.

Физическое моделирование сетных конструкций, имитирующих траловые мешки, основано на теории мультифизического подобия Недоступа А. А., базой которой является обоснование и вывод критериев подобия с учетом линейного масштаба C_l. В табл. 1 приводятся основные масштабы подобия механических, гидродинамических, грунтодинамических и трибологических величин сетных инженерных конструкций.

Таблица 1

Основные масштабы подобия механических, гидродинамических, грунтодинамических и трибологических величин

Table 1

Basic scales of similarity of mechanical, hydrodynamic, soil-dynamic and tribological quantities

Масштабы физических характеристик		Преобразование через масштаб C_l
Физические характеристики	Обозначение	
Геометрический параметр (длина, высота, ширина и др.)	C_l	C_l
Геометрический параметр (площадь)	C_F	C_l^2
Геометрический параметр (объем)	C_V	C_l^3
Геометрический параметр (геометрический момент инерции)	C_I	C_l^4
Масса	C_m	C_l^3
Время	C_t	$C_l^{5/4}$
Скорость	C_v	$C_l^{-1/4}$
Сила	C_R	$C_l^{3/2}$
Ускорение	C_w	$C_l^{-3/2}$
Объемный вес	C_γ	$C_l^{-3/2}$
Плотность воды	C_ρ	1
Динамическая вязкость воды	C_μ	$C_l^{3/4}$
Кинематическая вязкость воды	C_υ	$C_l^{3/4}$
Изгибная жесткость	C_{EI}	$C_l^{7/2}$
Упругость материала	C_E	$C_l^{-1/2}$
Давление	C_p	$C_l^{-1/2}$
Частота колебаний	C_f	$C_l^{-5/4}$
Касательное напряжение	C_σ	$C_l^{-1/2}$
Потенциальная энергия	C_{Un}	$C_l^{5/2}$
Кинематическая энергия	C_{Tn}	$C_l^{5/2}$
Поверхностное натяжение	$C_{\sigma n}$	$C_l^{1/2}$
Нормальная нагрузка	$C_{\sigma гр}$	$C_l^{-1/2}$
Угол	$C_\alpha = C_{\varphi вн}$	1
Сплошность	C_{Fo}	1
Коэффициент сопротивления (распорной силы, боковой силы)	C_k	1
Коэффициент трения	$C_{\mu d}$	1
Относительное удлинение	C_ε	1

Математическое моделирование сетных инженерных конструкций выполнялось на основании программного обеспечения, разработанного авторами статьи (рис. 1).

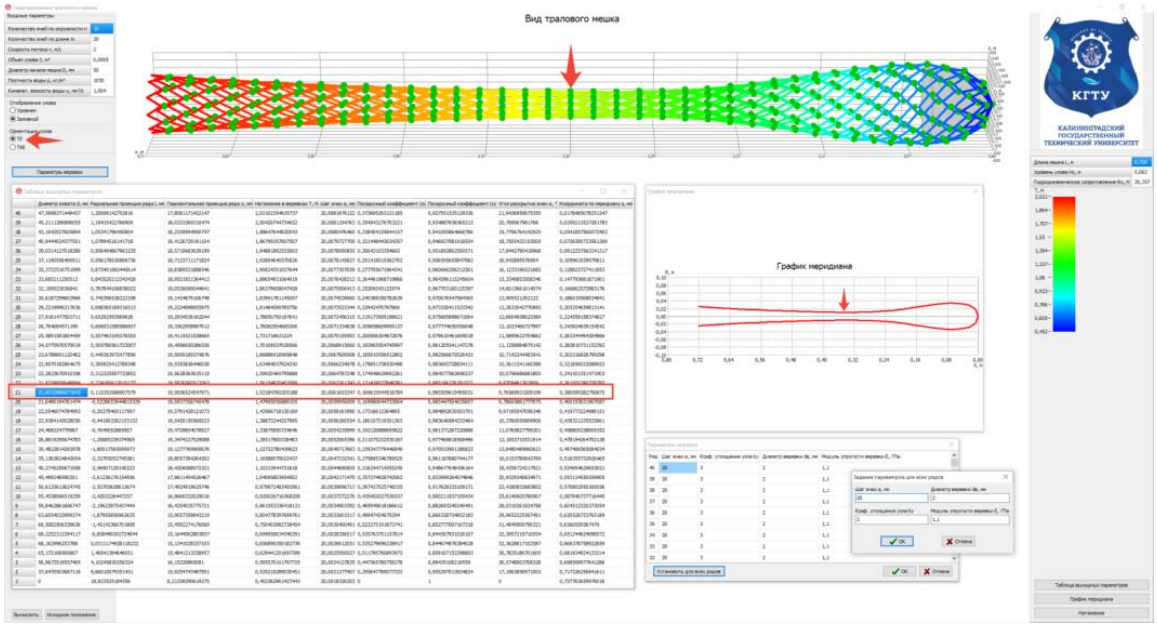


Рис. 1. Главное окно компьютерной программы «Гидродинамика тралового мешка». Составлено авторами

Fig. 1. The main window of the computer program "Hydrodynamics of the trawl bag". Compiled by the authors

Постановка задачи

Экспериментальные исследования с сетными инженерными конструкциями проводились в гидроканале ООО «Фишеринг Сервис» (рис. 2). Конструктивные параметры шести сетных конструкций в виде траловых мешков варьировались в диапазонах: длина $3{,}4 \le L \le 5{,}1$ м.; диаметр обруча $0{,}35 \le D_{об} \le 0{,}64$ м.; диаметр шнура d=3,1 мм; шаг ячеи $60 \le a \le 100$ мм; ориентация ячеи Т0 и Т90. Обручи изготовлены из алюминия и закреплены в начале сетной инженерной конструкции для поддержания заданного раскрытия. Конструктивные характеристики траловых мешков приводятся в табл. 2.



Рис. 2. Экспериментальные исследования гидроканале ООО «Фишеринг Сервис». Фото авторов

Fig. 2. Experimental studies in the flume tank of Fishering Service LLC. Photo taken by the authors

Таблица 2

Конструктивные характеристики траловых мешков

Table 2

Design characteristics of trawl bags

Траловый мешок	Диаметр шнура d, мм	Шаг ячеи a, мм	Ориентация ячеи	Кол-во ячей по ширине n, яч	Кол-во ячей по длине m, яч	Площадь шнуров $F_н$, м^2
1	3,1	60	Т0	50	40	1,49
2	3,1	80	Т0	38	30	1,13
3	3,1	100	Т0	30	24	0,89
4	3,1	60	Т90	50	40	1,49
5	3,1	80	Т90	38	30	1,13
6	3,1	100	Т90	30	24	0,89

Материалы и методы

Скорость потока воды в гидроканале составляла $1{,}0 \le v \le 2{,}5$ м/с, числа Рейнольдца $1{,}938\times10^3 \le Re \le 4{,}844\times10^3$ при коэффициенте кинематической вязкости воды в гидроканале $\upsilon = 1{,}6\times10^{-6}$ м^2/с. В ходе экспериментов измерялось гидродинамическое сопротивление сетной инженерной конструкции вместе с обручем, а также гидродинамическое сопротивление самих обручей для дальнейшего вычета из расчетов. В табл. 3 представлены данные гидродинамического сопротивления инженерной конструкции R_x без учета обручей.

Таблица 3

Гидродинамическое сопротивление инженерной конструкции

Table 3

Hydrodynamic resistance of the engineering structure

Ориентация ячеи	Шаг ячеи a, мм	Диаметр обруча $D_{об}$, м	Скорость потока v, м/с	Число Рейнольдца Re $\times10^3$	Гидродинамическое сопротивление R_x, Н
Т0	60	0,35	1,0	1,938	14
			1,8	3,487	72
			2,5	4,844	149
		0,54	1,0	1,938	29
			1,8	3,487	127
			2,5	4,844	251
		0,64	1,0	1,938	39
			1,8	3,487	152
			2,5	4,844	303
	80	0,35	1,0	1,938	13
			1,8	3,487	69
			2,5	4,844	142
		0,54	1,0	1,938	30
			1,8	3,487	123
			2,5	4,844	261
		0,64	1,0	1,938	38
			1,8	3,487	124
			2,5	4,844	273

	100	0,35	1,0	1,938	2
			1,8	3,487	30
			2,5	4,844	65
		0,54	1,0	1,938	18
			1,8	3,487	55
			2,5	4,844	126
		0,64	1,0	1,938	33
			1,8	3,487	76
			2,5	4,844	146
Т90	60	0,35	1,0	1,938	109
			1,8	3,487	295
			2,5	4,844	519
		0,54	1,0	1,938	129
			1,8	3,487	355
			2,5	4,844	632
		0,64	1,0	1,938	114
			1,8	3,487	357
			2,5	4,844	654
	80	0,35	1,0	1,938	61
			1,8	3,487	193
			2,5	4,844	342
		0,54	1,0	1,938	89
			1,8	3,487	254
			2,5	4,844	462
		0,64	1,0	1,938	90
			1,8	3,487	267
			2,5	4,844	513
	100	0,35	1,0	1,938	33
			1,8	3,487	113
			2,5	4,844	200
		0,54	1,0	1,938	51
			1,8	3,487	154
			2,5	4,844	293
		0,64	1,0	1,938	53
			1,8	3,487	172
			2,5	4,844	294

На рис. 3–4 представлен график значений зависимостей Re=$f(c_x)$ для траловых мешков Т0 и Т90 с шагом ячеи 60 мм.

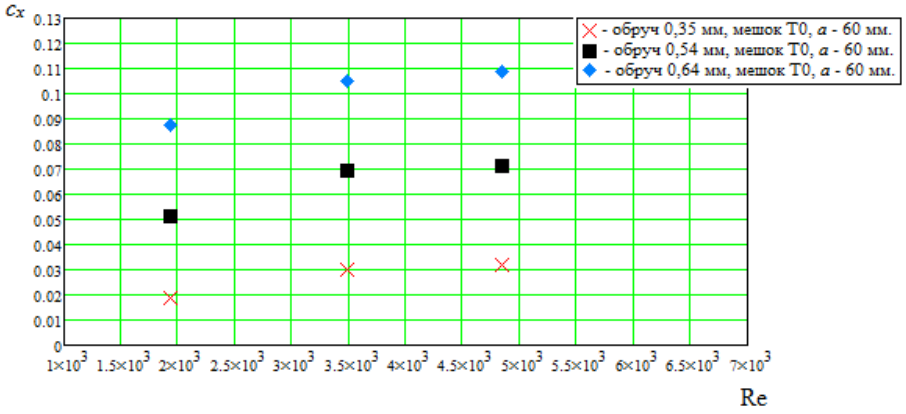


Рис. 3. График значений зависимости Re=f(c_x) для тралового мешка Т0 с шагом ячеи 60 мм.
Составлено авторами
Fig. 3. Graph of the values of the dependence Re=f(c_x) for a trawl bag T0 with a mesh mesh of 60 mm.
Compiled by the authors

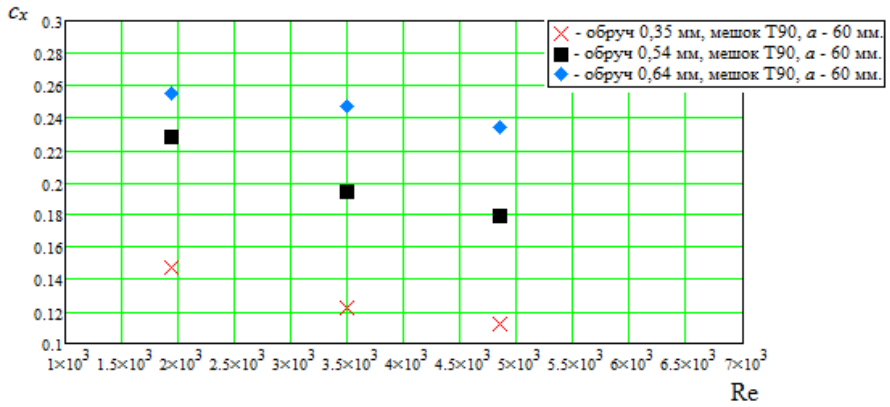


Рис. 4. График значений зависимости Re=f(c_x) для тралового мешка Т90 с шагом ячеи 60 мм.
Составлено авторами
Fig. 4. Graph of the values of the dependence Re=f(c_x) for a trawl bag T90 with a mesh mesh of 60 mm.
Compiled by the authors

Заключение

По предложенной математической модели авторами была разработана программа для ЭВМ «Гидродинамика тралового мешка», позволяющая рассчитать форму мешка и нагрузки в его элементах при различных конструктивных параметрах элементов тралового мешка, скорости траления, ориентации ячей, с последующей их визуализацией в трехмерном, двухмерном и числовом представлениях. Область применения разработанной программы: научные исследования, учебный процесс, проектирование и эксплуатация рыболовных тралов.

Список источников

1. Digre, H., Hansen, U.J. & Erikson, U. Effect of trawling with traditional and ‘T90’ trawl codends on fish size and on different quality parameters of cod Gadus morhua and haddock Melanogrammus aeglefinus . Fish Sci 76, 549–559 (2010).

2. Ражев, А. О. Механика сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства : специальность 05.18.17 «Промышленное рыболовство» : дис. … канд. техн. наук / Ражев Алексей Олегович, 2020. 201 с.

3. Недоступ А. А. Методы расчета сетных пассивных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства / А. А. Недоступ. Калининград : Калининградский государственный технический университет, 2010. 281 с. ISBN 978-5-94826-291-8.

4. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М. О. Штейберга. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1992. 672 с. ISBN 5-217-00423-8.

5. Hoerner, S. F. Fluid-Dynamic Drag: Practical Information on Aerodynamic Drag and Hydrodynamic Resistance, Bricktownship, NJ. 1965. 455 p.

6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М. : Наука, 1978. 832 с.

Сведения об авторах

А. А. Недоступ – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыболовства, AuthorID: 393895.

К. В. Коновалова – кандидат технических наук, ведущий инженер кафедры промышленного рыболовства, AuthorID: 1145543.

П. В. Насенков – кандидат технических наук, заведующий лабораториями кафедры промышленного рыболовства, AuthorID: 1102950.

А. О. Ражев – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, AuthorID: 723215.

Information about the authors

A. A. Nedostup – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Commercial Fisheries, AuthorID: 393895.

K. V. Konovalova – PhD in Technical Sciences, Leading Engineer of the Department of Commercial Fisheries, AuthorID: 1145543.

P. V. Nasenkov – PhD in Technical Sciences, Head of Laboratories, Department of Commercial Fisheries, AuthorID: 1102950.

A. O. Razhev – PhD in Technical Sciences, Leading Research Fellow, AuthorID: 723215.

Статья поступила в редакцию 19.08.2026; одобрена после рецензирования 03.09.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 19.08.2026; approved after reviewing 03.09.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Недоступ А. А., Коновалова К. В., Насенков П. В., Ражев А. О., 2026.

«Физическое и математическое моделирование сетных инженерных конструкций с учетом внешних факторов воздействия» [Недоступ А. А., Коновалова К. В., Насенков П. В., Ражев А. О.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 202–209.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья
УДК 639.2.053.7 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-18 EDN: UJJPWF

Межгодовая динамика биомассы малорота Стеллера *Glyptocephalus stelleri* в водах подзоны Приморье в 2016, 2019, 2022 гг.

Татьяна Сергеевна Пряжевская [1], Инга Владимировна Матросова [2]
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия
[1] priazhevskaia.ts@dgtru.ru
[2] matrosova.iv@dgtru.ru, ORCID: 0000-0001-5316-4955

Аннотация. Рассматриваются особенности распределения плотности скоплений малорота Стеллера *Glyptocephalus stelleri* в 2016, 2019 и 2020 гг. и даётся оценка её суммарной биомассы в различных районах российской части Японского моря. Показана динамика изменения биомассы этого вида в межгодовом аспекте. Наибольшая суммарная биомасса наблюдалась в 2016 г. (1535 кг), наименьшая — в 2019 г. (571 кг). Минимальная учтенная биомасса 54 кг (2019 г.) и максимальная 684 кг (2016 г.) отмечены в северном Приморье. В южном Приморье биомасса варьировала в диапазоне 134–500 кг. В межгодовом сравнении более стабильные показатели характерны для зал. Петра Великого – 305–383 кг. Суммарная удельная биомасса по подзоне составляла к 2016 г. 767,5 кг/км^2, приближаясь к среднемноголетнему значению, в 2019 г. этот показатель снизился до 286,2 кг/км^2, в 2022 г. суммарная удельная биомасса увеличилась до значения 560,1 кг/км^2. Выявленные закономерности могут быть использованы при подготовке прогнозов состояния исследуемого вида в подзоне Приморье.

Ключевые слова: малорот Стеллера, *Glyptocephalus stelleri*, подзона Приморье, залив Петра Великого (ЗПВ), южное Приморье (ЮП), северное Приморье (СП), плотность скоплений, суммарная биомасса, удельная биомасса

Благодарности: авторы выражают благодарность сотрудникам Тихоокеанского филиала ВНИРО за предоставленные материалы.

Для цитирования: Пряжевская Т. С., Матросова И. В. Межгодовая динамика биомассы малорота Стеллера *Glyptocephalus stelleri* в водах подзоны Приморье в 2016, 2019, 2022 гг. // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 202–209.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 202–209.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Interannual dynamics of Blackfin Flounder *Glyptocephalus stelleri* biomass in the waters of the Primorye subzone in 2016, 2019, and 2022

Tatyana S. Pryazhevskaya [1], Inga V. Matrosova [2]
Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
[1] priazhevskaia.ts@dgtru.ru
[2] matrosova.iv@dgtru.ru, ORCID: 0000-0001-5316-4955

© Пряжевская Т. С., Матросова И. В., 2026

Abstract. The article examines the distribution patterns of smallmouth flounder aggregation densities in 2016, 2019, and 2020, and estimates its total biomass in various areas of the Russian part of the Sea of Japan. The interannual dynamics of this species biomass are shown. The highest total biomass was observed in 2016 (1,535 kg), and the lowest in 2019 (571 kg). The minimum recorded biomass of 54 kg (2019) and the maximum of 684 kg (2016) were recorded in Northern Primorye. In Southern Primorye, biomass varied in the range of 134-500 kg. In interannual comparisons, more stable values are characteristic of Peter the Great Bay–305–383 kg. The total specific biomass for the subzone was 767.5 kg/km^2 in 2016, approaching the long-term average. In 2019, this figure decreased to 286.2 kg/km^2, and in 2022, the total specific biomass increased to 560.1 kg/km^2. The identified patterns can be used to predict the status of this species in the Primorye subzone.

Keywords: Blackfin Flounder, *Glyptocephalus stelleri*, Primorye subzone, Peter the Great Bay (PGB), Southern Primorye (SP), Northern Primorye (NP), aggregation density, total biomass, specific biomass

Acknowledgments: the authors express their gratitude to the staff of the Pacific Branch of VNIRO for the materials provided.

For citation: Pryazhevskaya T. S., Matrosova I. V. Interannual dynamics of Blackfin Flounder *Glyptocephalus stelleri* biomass in the waters of the Primorye subzone in 2016, 2019, and 2022. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):202–209. (In Russ.).

Введение

Камбаловые (Pleuronectidae) Японского моря занимают важное место в промысловой ихтиофауне дальневосточных морей. На протяжении многих лет малоротая камбала, она же малорот Стеллера (*Glyptocephalus stelleri*), наряду с такими видами, как минтай, южный однопёрый терпуг, тихоокеанская сельдь, тихоокеанская треска «составляет основу биомассы рыб элиторали российской зоны Японского моря» [1]. Добыча данного вида в Приморском крае имеет свои особенности, связанные с его распределением и поведением.

Дальневосточная малоротая камбала – широкобореальный приазиатский, элиторальный вид семейства камбаловых. Данные по биологии и особенностям распределения этого вида в водах подзоны Приморье в разные годы носят отрывочный характер, разбросаны по различным публикациям и относятся, в основном, к камбалам зал. Петра Великого.

Цель настоящей работы состояла в изучении динамики изменения биомассы *Glyptocephalus stelleri* в разных районах подзоны Приморье в 2016, 2019 и 2020 гг.

Материал и методики

В работе были обобщены и систематизированы количественные данные, полученные в результате соответствующих исследований и изложенные в перечисленных ниже статьях и других публикациях. В их перечень входят: Измятинский Д. В., 2012; Измятинский, Д. В., Калчугин, П. В., 2010; Иванкова З.Г, 1975; Иванкова З. Г., 2000; Ким Сен Ток и др.,1999; Orlov, A. et al.,2021; Милованкин П. Г., 2017; Калчугин П. В. и др, 2016; Асеева Н. Л. и др, 2022; Иванкова З. Г., 2016; Лысак Д. С., Измятинский Д. В., 2023.

Обобщение данных проводилось по трём районам – зал. Петра Великого (ЗПВ), южное Приморье (ЮП), северное Приморье (СП) (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема районов подзоны Приморье (названия соответствуют принятому делению акватории, но не административному делению прилежащей территории) [1]. Составлено авторами
Fig. 1. Map-scheme of the districts of the Primorye subzone (the names correspond to the accepted division of the water area, but not to the administrative division of the adjacent territory) [1]. Compiled by the authors

При вычислении биомассы для 3 районов использовался метод Аксютиной (метод площадей):

$$N = \frac{C_c \times Q}{q \times k},$$

где N – биомасса рыб; C_c – улов вида, кг/ч траления; Q – площадь района; q – площадь траления; k – коэффициент уловистости тралом (0,5) [3].

Работа по интерполяции данных по биомассе осуществлялась при помощи программы Surfer 12.

Результаты и их обсуждение

Промысел камбаловых на Дальнем Востоке имеет довольно продолжительную историю, его начало относят к 1929 г. Как отмечает З. Г. Иванкова, «в первой половине прошлого столетия наиболее крупные скопления камбал отмечались преимущественно в зал. Петра Великого и в северной части Татарского пролива» [4].

Во время нерегулируемого промысла (1930–1967 гг.) численность различных видов камбал значительно сократилась, популяция малоротой камбалы была представлена незрелыми особями, длина которых достигала в среднем 29 см. В качестве срочной меры был введен полный запрет на вылов камбал (1967–1974 гг.), для того чтобы популяции смогли восстановиться. С середины 70-х гг. такие меры регулирования промысла, как квотирование, оказали положительное влияние на численность и структуру популяций камбал. В эти годы отмечалась самая высокая численность малоротой камбалы, в промысловых уловах она занимала первое место среди камбаловых (зал. Петра Великого) [5, 4, 6].

Годами высокой биомассы камбал Японского моря можно считать 1980-е гг., когда средняя удельная биомасса малоротой камбалы (зал. Петра Великого) составляла 127 кг/км^2 [4]. В 1990-х гг. среднемноголетняя плотность скоплений *Glyptocephalus stelleri* возросла до 297 кг/км^2. Наиболее значительное повышение биомассы регистрировалось в 1994 г. – до 595 кг/км^2. В российской части Японского моря плотные скопления малорота Стеллера отмечались в водах северного Приморья, а наибольшая биомасса на единицу площади регистрировалась в водах южного Приморья [1].

Известно, что в конкретные годы биомасса рыб может существенно отличаться от среднемноголетней. Так, в период 1978–1990 гг. биомасса в целом по подзоне Приморье

составила 73 798 000 кг, а в 2015 г. – 8559 кг (табл. 1). По сравнению с данными предыдущих лет по районам Японского моря, в нашем исследовании результаты суммарной биомассы оказались ниже.

В 2016 г. в подзоне Приморье суммарная биомасса малоротой камбалы составила 1 535 кг. Наиболее результативными оказались СП – 684 кг и ЮП – 500 кг, самая низкая биомасса отмечена в зал. Петра Великого – 350 кг (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1

Биомасса (кг) *Glyptocephalus stelleri* в районах подзоны Приморье

Table 1

Biomass (kg) of Glyptocephalus stelleri in areas of the Primorye subzone

Год	ЗПВ	ЮП	СП	Подзона Приморье	Источник данных
1978–1990	3 050 000	9 125 000	61 622 000	73 798 000	[Милованкин П.Г., 2017] [8]
2015	1974	4972	1613	8559	[Калчугин П.В. и др., 2015] [9]
2016	350	500	684	1535	[Лысак Д. С., Измятинский Д.В., 2023] [13]]
2019	383	134	54	571	[Лысак Д. С., Измятинский Д.В., 2023] [13]
2022	305	442	370	1118	[Лысак Д. С., Измятинский Д.В., 2023] [13]

В 2019 г. в северных районах исследуемых вод биомасса рыб уступала таковой в южных районах. Основу суммарной биомассы составляла камбала из зал. Петра Великого – 383 кг, существенно меньшие концентрации наблюдались в южном Приморье – 134 кг и в северном Приморье снизились до минимальных – 54 кг. Общая биомасса *Glyptocephalus stelleri* по всем районам, в сравнении с 2016 г., оказалась почти в 3 раза меньше, составляя 571 кг (табл. 1, рис. 2).

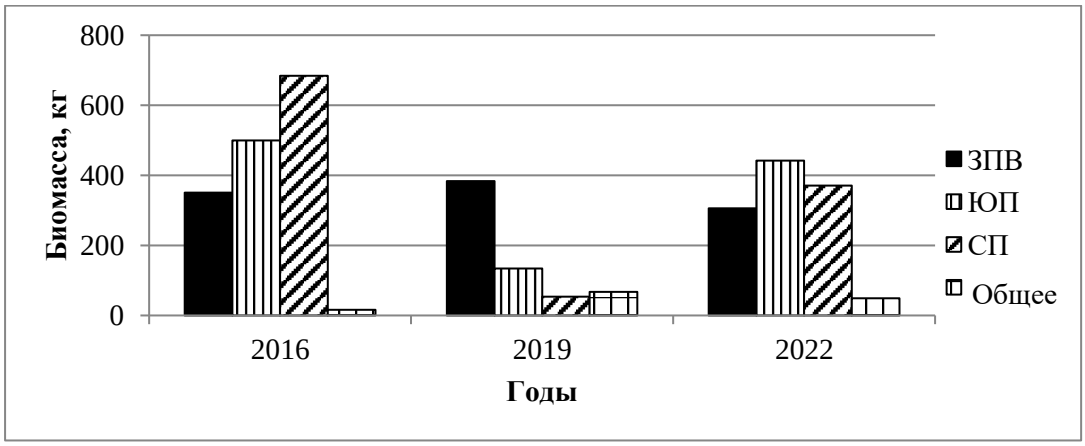


Рис. 2. Суммарная биомасса *Glyptocephalus stelleri,* подзона Приморье. Составлено авторами
Fig. 2. Total biomass of Glyptocephalus stelleri, Primorye subzone. Compiled by the authors

В 2022 г. биомасса малорота Стеллера в подзоне Приморье равнялась 1 118 кг, это больше, чем в 2019 г., однако меньше, чем в 2016 г. Максимальная учтенная биомасса – 442 кг пришлась на воды южного Приморья, немного меньший показатель отмечен для северного

Приморья – 370 кг, более низкие концентрации зарегистрированы в зал. Петра Великого – 305 кг (табл. 1, рис. 2).

Таким образом, наибольшая суммарная биомасса *Glyptocephalus stelleri* наблюдалась в 2016 г. (1 535 кг), наименьшая – в 2019 г. (571 кг). Минимальная учтенная биомасса 54 кг (2019 г.) и максимальная 684 кг (2016 г.) отмечены в северном Приморье. В южном Приморье биомасса варьировала в диапазоне 134–500 кг. В межгодовом сравнении более стабильные показатели характерны для зал. Петра Великого – 305–383 кг (табл. 1, рис. 2).

Данные по удельной биомассе малоротой камбалы в водах подзоны Приморье в разные годы прошлого столетия носят отрывочный характер и относятся, в основном, к камбалам зал. Петра Великого. Анализ литературных данных показал, что в 1980-е гг. средняя удельная биомасса малоротой камбалы в зал. Петра Великого составляла 127 кг/км^2 [4]. В начале XXI в. была отмечена наиболее низкая удельная биомасса этого вида камбалы, составившая в среднем 92,5 кг/км². Это привело к появлению опасений о влиянии на популяцию как естественных факторов уменьшения численности, так и чрезмерного вылова [1].

В ходе комплексного исследования динамики биомассы промысловых рыб донно-придонного комплекса в подзоне Приморья, проводимого в период с 2009 по 2020 г., выявлено, что средняя суммарная удельная биомасса камбал варьирует незначительно, достигая 1100 кг/км² в зал. Петра Великого и 1300 кг/км² в северном Приморье. Было отмечено, что динамика удельной биомассы малорота Стеллера схожа с общей динамикой камбал [10].

«По данным российских научных траловых съемок, проведенных за 42 года (с конца 1970-х гг. до 2020 г.), улов малоротой камбалы на единицу усилия был стабильным без заметной тенденции во времени» [7].

В 2016 г. в российской части Японского моря в целом число особей *Glyptocephalus stelleri* за часовое траление достигало 852 экз. при вариации массы выловленных рыб от 0,03 до 338,8 кг/ч. Среднее число камбал на час траления было равно 93,3±0,12 экз. при средней массе улова 20,6±0,04 кг/ч (табл. 2).

В 2019 г. по сравнению с 2016 г. число рыб на порядок выросло до 1530 экз. В широких пределах колебалась масса от 0,1 до 609,4 кг, достигнув максимального значения за изучаемый период. В среднем масса выловленных рыб понизилась до 16,0±0,1 кг/ч.

Таблица 2

Уловы *Glyptocephalus stelleri* на час траления в подзоне Приморье

Table 2

Catches of *Glyptocephalus stelleri* per hour of trawling in the Primorye subzone

	Показатели	Предельные значения	Среднее значение
2016 г.	Число рыб за часовое траление, экз.	3–852	93,3±0,12
	Улов за часовое траление, кг	0,03–338,8	20,6±0,04
2019 г.	Показатели	Предельные значения	Среднее значение
	Число рыб за часовое траление, экз.	2–1530	55,0±0,08
	Улов за часовое траление, кг	0,1–609,4	16,0±0,1
2022 г.	Показатели	Предельные значения	Среднее значение
	Число рыб за часовое траление, экз.	2–297	51,0±0,09
	Улов за часовое траление, кг	0,06–147,0	14,3±0,08

В 2022 г. в районе исследования количество выловленных рыб сократилось до 297 экз. Масса камбал колебалась в пределах 0,06–147,0 кг/ч. Наблюдалась тенденция к снижению

средней массы за час траления от 20,6±0,04 кг/ч (2016 г.) до 14,3±0,08 кг/ч (2022 г.). Показатели среднего значения числа рыб в 2019 г. и 2022 г. были близки и составили 55,0±0,08 экз. и 51±0,09 экз. соответственно.

Анализ имеющихся данных показал, что в распределении плотности концентраций малоротой камбалы как в пределах районов, так и в межгодовом плане, наблюдается неоднозначная картина. Результаты расчёта биомассы на единицу площади отличались из-за разной площади шельфовой зоны и материкового склона выделяемых районов. Площадь дна исследуемых районов находится в зависимости от величины самих географических районов: ЗПВ – 11161 км², ЮП – 27527 км², СП – 30284 км², вся подзона – 68973 км² [10].

Показатели плотности скоплений варьировали в пределах 153–191 кг/км², что превышало значение «высокой биомассы в 1980-е гг., когда средняя удельная биомасса малоротой камбалы (зал. Петра Великого) составляла 127 кг/км^2» [12], но не достигали среднемноголетнего показателя (1983–2006 гг.) – 732,7 кг/км².

Более значительные колебания биомасссы на единицу площади наблюдались в двух других районах. В северном Приморье в 2016 г. удельная биомасса достигла максимума 342 кг/км², но в 2022 г. снизилась почти в 3 раза, составив 185,2 кг/км². В южном Приморье в отмеченные годы показатели плотности скоплений оказались сопоставимы – 250 кг/км² и 221 кг/км² соответственно. Однако 2019 г. оказался провальным для обоих районов, удельная биомасса снизилась до минимума: в СП – 27,0 кг/км² и в ЮП – 67,2 кг/км² (табл. 3).

Таблица 3

Удельная биомасса (кг/км²) *Glyptocephalus stelleri* в районах подзоны Приморье

Table 3

Specific biomass (kg/km²) of *Glyptocephalus stelleri* in the Primorye subzone

Год	ЗПВ	ЮП	СП	Подзона Приморье	Источник данных
1983-2006	732,7	109,2	115,4	957,3	[Измятинский Д.В., 2012] [1]
2010	–	–	–	250,3	[Асеева Н.Л. и др., 2022] [10]
2011	–	–	–	290,0	[Асеева Н.Л. и др., 2022] [10]
2012	–	–	–	148,5	[Асеева Н.Л. и др., 2022] [10]
2016	175,4	250,1	342,1	767,5	[Лысак Д. С., Измятинский Д.В.., 2023]. [13]
2019	191,6	67,2	27,0	286,2	[Лысак Д. С., Измятинский Д.В., 2023]. [13]
2022	153,0	221,1	185,2	560,1	[Лысак Д. С., Измятинский Д.В., 2023] [13]

Следует отметить, что в сравнении со среднемноголетним значением удельной биомасы по подзоне Приморье – 957,3 кг/км², последующие результаты исследований выявили существенное снижение этого показателя в 2010–2012 гг. в пределах 290–148,5 кг/км². Расчёты по нашим данным показали, что к 2016 г. суммарная удельная биомасса по подзоне возросла до 767,5 кг/км², приближаясь к среднемноголетнему значению. За три последующих года этот показатель снизился до 286,2 кг/км², вероятно, вследствие неурожайных поколений. В 2022 г. суммарная удельная биомасса увеличилась до значения 560,1 кг/км².

По мнению некоторых исследователей, снижение ресурсов камбал в подзоне может быть обусловлено переловом или изменением климатических условий [4, 6, 11]. В то же время, по данным официальной промысловой статистики, квоты на добычу малоротой камбалы осваиваются недостаточно, поэтому уменьшение биомассы вызвано, вероятно, не промысловым прессом, а естественной динамикой численности камбал, характерной для периода снижения, который должен смениться циклом естественного роста биомасс [10].

Выявленные закономерности могут быть использованы при подготовке прогнозов состояния исследуемого вида в подзоне Приморье.

Список источников

1. Измятинский Д. В. Временная и пространственная изменчивость биомассы рыб в элиторали российской зоны Японского моря в тёплое время года // Вопросы ихтиологии. 2012. Т. 52, № 1. С. 39.

2. Измятинский, Д. В., Калчугин, П. В. Состав и количество рыб в элиторали российских вод Японского моря в теплое и холодное время года // Известия ТИНРО. 2010. Т. 161. С. 79–91.

3. Аксютина З. М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях: монография. М. : Пищ. пром-сть, 1968. 89 с.

4. Иванкова З. Г. Биология и состояние запасов камбал залива Петра Великого. 1. Желтоперая и малоротая камбалы // Известия ТИНРО. 2000. Т. 127. С. 188–202.

5. Иванкова З. Г. Изменение структуры популяций камбал в заливе Петра Великого в условиях регулирования их промысла // Известия ТИНРО. 1975. Т. 96. С. 149–160.

6. Ким Сен Ток, Бирюков И. А., Пометеев Е. В. Видовой состав, распределение и структурные изменения в сообществе камбал Татарского пролива в период промысла 1994–1997 гг. // Вопросы ихтиологии. 1999. Т. 39, № 4. С. 469–477.

7. Orlov A. & T., Tomiyama & Volvenko, I. & Munroe, Thomas. Glyptocephalus stelleri, Blackfin Flounder // The IUCN Red List of Threatened Species. 2021. 14 p.

8. Милованкин П. Г. Видовой состав и биомасса рыб по данным донных тралений в северо-западной части Японского моря в 1978–1990 гг. // Известия ТИНРО. 2017. Т. 189. С. 74–87.

9. Калчугин П. В., Соломатов С. Ф., Бойко М. И. Распределение и запасы массовых донных и придонных рыб в различных районах северо-западной части Японского моря // Известия ТИНРО. 2016. Т. 185. С. 3–15.

10. Асеева Н. Л., Кравченко Д. Г., Измятинский Д. В. Динамика биомассы промысловых рыб донно-придонного комплекса в подзоне Приморье в 2009–2020 гг. // Труды ВНИРО. 2022. Т. 188. С. 110–124.

11. Иванкова З. Г. Изменения численности и структуры популяций камбал залива Петра Великого (Японское море) // Биологические основы устойчивого развития прибрежных морских экосистем : тез. докл. Междунар. конф. Мурманск : Апатиты, 2001. С. 95.

12. Иванкова З. Г. Географическая и межгодовая изменчивость видового состава камбал северо-западной части Японского моря // Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 2. С. 77–80.

13. Лысак Д. С., Измятинский Д. В. Батиметрическое распределение малоротой камбалы *Glyptocephalus stelleri* в водах подзоны Приморье в 2019, 2022 гг. // Рациональная эксплуатация водных биологических ресурсов : материалы Международной научно-технической конференции. Владивосток, 26–27 октября, 2023 г. Владивосток : Дальрыбвтуз, 2023. С. 251–256.

Сведения об авторах

Т. С. Пряжевская – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура».

И. В. Матросова – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой «Водные биоресурсы и аквакультура».

Information about the authors

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

I. V. Matrosova – PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture.

Статья поступила в редакцию 21.04.2026; одобрена после рецензирования 11.05.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 21.04.2026; approved after reviewing 11.05.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Пряжевская Т. В., Матросова И. В., 2026.

«Межгодовая динамика биомассы малорота Стеллера *Glyptocephalus stelleri* в водах подзоны Приморье в 2016, 2019, 2022 гг.» [Пряжевская Т. В., Матросова И. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 210–217.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья
УДК 597.552.511 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-19 EDN: UMOLKX

Роль крупной молоди кеты в позднем скате через пролив Красноармейский (Сахалинская область)

Владимир Григорьевич Самарский
Сахалинский государственный университет (СахГУ), Южно-Сахалинск, Россия
samarskiy71@inbox.ru, ORCID: 0009-0002-9546-3106

Аннотация. Исследование посвящено оценке роли крупной молоди кеты *Oncorhynchus keta* в формировании промыслового возврата Охотского лососевого рыбоводного завода в бассейне озера Тунайча. Материалом послужили данные отлова молоди в проливе Красноармейский в 2003 г., результаты промеров тела и массы, анализа структуры чешуи, а также сведения о производителях кеты из промыслового возврата за 2001–2006 гг. Показано, что часть молоди после выпуска задерживается в озерной системе на продолжительный нагул и выходит в море в более поздние сроки, достигая средней длины 85,04 мм и средней массы 3,79 г. К моменту ската у такой молоди на чешуе формируется 5–13 склеритов, образующих выраженную «речную» зону. Сопоставление этих признаков с чешуей взрослых рыб показало, что более 90 % производителей из промыслового возврата Охотского ЛРЗ имели аналогичную зону сближенных склеритов. Полученные данные позволяют рассматривать поздний скат крупной молоди как один из факторов устойчивого промыслового возврата кеты. Практическое значение результатов состоит в необходимости совместного учета средней массы выпускаемой молоди, кормовых условий озера и сроков выхода рыб в море при оценке эффективности искусственного воспроизводства кеты.

Ключевые слова: кета, *Oncorhynchus keta*, молодь, скат, пролив Красноармейский, озеро Тунайча, Охотский ЛРЗ, чешуя, склериты, речная зона, промысловый возврат

Основные положения:

– У крупной молоди кеты, задерживающейся в системе озера Тунайча, формируется выраженная «речная» зона сближенных склеритов.

– Поздний компонент ската через пролив Красноармейский характеризуется большей массой тела и числом склеритов на чешуе.

– Более 90 % производителей из промыслового возврата Охотского ЛРЗ имеют признаки длительного пресноводного нагула.

– Высокие возвраты кеты связаны с выпуском крупной молоди и последующим нагулом в озерной системе.

Для цитирования: Самарский В. Г. Роль крупной молоди кеты в позднем скате через пролив Красноармейский (Сахалинская область) // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 210–217.

© Самарский В. Г., 2026

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 210–217.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Role of large juvenile chum salmon in late downstream migration through Krasnoarmeysky Strait (Sakhalin Oblast)

Vladimir G. Samarskii
Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia
samarskiy71@inbox.ru, ORCID: 0009-0002-9546-3106

Abstract. The study evaluates the contribution of large juvenile chum salmon Oncorhynchus keta to the commercial return of the Okhotsk salmon hatchery stock in the Lake Tunaycha basin. The material included catches of juveniles from Krasnoarmeysky Strait in 2003, measurements of body length and weight, scale-structure analysis, and data on returning adult chum salmon examined in 2001–2006. The results show that part of the hatchery juveniles remains in the lake system for prolonged feeding and enters the sea later than the main downstream migration. By the time of migration, these fish reached an average fork length of 85.04 mm and an average body weight of 3.79 g. Their scales contained 5–13 sclerites forming a distinct freshwater, or "river", zone. A comparison with scales of returning adults showed that more than 90% of fish in the commercial return had a similar zone of closely spaced sclerites. These data indicate that the late downstream migration of large juveniles is likely to be one of the factors supporting the stable commercial return of chum salmon to the Okhotsk hatchery. The practical importance of the results lies in considering release weight, lake feeding conditions and timing of sea entry as connected factors when assessing the efficiency of chum salmon hatchery production.

Keywords: chum salmon, *Oncorhynchus keta*, juveniles, downstream migration, Krasnoarmeysky Strait, Lake Tunaycha, Okhotsk hatchery, scales, sclerites, river zone, commercial return

Highlights

– Large juvenile chum salmon retained in the Lake Tunaycha system form a distinct river zone of closely spaced sclerites.

– The late downstream migration component through Krasnoarmeysky Strait is characterized by greater body weight and more sclerites on scales.

– More than 90% of adults in the commercial return of the Okhotsk hatchery show signs of prolonged freshwater feeding.

– High chum salmon returns are associated with the release of large juveniles and subsequent feeding in the lake system.

For citation: Samarskii V. G. Role of large juvenile chum salmon in late downstream migration through Krasnoarmeysky Strait (Sakhalin Oblast). *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):210–217. (In Russ.).

Введение

В искусственном воспроизводстве кеты одним из ключевых вопросов остается определение признаков молоди, обеспечивающих повышенную выживаемость после выхода в море. Для крупных речных и озерных систем известно существование двух компонентов ската: мелкой молоди, быстро покидающей пресные воды, и более крупной молоди, задерживающейся на пресноводный нагул [1–3]. При длительном пребывании в пресной воде на чешуе формируется зона сближенных склеритов, описанная как «речное кольцо» или «речная» зона [4–6].

Значение такого признака состоит в том, что его можно выявлять не только у покатной молоди, но и у взрослых рыб из промыслового возврата. Это позволяет ретроспективно оценивать вклад разных компонентов ската в формирование урожайности поколений. Для амурской кеты показано, что повышенный возврат связан с активным ростом молоди в пресноводный период миграции к устью [7].

Цель работы – оценить роль крупной молоди кеты, задерживающейся на нагул в системе озера Тунайча и скатывающейся через пролив Красноармейский в поздние сроки, в формировании промыслового возврата Охотского лососевого рыбоводного завода.

Объекты и методы исследований

Материал был собран в 2003 г. в нижней части пролива Красноармейский, ниже автомобильного моста, в рамках исследований питания молоди кеты в бассейне озера Тунайча. Часть сведений по данному району была опубликована ранее [8, 9]. Отлов молоди проводили мальковым неводом размером 15 × 2 м; ячея в крыльях составляла 5 мм, в кутке – 3 мм.

Биологический анализ молоди кеты выполняли по общепринятым методикам [10]. Статистическую обработку данных проводили стандартными биометрическими методами [11]. Массу тела определяли на весах Sartorius LC 621s с точностью до 0,001 г. Промеры чешуи выполняли на микроскопе МБС-10 с мерным окуляром и последующей калибровкой шкалы. Расчеты проводили в Microsoft Excel.

Удельную скорость роста массы тела рассчитывали по формуле

$$G = (\ln Wt - \ln W0) / (t - t0) \times 100, \quad (1)$$

где W0 – начальная масса тела; Wt – конечная масса тела; t – t0 – рассматриваемый промежуток времени [12]. Для удобства интерпретации показатель выражали в процентах; аналогичный подход использовался при анализе ростовых процессов молоди тихоокеанских лососей [13, 14].

Дополнительно использовались данные анализа структуры чешуи производителей кеты из промыслового возврата Охотского ЛРЗ за 2001–2006 гг., позволяющие сопоставить признаки покатной молоди с признаками взрослых рыб.

Таблица 1

Размеры, масса тела и число склеритов на чешуе молоди кеты перед выпуском в 2001 г.

Table 1

Size, body weight and number of sclerites on the scales of juvenile chum salmon before release in 2001

Показатель	Среднее	Минимум	Максимум
Длина АС, мм	51	41	63
Длина АД, мм	46	36	57
Масса тела, мг	995	498	1953
Число склеритов, шт.	2,5	0	5

Примечание. Таблица составлена по данным исходного материала; n = 250 экз.

Результаты и их обсуждение

По литературным данным, второй компонент ската кеты представлен молодью, которая активно питается и растет в пресной воде, увеличивая первоначальную массу в несколько раз [1, 2]. В системе озера Тунайча сходная картина выражалась в том, что основная часть молоди покидала озеро к первой декаде июля, тогда как крупная молодь продолжала нагул и начинала скатываться со второй декады июля [9].

У молоди, выращенной на Охотском ЛРЗ до средней массы около 1 г и более, чешуя к моменту выпуска уже была сформирована у подавляющей части рыб. В 2001 г. из 250 исследованных экземпляров только 3 особи, или 1,2 %, не имели склеритов; в среднем на чешуе

насчитывалось 2,5 склерита (табл. 1). Следовательно, дальнейший нагул в озере мог фиксироваться в структуре чешуи в виде дополнительных сближенных склеритов.

Молодь, задержавшаяся в озере и скатывавшаяся в поздние сроки, имела значительно более крупные размеры. В выборке из 72 экз. средняя длина АС составила 85,04 мм, средняя масса тела – 3,79 г, а число склеритов на чешуе – 10,3 при диапазоне 5–13 (табл. 2, рис. 1). При выпуске молоди в 2003 г. со средней массой 1230 мг и вылове крупной молоди в июле расчетная удельная скорость роста находилась в диапазоне 1,98–3,05 % в сутки. Эти значения сопоставимы с опубликованными оценками роста молоди кеты в естественных и экспериментальных условиях [13, 15–18].

Таблица 2

Биологические показатели крупной молоди кеты, выловленной в проливе Красноармейский в июле 2003 г.

Table 2

Biological parameters of large juvenile chum salmon caught in the Krasnoarmeysky Strait in July 2003

Показатель	Среднее	Минимум	Максимум
Длина АС, мм	85,04	77	92
Длина АД, мм	79,03	72	85
Масса тела, г	3,79	2,7	5,1
Число склеритов, шт.	10,3	5	13
Ширина чешуйной пластинки, мм	0,71	0,43	0,86
Наибольший радиус чешуйной пластинки, мм	0,35	0,19	0,42
Средняя ширина межсклеритных промежутков, мм	0,07	0,06	0,11

Примечание. Приведены средние, минимальные и максимальные значения; n = 72 экз.

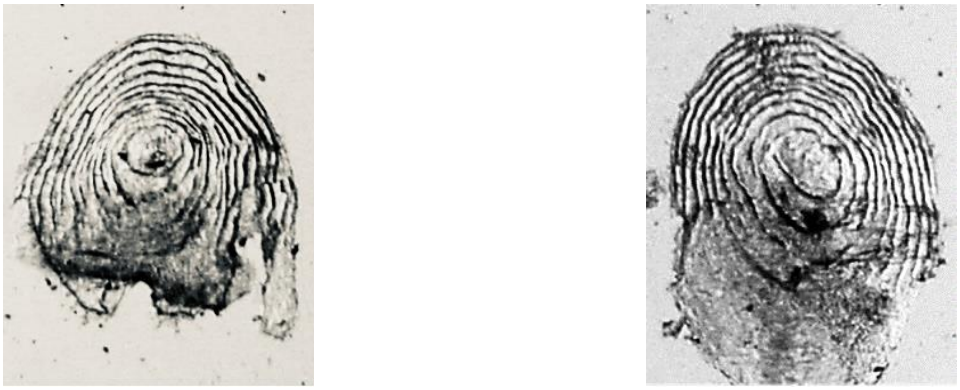


Рис. 1. Чешуя крупной молоди кеты после длительного нагула в озере: слева – самец, АС 87 мм, масса 4,4 г, 12 склеритов; справа – самка, АС 85 мм, масса 3,9 г, 10 склеритов. Фото сделано автором
Fig. 1. Scales of a large juvenile chum salmon after a long period of fattening in a lake: on the left is a male, AC 87 mm, weight 4.4 g, 12 sclerites; on the right is a female, AC 85 mm, weight 3.9 g, 10 sclerites. Photo by the author

Сопоставление структуры чешуи крупной молоди и производителей из промыслового возврата показывает принципиальное совпадение признаков. Более чем у 90 % взрослых рыб, возвращавшихся на Охотский ЛРЗ, в центральной части чешуи присутствовала зона сближенных «речных» склеритов (рис. 2). В противоположность этому менее 10 % рыб не имели такой зоны, что указывает на их происхождение от молоди, скатившейся после минимального пресноводного нагула или до выраженного формирования речной зоны (рис. 3).

По материалам 2001 г. среднее число склеритов в «речной» зоне составляло 9,5–9,7 в разные даты анализа. При рассмотрении возрастных групп среднее число склеритов возрастало от 8,9 у рыб возраста 2+ до 10,9 у рыб возраста 4+; доля особей с речной зоной составляла 88–95 % (табл. 3). В последующие годы наблюдений показатель не снижался ниже 90 % (табл. 4).

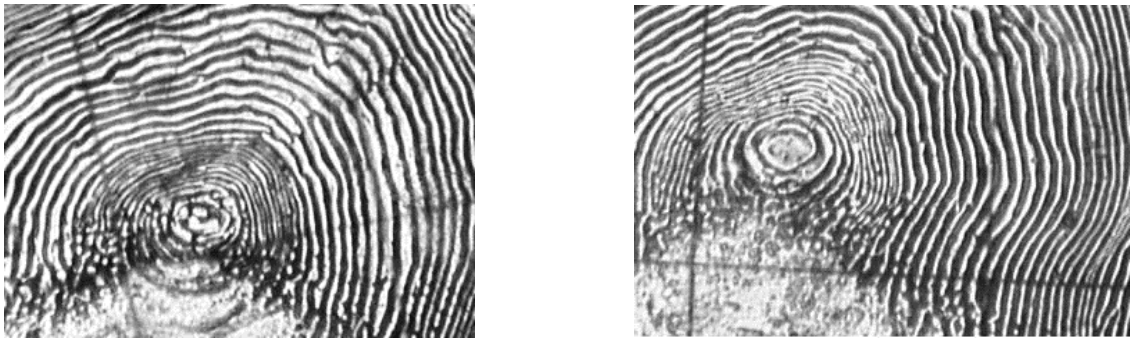


Рис. 2. Центральная часть чешуи производителя кеты с выраженной «речной» зоной сближенных склеритов. Фото сделано автором

Fig. 2. The central part of the chum salmon spawner scales with a distinct "river" zone of closely spaced sclerites. Photo by the author

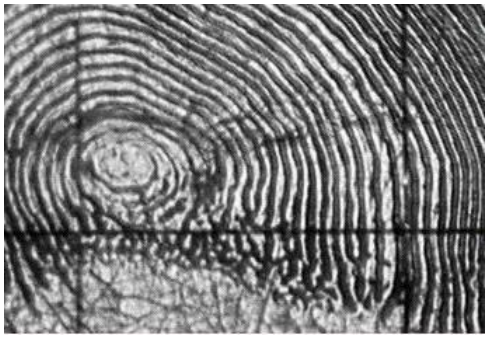


Рис. 3. Центральная часть чешуи производителя кеты без сформированной «речной» зоны. Фото сделано автором

Fig. 3. The central part of the scales of a chum salmon spawner without the formed "river" zone. Photo by the author

Таблица 3

«Речная» зона на чешуе производителей кеты из промыслового возврата Охотского ЛРЗ в 2001 г.

Table 3

“River” zone on the scales of chum salmon spawners from the commercial return of the Okhotsk salmon hatchery in 2001

Группа производителей	Число склеритов в «речной» зоне	Доля рыб с «речной» зоной, %
Дата анализа 25.09.2001	9,6 (5–14)	—
Дата анализа 03.10.2001	9,5 (6–13)	—
Дата анализа 13.10.2001	9,7 (5–14)	—
Возраст 2+	8,9 (5–12)	88
Возраст 3+	9,7 (5–13)	95
Возраст 4+	10,9 (7–14)	93

Примечание. В скобках приведены минимальные и максимальные значения.

Таблица 4

Доля производителей кеты из промыслового возврата Охотского ЛРЗ с «речной» зоной на чешуе

Table 4

The share of chum salmon producers from the commercial return of the Okhotsk salmon hatchery with a “river” zone on the scales

Год нерестового стада	2002	2003	2004	2005	2006
Доля производителей с «речной» зоной, %	94	91	96	94	92

Полученные данные позволяют связать поздний скат крупной молоди с основной частью промыслового возврата. Вероятное преимущество такой молоди определяется не только большей массой тела, но и сроками выхода в море. По литературным данным, крупная молодь кеты после выпуска быстрее откочевывает от берега, меньше задерживается в мелководном прибрежье и, следовательно, может испытывать меньшую раннеморскую смертность [19–22]. Наличие размерно-селективной смертности на ранних морских стадиях также подтверждает преимущество быстрорастущей и более крупной молоди [22]. Эффект повышения возврата при выпуске более крупной молоди отмечался для Сахалинской области [23], а зависимость океанической выживаемости от раннего роста молоди показана и для других тихоокеанских лососей [24].

В анализируемом случае поздний компонент ската был связан с технологической возможностью выращивать молодь на Охотском ЛРЗ до средней массы более 1,1 г. После реконструкции завода и перехода к выпуску более крупной молоди эффективность предприятия существенно возросла. По данным, приведенным для периода 2017–2021 гг., средний вылов кеты составил 1,117 млн рыб против 48,5 тыс. экз. в 1987–1995 гг. [25]. При этом в 2007–2018 гг. возвраты Охотского ЛРЗ оставались относительно высокими и более стабильными, чем у ряда других заводов юго-восточного Сахалина (рис. 4).

В выборке молоди из пролива Красноармейский выделялась также небольшая группа особей с меньшей чешуйной пластинкой и меньшим числом склеритов при сопоставимой массе тела. Их доля составляла около 11 %, что близко к оценке доли мелкой молоди предположительно естественного происхождения, встречавшейся в уловах в озере [9]. Возможной причиной такого варианта структуры чешуи могли быть различия в сроках формирования чешуи и условиях раннего развития; известно, что образование склеритов зависит от физиологического состояния рыбы и обеспеченности пищей [26–28].

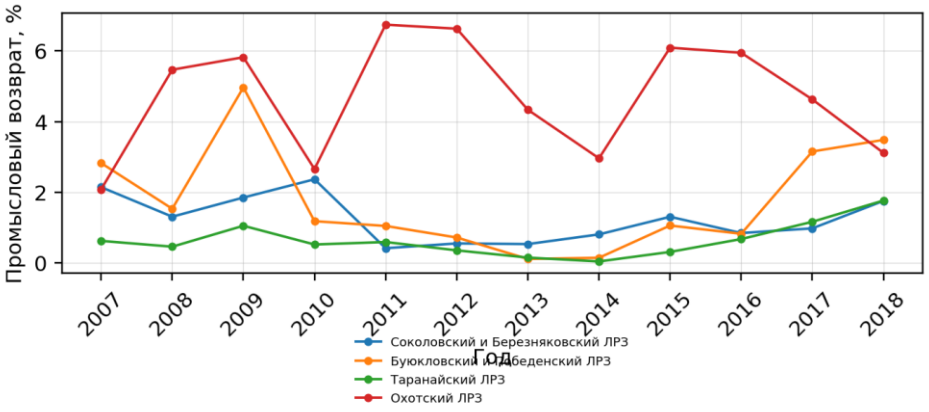


Рис. 4. Изменение промыслового возврата кеты заводского происхождения в 2007–2018 гг.
Составлено автором

Fig. 4. Changes in the commercial return of hatchery-origin chum salmon in 2007–2018.
Compiled by the author

Заключение

Высокая эффективность Охотского ЛРЗ ассоциирована с выпуском молоди кеты средней массой более 1,1 г и последующим формированием позднего компонента ската. Крупная молодь, задерживающаяся в озере Тунайча для дополнительного нагула и скатывающаяся через пролив Красноармейский со второй декады июля, к моменту выхода в море имеет выраженную зону пресноводного роста на чешуе.

Сравнение с чешуей производителей показывает, что более 90 % рыб из промыслового возврата несут «речную» зону сближенных склеритов. Следовательно, основной вклад в возврат Охотского ЛРЗ, вероятно, обеспечивает не ранний скат молоди обычных размеров, а поздний скат крупной молоди, прошедшей длительный пресноводный нагул.

Практическое значение результата состоит в том, что размер молоди при выпуске, доступность кормовой базы в озере и сроки выхода в море должны рассматриваться совместно. Дальнейшие исследования целесообразно направить на количественную оценку численности позднего компонента ската, его питания, скорости роста и условий раннеморской адаптации.

Список источников

1. Гриценко О. Ф., Ковтун А. А., Косткин В. К. Экология и воспроизводство кеты и горбуши. М. : Агропромиздат, 1987. 166 с.

2. Леванидов В. Я. О зависимости между размерами мальков амурской осенней кеты Oncorhynchus keta infrasp. autumnalis Berg и их выживаемостью // Вопросы ихтиологии. 1964. Т. 4, вып. 4(33). С. 658–663.

3. Смирнов А. И. Биология, размножение и развитие тихоокеанских лососей. М. : Изд-во МГУ, 1975. 336 с.

4. Бирман И. Б. О миграциях лососей в Охотское море // Известия ТИНРО. 1968. Т. 64. С. 9–34.

5. Воловик С. П., Ландышевская А. Е. Некоторые вопросы биологии осенней кеты Сахалина // Известия ТИНРО. 1968. Т. 65. С. 108–118.

6. Рослый Ю. С. Структура чешуи амурской кеты Oncorhynchus keta (Walbaum) как показатель роста и условий обитания на пресноводном этапе жизни // Вопросы ихтиологии. 1972. Т. 12, вып. 3. С. 532–544.

7. Рослый Ю. С. Динамика популяций и воспроизводство тихоокеанских лососей в бассейне Амура. Хабаровск : Хабаровское книжное издательство, 2002. 210 с.

8. Самарский В. Г. Формирование размерного состава молоди кеты и структуры ее чешуи в условиях искусственного воспроизводства : дис. ... канд. биол. наук. М. : МГУТиУ, 2005. 167 с.

9. Френкель С. Э. Питание молоди заводской кеты в озере Тунайча (Южный Сахалин) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2008. № 4. С. 284–291.

10. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М. : Пищевая промышленность, 1966. 376 с.

11. Плохинский Н. А. Биометрия. М. : Изд-во МГУ, 1970. 367 с.

12. Мина М. В., Клевезаль Г. А. Рост животных. М. : Наука, 1976. 291 с.

13. Леман В. Н., Чебанова В. В. Возможности повышения эффективности искусственного разведения кеты (Oncorhynchus keta Walbaum) и экология заводской молоди в бассейне реки Большая (Западная Камчатка) // Труды ВНИРО. 2002. Т. 141. С. 102–113.

14. Тарасюк Е. В., Тарасюк С. Н. Влияние плотности посадки и содержания кислорода на рост молоди кеты // Труды ВНИРО. 2010. Т. 148. С. 158–169.

15. Леванидов В. Я. Питание и рост мальков кеты пресных вод // Зоологический журнал. 1955. Т. 34, вып. 2. С. 371–379.

16. Канидьев А. Н. Факторы среды, определяющие величину смертности и возможности повышения жизнестойкости заводской молоди кеты Oncorhynchus keta (Walbaum), в пресноводный период жизни : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М. : ВНИПРХ, 1967. 24 с.

17. Канидьев А. Н., Жуйкова Л. И. Обеспеченность пищей как показатель допустимой концентрации молоди осенней кеты в реке // Известия ТИНРО. 1971. Т. 76. С. 97–110.

18. Николаева Е. Т. Трофические потребности и рост молоди камчатской кеты // Известия ТИНРО. 1972. Т. 82. С. 165–178.

19. Salo E.O. Life history of chum salmon (Oncorhynchus keta) // Pacific Salmon Life Histories / ed. C. Groot, L. Margolis. Vancouver : UBC Press, 1995. P. 230–308.

20. Kaeriyama M. Ecological study on early life of the chum salmon, Oncorhynchus keta (Walbaum) // Scientific Reports of the Hokkaido Salmon Hatchery. 1986. No. 40. P. 31–92.

21. Kaeriyama M. Population dynamics and stock management of hatchery-reared salmons in Japan // Bulletin of the National Research Institute of Aquaculture. Supplement. 1996. No. 2. P. 11–15.

22. Honda K., Shirai K., Komatsu S., Saito T. Sea-entry conditions of juvenile chum salmon Oncorhynchus keta that improve post-sea-entry survival: a case study of the 2012 brood-year stock released from the Kushiro River, eastern Hokkaido, Japan // Fisheries Science. 2020. Vol. 86. P. 783–792.

23. Самарский В. Г. Повышение эффективности искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей в Сахалинской области // Материалы конференции по вопросам развития аквакультуры в Российской Федерации, 19–21 мая 2014 г. Мурманск : ВНИРО, 2014. С. 106–117.

24. Бимиш Р. Д., Невилл К. Э. М. Доказательства зависимости численности тихоокеанских лососей от роста молоди в первые месяцы жизни в океане // Вопросы рыболовства. 2021. Т. 22, № 4. С. 5–15.

25. Игнатьев Ю. И., Колпаков Н. В., Никитин В. Д., Коренева Т. Г. Особенности эксплуатации высокочисленных стад искусственной кеты Oncorhynchus keta на примере озера Тунайча (юго-восточный Сахалин): проблемы и предлагаемые пути решения // Бюллетень № 16 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток : ТИНРО, 2022. С. 96–109.

26. Bilton H.T., Robins G.L. Effects of feeding on circulus formation on scales of young sockeye salmon (Oncorhynchus nerka) // Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 1971a. Vol. 28, no. 6. P. 861–868.

27. Bilton H. T., Robins G. L. Effects of starvation, feeding and light period on circulus formation on scales of young sockeye salmon (Oncorhynchus nerka) // Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 1971b. Vol. 28. P. 1749–1755.

28. Каев А. М. Идентификация происхождения и истории жизни охотоморской кеты Oncorhynchus keta по чешуе // Вопросы ихтиологии. 1998. Т. 38, № 5. С. 650–658.

Сведения об авторе

В. Г. Самарский – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, биологии и природных ресурсов.

Information about the author

V. G. Samarskii – PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology, Biology and Natural Resources.

Статья поступила в редакцию 22.06.2026; одобрена после рецензирования 09.07.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 22.06.2026; approved after reviewing 09.07.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Самарский В. Г., 2026.

«Роль крупной молоди кеты в позднем скате через пролив Красноармейский (Сахалинская область)» [Самарский В. Г.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 218–226.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья
УДК 639.2.081 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-20 EDN: WGUNVU

Обоснование расчетного элемента сетной части разноглубинного трала

Леонид Михайлович Симкин
Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), Москва, Россия
simkinleonid@mail.ru

Аннотация. Формирование каждой части трала происходило на основе исследования конструкции в процессе буксировки. Цель данной статьи заключается в анализе и определении основного элемента конструирования сетной части разноглубинного трала.

Проектирование сетных частей тралов опиралось на предложенные методики, материалы исследований тралов на промысле в процессе буксировки, научные достижения и личный опыте российских ученых [1, 2, 3, 4, 5]. В результате проведенного в статье анализа предложен элемент конструкции сетной части трала, характеристики которого могут служить базой при проектировании всей конструкции сетной части разноглубинного трала.

Ключевые слова: сетная оболочка разноглубинного трала, однородная сетная пластина, неоднородная сетная пластина, сетная часть разноглубинного трала

Для цитирования: Симкин Л. М. Обоснование расчетного элемента сетной части разноглубинного трала // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 218–226.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 218–226.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Justification of the design element of the mesh part of a multi depth trawl

Leonid M. Simkin
Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (“VNIRO”), Moscow, Russia
simkinleonid@mail.ru

Abstract. Each part of the trawl was formed based on a structural analysis conducted during the towing process. The aim of this article is to analyze and identify the key element in the design of the net part of a multi depth trawl.

The design of the net parts of the trawls was based on the proposed methodologies, materials from studies of trawls in the field during towing, scientific achievements, and the personal experience of Russian scientists.[1, 2, 3, 4, 5] As a result of the analysis presented in the article, a structural element of the net part of the trawl is proposed; its characteristics can serve as a basis for designing the entire structure of the net part of a variable depth trawl.

Keywords: netting of a multi depth trawl, uniform netting plate, non uniform netting plate, net part of a multi depth trawl

© Симкин Л. М., 2026

For citation: Simkin L. M. Justification of the design element of the mesh part of a multi depth trawl. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):218–226. (In Russ.).

Введение

Современный разноглубинный трал состоит из канатных и сетных частей, собранных из однородных канатных и сетных пластин. Для его изготовления используются высокотехнологичные сетематериалы, которые обеспечивают заданные проектантом экономические и экологические параметры [6].

С расширением ассортимента сетного полотна для изготовления сетных оболочек разноглубинных тралов вырос перечень конструктивных параметров и характеристик сетематериалов, улучшающих экономические и селективные показатели тралов [7]. Однако в литературе принципы и методики изменения того или иного конструктивного параметра по длине конструкции трала или отдельного его участка освещены недостаточно. Получение и анализ информации о характере изменения величины конструктивного параметра трала или нескольких тралов сокращают время на проектирование.

Цель работы – выбор элемента при проектировании сетной оболочки разноглубинного трала, чьи конструктивные параметры должны стать основой для расчета и конструктивных параметров всего трала.

Объекты и методы исследований

Конструкции современных разноглубинных тралов вобрали в себя столетний опыт работы ученых, научно-исследовательских и учебных организаций, которые собирали, анализировали и обрабатывали полученные материалы. Результатом явилось развитие разноглубинных тралов от небольших экспериментальных до современных крупногабаритных, высокотехнологичных конструкций (рис. 1).

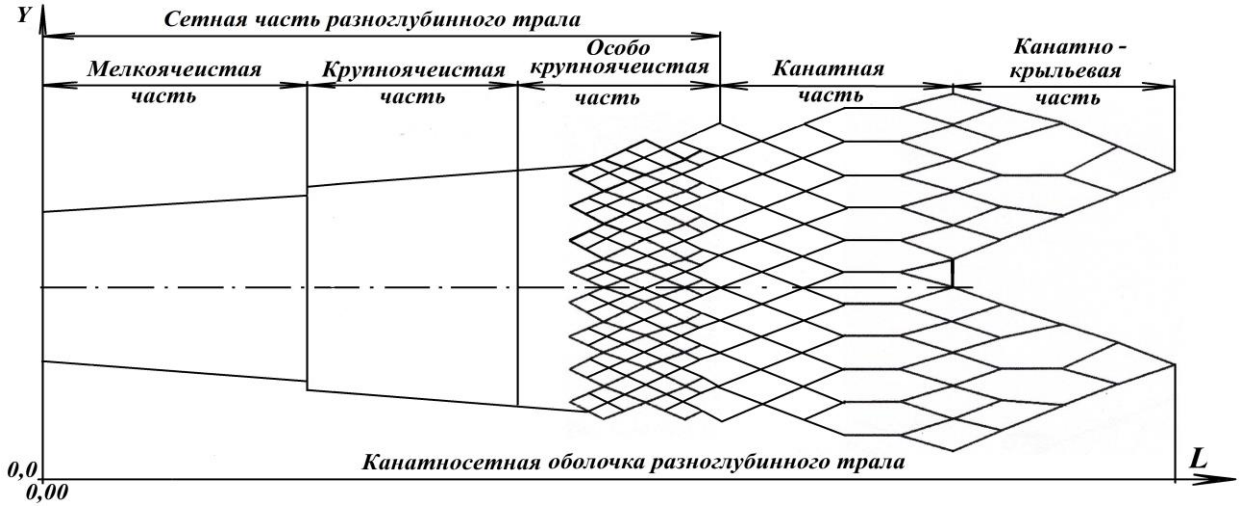


Рис. 1. Схема канатно-сетной оболочки современного разноглубинного трала. Составлена автором

Fig. 1. Diagram of the netting envelope of a modern multi-depth trawl. Compiled by the author

На начальном этапе решение проблемы конструирования осуществлялось простой прорисовкой конструкции на базе имевшегося опыта. Первая обоснованная методика проектирования трала, которая учитывала поведение рыбы и технические возможности судна, была предложена А. Л. Фридманом в 1966 г. [2].

После многолетних исследований, изучения собранных материалов и личного опыта В. К. Коротков положил в основу проектирования канатно-сетной оболочки разноглубинного трала оборонительную реакцию промысловых рыб. Полученные данные в процессе исследо-

вания реакции рыбы на канатно-сетную оболочку становились базой для обоснования размеров расчётного конуса для канатно-сетной оболочки будущей конструкции трала и каждой отдельной однородной сетной пластины [3].

Используя материалы, полученные при исследовании реакции объектов лова на конструктивные параметры тралов, М. М. Розенштейн разработал эмпирические уравнения определения конструктивных параметров. Эти уравнения стали базовыми для создания компьютерной программы построения канатно-сетного конуса трала и определения характеристик каждой канатной или сетной однородной пластины [4].

За годы исследований появилось достаточно материалов, позволяющих прогнозировать размеры и поведение косяков рыб. На этой основе В. И. Габрюк предложил методику расчета канатно-сетной оболочки разноглубинных тралов с учетом реакции рыбы на конструктивные параметры трала [5].

Этапы проектирования разноглубинного трала

За годы эксплуатации разноглубинных тралов определились основные этапы формирования новой конструкции сетной оболочки сетной части.

Этап первый. Обоснование размеров устья трала в зависимости от объекта лова и возможностей траулера (рис. 2).

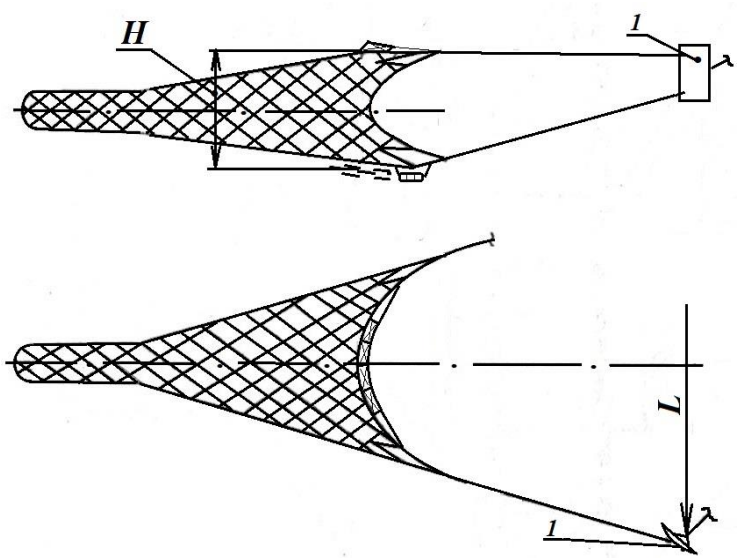


Рис. 2. Основные размеры трала, определяемые на первом этапе:
L – расстояние между траловыми досками; H – расстояние между верхней и нижней подборой в устье трала, 1 – траловые доски. Составлено автором
Fig. 2. The main dimensions of the trawl, determined at the first stage:
L – the distance between the trawl boards; H – the distance between the upper and lower lids at the mouth of the trawl, 1 – trawl boards. Compiled by the author

Этап второй. Обоснование размеров сетной оболочки трала в зависимости от реакции объекта лова на угол атаки сетного полотна (рис. 3).

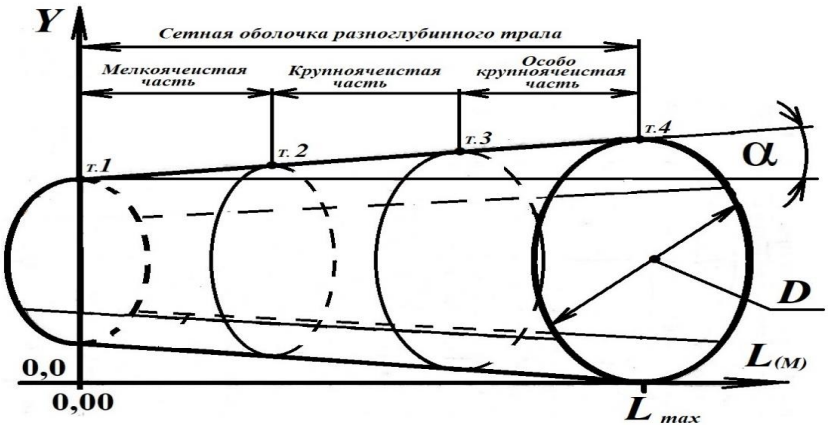


Рис. 3. Схема сетной оболочки трала с задаваемыми параметрами сетного конуса с учетом реакции объекта лова: D – диаметр устья входа в сетную часть; L_{max} – максимально возможная длина сетной оболочки; α – угол между вектором движения рыбы и осью трала. Составлена автором

Fig. 3. Diagram of the netting envelope of the trawl with the specified parameters of the net cone, taking into account the response of the target species: D – the diameter of the entrance to the mesh part; L_{max} – the maximum possible length of the trawl netting; α – the angle between the fish's movement vector and the trawl axis. Compiled by the author

Этап третий. Расчет количества неоднородных сетных пластин в зависимости от традиций, принятых на фабрике, и желания заказчика (рис. 4).

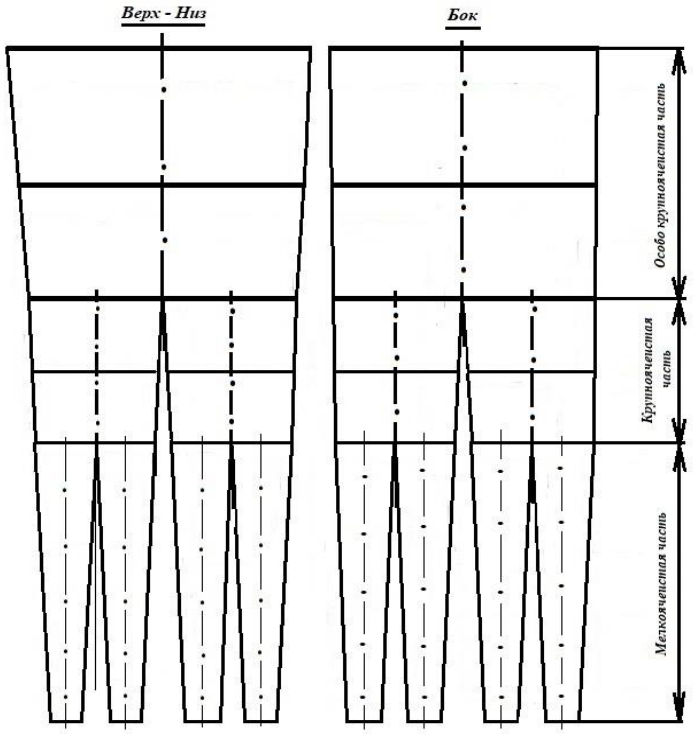


Рис. 4. Пример одного из возможного определения количества «неоднородных сетных пластин»[1] для сетной оболочки с учетом традиции и функциональных частей трала [8]. Составлено автором

Fig. 4. An example of one possible method for determining the number of "non-uniform mesh plates" for the trawl netting, taking into account tradition and the functional parts of the trawl [8]. Compiled by the author

[1] Для более детального анализа автор вводит понятие «неоднородная сетная пластина». Под неоднородной сетной пластиной понимается плоский элемент сетного полотна, состоящий исключительно из однородных сетных по заранее определенному порядку, позволяющий проведение анализа и расчета любой конструкции сетной части разноглубинного трала.

Этап четвёртый. Выбор характеристик неоднородной сетной пластины сетной оболочки разноглубинного трала (рис. 5) [9].

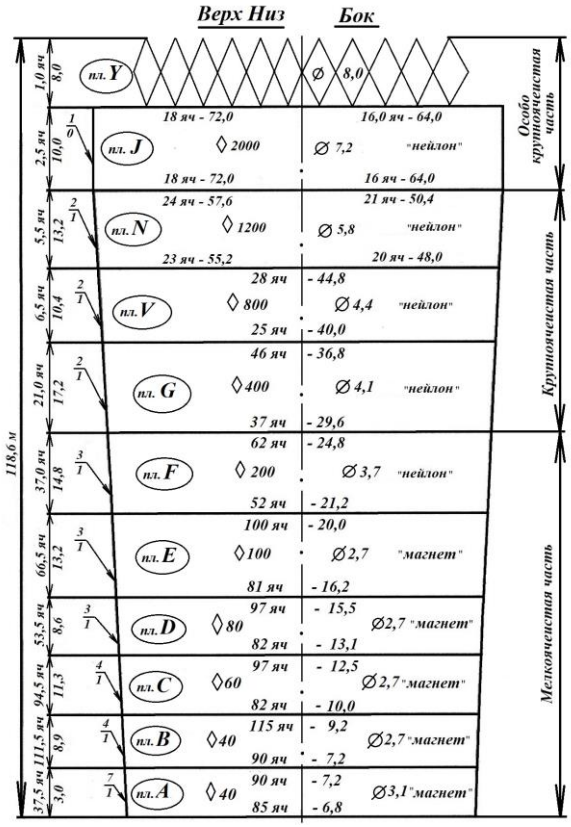


Рис. 5. Неоднородная сетная пластина проекта AS 11.01.012.000 к канатному разноглубинному тралу «Sirius Shelf». Составлено автором

Fig. 5. Heterogeneous mesh plate of project AS 11.01.012.000 for the “Sirius Shelf” multi-depth trawl. Compiled by the author

Этап пятый. Обоснование конструктивных параметров «однородных сетных пластин»[2] A; B; C; D…J; Y (рис. 5) в зависимости от их местоположения в неоднородной сетной пластине.

Однородная сетная пластина является базовым компонентом получения обоснованных конструктивных параметров, характеризующих неоднородную пластину.

Важнейшая задача проектирования сетной оболочки трала – это обоснование конструктивных параметров каждой однородной сетной пластины в конструкции неоднородных пластин, из которых собирается сетная оболочка разноглубинного трала.

Конструктивные параметры однородных сетных пластин формируют характеристики сетной оболочки трала, которые обеспечивают выполнение экономических и экологических задач проектируемой конструкции, т.е. рентабельный лов рыбы. В зависимости от задачи и тяговых возможностей судна сетная часть разноглубинного трала состоит из двух или трех сетных частей (рис. 6, 7, 8) [7]:

– мелкоячеистой части (рис. 6),

– крупноячеистой части (рис. 7),

– особо крупноячеистой части (рис. 8).

[2] Для более детального анализа автор вводит понятие «однородная сетная пластина». Под однородной сетной пластиной понимается плоский элемент сетного полотна, изготовленных из сетного полотна согласно конструктивном параметрам, указанным на чертеже и технической документации. Согласно РД 15-140-90 С.65 определена как ПЛАСТИНА[10].

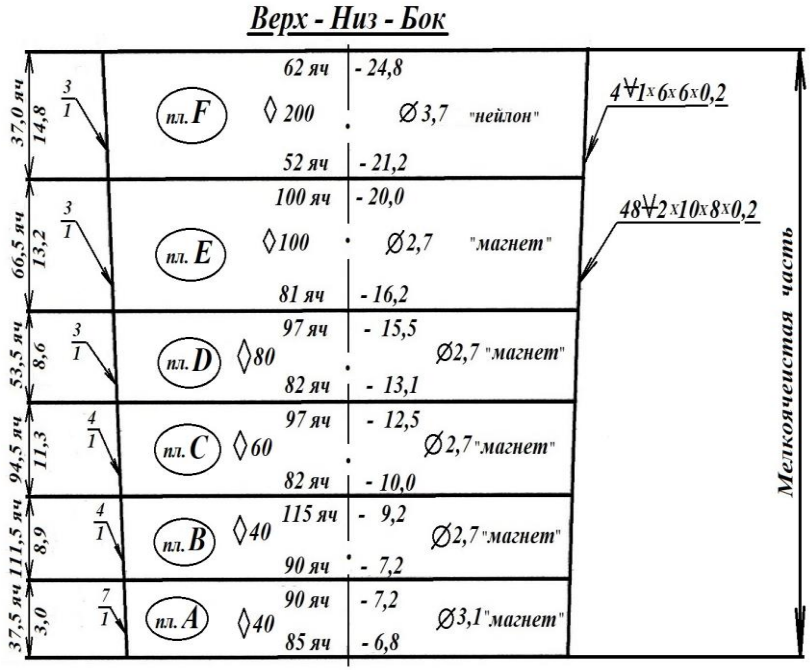


Рис. 6. Мелкоячеистая часть проекта AS 11.01.012.000 к канатному разноглубинному тралу «Sirius Shelf». Составлено автором

Fig. 6. Finemesh part of project AS 11.01.012.000 for the «Sirius Shelf» multi-depth trawl. Compiled by the author

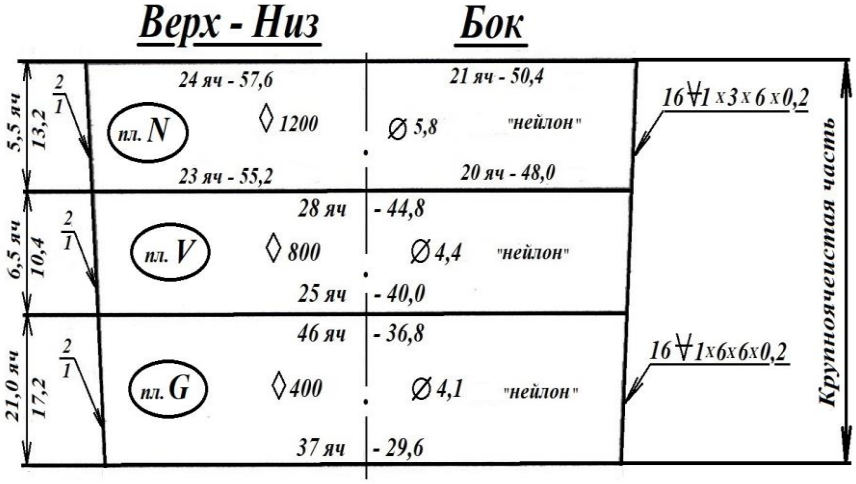


Рис. 7. Крупноячеистая часть проекта AS 11.01.012.000 к канатному разноглубинному тралу «Sirius Shelf». Составлено автором

Fig. 7. Coarse-mesh part of project AS 11.01.012.000 to the «Sirius Shelf» multi-depth trawl. Compiled by the author

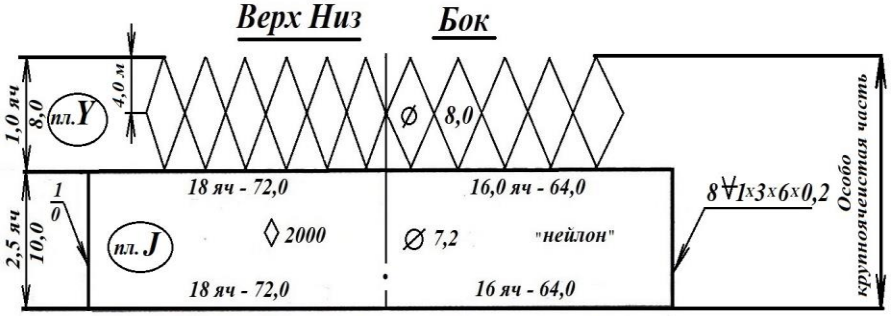


Рис. 8. Особо крупноячеистая часть проекта AS 11.01.012.000 к канатному разноглубинному тралу «Sirius Shelf». Составлено автором

Fig. 8. The particularly coarse-mesh part of project AS 11.01.012.000 for the “Sirius Shelf” multi-depth trawl. Compiled by the author

Каждая из частей неоднородной сетной пластины сетной оболочки трала выполняет свою задачу (см. рис. 5).

С появлением возможности визуализации тралов на плоскости их однородные сетные пластины являлись источником получения информации о конструктивных параметрах данного трала в процессе буксировки (рис. 9, 10)[3].

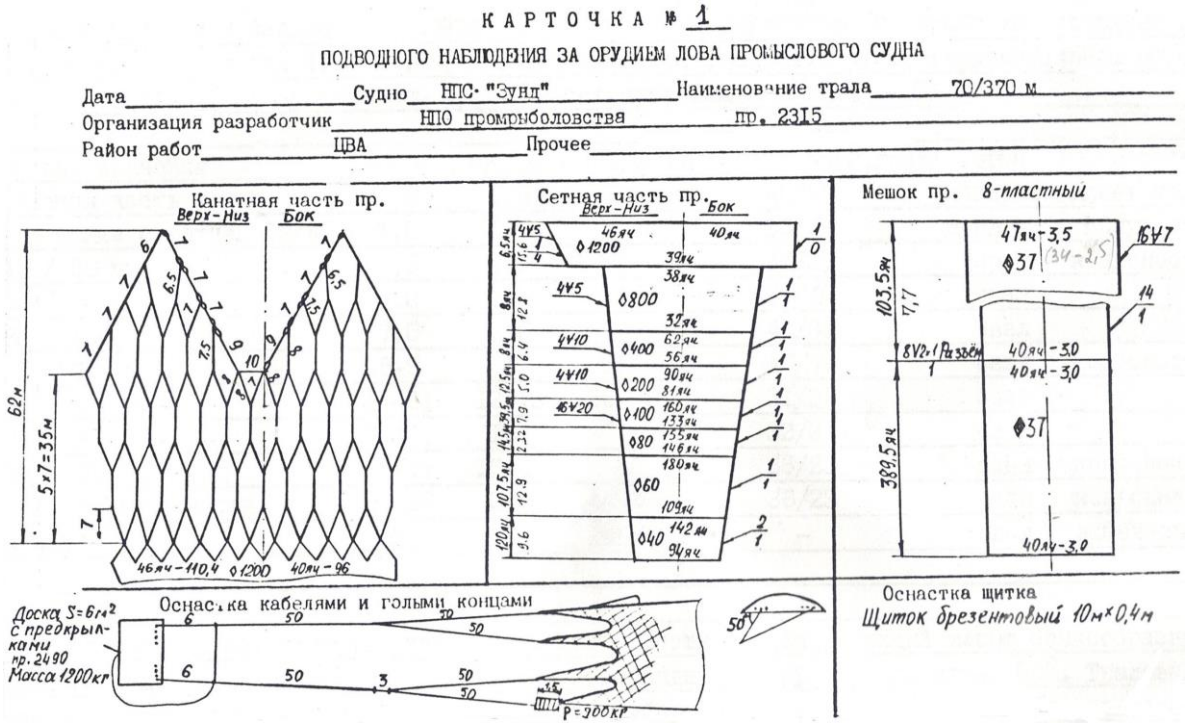
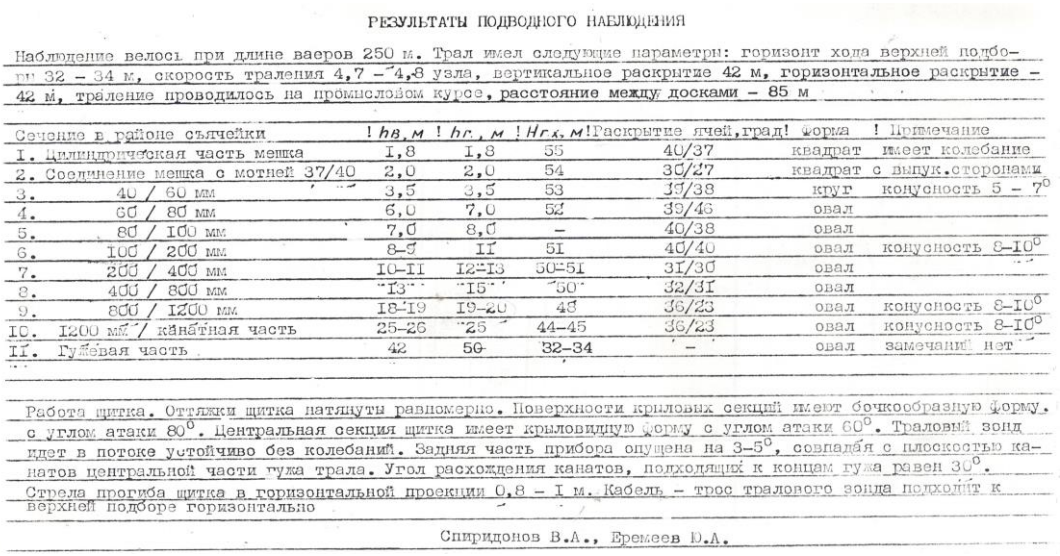


Рис. 9. Карточка осмотра и замеров в процессе буксировки трала 70/370 пр. 2315, сетная часть собрана из четырех неоднородных сетных пластин, лист первый

Fig. 9. Inspection and measurement card for the towing of trawl 70/370 pr. 2315, the mesh part is assembled from four non-uniform mesh plates, sheet one



РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДВОДНОГО НАБЛЮДЕНИЯ

Наблюдение велось при длине вееров 250 м. Трал имел следующие параметры: горизонт хода верхней подборы 32 – 34 м, скорость тралення 4,7 – 4,8 узла, вертикальное раскрытие 42 м, горизонтальное раскрытие – 42 м, траление проводилось на промысловом курсе, расстояние между досками – 85 м

Сечение в районе съячейки	hв, м	hг, м	Нг.к, м	Раскрытие ячей, град	Форма	Примечание
1. Цилиндрическая часть мешка	1,8	1,8	55	40/37	квадрат	имеет колебание
2. Соединение мешка с мотней 37/40	2,0	2,0	54	36/27	квадрат с выпук.сторонами	
3. 40 / 60 мм	3,5	3,5	53	39/38	круг	конусность 5 – 7°
4. 60 / 80 мм	6,0	7,0	52	39/46	овал	
5. 80 / 100 мм	7,0	8,0	–	40/38	овал	
6. 100 / 200 мм	8-9	11	51	40/40	овал	конусность 8–10°
7. 200 / 400 мм	10-11	12-13	50-51	31/30	овал	
8. 400 / 800 мм	"13"	"15"	"50"	32/31	овал	
9. 800 / 1200 мм	18-19	19-20	46	36/23	овал	конусность 8–10°
10. 1200 мм / канатная часть	25-26	"25"	44-45	36/23	овал	конусность 8–10°
11. Гуйевая часть	42	50	32-34	–	овал	замечаний нет

Работа щитка. Оттяжки щитка натянуты равномерно. Поверхности крыловых секций имеют бочкообразную форму, с углом атаки 80°. Центральная секция щитка имеет крыловидную форму с углом атаки 60°. Траловый зонд идет в потоке устойчиво без колебаний. Задняя часть прибора опущена на 3–5°, совпадая с плоскостью канатов центральной части гужа трала. Угол расхождения канатов, подходящих к концам гужа равен 30°. Стрела прогиба щитка в горизонтальной проекции 0,8 – 1 м. Кабель – трос тралового зонда подходит к верхней подборе горизонтально

Спиридонов В.А., Еремеев Ю.А.

Рис. 10. Карточка осмотра и замеров в процессе буксировки трала 70/370 пр. 2315, сетная часть собрана из восьми неоднородных сетных пластин, лист второй

Fig. 10. Inspection and measurement card for the towing of trawl 70/370 pr. 2315, the mesh part is assembled from eight heterogeneous mesh plates, sheet two.

[3] Карточки рис. 9 и 10 осмотра конструкций тралов из личного архива автора, в период его работы на НПС-Зунд.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что

– неоднородная сетная пластина является основным элементом конструкции сетной части трала;

– конструктивные параметры неоднородных сетных пластин в сетной оболочке любого трала идентичны;

– проектирование любой конструкции сетной части разноглубинного трала основывается на обосновании конструктивных параметров одной из неоднородных сетных пластин, а другие неоднородные пластины являются ее аналогом.

Следствие первое: для анализа любой конструкции сетной оболочки трала достаточно исследовать одну из неоднородных сетных пластин сетной части трала.

Следствие второе: достаточно спроектировать одну неоднородную сетную пластину, которая будет прототипом для других неоднородных сетных пластин новой конструкции сетной части трала.

Список источников

1. Баранов Ф. И. Избранные труды Т.1. Техника промышленного рыболовства. М. : Пищевая промышленность, 1969. 719 с.

2. Фридман А. Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1969. 568 с.

3. Коротков В. К. Реакция рыб на трал, технология их лова : монография. Калининград : ЭКБ АО «МАРИНПО», 1998. 397 с.

4. Розенштейн М. М. Проектирование орудий рыболовства : учеб. пособие. М. : Колос, 2009. 400 с.

5. Габрюк В. И. Проектирование и моделирование орудий океанического рыболовства. Владивосток : Дальрыбвтуз, 2016. 378 с.

6. Симкин Л. М. Анализ конструктивных параметров тралирующих орудий лова// Рыбохозяйственный комплекс России. 300 лет российской академической науке : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. 27–28 марта 2024. М. : Изд-во ВНИРО, 2024. С. 307–312.

7. Симкин Л. М. Краткий обзор развития конструкций разноглубинного трала // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана : материалы IX Междунар. науч.-техн. конф. 21–22 мая 2026 г. Владивосток : Дальрыбвтуз, 2026. Т. 1. С. 255–263.

8. Каталог ЗАО «Аквасервис». Клайпеда, 2024. 36 с.

9. Инструкция по эксплуатации трала «Sirius Shelf» пр. AS 11.012.000 ЗАО «Аквасервис». Клайпеда. 15 с.

10. РД 15-140-90. Основные требования к конструкторской документации орудий рыболовства. Руководящий документ по стандартизации. 1991.

Сведения об авторе

Л. М. Симкин – соискатель, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), директор рыболовной компании.

.

Information about the author

L. M. Simkin – Academic degree applicant, Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (“VNIRO”); the director of a fishing company.

Статья поступила в редакцию 15.09.2026; одобрена после рецензирования 22.09.2026; принята к публикации 22.09.2026.

The article was submitted 15.09.2026; approved after reviewing 22.09.2026; accepted for publication 22.09.2026.

© Симкин Л. М., 2026.

«Обоснование расчетного элемента сетной части разноглубинного трала» [Симкин Л. М.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 227–237.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

Научная статья
УДК 656.085 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-21 EDN: YVBSUU

О цифровой трансформации подготовки судомехаников: интеграция облачных симуляторов, цифровых двойников и технологий искусственного интеллекта в формирование компетенций

Виталий Витальевич Ганнесен [1], Екатерина Евгеньевна Петрова [2]
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия
[1] gannesen.vv@dgtru.ru
[2] pillers@mail.ru

Аннотация. В условиях перехода к Индустрии 4.0 современная морская отрасль сталкивается с новой оперативной реальностью: суда подвергаются глубокой автоматизации, происходит смена парадигмы в выборе альтернативных видов топлива, стремительно растут киберриски, а глобальная торговля претерпевает структурную трансформацию. Для безопасного и эффективного выполнения своих обязанностей экипажам, и в особенности судовым инженерам-механикам, необходимо постоянно совершенствовать свои компетенции, используя современные инструменты и адаптивные методы обучения. В статье рассматриваются современные подходы к подготовке судомехаников с использованием тренажерных комплексов и иммерсивных технологий. Проанализированы типы симуляторов, применяемых в морском образовании, их функциональные возможности и соответствие международным стандартам ПДНВ. Сделан вывод, что трансформация интегрированных тренажерных центров на базе облачных вычислений, искусственного интеллекта (ИИ) и цифровых двойников формирует новую парадигму непрерывного морского образования, полностью отвечающую вызовам Индустрии 4.0 и гарантирующую высокий уровень безопасности мореплавания.

Ключевые слова: тренажеры, симуляторы, подготовка судомехаников, VR/AR технологии, цифровой двойник, ПДНВ, морское образование, иммерсивное обучение

Для цитирования: Ганнесен В. В., Петрова Е. Е. О цифровой трансформации подготовки судомехаников: интеграция облачных симуляторов, цифровых двойников и технологий искусственного интеллекта в формирование компетенций // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 227–237.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 227–237.

MARINE POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

Original article

On the digital transformation of ship engineers training: integration of cloud simula-tors, digital twins and artificial intelligence technologies into competence formation

Vitalii V. Gannesen [1], Ekaterina E. Petrova [2]
Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
[1] gannesen.vv@dgtru.ru
[2] pillers@mail.ru

© Ганнесен В. В., Петрова Е. Е., 2026

Abstract. In the context of the transition to Industry 4.0, the modern maritime industry faces a new opera-tional reality: ships are undergoing deep automation, there is a paradigm shift in the choice of al-ternative fuels, cyber risks are growing rapidly, and global trade is undergoing a structural trans-formation. In order to perform their duties safely and effectively, crews, and especially ship en-gineers, need to constantly improve their competencies using modern tools and adaptive training methods. The article discusses modern approaches to training ship engineers using simulator complexes and immersive technologies. The types of simulators used in marine education, their functionality and compliance with international STCW standards are analyzed. It is concluded that the transformation of integrated training centers based on cloud computing, artificial intelli-gence (AI) and digital twins forms a new paradigm of continuous maritime education that fully meets the challenges of industry 4.0 and guarantees a high level of safety of navigation.

Keywords: training appliance, simulators, training of ship engineers, VR/AR technologies, digital twin, STCW, marine education, immersive learning

For citation: Gannesen V. V., Petrova E. E. On the digital transformation of ship engineers training: integration of cloud simula-tors, digital twins and artificial intelligence technologies into competence formation. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2026; 77(3):227–237. (In Russ.).

Введение

Современная морская отрасль переживает период беспрецедентной технологической трансформации. Цифровизация судоходства (ИИ, цифровые двойники, Big data, VR/AR – технологии и др.), внедрение автономных систем управления, переход на альтернативные виды топлива и ужесточение экологических требований кардинально меняют профессиональный ландшафт морской индустрии [1]. В этих условиях традиционные методы подготовки судомехаников, основанные преимущественно на теоретическом обучении и ограниченной практической подготовке на учебных судах перестают в полной мере отвечать вызовам времени [2]. Проблема состоит в том, что если теоретическое обучение можно обеспечить на соответствующем уровне, то пройти практическую подготовку на перспективных судах практически невозможно: во-первых, таких судов мало; во-вторых, для работы на таких судах нужно уже заранее обладать необходимыми компетенциями хотя бы вспомогательного уровня.

Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (ПДНВ/STCW), принятая в 1978 году с последующими поправками (включая Манильские поправки 2010 года), устанавливает обязательные требования к использованию тренажеров в подготовке морских специалистов [3]. Раздел A-I/12 Кодекса ПДНВ определяет стандарты компетенций, которые могут быть достигнуты с использованием тренажеров, а раздел B-I/12 содержит рекомендации по их применению. Конвенция четко регламентирует:

- Минимальные стандарты производительности тренажеров.
- Требования к квалификации инструкторского состава.
- Процедуры оценки эффективности тренажерной подготовки.
- Критерии сертификации тренажерных центров.

Особое значение имеет требование о том, что тренажеры, используемые для обязательной подготовки и оценки компетенций, должны быть одобрены администрацией государства флага. Указанные нормативы формируют единую систему международных требований, предъявляемых к техническим характеристикам и методическому обеспечению тренажерных средств подготовки морских специалистов.

Ключевую роль в регулировании данной сферы играют документы Международной морской организации – в особенности циркуляры MSC/Circ.1111 и MSC-FAL.1/Circ.3, детализирующие эксплуатационные параметры тренажерного оборудования различных категорий [4]. Параллельно с этим ведущие классификационные общества – DNV, Lloyd's Register, Россий-

ский морской регистр судоходства – разрабатывают собственные нормативные базы сертификации, которые, сохраняя преемственность по отношению к стандартам ИМО, нередко включают расширенные технические регламенты, отражающие специфику национального флота.

Статистические данные ИМО свидетельствуют о тревожной тенденции: примерно четыре пятых всех инцидентов на море обусловлены ошибками судового экипажа [5]. Данный факт актуализирует проблему формирования у курсантов морских учебных заведений устойчивых профессиональных компетенций, способных компенсировать дефицит практического опыта. В этих условиях тренажерные комплексы, воспроизводящие как штатные режимы эксплуатации, так и аварийные сценарии, приобретают статус основного инструмента снижения эксплуатационных рисков.

Настоящая работа посвящена системному анализу современных средств тренажерной подготовки судомехаников, оценке степени их соответствия международным нормативным требованиям, а также определению траекторий развития иммерсивных образовательных технологий в системе морского образования.

Материалы и методы исследования

Современные суда используют все более сложные механизмы, системы автоматизации и энергоснабжения, что предъявляет более высокие требования к персоналу машинного отделения. Безопасная и эффективная эксплуатация зависит от того, насколько хорошо механики понимают работу систем, реагируют на отказы оборудования, сигналы тревог и выполняют штатные и аварийные процедуры. В современной образовательной практике, ориентированной на подготовку кадров для морского транспорта, применяется широкая номенклатура тренажерных средств, дифференцируемых по степени детализации имитации и дидактическим задачам.

Информационную базу исследования составили массивы неструктурированных данных, включающие технические описания продукции ведущих производителей тренажерного оборудования, а также материалы научных публикаций, размещенных в открытом доступе. Проведенный анализ позволил классифицировать существующие тренажерные решения на следующие категории: настольные программные симуляторы, функционирующие на персональной вычислительной технике (Desktop Simulators); гибридные тренажерные комплексы (Hybrid Simulators); системы, использующие технологии виртуальной и дополненной реальности (VR/AR-симуляторы); полнофункциональные тренажеры машинного отделения (Full Mission Simulators); облачные симуляторы, предоставляемые по модели «программное обеспечение как услуга» (SaaS-платформы).

Базовые программные симуляторы, работающие на стандартных ПК (Desktop Simulators), являются фундаментом современной системы подготовки и используются для изучения теоретических основ и алгоритмов действий. Уровень реалистичности таких симуляторов 40–60 % (высокая математическая и логическая точность, но отсутствие тактильной обратной связи и физического масштаба). Основная цель: изучение принципов работы судовых систем, отработка алгоритмов пуска/остановки оборудования, маршрутизации потоков (переключение клапанов) и базовый поиск неисправностей. Классическим примером данного класса является тренажер ERS 4000 Solo, разработанный компанией «Транзас» [6]. Данный программный комплекс, работающий на стандартной рабочей станции, предназначен для индивидуальной практической подготовки судомехаников и мотористов. Он позволяет в интерактивном режиме отрабатывать навыки несения вахты в машинном отделении, алгоритмы пуска и остановки оборудования, а также безопасную эксплуатацию судовых систем и механизмов в строгом соответствии с требованиями Конвенции ПДНВ (STCW) и национальными образовательными стандартами.

Другим примером класса Desktop Simulators является разработка компании Kongsberg Maritime – тренажерный комплекс «K-Sim Engine» [7]. Данная система полностью соответствует требованиям конвенции ПДНВ (STCW) и идеально подходит для базовой подготовки

судовых механиков в условиях стандартного компьютерного класса. Конфигурационные возможности рассматриваемого тренажерного комплекса отличаются значительной гибкостью. Система допускает организацию учебного процесса как на единственной рабочей станции, так и в специализированном классе, вмещающем до двадцати пяти обучающихся, при этом функции инструкторского контроля могут быть распределены между одним или двумя пультами управления. Подобная архитектурная адаптивность позволяет преподавательскому составу одновременно разрабатывать, координировать и проводить объективную оценку выполнения имитационных сценариев различной степени сложности.

Компания Kongsberg Maritime в своих разработках опирается на передовые подходы к виртуальному моделированию, дополненные сложными алгоритмами математической обработки информации. Результатом такого синтеза выступают высокоточные цифровые двойники (digital twins) судовых систем, воспроизводящие их функционирование с минимальным отклонением от реальных прототипов. Именно эта вычислительная основа формирует у обучающихся целостное понимание причинно-следственных связей, управляющих алгоритмов и взаимной увязки бортовых процессов – еще до того момента, когда курсанты приступят к непосредственной работе с физическим оборудованием.

Особую нишу в современной тренажерной подготовке занимают гибридные симуляторы (Hybrid Simulators). Их принципиальное отличие состоит в комбинации аппаратных компонентов, воспроизводящих отдельные элементы реального оборудования, с программными моделями, отвечающими за имитацию технологических процессов. Достигаемый уровень правдоподобности оценивается в диапазоне 80–85 %, что при существенно меньшей стоимости разработки по сравнению с полномасштабными комплексами обеспечивает порядка 90 % образовательной отдачи. Данное обстоятельство делает гибридные решения особенно востребованными при формировании навыков выполнения как штатных технологических операций, так и сценариев аварийного реагирования.

Чтобы тренажер начал моделировать новый тип двигателя или новую систему очистки балластных вод, достаточно обновить программное обеспечение, оставив физическую консоль.

Представителем тренажеров этого класса в российской и международной практике подготовки морских инженеров (судовых механиков и электромехаников) является разработка НЦТТ (Научный центр тренажерных технологий) – тренажер машинного отделения «ERT-6100 RU» [8]. Тренажер оснащен реальными, тактильными панелями управления. Курсант нажимает настоящие кнопки, переключатели, тумблеры, крутит реальные регуляторы и видит физическую мнемосхему с ламповой или светодиодной индикацией. Это формирует мышечную (тактильную) память, которую невозможно получить за обычным компьютером. Программная часть – сложные математические модели, рассчитывающие термодинамику, гидравлику и электротехнику в реальном времени. Если курсант «закрывает» физический клапан, программная модель мгновенно пересчитывает давление в трубопроводе, температуру и нагрузку на насос. Это не 100%-я копия (Full Mission Simulator) конкретного судна, где воспроизведен каждый миллиметр и каждый провод оригинального оборудования (что стоило бы в разы дороже). Здесь используется типовой, но высокореалистичный пост управления (ПУ), который максимально приближен к реальному оборудованию современных судов. При этом программная часть позволяет с высокой точностью (до 85 %) моделировать поведение конкретных типов главных двигателей (например, MAN B&W или Wärtsilä), сепараторов, котлов и систем балласта.

В сегменте отечественного программного обеспечения особого упоминания заслуживают разработки компании «Эволюция морских цифровых технологий» [9]. Продуктовые линейки «ERS TechCore» (тренажер машинного отделения) и «LCHS TechCore» (тренажер грузобалластных операций) выступают в качестве высокодетализированных электронных моделей. Они обеспечивают точную репликацию не только пространственной конфигурации машинного отделения и центрального поста управления (ЦПУ), но и специфики грузовых систем, а также пультов управления операциями применительно к конкретным типам реальных судов.

Подобные комплексные решения ориентированы на углубленную подготовку специалистов машинного отделения, отработку регламентных алгоритмов несения вахты, а также объективный аудит профессиональных компетенций судовых механиков. За счет внедрения верифицированных математических моделей и досконального воспроизведения оригинальных мнемосхем данные системы достигают показателя реалистичности в 90–95 % (в аспекте системной логики и пользовательского интерфейса). Тем самым они успешно нивелируют разрыв между универсальными программными продуктами и капиталоемкими полномасштабными тренажерными комплексами.

Отдельную категорию образуют симуляторы на базе технологий виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности, формирующие высокоиммерсивную образовательную среду. Экспертные оценки определяют уровень их реалистичности в диапазоне 70–80 %. Несмотря на определенные ограничения в части тактильной обратной связи (по сравнению с гибридными аппаратно-программными комплексами), подобные решения обладают безусловным преимуществом, обеспечивая эффект полного визуального и пространственного погружения. Характерным примером выступает платформа «K-Sim Engine VR», разработанная компанией Kongsberg Maritime [7].

Указанная технология предоставляет обучаемым возможность перемещаться в масштабе 1 : 1 по виртуальной копии машинного отделения, взаимодействовать с трехмерными моделями агрегатов, а также отрабатывать маршруты обходов и эвакуации. Подобные тренировки проходят в безопасной, но максимально аутентичной цифровой среде, что имеет принципиальное значение для развития пространственной памяти и выработки устойчивых навыков поведения в нештатных ситуациях.

Параллельно с зарубежными аналогами в России наблюдается активное становление собственных VR/AR-решений, адаптированных под задачи технической подготовки судомехаников. В качестве показательного примера можно привести прикладные разработки, реализуемые на базе Научно-исследовательской лаборатории технологий VR/AR ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова.

Данная лаборатория создает специализированные иммерсивные тренажеры для отработки навыков эксплуатации судовых энергетических установок, обслуживания насосного и вспомогательного оборудования, а также для моделирования действий в машинном отделении при возникновении нештатных ситуаций. Такие отечественные разработки полностью соответствуют требованиям конвенции ПДНВ (STCW) и российским образовательным стандартам, обеспечивая глубокое погружение в профессиональную среду и возможность кастомизации под конкретные типы судовых механизмов [10].

Облачные симуляторы, работающие по модели «программное обеспечение как услуга» и обеспечивающие удаленный доступ к тренажерным мощностям через интернет. Это наиболее современный и быстро развивающийся тип симуляторов, идеально подходящий для дистанционного обучения. Ocean Technologies Group (OTG) и их флагманский продукт Seagull Online – это золотой стандарт в сфере морского электронного обучения (e-learning) и оценки компетенций экипажей [11]. В системе заложены сотни интерактивных модулей, охватывающих всё: от базовой безопасности (CTCW) и выживания в море до сложной навигации (ECDIS), работы с грузами (IMDG, IMSBC), эксплуатации двигателей и кибербезопасности. Система позволяет проводить стандартизированные тесты для оценки уровня знаний (например, перед наймом на судно). Тесты адаптивны и защищены от списывания. Контент и интерфейс доступны на десятках языков (включая русский, английский, филиппинский, украинский и др.), что решает проблему языкового барьера в международных экипажах.

Полномасштабные симуляторы машинного отделения представляют собой наиболее сложные и дорогостоящие тренажерные системы, воспроизводящие с высокой степенью реалистичности (95–100 %) все системы и оборудование реального машинного отделения. Они являются наиболее эффективным инструментом подготовки судовых механиков в соответ-

ствии с требованиями конвенции ПДНВ (STCW), раздел A-III/1 и A-III/2. Примером использования таких симуляторов является разработка симулятора машинного отделения «ERS TechSim» компании Wärtsilä – одного из лидеров в области инновационных технологий и решений для всего жизненного цикла продукции морской и энергетической отраслей [12]. Данный симулятор предназначен для обучения и оценки компетентности персонала машинного отделения, обеспечивает точное моделирование машинного оборудования и отсеков машинного отделения, позволяя проводить практическое обучение в реалистичных условиях эксплуатации. «ERS TechSim» воспроизводит реальные сценарии эксплуатации, используя подробные математические модели судовых механизмов и вспомогательных систем. Симулятор воспроизводит поведение системы, сигналы тревоги и реакции в нормальных, нештатных и аварийных условиях эксплуатации. Симулятор охватывает моделирование дизельных силовых установок и электростанций, вспомогательных систем, работы и управления механизмами, автоматизации, систем сигнализации и безопасности, включая реалистичное звуковое и аварийное поведение.

Примером отечественных разработок является тренажер машинного отделения «Neptun ERS» (Engine Room Simulator), созданный компанией «НОРМАН МАР» [13]. Данный комплекс отличается универсальностью и многоуровневым подходом к обучению: он предназначен как для формирования базовых профессиональных компетенций у курсантов морских вузов, так и для отработки действий в штатных и аварийных ситуациях судовыми механиками, а также для тренировки старших механиков в вопросах оптимизации и экономичной эксплуатации судового оборудования. В дополнение к детальной математической модели полной судовой энергетической установки тренажер обеспечивает высокоточную имитацию широкого спектра вспомогательных систем. Интерфейс и функционал «Neptun ERS» максимально приближены к реальности и включают: системы дистанционного управления главным двигателем, локальные посты и панели контроля, контроллеры, машинный телеграф, комплексные системы тревожной сигнализации, распределительные электрические щиты, а также реалистичное звуковое сопровождение рабочих процессов.

Обсуждение

Распределение типов симуляторов в современных центрах варьируется в зависимости от специализации, бюджета и целей обучения. Desktop-симуляторы наиболее распространены благодаря доступности, full-mission симуляторы обеспечивают максимальную реалистичность, VR/AR и гибридные системы представляют быстрорастущие сегменты. По результатам комплексного анализа первичной и вторичной открытой информации, систематизированной авторами в рамках настоящего исследования, выявлено примерное соотношение типов симуляторов, используемых в современных учебно-тренажёрных центрах подготовки судовых механиков (рис. 1).

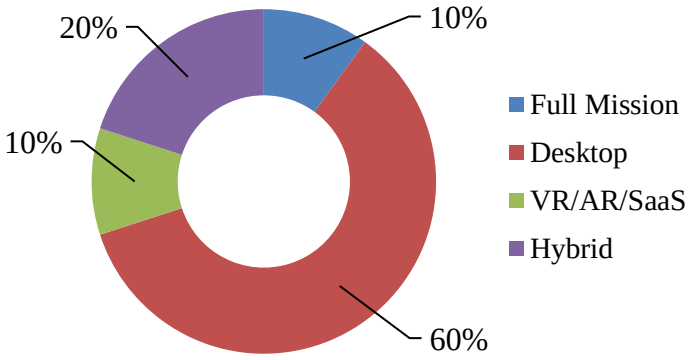


Рис. 1. Примерное соотношение типов симуляторов в современных учебно-тренажёрных центрах подготовки судовых механиков. Составлено авторами
Fig. 1. Approximate ratio of types of simulators in modern ship engineers training centers. Compiled by the authors

В настоящее время базовые Desktop-симуляторы (такие как ERS 4000 Solo или K-Sim Desktop) обеспечивают массовую отработку алгоритмов и знание систем; гибридные тренажеры необходимы для формирования тактильных навыков работы с реальными органами управления; полномасштабные Full Mission комплексы, продвинутые VR/AR, SaaS используются преимущественно для финальной аттестации, оценки командного взаимодействия и отработки сложных аварийных сценариев. Такое соотношение обеспечивает оптимальный баланс между экономической эффективностью учебного процесса и строгим соблюдением требований конвенции ПДНВ (STCW) к часам тренажерной подготовки [14, 15].

Требования к используемым морским симуляторам регулируются несколькими ключевыми международными документами:

- STCW Конвенция (Standards of Training, Certification and Watchkeeping) – устанавливает обязательные требования к подготовке моряков;
- IMO Model Course 2.07 – специализированный курс по тренажерной подготовке судовых механиков;
- ISO 5476:2023 – международный стандарт для VR и симуляторных систем в морской подготовке.

В табл. 1–2 представлено соответствие морских симуляторов нормативным требованиям. Кроме применения документов ИМО многие разработчики тренажеров руководствуются стандартом DNV-ST-0033 – стандарт DNV для морских симуляторных систем (DNV – норвежское независимое классификационное и сертификационное общество).

Таблица 1

Типы симуляторов машинного отделения их характеристики и соответствие международным нормативным требованиям

Table 1

Types of engine room simulators, their characteristics and compliance with international regulatory requirements

Тип симулятора	Уровень реалистичности	Основные функции	Соответствие стандартам
Desktop Simulator	60–70 %	Изучение теоретических основ работы судовых систем. Отработка отдельных операций (пуск двигателя, переключение насосов). Базовая диагностика неисправностей. Самоподготовка курсантов в удобное время. Тестирование знаний с автоматической оценкой. Дистанционное обучение	STCW Code: Поддержка базовых компетенций. IMO Model Course: Частичное соответствие 2.07
Full Mission Engine Room	95–100 %	Моделирование всех систем машинного отделения в реальном времени. Отработка стандартных операций: пуск/останов главного двигателя, синхронизация генераторов, переключение между видами топлива. Отработка аварийных сценариев: blackout, пожар, затопление, разрыв трубопроводов. Диагностика неисправностей: поиск и устранение отказов оборудования. Управление ресурсами машинного отделения (ERM): командное взаимодействие. Интеграция с навигационными	STCW Code: Tables A-III/1, A-III/2. IMO Model Course: 2.07 (Operational), 7.03 (Management). DNV GL Standard: No. 2.14 (Simulation and Training Systems). Российский морской регистр: Часть XI «Радиооборудование» (раздел по тренажерам)

		симуляторами для отработки взаимодействия «мостик-МО». Автоматическая оценка действий курсантов	
Hybrid System	80–85 %	Тактильная отработка операций (переключение клапанов, пуск насосов). Изучение устройства оборудования в разрезанном виде. Моделирование процессов, которые невозможно воспроизвести физически. Безопасная отработка аварийных ситуаций	STCW Code: Поддержка базовых компетенций (таблица A-VI/1). IMO: Пригодны для дополнительных тренировок, но не заменяют Full Mission
VR/AR Simulators	70–80 % (визуально до 90%)	Виртуальные обходы машинного отделения без физического присутствия на судне. Отработка процедур технического обслуживания и ремонта. Обучение безопасным практикам (работа в замкнутых пространствах, на высоте). Знакомство с различными типами судов (до 50+ типов в библиотеке). Отработка действий в опасных ситуациях (пожар, утечка газа). Многопользовательские сессии для командного обучения	STCW Code: Поддержка базовых компетенций (таблица A-VI/1). IMO: Пригодны для дополнительных тренировок, но не заменяют Full Mission
Cloud-based Simulators / SaaS	60–95 % (зависит от выбранного пакета)	Удаленный доступ к тренажерным сценариям из любой точки мира. Масштабируемость под любое количество пользователей. Непрерывное обновление контента без установки на стороне клиента. Централизованное управление курсами и оценками. Аналитика обучения с использованием больших данных. Интеграция с LMS (Learning Management Systems). Мобильный доступ с планшетов и смартфонов	STCW Code: Поддержка базовых компетенций (таблица A-VI/1). IMO: Пригодны для дополнительных тренировок, но не заменяют Full Mission

Таблица 2

Соответствие морских симуляторов типам подготовки

Table 2

Compliance of marine simulators with types of training

Тип подготовки	VR/AR симулятор	Full Mission	Hybrid	Desktop	Cloud
Базовая подготовка (STCW Basic)	Теория + Частично практика	Полностью	Частично	Только теория	Только теория
Engine Room Training (IMO 2.07)	Подготовительный этап	Полностью	Основной + подготовка	Подготовка	Подготовка
Аварийные ситуации	Пожары, затопления, SCBA	Полностью	Частично	Нет	Теория
Замкнутые пространства	Высокая реалистичность	Полностью	Частично	Нет	Теория

Пространственная ориентация	Отличная (3D-навигация)	Полностью	Ограничен	2D/3D на экране	Ограничен
Обучение новым технологиям	Высокая гибкость	Требует обновления аппаратной части	Гибкость	Ограничен	Высокая гибкость

Заключение

Тренажерные технологии стали неотъемлемой частью современной системы морского образования и подготовки кадров. От простых радиолокационных тренажеров 1970-х гг. до комплексных иммерсивных систем с использованием VR, AR и искусственного интеллекта – путь развития тренажеров отражает общую технологическую эволюцию морской отрасли.

Виртуальное машинное отделение перестало быть футуристической концепцией – это реальность, в которой ежедневно обучаются тысячи курсантов и повышают квалификацию действующие моряки. Современные тренажерные комплексы позволяют формировать компетенции различного уровня (рис. 2) и решать широкий спектр задач:

– обеспечить безопасную и эффективную отработку профессиональных навыков;

– сформировать компетенции, соответствующие требованиям конвенции ПДНВ и международным стандартам;

– минимизировать влияние человеческого фактора на безопасность мореплавания;

– снизить затраты на подготовку кадров без ущерба для качества;

– обеспечить непрерывное профессиональное развитие на протяжении всей карьеры.

Однако тренажерная подготовка не должна и не может полностью заменить реальную практику на судах. Оптимальная модель – это гибридный подход, сочетающий фундаментальное теоретическое образование, интенсивную тренажерную подготовку с отработкой стандартных и аварийных ситуаций, реальную практику на учебных и торговых судах.



Рис. 2. Иерархия компетенций, формируемых на тренажерах. Составлено авторами
Fig. 2. Hierarchy of competencies formed on simulators. Compiled by the authors

Развитие технологий виртуальной и дополненной реальности, искусственного интеллекта, облачных вычислений и цифровых двойников расширяет возможности для персонализации обучения, повышения его доступности и эффективности. В ближайшие 10–15 лет можно ожидать переход от «тренажеров как инструмента» к «иммерсивным образовательным экосистемам», которые будут сопровождать моряка на протяжении всей карьеры – от курсанта до капитана или старшего механика.

Инвестиции в тренажерную подготовку – это инвестиции в безопасность мореплавания, защиту человеческой жизни на море и сохранение морской среды [16]. В эпоху, когда морская отрасль сталкивается с беспрецедентными вызовами от декарбонизации до цифровизации и автономизации, роль тренажерных технологий в подготовке кадров будет только возрастать.

Список использованных источников

1. Ганнесен, В. В. Использование альтернативных видов топлива для декарбонизации морского судоходства / В. В. Ганнесен, Е. Е. Петрова // Научные труды Дальрыбвтуза. 2025. Т. 74, № 4. С. 185–192. DOI 10.48612/dalrybvtuz/2025-74-19. EDN ZELPQS.

2. Ганнесен, В. В. О необходимости подготовки экипажей морских судов к переходу на альтернативные виды топлива в рамках стратегии ИМО по сокращению выбросов парниковых газов / В. В. Ганнесен, Е. Е. Петрова // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 230–237. DOI 10.48612/dalrybvtuz/2026-76-24. EDN ZBKWWU.

3. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (ПДНВ) с поправками 2010 года (Манильские поправки). М. : Моркнига, 2020.

4. IMO Model Course 1.22: Simulator. London : International Maritime Organization, 2019. MSC.1/Circ.1331: Guidance on the use of simulators in training and assessment. London : IMO, 2009.

5. Ганнесен, В. В. Тренажерная подготовка как инструмент снижения количества технических аварий морских судов / В. В. Ганнесен, Е. Е. Петрова, И. С. Карпушин // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 70, № 4. С. 179–185. DOI 10.48612/dalrybvtuz/2024-70-18. EDN WCZHUH.

6. Официальный сайт компании Транзас. Режим доступа https://transas.ru/o-nas/ [Электронный ресурс] (дата обращения : 10.03.2026).

7. Официальный сайт компании Kongsberg Maritime. Режим доступа https://www.kongsbergmaritime.com/products/simulation/k-sim-engine/?solution=610592. [Электронный ресурс] (дата обращения : 10.03.2026).

8. Официальный сайт ООО “НЦТТ”. Режим доступа https://ststc.ru/engine-room-simulator.html [Электронный ресурс] (дата обращения : 10.05.2026).

9. Официальный сайт компании 'Эволюция морских цифровых технологий. Режим доступа https://evomarine.ru/o-nas/ [Электронный ресурс] (дата обращения : 12.05.2026).

10. Официальный сайт ФГБОУ ВО «ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова». Режим доступа https://www.vr-aumsu.ru/[Электронный ресурс] (дата обращения : 10.07.2026).

11. Официальный адрес веб-портала системы Ocean Learning Platform Режим доступа https://app.oceantg.com/[Электронный ресурс] (дата обращения : 20.07.2026).

12. Официальный сайт компании Wärtsilä. Режим доступа Wärtsilä. Navi-Trainer Professional: Technical Specifications. Helsinki : Wärtsilä Corporation, 2024 [Электронный ресурс] (дата обращения : 20.07.2026).

13. Официальный сайт Режим доступа https://norman-marine.ru/ru/neptun/ [Электронный ресурс] (дата обращения : 20.07.2026).

14. Digital Twins in Maritime Education and Training / Ed. by M. Grieves. Helsinki : Aalto University, 2023. 256 p.

15. Virtual and Augmented Reality in Maritime Training: A Systematic Review // Journal of Marine Science and Technology. 2023. Vol. 31, № 2. P. 145–167.

Сведения об авторах

В. В. Ганнесен – доцент, доцент кафедры судовождения, AuthorID: 812731.

Е. Е. Петрова – кандидат технических наук, доцент кафедры судовождения, AuthorID: 1108787.

Information about the authors

V. V. Gannesen – Associate Professor, Associate Professor of the Department of Navigation, AuthorID: 812731.

E. E. Petrova – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Navigation, AuthorID: 1108787.

Статья поступила в редакцию 04.09.2026; одобрена после рецензирования 18.09.2026; принята к публикации 18.09.2026.

The article was submitted 04.09.2026; approved after reviewing 18.09.2026; accepted for publication 18.09.2026.

© Ганнесен В. В., Петрова Е. Е., 2026.

«О цифровой трансформации подготовки судомехаников: интеграция облачных симуляторов, цифровых двойников и технологий искусственного интеллекта в формирование компетенций» [Ганнесен В. В., Петрова Е. Е.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 238–241.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

Обзорная статья
УДК 629.5.064.5 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-22 EDN: YVJQVJ

Повышение энергоэффективности электроприводов вспомогательных механизмов судовых энергетических установок

Нина Михайловна Марченко
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
n-m-m@mail.ru, ORCID: 0009-0009-2361-0185

Аннотация. Проводится обзор методов повышения энергоэффективности электроприводов вспомогательных механизмов судовых энергетических установок за счет использования современных материалов при изготовлении компонентов асинхронных двигателей. Рассматривается применение активных материалов, таких как железо, медь и алюминий А97. Но увеличение этих материалов влечет за собой возрастание массы двигателей, что значительно ухудшает их удельную мощность. В судостроении важным является сочетание эффективности двигателей и их массы. Поэтому предлагается использовать современные материалы – аморфные и нанокристаллические сплавы для изготовления магнитопровода статора, нанокомпозитные материалы для изоляционных покрытий, а для корпусов – полимерные композиты на основе углеволокна. Использование данных материалов приводит не только к повышению удельной мощности электроприводов, но и позволяет повысить их коэффициент полезного действия.

Ключевые слова: энергоэффективные электродвигатели, электропривод, судовые энергетические установки, активные материалы, нанокомпозитные материалы

Для цитирования: Марченко Н. М. Повышение энергоэффективности электроприводов вспомогательных механизмов судовых энергетических установок // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 238–241.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 238–241.

MARINE POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

Review article

Improving the energy efficiency of electric drives of auxiliary mechanisms of marine power plants

Nina M. Marchenko
Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia
n-m-m@mail.ru, ORCID: 0009-0009-2361-0185

Abstract. The article provides an overview of methods for improving the energy efficiency of electric drives of auxiliary mechanisms of marine power plants through the use of modern materials in the manufacture of components of asynchronous motors. The use of active materials such as iron, copper and aluminum A97 is contemplated. But an increase in these materials entails an increase in the mass of the engines, which significantly worsens their specific power. In

© Марченко Н. М., 2026

shipbuilding, a combination of engine efficiency and engine mass is important. Therefore, it is proposed to use modern materials - amorphous and nanocrystalline alloys for the manufacture of a stator magnetic core, nanocomposite materials for insulation coatings, and for cases - polymer composites based on carbon fiber. The use of these materials leads not only to an increase in the specific power of electric drives, but also allows to increase their efficiency.

Keywords: energy-efficient electric motors, electric drive, ship power plants, active materials, nanocomposite materials

For citation: Marchenko N. M. Improving the energy efficiency of electric drives of auxiliary mechanisms of marine power plants. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):238–241. (In Russ.).

На сегодняшний день является важным вопрос рассмотрения повышения энергоэффективности электроприводов (ЭП) вспомогательных механизмов судовых энергетических установок (СЭУ). Самым распространенным механизмом в СЭУ являются насосы. Назначение, конструктивные особенности, режимы работы которых разнообразны − это насосы циркуляционные, масляные, топливные, конденсатные, питательные, охлаждающие и пр. Используемые в ЭП этих насосов двигатели далеко не всегда отвечают требованиям энергоэффективности, т.е. обладают невысокими значениями КПД и коэффициента мощности. Тем более, что Международная морская организация (ИМО) в своих нормативных документах рекомендует использовать более энергоэффективные электродвигатели при проектировании новых судов, что должно повысить эффективность, надежность и безопасность работы СЭУ [1].

Поэтому важным стоит вопрос снижения, прежде всего, потерь мощности в этих ЭП. Одним из путей решения этой проблемы является использование энергоэффективных двигателей. Данные двигатели классифицируются по уровням энергоэффективности в соответствии с международными стандартами (IEC 60034-30-1):

- IE1 (Standard Efficiency) − базовый уровень энергоэффективности, уже не соответствует современным требованиям;
- IE2 (High Efficiency) − повышенная энергоэффективность, используется в большинстве насосных установок;
- IE3 (Premium Efficiency) – двигатели с уменьшенными потерями, требуют улучшенного охлаждения;
- IE4 (Super Premium Efficiency) – наиболее энергоэффективные двигатели.

Эффективность этих двигателей заключается в увеличении активных материалов, содержащих железо, медь и алюминий А97, для изготовления обмотки статора и пакетов статора и ротора, что приводит к снижению потерь примерно на 30 %, а КПД возрастает до 5 %. Однако их стоимость выше, чем у обычных двигателей, примерно на 20–30 % [2].

Кроме этого, увеличение материалов приводит к возрастанию массы двигателя и снижению такого важного для судостроения показателя, как удельная мощность двигателя (кВт/кг). При создании же новых судов важным является сочетание мощности и компактности, т.е. должна быть решена задача обеспечения высокой мощности электродвигателей при их минимальных массогабаритах**.** Одним из путей повышения удельной мощности двигателей в ЭП насосов является применение новых материалов.

В ЭП насосов в основном используются асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым ротором. Они обладают невысоким значением удельной мощности (0,05–0,167 кВт/кг) и высокими потерями в магнитопроводе статора, достигающими при частоте 50 Гц 15–20 % от суммарных потерь [3, 4]. Значительными являются также удельные потери в стали, которые при индукции 1,5 Тл и частоте 50 Гц составляют 2–3 Вт/кг, причём с ростом частоты (при частотном регулировании скорости) они возрастают квадратично. Потери в меди обмотки статора также значительны [3].

Поэтому в настоящее время рекомендуется применение аморфных и нанокристаллических сплавов для магнитопровода статора.

Известно, что потери в стали традиционного магнитопровода складываются из потерь на гистерезис и вихревые токи. Если уменьшить толщину листа с 0,5 мм до 20–40 мкм, то составляющая вихревых токов снижается на порядок. Именно такой подход реализован в аморфных металлических сплавах, например $Fe_{80}Si_6B_{14}$ (сплав железа, кремния, бора). Материал получают сверхбыстрой закалкой расплава (скорость охлаждения 10^6 К/с), что придаёт ему аморфную (стеклообразную) структуру [4, 5].

Анализ показал: удельные потери в аморфной стали составляют 0,1–0,3 Вт/кг при частоте 50 Гц, т.е. в 10–20 раз ниже, чем у электротехнической стали 2412. При работе АД на повышенных частотах (до 100 Гц и выше) разница становится ещё более заметной [4]. Однако аморфная лента обладает хрупкостью и низкой обрабатываемостью. Формование зубцовой зоны статора традиционной штамповкой невозможно – материал крошится. Одно из решений − использование композитного сердечника, в котором аморфные ленты склеены эпоксидным связующим с наполнителем из наночастиц Al_2O_3 (соединение алюминия и кислорода, также известное как глинозём) [5, 6].

В связи с высокой влажностью и содержанием солей при эксплуатации судового электрооборудования традиционные изоляционные материалы, используемые в АД (стеклослюдинит, эмалевая изоляция, эпоксидные компаунды), разрушаются за 2 года эксплуатации. Пробивное напряжение снижается с 18 до 8–10 кВ/мм [7]. Перспективным решением повышения износостойкости изоляции выступают нанокомпозитные покрытия на основе полиимида, армированного частицами диоксида кремния (SiO_2) размером 10–20 нм. Такая изоляция имеет пробивное напряжение 25–30 кВ/мм и класс нагревостойкости Н (до 180 °С) [5, 6]. В солевом тумане ресурс нанокомпозитной изоляции достигает 20000 ч, что в 2,5–4 раза выше, чем у традиционных материалов.

Корпусные детали АД морского исполнения чаще изготавливают из нержавеющей стали с добавлением молибдена, например, марки 316 или 317 и алюминиевых сплавов (например, АК12 − литейный сплав алюминия с кремнием и незначительной долей магния, а также прочих примесей). Корпуса из стали быстро теряют усталостную прочность из-за циклических нагрузок (вибраций, волновых воздействий) и имеют сложности с обработкой и сваркой при изготовлении, а алюминивые - уступают по жёсткости. Целесообразно было бы использовать полимерные композиты на основе углеволокна (Т1000), которые имеют модуль упругости 180 ГПа при плотности 1,6 г/см³, что в 5 раз легче стали [8], но их применение ограничено высокой стоимостью и сложностью герметизации разъёмов.

Сравнительная оценка АД, изготовленного по старой технологии, и АД, в состав которого входят перспективные материалы, показала, что удельная масса (кг/Вт) выросла примерно в 2,7 раза; КПД при 25 % нагрузки увеличился с 0,82 до 0,93; ресурс изоляции стал больше в 2,5 раза, но стоимость нового двигателя увеличивается в 2–2,5 раза [4].

Однако эксплуатационные расходы снижаются за счёт экономии электроэнергии (8–12 %) и отсутствия необходимости в частой замене изоляции. Срок окупаемости для судов с интенсивным использованием насосов составляет 2–3 года.

При использовании новых материалов для улучшения эксплуатационных показателей и повышения энергоэффективности АД, используемых в ЭП вспомогательных механизмов СЭУ, необходимо учитывать высокую стоимость и технологические сложности при изготовлении. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку промышленных методов штамповки аморфных сердечников и удешевление нанокомпозитных изоляционных покрытий.

Список источников

1. International Maritime Organization: официальный сай http://www.imo.org/en/Pages/Default.aspx (дата обращения : 29.05.26).

2. Ильинский Н. Ф., Москаленко В. В. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение : учеб. пособие. М. : Издательский центр «Академия», 2008. 208 с.

3. Копылов И. П. Справочник по электрическим машинам. М. : Энергоатомиздат, 2018. Т. 1. 568 с.

4. Степанов, В. Н. Сравнительный анализ материалов для магнитопроводов судовых электродвигателей / В. Н. Степанов, О. Н. Прокопеня // Вестник Брестского ГТУ. 2023. № 3. С. 89–94.

5. Wang, L. Amorphous stator cores for high-efficiency ship electric drives / L. Wang, H. Kim // Journal of Hazardous Materials. 2024. Vol. 465. P. 133–142.

6. Järvinen, A. Nanocomposite insulation for high-humidity marine electric motors / A. Järvinen, K. Lehtoranta // Journal of Marine Science and Engineering. 2024. Vol. 12, No. 1. P. 88.

7. ГОСТ Р 59668-2021. Электродвигатели судовые. Методы испытаний магнитных материалов. М. : Стандартинформ, 2021. 28 с.

8. Соколов А. В. Судовые электроприводы и системы автоматизации. СПб. : Морской вестник, 2019. 312 с.

Сведения об авторе

Н. М. Марченко – кандидат технических наук, доцент Департамента энергетических систем Политехнического института, SPIN-код: 8697-0282.

Information about the author

N. M. Marchenko – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Systems, SPIN-code: 8697-0282.

Статья поступила в редакцию 11.06.2026; одобрена после рецензирования 10.07.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 11.06.2026; approved after reviewing 10.07.2026; accepted for publication 10.09.2026.

© Марченко Н. М., 2026.

«Повышение энергоэффективности электроприводов вспомогательных механизмов судовых энергетических установок» [Марченко Н. М.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 242–250.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

Научная статья
УДК 621.431.74.016 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-23 EDN: ZCOFHO

Методики экспериментального определения температуры пламени и концентрации частиц сажи в камере сгорания судового дизеля с использованием лазера

Борис Иванович Руднев [1], Ольга Владимировна Повалихина [2]
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия
[1, 2] povalichina@mail.ru

Аннотация. Приведены физические основы экспериментальных методик по определению температуры пламени и концентрации частиц сажи в камере сгорания судового дизеля и использованием лазера. Отмечены преимущества таких методик по сравнению с традиционными контактными способами.

Ключевые слова: судовой дизель, камера сгорания, температура пламени, концентрация частиц сажи, лазер

Для цитирования: Руднев Б. И, Повалихина О. В. Методики экспериментального определения температуры пламени и концентрации частиц сажи в камере сгорания судового дизеля с использованием лазера // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 242–250.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 242–250.

MARINE POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

Original article

Methods of experimental definition flame temperature and concentration soot particles in marine diesel combustion chamber with employment of laser

Boris I. Rudnev [1], Olga V. Povalikhina [2]
Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
n-m-m@mail.ru, ORCID: 0009-0009-2361-0185

Abstract. Physical foundations of experimental methods from definition flame temperature and concentration soot particles in marine diesel combustion chamber with employment of laser are showing. Advantages such of methods from compare with conventional of means are doting.

Keywords: marine diesel, combustion chamber, temperature of flame, concentration of soot particles, laser

For citation: Rudnev B. I., Povalikhina O. V. Methods of experimental definition flame temperature and concentration soot particles in marine diesel combustion chamber with employment of laser. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2026; 77(3):242–250. (In Russ.).

© Руднев Б. И., Повалихина О. В., 2026

Введение

Современный этап проектирования новых образцов дизелей требует надежных данных по локальным значениям рабочего процесса и теплообмена в камере сгорания (КС). В частности, локальных данных по температуре рабочего тела (газа) и пламени, а также локальных плотностей тепловых потоков на поверхностях, образующих КС. Без этих данных на стадии проектирования невозможно достоверно оценить тепловое и напряженно-деформированное состояние (НДС) поршня, крышки и втулки цилиндра. Определение указанных выше данных чисто расчетным путем все еще вызывает значительные трудности, обусловленные несовершенством математических моделей (ММ), описывающих процессы горения топлива и локального теплообмена в цилиндре дизельного двигателя [1–5]. Целью настоящей статьи является представление и анализ методик экспериментального определения температуры пламени и концентрации частиц сажи в КС судового дизеля с использованием лазера (квантового генератора).

Методика экспериментального определения температуры пламени в камере сгорания судового дизеля

В основе методики экспериментального определения температуры пламени в КС судового дизеля в функции угла поворота коленчатого вала (ПКВ) с использованием лазера лежат известные положения об излучении сажистых пламен. Дизельное пламя можно представить как совокупность микрообъектов горящей смеси, неравномерно распределенных по объему КС, причем каждый микрообъем имеет сложную структуру, состоящую из горючего газа в смеси с окислителем (кислородом воздуха, поступившего в цилиндр), газообразных продуктов сгорания и мельчайших частиц углерода в виде сажи. При термодинамическом равновесии системы температура частиц сажи и газообразных продуктов сгорания равна температуре горящего газа. В этом случае как температура частиц сажи, так и температура газообразных продуктов сгорания характеризуют собой локальную температуру реакции непосредственно в очагах сгорания, т.е. действительную температуру пламени [6]. Метод высокотемпературной пирометрии дизельного пламени был разработан на кафедре «Двигатели внутреннего сгорания» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета им. Петра Великого. В этом методе истинная температура пламени определяется по величине отношения спектральных интенсивностей излучения пламени на двух выбранных участках спектра (λ_1=0,397 мкм и λ_2=0,634 мкм), т.е. в видимой области. Следует отметить, что в видимой и ультрафиолетовой областях спектра может иметь место излучение различных радикалов [7]. В частности, OH – 0,3064 мкм, CH – 0,39 и 0,4315 мкм, H – 0,336 мкм и др. радикал CC дает полосу в видимой области спектра 0,56 мкм. В то же время интегральная интенсивность подобных отдельных полос мала, а плотность их излучения незначительна. Анализ энергий перехода молекул газов, относящихся к устойчивым продуктам сгорания: H_2O, CO_2, CO, O_2 и N_2 показывает, что они имеют сравнительно низкий энергетический уровень. Энергии перехода в таких многоатомных молекулах составляют величину 0,1–10 ккал/моль. Фотоны с указанной энергией соответствуют инфракрасной области спектра. Видимой области спектра (0,4–0,76 мкм) соответствуют энергии перехода ~ 75–36 ккал/моль. Вместе с тем ни одна из перечисленных молекул продуктов сгорания дизельного топлива не имеет такого энергетического уровня. Частицы сажи имеют сплошной спектр излучения, а следовательно, и более высокую интегральную интенсивность излучения. В результате можно считать, что частицы сажи в видимой области спектра являются основным излучателем, определяющим эмиссионную способность дизельного пламени.

Теоретическими предпосылками указанного выше метода определения температуры пламени являются следующие положения, получившие неоднократное экспериментальное подтверждение во многих работах:

1. Средний диаметр частиц сажи в пламени (примерно 0,03–0,05 мкм) намного меньше максимальной длины волны излучения (λ_{max}=0,9 мкм) при ожидаемой температуре частиц ~ 2300 – 2700 К, т.е. пламя в дизеле имеет микродисперсную структуру.

2. Дизельное пламя в видимой области спектра обладает свойствами серого излучателя, а раскаленные частицы сажи излучают сплошной спектр и являются основным источником излучения в названной области спектра. Следует отметить, что независимость коэффициента поглощения (степени черноты) от длины волны распространяется нами лишь на ту узкую часть видимого спектра (0,397–0,634 мкм), в которой производятся измерения интенсивности излучения пламени и именно для такой узкой области видимого спектра (0,390–0,630 мкм), Л.М. Белинкий [8] экспериментально доказал справедливость выражения $(a_{\lambda T})_{ср}$=const. Однако неправомерно было бы распространение серого характера излучения пламени за пределы видимой области и особенно на инфракрасную часть спектра, так как здесь на сплошной спектр излучения сажи накладывается линейчатый спектр излучения многоатомных газов продуктов сгорания CO, CO_2, H_2O и др. [9], а зависимость излучательной и поглощательной способности пламени от длины волны становится существенной. Поэтому для количественной оценки теплового излучения дизельного пламени следует пользоваться не спектральной ε_λ, а интегральной ε излучательной способностью.

3. Дизельное пламя в исследуемой области видимого спектра является термодинамически равновесной системой, т.е. в течение времени, пока частица сажи, находящаяся в очаге горения, способна излучать в видимой области, количество тепла, теряемое частицей вследствие излучения, восполняется за счет подвода тепла к ней из зоны горения, а температура частицы остается равной температуре горения. По мере затухания очага горения частица остывает и прекращает излучать в видимой области. Таким образом, интенсивность излучения пламени в видимой области зависит только от его температуры.

В рассмотренном нами методе температура пламени в КС в функции угла ПКВ определяется по величине отношения спектральных интенсивностей его излучения на двух длинах волн, максимально разнесенных по видимой области спектра. Такой метод обладает существенными преимуществами, так как не требует последовательной регистрации излучения во всем спектральном диапазоне. Кроме того, при этом методе не играет роли абсолютное значение ординат кривой интенсивности излучения, важна лишь величина их отношения при одном и том же угловом положении коленчатого вала. Выбирая дины волн λ_1=0,397 мкм и λ_2=0,634 мкм и полагая, что дизельное пламя в этом диапазоне обладает свойствами серого тела и излучает спектр, подобный спектру излучения абсолютно черного тела, условие подобия можно представить в виде

$$\frac{E_0(\lambda_2,T_1)}{E_0(\lambda_1,T_1)}=\frac{E_{\text{п}}(\lambda_2,T_1)\varepsilon_{\text{п}}(\lambda_2,T_1)}{E_{\text{п}}(\lambda_1,T_1)\varepsilon_{\text{п}}(\lambda_1,T_1)}, \quad (1)$$

где $E_0(\lambda_2,T_1), E_0(\lambda_1,T_1)$ – интенсивность излучения абсолютно черного тела на длине волны λ_1 и λ_2 при температуре T_1; $E_{\text{п}}(\lambda_2,T_1), E_{\text{п}}(\lambda_1,T_1)$ – интенсивность излучения пламени на тех же длинах волн λ_1 и λ_2 и при той же температуре T_1; $\varepsilon_{\text{п}}(\lambda_2,T_1), \varepsilon_{\text{п}}(\lambda_1,T_1)$ – спектральная степень черноты пламени на длинах волн λ_1 и λ_2 при температуре T_1.

По условию серого характера излучения пламени в видимой области спектра степень его черноты не зависит от длины волны и температуры, т.е. $E_{\text{п}}(\lambda_1,T_1)=\varepsilon_{\text{п}}(\lambda_2,T_1)$. Поэтому условие (1) можно представить следующим образом:

$$\frac{E_0(\lambda_2,T_1)}{E_0(\lambda_1,T_1)}=\frac{E_{\text{п}}(\lambda_2,T_1)}{E_{\text{п}}(\lambda_1,T_1)}, \quad (2)$$

обозначив в (2)

$$\frac{E_0(\lambda_2,T_1)}{E_0(\lambda_1,T_1)}=\Pi_0(\lambda_1,\lambda_2,\mathrm{T}_1); \qquad \frac{E_{\text{п}}(\lambda_2,T_1)}{E_{\text{п}}(\lambda_1,T_1)}=\Pi_{\text{п}}(\lambda_1,\lambda_2,\mathrm{T}_1).$$

В итоге получим

$$\Pi_0(\lambda_1, \lambda_2, \mathrm{T}_1) = \Pi_{\text{п}}(\lambda_1, \lambda_2, \mathrm{T}_1)\,. \qquad (3)$$

Из выражения (3) следует, что если отношение интенсивностей излучения пламени на выбранных длинах волн λ_1 и λ_2 равно аналогичному отношению интенсивностей излучения абсолютно черного тела, то температура пламени равна температуре абсолютно черного излучателя. Подставляя в (3) значения интенсивностей излучения согласно закону излучения Вина, после преобразований получим уравнение для определения температуры дизельного пламени:

$$T_{\text{п}} = \frac{\mathrm{C}_2(\lambda_2 - \lambda_1)}{\lambda_1\lambda_2 ln\left[\Pi_0(\lambda_1,\lambda_2,T_1)\left({}^{\lambda_2}/_{\lambda_1}\right)^5\right]}, \qquad (4)$$

где C_2 – вторая постоянная в законе Планка.

Регистрация интенсивностей излучения пламени в эксперименте производится с помощью фотоэлектронных умножителей типа ФЭУ-22, общий вид и детали которых представлены на рис. 1 и 2.

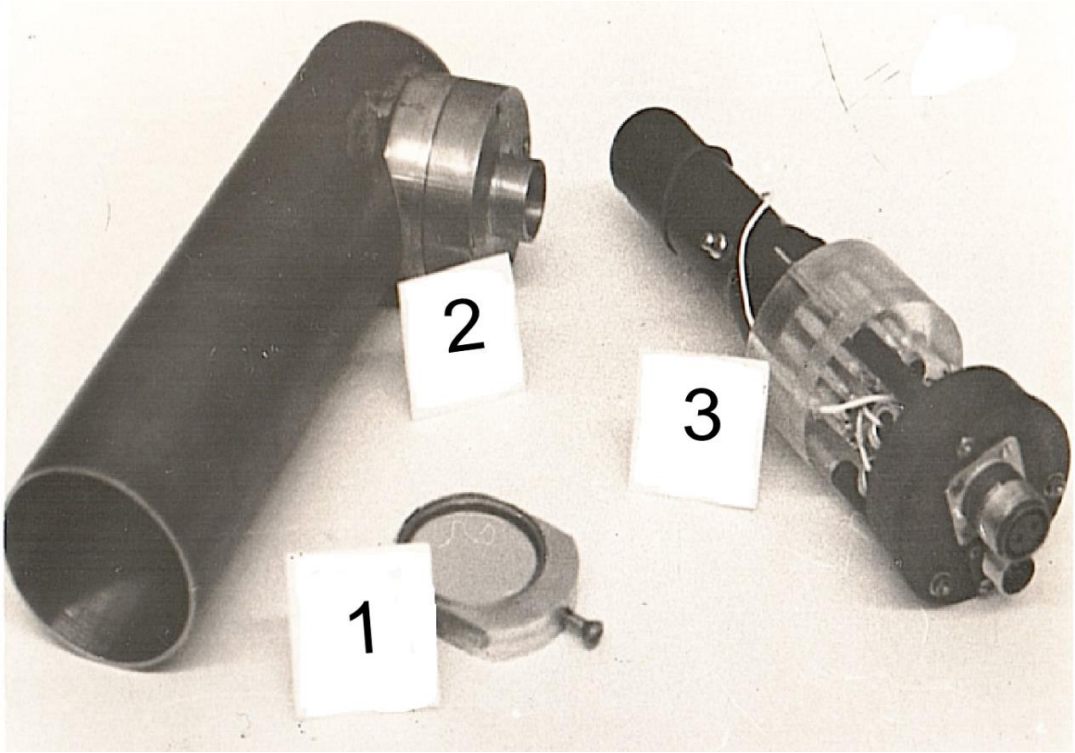


Рис. 1. Общий вид ФЭУ-22: 1 – светофильтр; 2 – светонепроницаемый корпус для ФЭУ; 3 – ФЭУ-22 с делителем напряжения

Fig. 1. Corporate look FGU-22: 1 – light filter; 2 – opaque corps for FGU-22; 3 – FGU-22 with divisor of tension

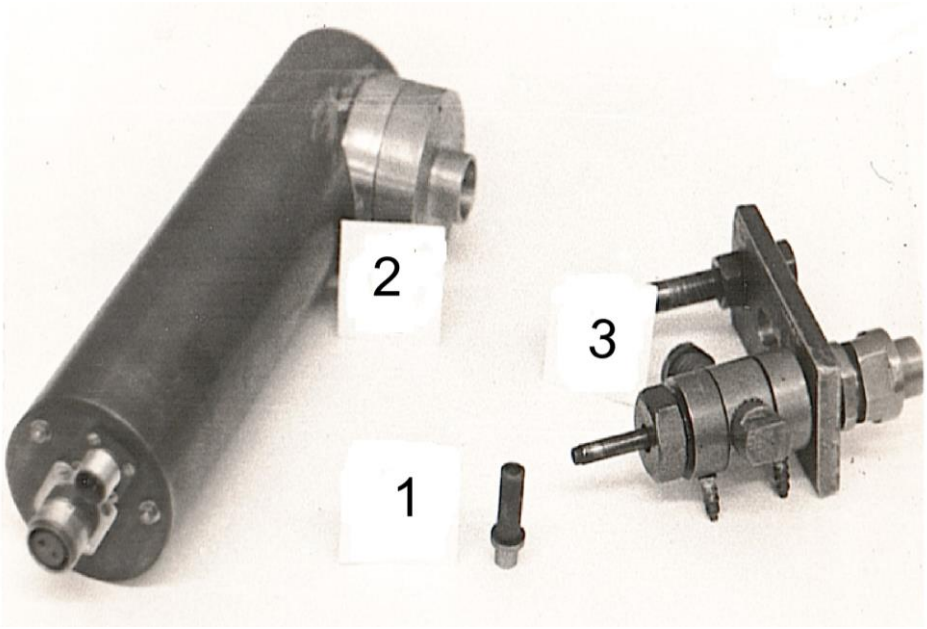


Рис. 2. Детали комплекса для измерения температуры пламени: 1 – обойма с кварцевым стеклом; 2 – ФЭУ-22 в сборке с корпусом; 3 – разобщительный кран с креплением
Fig. 2. Details of complex for definition flame temperature: 1 – shell with glass quartz; 2 – FGU-22 in muster with corps; 3 – disengaged flap with of strong

При этом может использоваться как одноканальная схема, показанная на рис. 3, так и двухканальная [10] (рис. 4).

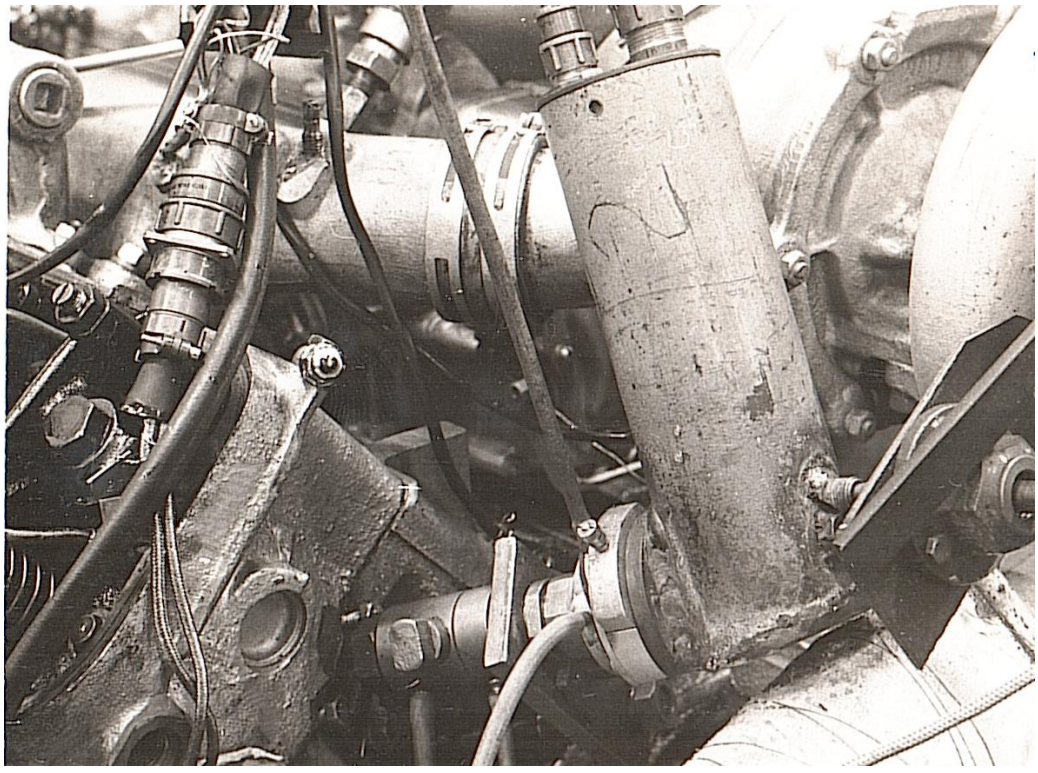


Рис. 3. Общий вид установки ФЭУ при одноканальной регистрации излучения пламени
Fig. 3. Corporate look installation FGU by one-canal definition radiation of flame

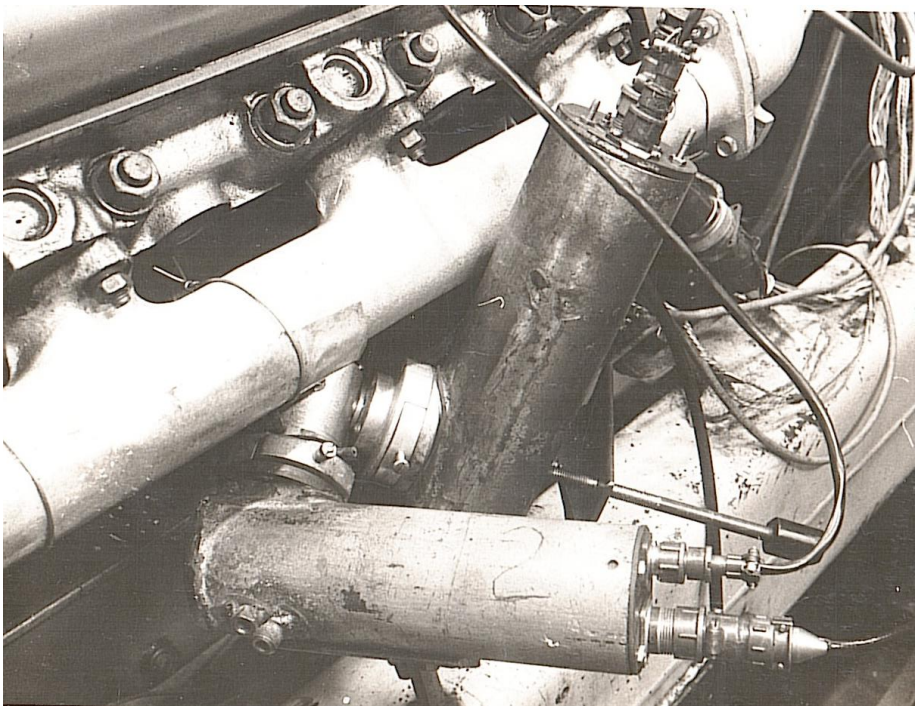


Рис. 4. Общий вид установки ФЭУ при двухканальной регистрации излучения пламени
Fig. 4. Corporate look installation FGU by two-canal definition radiation of flame

Методика определения концентрации частиц сажи в камере сгорания судового дизеля

Основу методики определения концентрации частиц сажи в КС дизеля положена гипотеза Бугера–Беера, которую запишем в виде [11]:

$$\frac{E_{\ell\lambda}}{E_{\text{н}\lambda}} = exp(-ck_\lambda \ell), \tag{5}$$

где c – концентрация поглощающих частиц; k_λ – спектральный показатель ослабления луча; ℓ – эффективная длина пути луча, которая равна 3,6V/F; V – объем газовой среды; F – площадь поверхности, ограничивающей этот объем.

Обозначив в (5) величину $1/k_\lambda \ell$ через M и выполнив простые преобразования, получим уравнение

$$\bar{\text{c}} = ln\frac{E_{\text{н}\lambda}}{E_{\ell\lambda}}, \tag{6}$$

где $\bar{\text{c}} = \text{c}/\text{M}$ – относительная безразмерная концентрация частиц сажи в КС дизеля; $E_{\text{н}\lambda}, E_{\ell\lambda}$ – спектральная интенсивность светового потока, соответственно, на входе в пламя и после прохождения им пламени.

При реализации этой методики в качестве стороннего источника для просвечивания КС использовался оптический квантовый генератор (лазер) типа ЛГ-28 с длиной волны излучения λ=0,630 мкм. Общий вид которого показан на рис. 5, а установка его в системе измерительного комплекса представлена на рис. 6.

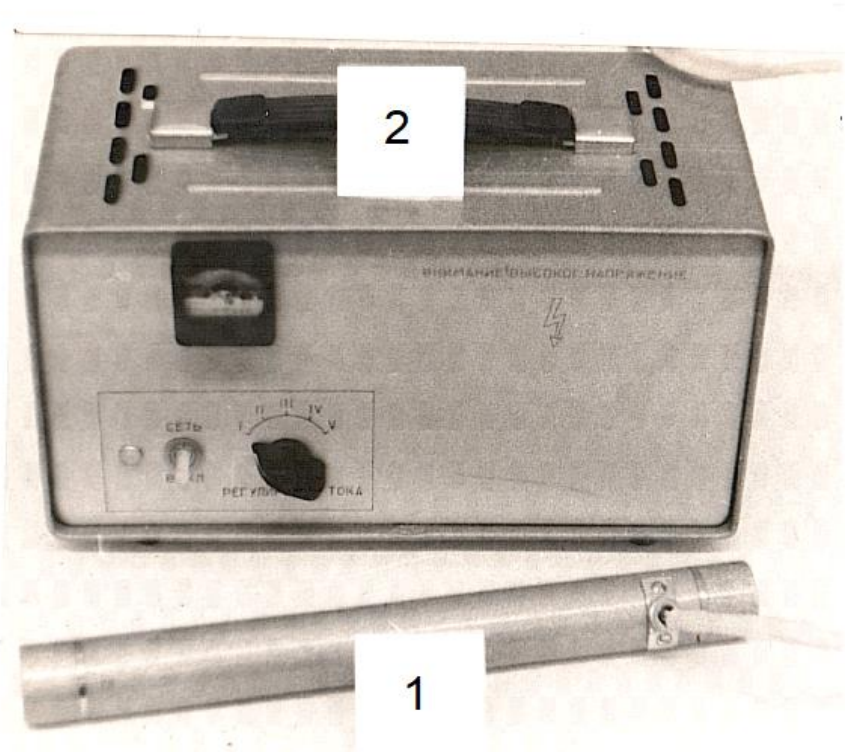


Рис. 5. Общий вид лазера ЛГ-28: 1 – лазер ЛГ-28; 2 – корпус
Fig. 5. Corporate look of laser LG-28: 1 – laser LG-28; 2 – corps of feed

Величина поглощения светового потока от лазера при прохождении его через пламя в КС определяется по результатам регистрации потоков излучения при трех условиях:

1. Дизель не работает, лазер включен. В этом случае регистрируется интенсивность излучения собственно лазера после прохождения света через два кварцевых окна и КС – $E_{л}$.
2. Дизель работает, лазер включен. При этом регистрируется суммарное излучение пламени и частично поглощенное пламенем излучение лазера – $E_{л+п}$.
3. Дизель работает, лазер выключен. Производится регистрация интенсивности излучения собственно пламени – $E_{п}$.

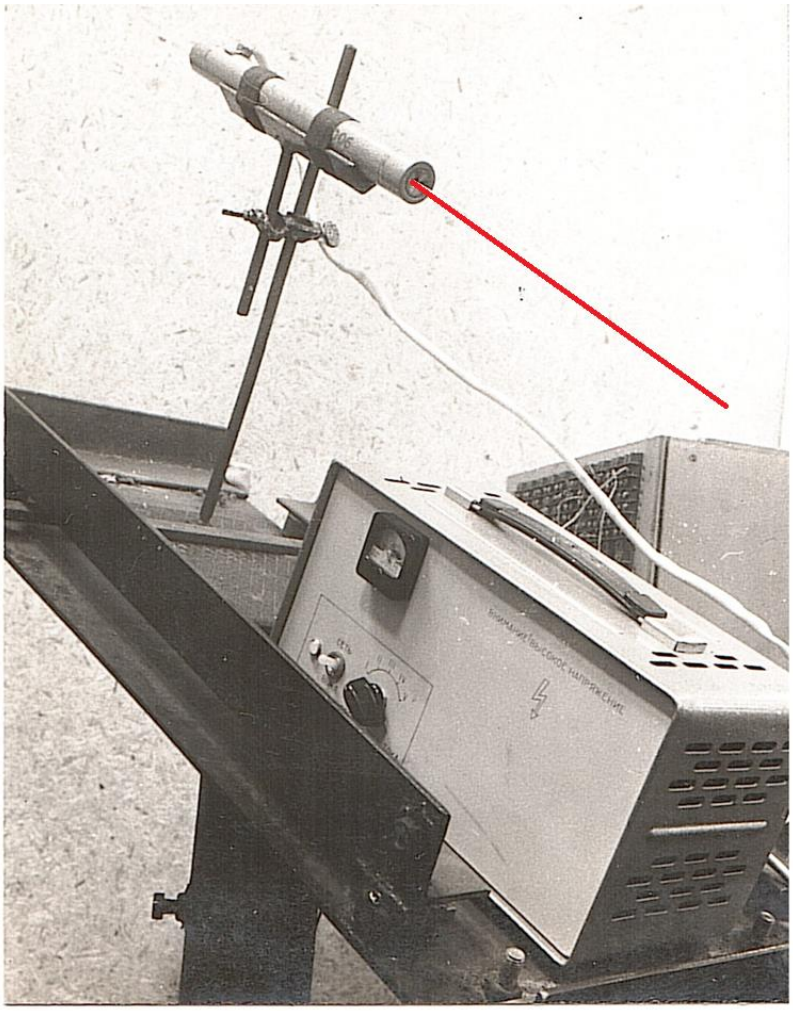


Рис. 6. Установка лазера ЛГ-28 в системе измерительного комплекса
Fig. 6. Installation of laser LG-28 in system of dimension complex

Переходя к ординатам соответствующих осциллограмм h в мм, относительную величину безразмерной концентрации частиц сажи в КС дизеля находим по уравнению

$$\bar{c} = ln\frac{h_л}{h_{л+п} - h_п}. \quad (7)$$

В результате градуировочных опытов была получена величина M=2,44·10^{-3} кг/м^3/ед.$\bar{c}$, которая дала возможность определить действительную концентрацию частиц сажи в КС в функции угла ПКВ [5].

Заключение

Полученные с использованием представленных в настоящей статье методик данные по локальным температурам пламени и локальным концентрациям частиц сажи в КС позволили существенно улучшить качество ММ для оценки теплового и НДС деталей судовых дизелей на стадии проектирования и доводки новых образцов [11].

Список источников

1. Сполдинг Д. В. Горение и массообмен. М. : Машиностроение, 1985. 240 с.
2. Кузнецов В. Р., Сабельников В. А. Турбулентность и горение. М. : Наука, 1986. 288 с.
3. Махов В. З. Процессы сгорания в двигателях. М. : МАДИ, 1980. 76 с.

4. Кавтарадзе Р. З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. 472 с.

5. Руднев Б. И. Процессы локального теплообмена в камере сгорания дизелей. Владивосток : Дальнаука, 2000. 221 с.

6. Дьяченко Н. Х., Батурин С. А., Ложкин В. Н. Экспериментальное исследование температуры сажистого пламени четырехтактных дизелей// Исследование рабочего процесса и систем быстроходных дизелей. Барнаул, 1976. Вып. 3(58). С. 17–25.

7. Махов В. З. К вопросу о методике определения содержания сажи в цилиндре дизеля // Известия вузов. Машиностроение. 1969. № 8. С. 82–87.

8. Белинкий Л. М. Теплоизлучение в камере сгорания быстроходного двигателя с воспламенением от сжатия // Исследование рабочих процессов в быстроходных дизелях. М. : Машгиз, 1955. С. 83–113.

9. Блох А. Г. Основы теплообмена излучением. М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1962. 330 с.

10. Руднев Б. И., Повалихина О. В. Контрольно-измерительный комплекс для исследования параметров рабочего процесса и радиационно-конвективного теплообмена в камере сгорания судового высокооборотного дизеля // Морские интеллектуальные технологии. 2022. № 2. Часть 1. С. 73–78.

11. Руднев Б. И., Повалихина О. В. Оценка влияния энергетических параметров излучения пламени на локальный радиационный теплообмен в камере сгорания судовых дизелей // Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 1. Часть 1. С. 135–141.

Сведения об авторах

Б. И. Руднев – доктор технических наук, профессор кафедры «Холодильная техника и инженерные системы».

О. В. Повалихина – доцент, доцент кафедры «Холодильная техника и инженерные системы».

Information about the authors

B. I. Rudnev – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Refrigeration and Engineering Systems.

O. V. Povalikhina – Accociate Professor, Accociate Professor of the Department of Refrigeration and Engineering Systems.

Статья поступила в редакцию 18.09.2026; одобрена после рецензирования 22.09.2026; принята к публикации 22.09.2026.

The article was submitted 18.09.2026; approved after reviewing 22.09.2026; accepted for publication 22.09.2026.

© Руднев Б. И., Повалихина О. В., 2026.

«Методики экспериментального определения температуры пламени и концентрации частиц сажи в камере сгорания судового дизеля с использованием лазера» [Руднев Б. И., Повалихина О. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

СВЕДЕНИЯ О ЖУРНАЛЕ

Научный журнал «Научные труды Дальрыбвтуза» издается с 1996 года.

Тематика статей, публикуемых в журнале, соответствует следующим отраслям науки:

2.5.20 Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные) (Рубрика «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)»)

4.2.6 Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (Рубрика «Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство»)

4.3.3 Пищевые системы (Рубрика «Пищевые системы»)

4.3.5 Биотехнологии продуктов питания и биологически активных веществ (Рубрика «Биотехнологии продуктов питания и биологически активных веществ»)

5.6.1 Отечественная история (Рубрика «Вопросы истории становления и развития рыбохозяйственной отрасли»)

Журнал «Научные труды Дальрыбвтуза» с 15.04.2024 включен 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 по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям науки, по которым присуждаются ученые степени:

2.5.20. Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные) (технические науки),

4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (биологические науки),

4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (сельскохозяйственные науки),

4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (технические науки),

4.3.3. Пищевые системы (технические науки).

С 09.09.2025 г. журнал «Научные труды Дальрыбвтуза» включен в «Белый список» (Ур. 4)

Статьи в научном журнале «Научные труды Дальрыбвтуза» публикуются бесплатно.

При цитировании и копировании публикаций ссылка в журнал обязательна.

За точность воспроизведения имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.

Редакция журнала в своей деятельности руководствуется положениями гл. 70 «Авторское право» Гражданского кодекса Российской Федерации и рекомендациями Международного комитета по публикационной этике (cope) – http://publicationethics.org/resources/ flowcharts.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

Объем статьи (включая список литературы, таблицы и подрисуночные подписи) должен быть от 5 до 12 страниц; текст – в формате А4; наименование шрифта – Times New Roman; размер (кегель) шрифта – 12 пунктов; все поля должны быть 2 см, отступ (абзац) – 1 см, междустрочный интервал – одинарный.

Текст статьи набирать без принудительных переносов, слова внутри абзаца разделять только одним пробелом, не использовать пробелы для выравнивания. Следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, дублирования одних и тех же результатов в таблицах и графиках.

Границы таблиц и рисунков должны соответствовать параметрам полей текста. Математические и химические формулы должны набираться одним объектом в редакторе формул Equation (MathType) или в Редакторе MS Word кеглем 12.

Формулы и уравнения печатаются с новой строки и нумеруются в круглых скобках в конце строки.

Рисунки должны быть представлены в формате *.jpg или *.tiff. Подрисуночная подпись должна состоять из номера и названия (Рис. 1. …). В тексте статьи обязательно должны быть ссылки на представленные рисунки. Таблицы должны иметь заголовки и порядковые номера. В тексте статьи должны присутствовать ссылки на каждую таблицу.

В связи с тем, что электронные версии публикаций обрабатываются в специальных программах для размещения в различных электронных библиотечных системах, математические символы, формулы с надстрочными и подстрочными индексами и буквы греческого алфавита в заголовках статей, аннотациях и ключевых словах отображаются некорректно. Убедительная просьба избегать употребления таких символов в указанных частях публикации!

Требования к оформлению статьи приводятся в соответствии с ГОСТ Р 7.0.7–2021 «СТАТЬИ В ЖУРНАЛАХ И СБОРНИКАХ. Издательское оформление»:

1. Вверху по центру страницы прописными буквами указывается рубрика:

- БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
- ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ
- РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО
- СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

2. Тип статьи – научная статья, обзорная статья, редакционная статья и т.д. указывают в начале статьи отдельной строкой слева.

3. Индекс УДК (слева).

4. Список авторов в формате: «Имя, отчество, фамилия» (полностью) набирается полужирным шрифтом. Если у статьи несколько авторов, то имена авторов приводят в принятой ими последовательности. Сведения о месте работы (учебы), электронные адреса, ORCID авторов указывают после имен авторов на разных строках и связывают с именами с помощью надстрочных цифровых обозначений [1)]. Если у авторов одно и то же место работы, учебы, то эти сведения приводят один раз. 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 надстрочных цифровых обозначений.

После списка авторов указываются следующие данные:

- полное название учреждения (место работы);
- город, страна;
- адрес электронной почты.

Наименование организации (учреждения), подразделения, где работает автор, приводится без обозначения организационно-правовой формы юридического лица (ФГБОУ ВО, ФГБУН, ОАО и т.д.).

5. Заглавие статьи. Название статьи должно быть кратким (10–12 слов). Заголовок набирают полужирными буквами по центру страницы. Первое слово заглавия статьи приводят с прописной буквы, остальные слова – со строчной буквы (кроме собственных имен, аббревиатур и т.д.). В заглавии не допускается употребление сокращений, кроме общепризнанных. В конце заглавия точку не ставят

6. Аннотация (не менее 150–250 слов). Перед текстом необходимо поставить слово «аннотация» и выделить его полужирным курсивом.

7. Ключевые слова (словосочетания) должны соответствовать теме статьи и отражать ее предметную, терминологическую область. Не рекомендуется использовать обобщенные и многозначные слова, а также словосочетания, содержащие причастные обороты. Количество ключевых слов (словосочетаний) не должно быть меньше 3 и больше 15 слов (словосочетаний). Их приводят, предваряя словами «Ключевые слова», набранными полужирным курсивом, и отделяют друг от друга запятыми. После ключевых слов точку не ставят.

8. Благодарности. После ключевых слов при необходимости приводят слова благодарности 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.

9. Знак охраны авторского права приводят по ГОСТ Р 7.01 внизу первой полосы статьи с указанием фамилии и инициалов автора (-ов) или других правообладателей и года публикации статьи.

НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ УКАЗЫВАЕТСЯ:

10. Рубрика – по центру прописными буквами:

- BIOTECHNOLOGY OF FOOD AND BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES
- FOOD SYSTEMS
- FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES
- MARINE POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

11. Тип статьи: Origrnal article

12. Заглавие статьи – по центру страницы полужирным шрифтом.

13. Список авторов в формате «Имя, инициал отчества с точкой, фамилия» (Ivan I. Ivanov)

После списка авторов указываются следующие данные:

- полное название учреждения / места работы (Far Eastern State Technical Fisheries University);
- город, страна (Vladivostok, Russia);
- адрес электронной почты.

14. Аннотация (первое слово ***Abstract*** набирается полужирным курсивом).

15. Ключевые слова (первое слово ***Keywords*** набирается полужирным курсивом).

16. Благодарности (первое слово ***Acknowledgments*** набирается полужирным курсивом).

17. ТЕКСТ СТАТЬИ обязательно должен содержать следующие разделы:

- Введение

- Объекты и методы исследований

- Результаты и их обсуждение

- Заключение

18. Список источников. Перечень затекстовых библиографических ссылок помещают после основного текста статьи с предшествующими словами «Список источников». В перечень библиографических ссылок включают записи только на ресурсы, которые упомянуты или цитируются в основном тексте статьи. Библиографическую запись составляют по ГОСТ Р 7.0.5. Библиографические записи в перечне затекстовых библиографических ссылок нумеруют и располагают в порядке цитирования источников в тексте статьи, номер источника указывается в тексте в квадратных скобках [1, 2, 3] после цитаты.

19. Библиографический список (при наличии) помещают после списка источников с предшествующими словами «Библиографический список». В него включают записи на ресурсы по теме статьи, на которые не даны ссылки, а также записи на произведения лиц, которым посвящена статья. Записи в библиографическом списке нумеруют и располагают в алфавитном или хронологическом порядке.

20. Сведения об авторе (авторах) / Information about the author (authors) – дополнительные сведения об авторе приводят с предшествующими словами **Сведения об авторе (авторах) / Information about the author (authors)** в конце статьи после Списка источников (библиографического списка) на русском и английском языках. Дополнительные сведения об авторе (авторах) могут содержать:

- полное имя, отчество и фамилия,
- ученая степень,
- ученое звание,
- должность (с наименованием организации и подразделения),
- почетное звание;
- членство в организациях и творческих / профессиональных союзах;
- другие, кроме ORCID, идентификационные номера авторов.

21. Вклад авторов. Сведения о вкладе каждого автора, если статья имеет несколько авторов, при необходимости приводится на русском и английском языках в конце статьи после «Информации об авторах». Этим сведениям предшествуют слова «Вклад авторов» (Contributions of the authors) – после фамилии и инициалов автора в краткой форме описывается его личный вклад в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т.д.)

В редакцию предоставляются:

1. Электронная версия статьи в программе MS Word 10 версии и выше в формате .docx на флэш-носителе или отправляется на электронный адрес редакции (nauch-tr@dgtru.ru). Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – Петров А.А.doc.

2. Распечатанный экземпляр статьи, строго соответствующий электронной версии.

3. Экспертное заключение о возможности публикации в открытой печати, с гербовой печатью организации (скачать на сайте: https://nauch-tr.dalrybvtuz.ru/ в разделе «Требования к оформлению статей»).

4. Авторское соглашение на публикацию статьи (скачать на сайте: https://nauch-tr.dalrybvtuz.ru/ в разделе «Требования к оформлению статей»).

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Научные труды Дальрыбвтуза. 2021. Т. 58, № 4. С. 5–8.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2021. Vol. 58, no 4. P. 5–8.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья
УДК 123

Чужеродные виды рыб залива Петра Великого

Александр Александрович Иванов[1], Иван Иванович Петров[2]

[1] Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

[2] Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Владивосток, Россия

[1] ivanov.aa@dgtru.ru; ORCID: 0000-0000-000-000X

[2] petrovII@mail.ru; ORCID: 0000-0000-000-000X

***Аннотация*.** Приводится информация о времени проникновения чужеродных видов рыб в залив Петра Великого, их половом и возрастном составе. Установлено, что все чужеродные виды рыб акватории залива Петра Великого относятся к короткоцикловым, максимальный возраст не превышает 5 лет. Виды, проникшие в акваторию залива раньше, преимущественно имеют устоявшуюся половозрастную структуру с преобладанием самок или равнозначную, а виды, проникшие в водоем относительно недавно, отличаются преобладанием самцов.

***Ключевые слова*:** гидробионты, чужеродные виды рыб, залив Петра Великого, популяционная структура

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Alien species of fish in the Peter the Great Bay

Aleksandr A. Ivanov[1], Ivan I. Petrov[2]

[1] Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

[2] Pacific branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Vladivostok, Russia

[1] ivanov.aa@dgtru.ru; ORCID: 0000-0000-000-000X

[2] petrovII@mail.ru; ORCID: 0000-0000-000-000X

Abstract. The article presents data on the time of invasion of alien fish species into the Peter the Great Bay, their gender and age structure. It has been found out that all the alien fish species in Peter the Great Bay water area refer to short-cycle ones, their maximum age being no more than 5 years. The species that had invaded the water area earlier predominantly have a settled gender and age structure with the domination of females or the equal correlation; and the species which invaded the water area later are marked by the domination of males.

***Keywords*:** hydrobionts, alien fish species, Peter the Great Bay, population structure

ТЕКСТ СТАТЬИ

Список источников

1. Алеев Ф. Т., Семенов Д. Ю. Новые данные о нахождении рыб-вселенцев (Gobiidae, Pisces) в Ульяновском и Ундоровском плесах Куйбышевского водохранилища // Природа Симбирского Поволжья: сборник научных трудов. Ульяновск : Изд-во Средневолжского научного центра. 2003. Вып. 4. С. 96–99.

2. Понамарев, Н. М. Эпизоотологический мониторинг заболеваний рыб в озерах Алтайского края / Н. М. Понамарев, Н. В. Тихая // Вестник АГАУ. 2019. № 1(171). С. 132–135.

Сведения об авторах

А. А. Иванов – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры экологии Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета, SPIN-код: 0000-0000.

И. И. Петров – кандидат экономических наук, заведующий лабораторией океанических рыб Тихоокеанского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, AuthorID: 000000.

Information about the authors

A. A. Ivanov – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Ecology of the Far Eastern State Technical Fisheries University, SPIN-code: 0000-0000.

I. I. Petrov – PhD in Economics, Head of the Oceanic Fish Laboratory of the Pacific branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, AuthorID: 000000.

© Иванов А. А., Петров И. И., 2026

Научное электронное издание

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ДАЛЬРЫБВТУЗА

Научно-практический журнал

№ 3 2026

Том 77

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»
Адрес: Россия, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б; e-mail: nauch-tr@dgtru.ru

Главный редактор – Ю. С. Клочков, доктор технических наук

Свидетельство о регистрации СМИ (сетевое издание) Эл. № ФС77-81684
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 6 августа 2021 г.
Сайт: http://nauch-tr.ru

Издание не подлежит маркировке в соответствии с гл. 3, ст. 11, п. 4 ФЗ № 436-ФЗ «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию»

Редактор Т. В. Ломакина
Макет, обложка Л. А. Харитонова

Дата выхода в свет 01.10.2026.
Формат 60x84/8.

Оригинал-макет подготовлен
Центром публикационной деятельности
«Издательство Дальрыбвтуза»
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б